

**25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM**

**25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING
WITH FOREIGN PARTICIPANTS**

ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS



Generalni pokrovitelj / Sponsor General

**SKUPŠTINA GRADA BEOGRADA
CITY ASSEMBLY OF BELGRADE**

Pokrovitelji / Sponsors

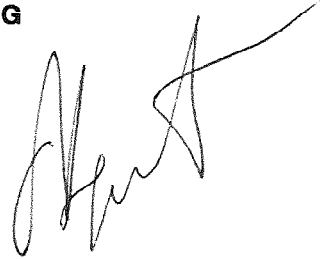
**SANU - SRPSKA AKADEMIJA NAUKA I UMETNOSTI
SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS**

**MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOGIJU REPUBLIKE SRBIJE
MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF THE REPUBLIC OF SERBIA**

Beograd, septembar 1994.

**25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM**

**25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING
WITH FOREIGN PARTICIPANTS**



ZBORNİK RADOVA PROCEEDINGS

Generalni pokrovitelj / Sponsor General

**SKUPŠTINA GRADA BEOGRADA
CITY ASSEMBLY OF BELGRADE**

Pokrovitelji / Sponsors

**SANU - SRPSKA AKADEMIJA NAUKA I UMETNOSTI
SERBIAN ACADEMY OF SCIENCES AND ARTS**

**MINISTARSTVO ZA NAUKU I TEHNOLOGIJU REPUBLIKE SRBIJE
MINISTRY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY OF THE REPUBLIC OF SERBIA**

Beograd, septembar 1994.

**25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
SA MEĐUNARODNIM UČEŠĆEM**

**25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING
WITH FOREIGN PARTICIPANTS**

**POČASNI PREDSEDNIK SAVETOVANJA
HONORARY CHAIRMAN**

Prof. dr Vladimir Šolaja

**NOSIOCI ORGANIZACIJE
ORGANIZING INSTITUTIONS**

Zajednica naučno istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva Jugoslavije
Mašinski fakultet, Beograd * LOLA Institut, Beograd * Tehnički fakultet, Čačak *
Mašinski fakultet, Kragujevac * Mašinski fakultet, Kraljevo * Mašinski fakultet, Niš
* Institut za proizvodno mašinstvo - FTN, Novi Sad * Institut za industrijske
sisteme - FTN, Novi Sad * Mašinski fakultet, Podgorica * Mašinski fakultet,
Priština

**ORGANIZATOR
ORGANIZER**

Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
27. marta 80
11000 Beograd
Tel.: (011) 3229-040
LOLA Institut
Kneza Višeslava 70a
11030 Beograd
Tel.: (011) 541-935

**MESTO ODRŽAVANJA
SYMPOSIUM VENUE**

Mašinski fakultet, Beograd
29. - 30. septembra 1994. godine

SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

I	Beograd	1965.	XIII	Banja Luka	1979.
II	Zagreb	1966.	XIV	Čažak	1980.
III	Ljubljana	1967.	XV	Novi Sad	1981.
IV	Sarajevo	1968.	XVI	Mostar	1982.
V	Kragujevac	1969.	XVII	Budva	1983.
VI	Opatija	1970.	XVIII	Niš	1984.
VII	Novi Sad	1971.	XIX	Kragujevac	1985.
VIII	Ljubljana	1973.	XX	Beograd	1986.
IX	Niš	1974.	XXI	Opatija	1987.
X	Beograd	1975.	XXII	Ohrid	1989.
XI	Ohrid	1977.	XXIII	Zagreb (nije održano)	1991.
XII	Maribor	1978.	XXIV	Novi Sad	1992.

Odlukom Zajednice institucija proizvodnog mašinstva Jugoslavije 1983. godine, koja je i potvrđena Pravilnikom obnovljene Zajednice 1994. godine, ustanovljena je

POVELJA I PLAKETA "Prof. dr PAVLE STANKOVIĆ"

koja se dodeljuje istaknutim naučno istraživačkim radnicima u oblasti proizvodnog mašinstva.

Dosadašnji dobitnici ovog značajnog priznanja su:

Za 1983. godinu

*Prof. dr Rudolf Zdenković, dipl. inž.

*Prof. dr Vladimir Šolaja, dipl. inž.

*Prof. Julije Kremer, dipl. inž.

Za 1984. godinu

*Prof. dr Janez Peklenik, dipl. inž.

*Prof. dr Binko Musafija, dipl. inž.

Za 1985. godinu

*Prof. dr Predrag Popović, dipl. inž.

*Prof. dr Vladimir Milačić, dipl. inž.

Za 1986. godinu

*Prof. dr Branko Ivković, dipl. inž.

*Prof. dr Strezo Trajkovski, dipl. inž.

Za 1987. godinu

*Prof. dr Svetislav Zarić, dipl. inž.

*Prof. dr Josip Hribar, dipl. inž.

Za 1988. godinu

*Prof. dr Branislav Devedžić, dipl. inž.

*Prof. dr Elso Kuljanić, dipl. inž.

*Prof. dr Zoran Seljak, dipl. inž.

Za 1992. godinu

*Prof. dr Jožef Rekecki, dipl. inž.

*Prof. dr Sava Sekulić, dipl. inž.

*Prof. dr Joko Stanić, dipl. inž.

*Prof. dr Vlado Vujović, dipl. inž.

NAUČNI ODBOR

SCIENTIFIC COMMITTEE

Članovi: Predsednik: Prof. dr Vladimir Milačić * Prof. dr Ratko Gatalo, FTN, Novi Sad * Prof. dr Vuko Domazetović, Mašinski fakultet, Podgorica * Prof. dr Svetozar Đekić, Mašinski fakultet, Priština * Prof. dr Branko Ivković, Mašinski fakultet, Kragujevac * Prof. dr Milisav Kalajdžić, Mašinski fakultet, Beograd, zam. predsednika * Dr Ljubomir Lukić, LOLA Institut, Beograd * Prof. dr Vučko Mečanin, Mašinski fakultet, Kraljevo * Prof. dr Vojislav Stoilković, Mašinski fakultet, Niš * Prof. dr Sreten Urošević, Tehnički fakultet, Čačak * Prof. dr Ilija Ćosić, FTN, Novi Sad

ORGANIZACIONI ODBOR ORGANIZING COMMITTEE

Predsednik: Prof. dr Milisav Kalajdžić

Članovi: Prof. dr Joko Stanić * Prof. dr Milenko Jovičić * Prof. dr Dragomir Nikolić * Prof. dr Pavao Bojanić * Prof. dr Žarko Spasić * Prof. dr Miloš Glavonjić * Prof. dr Miroslav Pilipović * Prof. dr Dragan Milutinović * Doc. dr Vidosav Majstorović * Doc. dr Ljubodrag Tanović * Mr Ljiljana Dimitrijević-Marković * Mr Mirko Đapić * Dr Bojan Babić * Zoran Gligorijević, dipl. inž. * Mr Petar Petrović * Mr Sanja Janković * Mr Radovan Puzović * Prvoslav Bojović, dipl. inž. * Mr Branko Kokotović * Mr Zoran Miljković * Milutin Rakić, dipl. inž.

SEKRETARIJAT SECRETARIAT

Organizacioni sekretar: Prof. dr Miroslav Pilipović

Članovi: Doc. dr Lj. Tanović * Mr P. Petrović * Mr B. Babić * M. Stevanović * Mr S. Janković * Mr Radovan Puzović * Mr B. Kokotović * S. Matić * Mr Z. Miljković * I. Stefanjuk * V. Šljivić * S. Stojković * D. Fiala * B. Uzelac * A. Stojadinović * D. Ćurčić * N. Stefanović * R. Krndija * R. Kablar * Z. Spasić * M. Rakin * Z. Tumbas * G. Slavković

RECENZENTI REVIEWERS

Prof. dr Joko Stanić * Prof. dr Milenko Jovičić * Prof. dr Dragomir Nikolić * Prof. dr Vitomir Đorđević * Prof. dr Pavao Bojanić * Prof. dr Žarko Spasić * Prof. dr Miroslav Pilipović * Prof. dr Miloš Glavonjić * Prof. dr Dragan Milutinović * Doc. dr Vidosav Majstorović * Doc. dr Ljubodrag Tanović

PREDGOVOR

Posebne, značajne aktivnosti Katedre za proizvodno mašinstvo i Instituta za proizvodno mašinstvo i kompjuterski integrisane tehnologije u 1994. godini odvijaju se u znaku tri jubileja, i to : (1) 100-godišnjice početka visokoškolske nastave iz oblasti proizvodnog mašinstva na Tehničkoj velikoj školi / Univerzitetu u Beogradu, (2) 20. jubilarne JUPITER-konferencije i (3) 25.jubilarnog savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije.

Prvo savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije održano je u Beogradu 1965. godine, i to na inicijativu Prof. dr Vladimira Solaje, kada je formirana Zajednica jugoslovenskih naučno-istraživačkih institucija proizvodnog mašinstva, koja u novim uslovima radi već više od tri godine. Ova Zajednica je poverila organizaciju 25. savetovanja Mašinskom fakultetu i LOLA Institutu.

Organizatori su ambiciozno pristupili organizaciji ovog savetovanja postavljajući tri cilja: (1) da se definiše i uspostavi trenutno stanje istraživanja u oblasti proizvodnog mašinstva u poznatim okolnostima i uslovima, (2) da se definiše i utvrdi uloga proizvodnog mašinstva u narednom periodu oživljavanja privrede i revitalizacije i reprogramiranja industrije prerade metala, i (3) da se programski utvrdi misija proizvodnog mašinstva za 21. vek.

Skupština grada Beograda i Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije su, svojom finansijskom podrškom, zajedno sa sponzorima iz industrije, omogućili organizovanje ovog savetovanja, na čemu im se organizatori i ovim putem najsrdačnije zahvaljuju, dok se pokroviteljstvo SANU shvata kao podrška naporima za unapređenje nauke i struke u oblasti proizvodnog mašinstva.

U ime organizacionog odbora posebno se zahvaljujem svim domaćim i stranim autorima, kao i članovima recenzentskog tima na izvršenim recenzijama.

6.09.1994., u Beogradu

M. Kalajđić

PREFACE

Major activities of the Department of production engineering and the Institute for production engineering and computer integrated technologies during 1994 are marked by three jubilees: (1) 100th anniversary of the beginning of the high education in production engineering branch at the High Technical School of the Belgrade University, (2) 20th jubilee of the JUPITER-Conference and (3) 25th Production engineering conference.

The first conference of Yugoslav production engineering was initiated by Prof. Dr. Vladimir Solaja and held in Belgrade in 1965. Then the Organization of Yugoslav R&D institutions for production engineering was also founded, which has been operating, under new conditions, for more than three years. This Organization has entrusted the Faculty of Mechanical Engineering - University of Belgrade and the LOLA Institute to organize its 25th conference.

The conference has been organized very ambitiously and three tasks were set: (1) to define the present condition of the research branch in production engineering in the actual well known circumstances, (2) to define and determine the role of the production engineering in the forthcoming period of revival of economy and revitalization and reprogramming of the metal processing industry and (3) to determine the mission of the production engineering in the 21st century.

On behalf of the Organizing Committee I would express particular gratitude to the Ministry of Science and Technology of the Republic of Serbia and the City Assembly of Belgrade, as well as to the sponsors from the industry, which have made this conference possible with their financial support. We also thank the Serbian Academy of Sciences and Arts for their support and desire to promote the science and professionalism in the field of production engineering.

We owe particular credit to the Yugoslav and foreign authors, as well as to the members of the reviewing group, for their performance.

Belgrade 6th September 1994.

M. Kalajdžić

SADRŽAJ

OBRADNI PROCESI I MATERIJALI

1. **Banjac, D., Gojković, D.**
HABANJE I POSTOJANOST KRUŽNIH SAMOBRRTNIH NOŽEVA 1
2. **Gordić, V.**
MAGNETNA OSETLJIVOST I POSTOJANOST REZNOG ALATA 7
3. **Janković, S.**
NEKI PROBLEMI PRI OBRADI POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA 13
4. **Kovač, P.**
TEMPERATURA REZANJA I HABANJE ALATA PRI JEDNOZUBOM
I VIŠEZUBOM GLODANJU 19
5. **Milikić, D., Gostimirović, M.**
UTICAJ REŽIMA OBRADE NA VISINU TEMPERATURA
REZANJA PRI BRUŠENJU 25
6. **Nedić, B., Tadić, B.**
PROMENA TEMPERATURE I OTPORA REZANJA PRI OBRADI BUŠENJEM 31
7. **Radiša, R., Gemaljević, M., Stojković, M.**
INTEGRALNI TRETMAN STRUGOTINE I SREDSTVA ZA HLAĐENJE 39
8. **Radonjić, S., Nikić, Z., Jovanović, B.**
TAJLOROVI IZRAZI PRI OZUBLJENJU PFAUTER GLODALOM 45
9. **Рыков, Э. В.**
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ 51
10. **Sešlić, S.**
FUNKCIJE RASPODELE OTKAZA REZNOG ALATA 57
11. **Stanić, J., Savković, M.**
VEZA IZMEDJU PARAMETARA HRPAVOSTI PRI ZAVRŠNOM
STRUGANJU ČELIKA Č.0361 IZMENLJIVIM PLOČICAMA P-15 63
12. **Šimon, V.**
ODVALNO GLODALO ZA PRETHODNU OBRADU ZUBACA
TOČKA GLOBOIDNOG PUŽASTOG PARA 69
13. **Tanović, Lj., Jovičić, M., Puzović, R.**
POKAZATELJI KVALITETA BRUSNIH PLOČA ZA SEČENJE 77
14. **Vučičević, M., Jovičić, M.**
OBRADLJIVOST VISOKOLEGIRANIH SINTEROVANIH MATERIJALA
PRI ZAVRŠNOJ OBRADI STRUGANJEM 83
15. **Zogović, V., Krivokapić, Z.**
RAŽVOJ INFORMACIONOG MJERNOG SISTEMA ZA ISTRAŽIVANJE
PROCESA OBRADE BUŠENJEM 89

16. **Devedžić, B., Aleksandrović, S.**
UTICAJ NEMONOTONOSTI DVOFAZNIH PROCESA DEFORMISANJA
NA GRANICNU DEFORMABILNOST TANKIH LIMOVA 95
17. **Domazetović, V., Janjić, M.**
ISTRAŽIVANJE STEPENA USAGLAŠENOSTI TEORIJSKIH I
EKSPERIMENTALNIH VRIJEDNOSTI RADNIH PRITISAKA
KOD SLOBODNOG SABIJANJA 101

18.	Domazetović, V., Vukčević, M. MODELIRANJE SLOBODNOG SABIJANJA KRUPNIH CILINDRIČNIH PRIPREMAKA	107
19.	Jevtić, M. B., Miljanić, P., Nikolić, D. REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RAZVOJA ELEKTROMAGNETNOG IMPULSNOG OBLIKOVANJA METALA DEFORMISANJEM	113
20.	Jevtić, M. B., Nikolić, D., Miljanić, P. ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ ELEKTROHIDRAULIČNOG POSTUPKA OBLIKOVANJA METALA DEFORMISANJEM	120
21.	Ljevar, A. ROTACIONI MODEL PLASTIČNE DEFORMACIJE	125
22.	Marinković, V. O ODREĐIVANJU SREDNJE VREDNOSTI KOEFICIJENTA ANIZOTROPIJE I NJEGOVOM UTICAJU NA PROCES DUBOKOG IZVLAČENJA	131
23.	Marinković, T., Marinković, V., Popović, P. ODREĐIVANJE RADNOG PRITISKA PROCESA ISTISKIVANJA SA SVARI- VANJEM CEVI OD ALUMINIJUMSKIH LEGURA U ALATU SA MOSTOM	139
24.	Mitrić, M. PRIMER DUBOKOG IZVLAČENJA MESINGANE ČAURE	145
25.	Mitrić, M. PRILOG ISTRAŽIVANJU PROCESA SUŽAVANJA JEDNODELNIH ALUMINIJUMSKIH AEROSOL DOZA	151
26.	Mitrić, M., Šljivić, M. ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA KONTAKTNOG TRENJA KOD DUBOKOG IZVLAČENJA ALUMINIJUMSKIH I BELIH LIMOVA	159
27.	Plančak, M., Vujović, V., Vilotić, D. NOVI POSTUPCI HLADNOG ISTISKIVANJA	165
28.	Rančić, B., Stoilković, V. FAZE PRI OBLIKOVANJU OSNO-NESIMETRIČNIH DELOVA OD LIMA NESTISLJIVIM FLUIDOM	171
29.	Sredić, N., Zrnić, S., Globočki, G. ODREĐIVANJE POTREBNOG BROJA ŽARNIH BAZA SIMULACIJOM PROCESA ŽARENJA HLADNOVALJANE TRAKE	179
30.	Stefanović, M. ZNAČAJ TRIBOLOŠKIH USLOVA PRI NEPROPORCIONALNOM DEFORMISANJU TANKIH LIMOVA	185
31.	Šljivić, M. RADNE I GRANIČNE NAPONSKE POVRŠINE U PROCESU ISTOSMJERNOG ISTISKIVANJA ČELIKA	191
32.	Todić, T. SELEKCIJA I IZBOR UTICAJNIH FAKTORA NA VEK TRAJANJA ALATA ZA PROSECANJE I PROBIJANJE	197
33.	Vasiljević, V., Stefanović, M. JEDAN PRISTUP FIZIČKOM MODELIRANJU TOPLE OBRADNE DELOVA NEPRAVILNE GEOMETRIJE	203
34.	Vilotić, D., Vujović, V., Plančak, M. ANALIZA UTICAJA GEOMETRIJE PRITISKIVAČA NA DISTRIBUCIJU KONTAKTNIH NAPONA PRI SABIJANJU VALJAKA	209
35.	Vukčević, M. SIMULACIJA PROCESA ZAPREMINSKOG DEFORMISANJA	215
36.	Belić, I. POVEĆANJE KVALITETA OBRADNE DEPOLARIZACIJOM LASERSKOG ZRAKA	221
37.	Dakić, P. ANALIZA PROCESA OBRADNE KOMPOZITNIH MATERIJALA LASEROM	227

38.	Đurić, S., Đordjević, Lj., Milojević, M. NEKA ISKUSTVA U PRIMENI PLATINIRANIH LIMOVA ZA IZRADU ZAVARENIH KONSTRUKCIJA . . . . .	.235
39.	Gerić, K., Sedmak, S., Sedmak, A. ANALIZA HETEROGENOSTI STRUKTURE I MEHANIČKIH OSOBINA ZAVARENIH SPOJEVA MIKROLEGIRANIH ČELIKA . . . . .	.241
40.	Čirić, R., Ječmenica, M. R. TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA UŠTEDA ALATNOG MATERIJALA PRI PROIZVODNJI ZAVOJNIH BURGIJA TEHNOLOGIJOM ZAVARIVANJA . . . . .	.247
41.	Ječmenica, M. R., Milošević, M., Nedić, B. NEKI TEHNO-EKONOMSKI POKAZATELJI OPRAVDANOSTI PRIMENE TEHNOLOGIJE ELEKTRO-EROZIONE OBRADU U MAŠINOGRAĐNJI . . . . .	.255
42.	Komnenić, M., Dumović, M. ODREĐIVANJE PROJEKTNO-TEHNOLOŠKIH PARAMETARA KOD ZAVARENIH CJEVOVODA VELIKOG PREČNIKA . . . . .	.263
43.	Radovanović, M., Janković, Lj., Lazarević, D. UTICAJNI FAKTORI NA KVALITET LASERSKOG SEČENJA . . . . .	.271
44.	Vesić, Z., Đurić, S., Đorđević, Lj., Marković, D. TEHNOEKONOMSKA ANALIZA OPRAVDANOSTI PRIMENE LASERA ZA SEČENJE LIMOVA UMESTO KONVENCIONALNIH METODA OBRADU LIMOVA . . . . .	.277
45.	Vukičević, N. M., Ivanović, Lj. S. SIMULACIJA PROCESA TAČKASTOG ELEKTROTOPNOG ZAVARIVANJA (ANALITIČKI MODEL) . . . . .	.283
46.	Aleksandrović, S. ODREĐIVANJE KRIVIH OJAČANJA, MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA I "n-FAKTORA" TANKIH LIMOVA PRIMENOM KOMPJUTERSKOG SISTEMA ZA AKVIZICIJU . . . . .	.291
47.	Kakaš, D., Mažibrada, Lj., Škorić, B. UTICAJ PLAZMA DEPOZICIJE NA POVEĆANJE OTPORNOSTI NA HABANJE KOD ALATNOG ČELIKA ZA RAD NA HLADNO . . . . .	.297
48.	Lačarac, V. PUZANJE KAO KRITERIJUM PRI IZBORU MATERIJALA . . . . .	.303
49.	Novović, M., Šidčanin, L. UTICAJ MIKROSTRUKTURE NA MEHANIZME LOMA ADI MATERIJALA . . . . .	.309
50.	Škorić, B., Kakaš, D., Mažibrada, Lj. UTICAJ KOMBINOVANIH PLAZMA SLOJEVA NA TRIBOLOŠKE FENOMENE KOD KONSTRUKTIVNOG ČELIKA . . . . .	.315

OPTIMIZACIJA

51.	Arsovski, Z., Arsovski, S., Mirović, Z. RAZVOJ SISTEMA ZA ODLUČIVANJE PRI PROJEKTOVANJU CIM-a . . . . .	.321
52.	Devedžić, G. FUZZY BAZA ZNANJA O ALATIMA U OBRADI BRUŠENJEM . . . . .	.327
53.	Dobranić, M. MRPII KONCEPT INFORMACIONOG SISTEMA U INDUSTRIJSKIM PREDUZECIMA . . . . .	.335
54.	Domazet, D., Manić, M., Trajanović, M., Mišić, D. KONCEPT UNIVERZALNE SOFTVERSKJE PLATFORME ZA RAZVOJ CAPP SISTEMA . . . . .	.343
55.	Marković, D., Đurić, S., Tošković, N. NEKA ISKUSTVA U PRIMENI RAČUNAŖA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE . . . . .	.349
56.	Mečanin, V., Miodragović, G. PRILOG OPTIMIZACIJI OBRADNIH PROCESA U TEŠKOJ MAŠINOGRAĐNJI . . . . .	.357

57.	Papić, Lj., Radojević, Z., Aronov, J. MODEL OČENE KVALITETA TEHNOLOGIJE ODRŽAVANJA TEHNOLOŠKIH SISTEMA U INDUSTRIJI . . . . .	.363
58.	Piljevac, T. CIM CENTAR KOMPETENCIJE LOLA INSTITUTA . . . . .	.369
59.	Pleskonjić, D., Piljevac, T. HETEROGENA RAČUNARSKA MREŽA ZA PODRŠKU CIM OKRUŽENJA LOLA INSTITUTA . . . . .	.375
60.	Radojičić, M., Žižović, M. VREDNOSNO-VREMENSKI PRISTUP IDENTIFIKACIJI ISKORIŠĆENJA MAŠINSKIH KAPACITETA . . . . .	.381
61.	Rogić, M. AUTOMATSKI SISTEMI IDENTIFIKACIJE U MODERNOJ PROIZVODNOJ LOGISTICI . . . . .	.385
62.	Spasić, Ž. CIM - INFORMACIONA INTEGRACIJA PREDUZEĆA: OSNOVA ZA TEHNOLOŠKE I KADROVSKE PROMENE PRIVREDE . . . . .	.391
63.	Stanić, J., Majstorović, V. SIMPLEKSNI METOD OPTIMIZACIJE U USLOVIMA CIRKULACIJE I DOPUNA NEPOTPUNIH SIMPLEKSA . . . . .	.399
64.	Stanić, J., Milivojević, M., Ivković, N. MODELIRANJE I OPTIMIZACIJA REALNIH OBJEKATA ANALITIČKIM PRETRAŽIVAČKIM METODAMA . . . . .	.405
65.	Stanivuković, D., Kecojević, S., Brkić, M., Bekar, I. RAZVOJ MODELA SEGMENTA BAZE PODATAKA MODULA ZA UPRAVLJANJE PROCESIMA ODRŽAVANJA . . . . .	.411
66.	Tadić, B., Nedić, B. JEDNA MOGUĆNOST OPTIMALNOG PLANIRANJA ZALIIHA REZERVNIH DELOVA PROIZVODNE OPREME . . . . .	.419
67.	Zrnić, Đ., Petrović, D. TRANSPORT AND STORAGE SYSTEM OF THE "GUM TRADE HOUSE" IN MOSCOW . . . . .	.425
68.	Drndarević, D. SINTEZA SEKVENCIJALNIH AUTOMATA POMOĆU TABELE UKLJUČIVANJA . . . . .	.431
69.	Gatalo, R., Hodolić, J. TENDENCIJE RAZVOJA SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NU MAŠINA ALATKI I SISTEMA . . . . .	.437
70.	Hodolić, J., Gatalo, R., Zeljković, Ž., Lužanin, O. SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE FT STRUKTURA - PRILOG UPOREDNOJ ANALIZI . . . . .	.445
71.	Nakić, M. STRUKTURNO PROGRAMIRANJE LOLA PROGRAMABILNIH KONTROLERA . . . . .	.453
72.	Stefanović, M., Branković, K. REALIZACIJA SERIJSKE KOMUNIKACIJE I DNC-a NA LOLA300 CNC-u . . . . .	.459
73.	Zarić, S. POUZDANOST LOGIČKIH ELEMENATA . . . . .	.465
74.	Glavonjić, M., Kalajdžić, M. SIMULACIJA PROCESA GLODANJA . . . . .	.471
75.	Miljković, Z. SIMULACIJA RADA INSEKT ROBOTA . . . . .	.477
76.	Pilipović, M., Babić, B. SIMULACIJA U PROJEKTOVANJU FTS-a . . . . .	.483

PROJEKTOVANJE PROZIVODA I TEHNOLOGIJA

77.	Bojović, P., Gemaljević, M., Danojlić, T. RAZVOJ FAMILIJE MODULA B OSE LOLA HORIZONTALNIH OBRADNIH CENTARA	.491
78.	Gemaljević, M., Latinović, I. LOLA KONCEPT MALIH MAŠINA ALATKI ZA OBRADU REZANJEM	.497
79.	Kočović, Z., Gemaljević, M., Bojović, P., Radiša, R. LINEARNO VOĐENJE POKRETNIH MODULA FAMILIJA LOLA OBRADNIH CENTARA	.505
80.	Novaković, D., Gatalo, R., Zeljković, Ž., Rekecki, J. PROJEKTOVANJE KONCEPCIJE NU FT STRUKTURE I NJENIH MODULA U SISTEMU ZA AUTOMATIZOVANO MODULARNO PROJEKTOVANJE FT-STRUKTURA	.511
81.	Popović, P., Temeljovski, D., Perić, Lj. ANALIZA KONCEPCIJSKIH REŠENJA POGOŠKOG SISTEMA ZAVOJNIH PRESA VARIJABILNOG MOMENTA INERCIJE ZAMAJCA	.517
82.	Albijanić, R., Kalajdžić, M., Bošković, V. DINAMIKA OBRADNIH CENTARA	.523
83.	Albijanić, R., Kalajdžić, M. KONCEPT PODSTRUKTURA U PRORAČUNU I EKSPERIMENTALNOJ VERIFIKACIJI ALATNIH MAŠINA	.531
84.	Andrijašević, S. PROJEKTOVANJE HIDRO-PULS SISTEMA U FREKVENTNOM DOMENU	.539
85.	Dragičević, P., Pijevac, T. ANALIZA UTICAJA OBLIKA I TIPRA KONAČNIH ELEMENATA NA TAČNOST REŠENJA PO MKE	.545
86.	Drăgulescu, D., Toth Tascău, M. DYNAMIC STUDY OF A WELDING ROBOT	.553
87.	Đorđević, Lj., Domazet, D., Trajanović, M., Popović, P. PRIMENA METODA KONAČNIH ELEMENATA NA REŠAVANJE PROBLEMA TEMELJA KOVAČKIH MAŠINA	.557
88.	Faur, N. CONSIDERATIONS REGARDING THE STRESS STATE IN THE SHEARING PINS OF THE SAFETY CLUTCHES	.563
89.	Jovičić, J. ANALIZA UTICAJA VITOPERENOSTI NA NAPONSKO-DEFORMACIONO STANJE SPIRALNE BURGJE	.569
90.	Komarica, N. TEMPERATURNI POLJE KAO FUNKCIJA NELINEARNE RASPODELE TEMPERATURE U KONACNIM ELEMENTIMA OBLIKA KUBNE PARABOLE KOD ELEMENATA MAŠINA	.575
91.	Millisavljević, B., Zeljković, M. PRIMENA HOPFOVE BIFURKACIJE NA PROBLEM SAMOPOBUDNIH VIBRACIJA PRI REZANJU	.581
92.	Negut, N., Hluscu, M., Vintilescu, I. STRESSES AND STRAINS IN THE STRENGTH STRUCTURE OF A ROLLING BRIDGE	.589
93.	Pejović, B., Zeljković, M., Gatalo, R. ANALIZA TOPLOTNIH IZVORA KOD SKLOPA GLAVNOG VRETENA MAŠINE ALATKE KAO PODLOGA ZA ANALIZU NJEGOVOG TERMICKOG PONASANJA	.595
94.	Stutz, P., Sava, M. STRESSES OF DIE-PRESSED IRON POWDER — AN APPROACH TO HYPO-ELASTICITY	.603

95.	Vukičević, D., Petković, D., Blagojević, P., Janković, P. ARMIRANO BETONSKA NOSEĆA STRUKTURA PRESE - MATEMATIČKO MODELIRANJE I NAČIN ARMIRANJA . . . . .	.609
96.	Zeljковиć, M., Borojev, Lj., Andrić, J., Rekecki, J., Gatalo, R. ISPITIVANJE OPTERETIVOSTI AUTOMATSKOG INDEKSIRAJUĆEG STOLA . . . . .	.615
97.	Aleksandrović, S. JEDNA MOGUĆNOST PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE I ALATA PRI DUBOKOM IZVLAČENJU LIMOVA PRIMENOM CAD-a . . . . .	.621
98.	Bučan, M., Anđelković, Z., Tripunović, M., Živković, S., Marković, B., Kozarev, Lj. PRILOG RAZVOJU DOMAĆEG SOFTVERA ZA SISTEM AUTOMATSKOG PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE . . . . .	.627
99.	Janković, Lj., Janković, P. PRIMENA SAVREMENIH POSTUPAKA U IZRADI ALATA ZA PROSECANJE I PROBIJANJE . . . . .	.633
100.	Maksimović, R., Dakić, R., Radaković, N. RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE PROSTORNIH STRUKTURA PROIZVODNIH SISTEMA . . . . .	.639
101.	Maneski, T., Milivojević, M. RAZVOJ SOFTWARE-a ZA MODELIRANJE 3-D POVRŠI METODAMA INTERPOLACIJE . . . . .	.645
102.	Rodić, M. MODEL INTEGRALNOG SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO PROJEKTOVANJE PRIBORA . . . . .	.649
103.	Stoiljković, V., Milosavljević, M. 3D LIV - CAD SJSTEM ZA GĒNERISANJE GEOMETRIJSKOG MODELA SLOŽENIH ODLIVAKA . . . . .	.657
104.	Šebo, D., Králiková, R. FORMAL DESCRIPTION OF ENGINEERING PRODUCTS IN THE DESIGN PROCEDURE . . . . .	.663
105.	Todić, V., Banjac, D., Gojković, D., Pejić, V. PODLOGE ZA UVOĐENJE FLEKSIBILNIH AUTOMATIZOVANIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA U PROIZVODNJU ELEKTROMOTORA . . . . .	.671
106.	Vladić, J., Novaković, D., Rodić, M. PRILOG GLOBALNOJ KLASIFIKACIJI I OSNOVNE KARAKTERISTIKE AUTOMATIZOVANIH TRANSPORTNIH SISTEMA U PROIZVODNJI . . . . .	.679
107.	Zelenović, D., Čosić, I., Maksimović, R. O NEKIM EFEKTIMA PRIMENE GRUPNE TEHNOLOGIJE U INDUSTRIJSKIM PROIZVODNIM SISTEMIMA . . . . .	.685

INTELIGENTNI I FLEKSIBILNI TEHNOLOŠKI SISTEMI

108.	Bojanić, P., Babić, A. JEDAN PRISTUP KONKURENTNOM PROJEKTOVANJU U OBLASTI TERETNIH VAGONA . . . . .	.693
109.	Duboka, Č., Arsenić, Ž. SISTEMSKO INŽENJERSTVO U RAZVOJU, PROIZVODNJI I KORIŠĆENJU MAŠINSKIH SISTEMA . . . . .	.701
110.	Čosić, I., Anišić, Z., Maksimović, A. NEKI EFEKTI PRIMENE FLEKSIBILNOG KONCEPTA U PROCESIMA MONTAŽE . . . . .	.709
111.	Šebo, D., Kañuch, P. RELATIONS BETWEEN DESIGN AND MANUFACTURE OF AN ENGINEERING PRODUCT AND ITS MODEL . . . . .	.717

112.	Babić, B., Milačić, V. KONCEPT INTELIGENTNOG EKSPERT SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE FTS	725
113.	Krivokapić, Z., Perović, M. ESTEH - EKSPERT SISTEM ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKOG POSTUPKA OBRAD REZANJEM	731
114.	Putnik, D.G. FORMALNA DEFINICIJA REZNIH ALATA PREKO TEORIJE AUTOMATA	737
115.	Stoljković, V., Veljković, B. EKSPERTNI SISTEM ZA SERVISIRANJE PUMPI	745
116.	Živković, B., Čosić, I., Govedarica, M. PRILOG RAZVOJU EFEKTIVNE STRUKTURE EKSPERTNOG SISTEMA	753

KVALITET

117.	Arsovski, S., Perović, M., Arsovski, Z., Mirović, Z., Lazić, M. MODELIRANJE CILJEVA KVALITETA POMOCU PETRIJEVIH MREŽA	759
118.	Bulatović, M., Perović, M. SISTEM KVALITETA U FUNKCIJI KRITERIJUMA ODRŽAVANJA OPREME	765
119.	Dimitrijević-Marković, Lj. METROLOŠKI SISTEM SRBIJE - FUNKCIJE SISTEMA I NJEGOVA EGZISTENCIJA -	771
120.	Heleta, M., Đapić, M., Lukić, Lj. RAZVOJ FUNKCIJE KVALITETA U LOLA KORPORACIJI	777
121.	Ivanović, J.G., Šofranac, R. METODOLOŠKE OSNOVE OSIGURANJA KVALITETA U PROCESU RAZVOJA NOVOG PROIZVODA	783
122.	Jovičić, S., Todorović, J. SIGURNOST FUNKCIONISANJA ZNAČAJAN ČINILAC KVALITETA	789
123.	Majstorović, V., Stanić, J. SISTEM KVALITETA - STANJE I DALJI RAZVOJ	797
124.	Šofranac, R., Ivanović, J.G., Perović, M., Arsovski, S. PRILOG METODOLOGIJI OCJENE POSTOJEĆEG STANJA SISTEMA KVALITETA U PREDUZEĆU	803
125.	Globočki Lakić, G., Zrnić, S., Sređić, N. OCJENA POUZDANOSTI RAZVODNIKA PÁLJENJA RPS-16E2 NA OSNOVU PRISPJELIH REKLAMACIJA U GARANTNOM ROKU	909
126.	Majstorović, V., PROJEKTOVANJE ZA KVALITET	817
127.	Popović, B., Dimitrić, M., Vukić, B. TAČNOST, PRECIZNOST I STABILNOST PROCESA OBRAD E	825
128.	Rakić, M., Stanić, J. MATEMATIČKO MODELIRANJE OPERACIJE INSPEKCIJE PRIMENOM CENTRALNOG KOMPOZICIONOG PLANA	831
129.	Stojković, S., Majstorović, V. GEOMETRIJSKO MODELIRANJE ZA KVALITET	837
130.	Тараненко, В. А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ	843
131.	Vulaović, V., Vujković, S. PRIMENA "ISHIKAWA" I "AMDEC" METODE PRI REŠAVANJU PROBLEMA KVALITETA	851
132.	Živković, V. UTICAJ NOVIH TEHNOLOGIJA NA KVALITET INDUSTRIJSKOG PROIZVODA	859
133.	Živković, S. RAČUNARSKI PODRŽANA INSPEKCIJA	865

CONTENTS

MANUFACTURING PROCESSES AND MATERIALS

1. **Banjac, D., Gojković, D.**
TOOLWEAR AND TOOL LIFE OF SELF-PROPELLED ROTARY TOOLS 1
2. **Gordić, V.**
MAGNETIC SENSITIVITY AND DURABILITY OF CUTTING TOOLS 7
3. **Janković, S.**
SOME PROBLEMS OCCURRING DURING THE MACHINING OF
FIBRE REINFORCED PLASTICS 13
4. **Kovač, P.**
TEMPERATURE AND WEAR OF SINGLE-TOOTH AND MULTI-TEETH
MILLING CUTTERS 19
5. **Milikić, D., Gostimirović, M.**
EINFLUSS DER STELLGRÖSSEN AUF ZERSPANTEMPERATUREN
BEIM SCHLEIFEN 25
6. **Nedić, B., Tadić, B.**
THE DRILLING PROCESS CUTTING TEMPERATURE AND
RESISTANCE CHANGES 31
7. **Radiša, R., Gemaljević, M., Stojković, M.**
INTEGRAL TREATMENT OF METAL CHIPS AND COOLING AGENTS 39
8. **Radonjić, S., Nikić, Z., Jovanović, B.**
TAYLOR'S EXPRESSIONS FOR TOOTHING BY PFAUTER MILLING 45
9. **Рыжов, Э. В.**
ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ
ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ 51
10. **Sekulić, S.**
DISTRIBUTION FUNCTION OF THE CUTTING-TOOL FAILURE 57
11. **Stanić, J., Savković, M.**
ZUSAMMENHANG ZWISCHEN DEN RAUHPARAMETERN BEI DEM
ENDABZIEHEN VAN STAHL C.0361 DURCH DIE
AUSTAUSCH BAREN PLATTEN P-15 63
12. **Šimon, V.**
HOB FOR PREPROCESSING THE GLOBOIDAL WORM GEAR TEETH 69
13. **Tanović, Lj., Jovičić, M., Puzović, R.**
QUALITY INDICATORS OF GRINDING PLATES FOR CUTTING 77
14. **Vučičević, M., Jovičić, M.,**
PREPARATION OF HIGH ALLOY SINTERED MATERIALS IN THE
FINISHING GRINDING PROCESS PHASE 83
15. **Zogović, V., Krivokapić, Z.**
DEVELOPMENT OF AN INFORMATION MEASURING SYSTEM
FOR DRILLING PROCESS INVESTIGATION 89
16. **Devedžić, B., Aleksandrović, S.**
THE INFLUENCE OF NON MONOTONY OF TWO PHASE FORMING
PROCESSES ON THIN SHEET METALS FORMING LIMIT 95
17. **Domazetović, V., Janjić, M.**
INVESTIGATION OF THE COORDINATION DEGREE BETWEEN
THEORETICAL AND EXPERIMENTAL VALUES OF UPSETTING PRESSURES 101

18.	Domazetović, V., Vukčević, M. FORCE EXAMINATION IN THE PROCESS OF SETTING LARGE CYLINDRICAL BILLETS	107
19.	Jevtić, M. B., Miljanić, P., Nikolić, D. RESEARCH AND DEVELOPMENT RESULTS FOR ELECTROMAGNETIC PULSE METAL FORMING BY DEFORMATION	113
20.	Jevtić, M. B., Nikolić, D., Miljanić, P. RESEARCH AND DEVELOPMENT OF AN ELECTROHYDRAULIC PROCEDURE FOR METAL FORMING BY DEFORMATION	120
21.	Ljevar, A. PLASTIC DEFORMATION ROTARY MODEL	125
22.	Marinković, V. DETERMINATION OF THE MEAN ANISOTROPY COEFFICIENT AND ITS INFLUENCE ON THE DEEP DRAWING PROCESS	131
23.	Marinković, T., Marinković, V., Popović, P. DETERMINATION OF THE WORKING PRESSURE FOR THE EXTRUSION PROCESS WITH THE ALUMINIUM TUBES WELDING IN A BRIDGE TOOL	139
24.	Mitrić, M. BEISPIEL TIEFZIEHENS DER MESSINGHULSE	145
25.	Mitrić, M. BEITRAGE ZUR FORSCHUNG DES VERENGUNGSPROZESSES DER ALUMINIUMAEROSOL DOSEN	151
26.	Mitrić, M., Šljivić, M. BESTIMMEN VON REIBZAHL BEI TIEFZIEHEN VON ALU UND WEISBLECH	159
27.	Plančak, M., Vujović, V., Vilotić, D. SOME NEW ACHIEVEMENTS IN COLD EXTRUSION	165
28.	Rančić, B., Stoiljković, V. FORMING PHASES OF THE AXIALLY-UNSYMMETRIC CUPS FLUID FORMING PROCESS	171
29.	Sredić, N., Zrnić, S., Globočki, G. DETERMINATION OF THE NECESSARY NUMBER OF HEATING BASES BY COLD-ROLLING STRIP HEATING SIMULATION	179
30.	Stefanović, M. THE IMPORTANCE OF TRIBOLOGICAL CONDITIONS IN NON PROPORTIONAL FORMING OF THIN SHEETS	185
31.	Šljivić, M. ARBEITS UND GRENZSPANNUNGSFLÄCHEN BEIM VORWÄRTSKALTFLIESSPRESSEN VON STAHL	191
32.	Todić, T. SELECTION AND CHOICE OF INFLUENTIAL FACTORS ON LIFE OF TOOLS FOR CUTTING AND PUNCHING	197
33.	Vasiljević, V., Stefanović, M. AN APPROACH TO PHYSICAL MODELLING OF HOT MACHINING OF IRREGULARLY SHAPED PARTS	203
34.	Vilotić, D., Vujović, V., Plančak, M. ANALYSIS OF DIE GEOMETRY INFLUENCE ON CONTACT STRESS DISTRIBUTION AT UPSETTING OF CYLINDRICAL SPECIMEN	209
35.	Vukčević, M. METAL FORMING PROCESSES SIMULATION	215
36.	Belić, I. INCREASING THE PROCESSING QUALITY BY LASER BEAM DEPOLARIZATION	221
37.	Dakić, P. ANALYSIS OF LASER BEAM MACHINING PROCESS FOR COMPOSITE MATERIALS	227

38.	Đurić, S., Đordjević, Lj., Milojević, M. ERFAHRUNGEN IN DER ANWENDUNG VON SCHICHTBLECHEN FÜR DIE AUSARBEITUNG VON SCHWEISCONSTRUKTIONEN	.235
39.	Gerić, K., Sedmak, S., Sedmak, A. THE ANALYSIS OF HETEROGENEITY OF STRUCTURE AND MECHANICAL PROPERTIES OF MICRO ALLOY STEEL WELDMENT	.241
40.	Ćirić, R., Ječmenica, M. R. TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS FOR JUSTIFYING THE APPLICATION OF WELDING FRICTION TECHNOLOGY IN SPIRAL DRILLS PRODUCTION	.247
41.	Ječmenica, M. R., Milošević, M., Nedić, B. SOME TECHNO-ECONOMIC INDICATORS FOR JUSTIFYING THE APPLICATION OF ELECTRO-EROSIVE PROCESSING TECHNOLOGY IN MACHINE BUILDING	.255
42.	Komnenić, M., Dumović, M. ERMITTLUNG DER ENTWURF-FERTIGUNGSTECHNISCHEN PARAMETER BEI GESCHWEISSTEN ROHRLEITUNGEN GROSSEN DURCHMESSERS	.263
43.	Radovanović, M., Janković, Lj., Lazarević, D. FACTORS AFFECTING THE LASER CUTTING QUALITY	.271
44.	Vesić, Z., Đurić, S., Đorđević, Lj., Marković, D. TECHNO-ÖKONOMISCHE ANALYSE DER BERECHTIGUNG IN DER ANWENDUNG DER LASER-BLECHSNEIDUNG	.277
45.	Vukičević, N. M., Ivanović, Lj. S. ELECTRICAL RESISTANCE SPOT WELDING PROCESS SIMULATION (ANALYTICAL MODEL)	.283
46.	Aleksandrović, S. DETERMINATION OF STRAIN-HARDENING CURVES MECHANICAL PROPERTIES AND "n-VALUES" OF THIN SHEETS USING A COMPUTER DATA ACQUISITION SYSTEM	.291
47.	Kakaš, D., Mažibrada, Lj., Škorić, B. INFLUENCE OF PLASMA DEPOSITION ON COLD WORKING STEEL WEAR RESISTANCE	.297
48.	Laćarac, V. CREEP AS A CRITERION FOR THE MATERIAL CHOICE	.303
49.	Novović, M., Šidanin, L. THE MICRO STRUCTURE INFLUENCE ON ADI FRACTURE MODE	.309
50.	Škorić, B., Kakaš, D., Mažibrada, Lj. INFLUENCE OF COMPOSITE PLASMA SURFACE LAYERS ON TRIBOLOGICAL PHENOMENA OF HARDENABLE ALLOY STEEL	.315
51.	Arsovski, Z., Arsovski, S., Mirović, Z. DSS DEVELOPMENT FOR CIM SYSTEMS DESIGN	.321
52.	Devedžić, G. FUZZY TOOLING KNOWLEDGE BASE FOR DRILLING	.327
53.	Dobranić, M. MRPII CONCEPT OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE INFORMATION SYSTEM	.335
54.	Domazet, D., Manić, M., Trajanović, M., Mišić, D. PROCESS PLANNING SYSTEMS DEVELOPMENT ENABLING PLATFORM	.343
55.	Marković, D., Đurić, S., Tošković, N. DARSTELLUNG DER RECHNERANWENDUNG FÜR DIE TECHNOLOGIEPROJEKTIERUNG	.349
56.	Mećanin, V., Miodragović, G. CONTRIBUTION TO THE HEAVY MACHINERY MACHINING PROCESS OPTIMIZATION	.357
57.	Papić, Lj., Radojević, Z., Aronov, J. MODEL FOR ESTIMATING THE INDUSTRIAL TECHNOLOGICAL SYSTEMS MAINTENANCE QUALITY	.363
58.	Pijevac, T. LOLA INSTITUTE CIM COMPETENCE CENTER	.369

59.	Pleskonjić, D., Pijevac, T. HETEROGENEOUS COMPUTER NETWORK FOR LOLA INSTITUTE CIM ENVIRONMENT . . . . .	.375
60.	Radojičić, M., Žižović, M. WERTZEITLICHER BETRIEB ZUR IDENTIFIKATION DER AUSNUTZUNG VON MASCHINENKAPAZITÄTEN . . . . .	.381
61.	Rogić, M. AUTOMATISCHE IDENTIFIKATIONSSYSTEME IN MODERNE PRODUCTIONSLOGISTIK . . . . .	.385
62.	Spasić, Ž. CIM - INFORMATIONAL INTEGRATION OF ENTERPRISE: THE BASE FOR TECHNOLOGICAL AND HUMAN RESOURCES CHANGES IN INDUSTRY . . . . .	.391
63.	Stanić, J., Majstorović, V. SIMPLEX METHOD OF OPTIMIZATION UNDER THE CONDITIONS OF CIRCULATION AND ADDITION OF INCOMPLETE SIMPLEXES . . . . .	.399
64.	Stanić, J., Milivojević, M., Ivković, N. A REAL OBJECT MODELLING AND OPTIMIZATION BY MEANS OF ANALYTICAL SCANNING METHODS . . . . .	.405
65.	Stanivuković, D., Kecojević, S., Brkić, M., Beker, I. DEVELOPMENT OF THE DATABASE SEGMENT FOR THE MAINTENANCE MANAGEMENT . . . . .	.411
66.	Tadić, B., Nedić, B. A POSSIBILITY OF OPTIMAL MANUFACTURING EQUIPMENT SPARE PARTS STOCKS PLANNING . . . . .	.419
67.	Zrnić, Đ., Petrović, D. TRANSPORT AND STORAGE SYSTEM OF THE "GUM TRADE HOUSE" IN MOSCOW . . . . .	.425
68.	Drndarević, D. SEQUENTIAL AUTOMATA SYNTHESIS USING A SWITCHING TABLE . . . . .	.431
69.	Gatalo, R., Hodolić, J. DEVELOPMENT TRENDS IN AUTOMATED NC PART PROGRAMMING SYSTEMS FOR NC MACHINE TOOLS AND SYSTEMS . . . . .	.437
70.	Hodolić, J., Gatalo, R., Zeljković, Ž., Lužanin, O. SYSTEMS FOR AUTOMATED FM STRUCTURES - A CONTRIBUTION TO COMPARATIVE ANALYSES . . . . .	.445
71.	Nakić, M. LOLA PLC STRUCTURED PROGRAMMING . . . . .	.453
72.	Stefanović, M., Branković, K. REALIZATION OF A SERIAL COMMUNICATION AND DNC FOR THE LOLA300 CNC . . . . .	.459
73.	Zarić, S. RELIABILITY OF LOGICAL ELEMENTS . . . . .	.465
74.	Glavonjić, M., Kalajdžić, M. SIMULATION OF THE MILLING PROCESS . . . . .	.471
75.	Miljković, Z. SIMULATION OF THE INSECT ROBOT OPERATION . . . . .	.477
76.	Pilipović, M., Babić, B. SIMULATION IN FMS DESIGN . . . . .	.483

DESIGN

77.	Bojović, P., Gemaljević, M., Danojlić, T. DEVELOPMENT OF B-AXIS MODULES FAMILY FOR LOLA HORIZONTAL MACHINING CENTERS . . . . .	.491
78.	Gemaljević, M., Latinović, I. LOLA CONCEPT FOR SMALL CUTTING MACHINE TOOLS . . . . .	.497

79.	Kočović, Z., Gemaljević, M., Bojović, P., Radiša, R. LINEAR GUIDING MOVEMENT MODULES FOR LOLA MACHINING CENTERS	505
80.	Novaković, D., Gatalo, R., Zeljković, Ž., Rekečki, J. CONCEPT DESIGN OF NC FM STRUCTURE AND ITS MODULES IN A SYSTEM FOR AUTOMATED MODULAR DESIGN OF FM STRUCTURES	511
81.	Popović, P., Temeljkovski, D., Perić, Lj. ANALYSIS OF THE CONCEPTUAL SOLUTION OF SCREW PRESSES WITH THE FLYWHEEL INERTIA VARIABLE MOMENT DRIVING MECHANISM	517
82.	Albijanić, R., Kalajdžić, M., Bošković, V. DYNAMICS OF THE MACHINING CENTERS	523
83.	Albijanić, R., Kalajdžić, M. SUBSTRUCTURE CONCEPT IN MACHINE TOOLS CALCULATION AND EXPERIMENTAL VERIFICATION	531
84.	Andrijašević, S. HYDRO-PULSE SYSTEM DESIGN IN THE FREQUENCY DOMAIN	539
85.	Dragičević, P., Pijevac, T. PRESENTATION OF THE INFLUENCE OF SHAPE AND TYPE OF THE ELEMENTS ON THE SOLUTION EXACTNESS ACCORDING TO FEM	545
86.	Drăgulescu, D., Toth Tascău, M. DYNAMIC STUDY OF A WELDING ROBOT	553
87.	Đorđević, Lj., Domazet, D., Trajanović, M., Popović, P. APPLICATION OF THE FINITE ELEMENTS METHODS FOR SOLVING THE FORGING MACHINES FOUNDATION PROBLEMS	557
88.	Faur, N. CONSIDERATIONS REGARDING THE STRESS STATE IN THE SHEARING PINS OF THE SAFETY CLUTCHES	563
89.	Jovičić, J. STRESS-STRAIN ANALYSIS OF THE SPIRAL DRILL	569
90.	Komarica, N. THE TEMPERATURE FIELD AS A FUNCTION OF NON-LINEAR TEMPERATURE DISTRIBUTION WITHIN THE MACHINE PARTS FINITE ELEMENTS HAVING A CUBIC PARABOLA FORM	575
91.	Milislavljević, B., Zeljković, M. APPLICATION OF HOPF BIFURCATION TO THE SELF-EXCITED VIBRATION IN TURNING OPERATION	581
92.	Negut, N., Hluscu, M., Vintilescu, I. STRESSES AND STRAINS IN THE STRENGTH STRUCTURE OF A ROLLING BRIDGE	589
93.	Pejović, B., Zeljković, M., Gatalo, R. ANALYSIS OF THE HEAT SOURCE IN THE MACHINE TOOL MAIN SPINDLE ASSEMBLY AS A PREREQUISITE FOR THE THERMAL BEHAVIOR ANALYSIS	595
94.	Stutz, P., Sava, M. STRESSES OF DIE-PRESSED IRON POWDER — AN APPROACH TO HYPO-ELASTICITY	603
95.	Vukičević, D., Petković, D., Blagojević, P., Janković, P. REINFORCED CONCRETE BEARING STRUCTURES OF METAL FORMING PRESS MACHINES - MATHEMATICAL MODEL AND REINFORCEMENT ASSEMBLY	609
96.	Zeljković, M., Borojev, Lj., Andrić, J., Rekečki, J., Gatalo, R. INVESTIGATION OF AN AUTOMATIC INDEXING TABLE LOAD CARRYING ABILITY	615
97.	Aleksandrović, S. ONE APPROACH TO THE DESIGN OF DEEP DRAWING TECHNOLOGY AND TOOLS BY CAD	621
98.	Bučan, M., Andjelković, Z., Tripunović, M., Živković, S., Marković, B., Kozarev, Lj. EIN BEITRAG ZUR EINHEINISCHEN ENTWICKLUNG VON SOFTWARE FUER RECHNERGESTUETZTES SYSTEM VON DER ARBEITSPLANERSTELLUNG	627

99.	Janković, Lj., Janković, P. APPLICATION OF MODERN PROCEDURES IN BLANKING AND PIERCING DIES PRODUCTION	.633
100.	Maksimović, R., Dakić, R., Radaković, N. PRODUCTION SYSTEM LAYOUT DESIGNING SOFTWARE SYSTEM DEVELOPMENT	.639
101.	Maneski, T., Milivojević, M. SOFTWARE DEVELOPMENT FOR 3-D SURFACES MODELLING BY INTERPOLATION METHODS	.645
102.	Rodić, M. A MODEL OF AN INTEGRAL SYSTEM FOR AUTOMATED FIXTURE DESIGN	.649
103.	Stoiljković, V., Milosavljević, M. 3D LIV - CAD SYSTEM FOR GENERATING THE COMPLEX CASTINGS GEOMETRICAL MODEL	.657
104.	Šebo, D., Králiková, R. FORMAL DESCRIPTION OF ENGINEERING PRODUCTS IN THE DESIGN PROCEDURE	.663
105.	Todić, V., Banjac, D., Gojković, D., Pejić, V. CREATING A BASIS FOR INTRODUCING FLEXIBLE MANUFACTURING STRUCTURES INTO ELECTROMOTORS MANUFACTURING	.671
106.	Vladić, J., Novaković, D., Rodić, M. DIE BEILAGE DER GLOBALEN KLASSEFIKATION UND GRUNDCHARAKTERISTIK VON AUTOMATISIERTEN TRANSPORTSYSTEMEN IN DER PRODUKTION	.679
107.	Zelenović, D., Ćosić, I., Maksimović, R. SOME RESULTS IN APPLYING THE GROUP TECHNOLOGY IN INDUSTRIAL PRODUCTION SYSTEMS	.685

INTELLIGENT AND FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

108.	Bojanić, P., Babić, A. AN APPROACH TO CONCURRENT DESIGN IN THE FREIGHT WAGGON FIELD	.693
109.	Duboka, Č., Arsenić, Ž. SYSTEMS ENGINEERING IN THE DESIGN, MANUFACTURING AND OPERATION OF MECHANICAL SYSTEMS	.701
110.	Ćosić, I., Anišić, Z., Maksimović, A. SOME EFFECTS OF APPLYING A FLEXIBLE CONCEPT TO ASSEMBLY PROCESSES	.709
111.	Šebo, D., Kaňuch, P. RELATIONS BETWEEN DESIGN AND MANUFACTURE OF AN ENGINEERING PRODUCT AND ITS MODEL	.717
112.	Babić, B., Milačić, V. CONCEPT OF AN INTELLIGENT EXPERT SYSTEM FOR FMS DESIGN	.725
113.	Krivokapić, Z., Perović, M. ESTEH - EXPERT SYSTEM FOR PROCESS PLANNING	.731
114.	Putnik, D.G. CUTTING TOOLS FORMAL DEFINITION BY AUTOMATA THEORY	.737
115.	Stoiljković, V., Veljković, B. SP: A PUMP SERVICING EXPERT SYSTEM	.745
116.	Živković, B., Ćosić, I., Govedarica, M. A CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE EXPERT SYSTEM	.753

QUALITY

117.	Arsovski, S., Perović, M., Arsovski, Z., Mirović, Z., Lazić, M. QUALITY GOALS MODELLING USING EXTENDED PETRI NETS	.759
------	---	------

118.	Bulatović, M., Perović, M. QUALITY SYSTEM AS THE EQUIPMENT MAINTENANCE CRITERION . . . . .	.765
119.	Dimitrijević-Marković, Lj. SERBIAN METROLOGY SYSTEM - FUNCTIONS AND ITS EXISTENCE- . . . . .	.771
120.	Heleta, M., Đapić, M., Lukić, Lj. QUALITY FUNCTION DEVELOPMENT AT THE LOLA CORPORATION . . . . .	.777
121.	Ivanović, J.G., Šofranac, R. METHODOLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUR QUALITÄTSSICHERUNG IN PRINZIP DER ENTWICKLUNG EINES NEUEN ERZEUGNISSES . . . . .	.783
122.	Jovičić, S., Todorović, J. DEPENDABILITY - AN IMPORTANT QUALITY COMPONENT . . . . .	.789
123.	Majstorović, V., Stanić, J. QUALITY SYSTEM - STATE OF THE ART . . . . .	.797
124.	Šofranac, R., Ivanović, J.G., Perović, M., Arsovski, S. ANLAGE ZUR METHODOLOGIE DER BEURTEILUNG DES VORHANDENEN ZUSTANDES DER QUALITÄTSSYSTEME IM UNTERNEHMEN . . . . .	.803
125.	Globočki Lakić, G., Zrnić, S., Sredić, N. THE RPS-16E2 IGNITION DISTRIBUTOR'S RELIABILITY EVALUATION ON THE BASIS OF THE COMPLAINTS RECEIVED IN THE WARRANTY PERIOD . . . . .	.909
126.	Majstorović, V., DESIGN FOR QUALITY . . . . .	.817
127.	Popović, B., Dimitrić, M., Vukić, B. PUNCTUALITY, ACCURACY AND STABILITY OF THE PRODUCTION . . . . .	.825
128.	Rakić, M., Stanić, J. MATHEMATICAL MODELLING OF INSPECTION OPERATION APPLYING CENTRAL COMPOSITION PLAN . . . . .	.831
129.	Stojković, S., Majstorović, V. GEOMETRIC MODELLING FOR QUALITY . . . . .	.837
130.	Тараненко, В. А. ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ . . . . .	.843
131.	Vulanović, V., Vujković, S. APPLICATION OF "ISHIKAWA" AND "AMDEC" METHODS IN QUALITY PROBLEMS SOLVING . . . . .	.851
132.	Živković, V. THE INFLUENCE OF NEW TECHNOLOGIES ON THE INDUSTRIAL PRODUCT QUALITY . . . . .	.859
133.	Živković, S. COMPUTER AIDED INSPECTION . . . . .	.865

SPISAK AUTORA LIST OF AUTHORS

- Albijanić, R.
Aleksandrović, S.
Anđelković, Z.
Andrić, J.
Andrijašević, S.
Anišić, Z.
Aronov, J.
Arsenić, Ž.
Arsovski, S.
Arsovski, Z.
- Babić, A.
Babić, B.
Banjac, D.
Beker, I.
Belić, I.
Blagojević, P.
Bošković, V.
Bojanić, P.
Bojović, P.
Borojev, Lj.
Branković, K.
Brkić, M.
Bućan, M.
Bulatović, M.
- Ćirić, R.
Ćosić, I.
- Dakić, P.
Dakić, R.
Danojlić, T.
Devedžić, B.
Devedžić, G.
Dimitrić, M.
Dimitrijević-Marković, Lj.
Dobranić, M.
Domazet, D.
Domazetović, V.
Dragičević, P.
- Drăgulescu, D.
Drndarević, D.
Duboka, Č.
Dumović, M.
- Đapić, M.
Đorđević, Lj.
Đurić, S.
- Gatalo, R.
Gemaljević, M.
Gerić, K.
Glavonjić, M.
Globočki, G.
Gojković, D.
Gordić, V.
Gostimirović, M.
Govedarica, M.
- Faur, N.
- Heleta, M.
Hluscu, M.
Hodilić, J.
- Ivanović, G.
Ivanović, S.
Ivković, N.
- Janjić, M.
Janković, Lj.
Janković, P.
Janković, S.
Ječmenica, R.
Jevtić, M.
Jovanović, B.
Jovičić, M.
Jovičić, S.
Jovičić, J.
- Kakaš, D.
Kalajdžić, M.
Kaňuch, P.
Kecojević, S.
Kočović, Z.
Komarica, N.
Kornenić, M.
Kovač, P.
Kozarev, Lj.
Krālikova, R.
Krivokapić, Z.
- Laćarac, V.
Latinović, I.
Lazarević, D.
Lazić, M.
Lužanin, O.
Lukić, Lj.
Ljevar, A.
- Mažibrada, Lj.
Majstorović, V.
Maksimović, A.
Maksimović, R.
Maneski, T.
Manić, M.
Marinković, T.
Marinković, V.
Marković, B.
Marković, D.
Mečanin, V.
Milačić, V.
Milikić, D.
Milisavljević, B.
Milivojević, M.
Milojević, M.
Milosavljević, M.
Milošević, M.
Miljanić, P.
Miljković, Z.
Miodragović, G.

Mirović, Z.
Mišić, D.
Mitrić, M.

Nakić, M.
Nedić, B.
Negut, N.
Nikić, Z.
Nikolić, D.
Novaković, D.
Novović, M.

Papić, Lj.
Pejić, V.
Pejović, B.
Perić, Lj.
Perović, M.
Petković, D.
Petrović, D.
Pijevac, T.
Pilipović, M.
Plančak, M.
Pleskonjić, D.
Popović, B.
Popović, P.
Putnik, G.
Puzović, R.

Radaković, N.
Radiša, R.
Radojević, Z.
Radojičić, M.
Radonjić, S.
Radovanović, M.
Rakić, M.

Rančić, B.
Rekecki, J.
Rižov, E.
Rodić, M.
Rogić, M.

Sava, M.
Savković, M.
Sedmak, A.
Sedmak, S.
Sekulić, S.
Spasić, Ž.
Sredić, N.
Stanić, J.
Stanivuković, D.
Stefanović, M.
Stojilković, V.
Stojković, M.
Stojković, S.
Stutz, P.

Šebo, D.
Šidanin, L.
Šimon, V.
Škorić, B.
Šljivić, M.
Šofranac, R.

Tadić, B.
Tanović, Lj.
Taranenko, V.
Temeljkovski, D.
Tošković, N.
Todić, T.
Todić, V.

Todorović, J.
Toth-Tascău, M.
Trajanović, M.
Tripunović, M.

Vasiljević, V.
Veljković, B.
Vesić, Z.
Vilotić, D.
Vintilescu, I.
Vladić, J.
Vučićević, M.
Vujković, S.
Vujović, V.
Vukčević, M.
Vukić, B.
Vukićević, D.
Vukićević, V.
Vulanović, V.

Zarić, S.
Zelenović, D.
Zeljковиć, M.
Zeljковиć, Ž.
Zogović, V.
Zrnić, Đ.
Zrnić, S.

Žižović, M.
Živković, B.
Živković, S.
Živković, S.
Živković, V.

Prof. dr JOŽEF REKECKI, dipl. inž.

Profesor Rekecki dr Jozef rođen je 1930. godine u Kanjizi. Po završetku gimnazije u Senti, upisao se na Mašinski fakultet u Beogradu. Diplomirao je 1956. godine. Još kao student se zaposlio u Fabrici alatnih mašina "Potisje" u Adi. Radio je na poslovima konstrukcije, bio je šef konstrukcionog biroa i tehnički direktor fabrike. 1964. god. prelazi u Novi Sad, gde u svojstvu glavnog projektanta, radi u Zavodu za mašine alatke i alate. U isto vreme, kao honorarni nastavnik počinje da predaje na Mašinskom fakultetu u Novom Sadu. Za stalnog predavača za predmet Mašine alatke izabran je 1966. god., a u zvanje vanrednog profesora 1971. god. Doktorsku disertaciju je odbranio 1975. god. na Tehničkom univerzitetu u Budimpešti. Za redovnog profesora na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu izabran je 1977. god. Tokom rada na Fakultetu, obavljao je uspešno niz odgovornih funkcija: rukovodilac razvojnog biroa "IMF-Potisje projekt" pri Institutu mašinskog fakulteta, predsednik Komisije za saradnju sa inostranstvom Mašinskog fakulteta i član istoimene komisije Univerziteta u Novom Sadu, član Komisije za koordinaciju naučne delatnosti SAP Vojvodine, prodekan za naučnoistraživački rad, direktor Instituta Mašinskog fakulteta i direktor Instituta za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka. Bio je dugogodišnji šef Katedre za obradu metala skidanjem strugotine. Osnivač je Laboratorije za mašine alatke, u okviru koje je kreirao i razvio niz predmeta iz oblasti proizvodnog mašinstva. Naučna i stručna delatnost usmerena je na područje projektovanja mašina alatki, automatskog upravljanja mašinama, kao i fleksibilnih tehnoloških sistema. Svojim radom je izuzetno mnogo doprineo ostvarenju trajne sprege između istraživača iz Instituta i konstruktora iz industrije. Kao rezultat takve saradnje, čiji je stručni voditelj bio, projektovan je i eksperimentalno ispitan čitav niz najsavremenijih mašina alatki. Kao utemeljivač i rukovodilac Laboratorije za mašine alatke, veliku pažnju je posvetio formiranju i usavršavanju naučnog i obrazovnog kadra. Pod stručnim rukovodstvom Prof. Rekeckog diplomirao je veliki broj inženjera i bio je mentor većem broju magistranata i doktoranata. Objavio je značajan broj naučnih radova u zemlji i inostranstvu, nekoliko udžbenika i naučnih publikacija.

Pored niza društvenih aktivnosti koje je obavljao, posebno je značajan njegov doprinos u osnivanju i organizovanju takmičenja metalnih radnika Jugoslavije, aktivno učešće na Savetovanjima proizvodnog mašinstva, kao i članstvo u Zajednici jugoslovenskih naučnoistraživačkih institucija proizvodnog mašinstva, u svojstvu predstavnika Instituta za proizvodno mašinstvo Fakulteta tehničkih nauka iz Novog Sada. Za svoj dosadašnji rad odlikovan je Ordenom rada sa srebrnim vencem. Nosilac je Plakete "Boris Kidrič" i Plakete Fakulteta tehničkih nauka. Dobitnik je nagrade oslobođenja Vojvodine.

Odlaskom u penziju, 1990., je samo formalno prestao radni vek Prof. Rekeckog. On je i danas dragocen savetnik i konsultant svim mladjim kadrovima i skoro svakodnevni učesnik u naučnom i stručnom radu na Fakultetu, Institutu i njegovoj Laboratoriji za mašine alatke.



Prof. dr SAVA SEKULIĆ, dipl. inž.



Dr Sava St. Sekulić, dipl. inž., redovni profesor Fakulteta tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu, rođen je 1931. godine u Futogu (opština Novi Sad). Srednju tehničku školu u Novom Sadu završio je 1949. godine u Novom Sadu. Diplomirao je na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Beogradu, 1956. godine. Doktorsku disertaciju odbranio je na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, 1977. godine. Od 1956. do 1962. godine bio je zaposlen u "27. martu" i "Jugoalatu" u Novom Sadu u svojstvu: konstruktora, tehnologa i konstruktora pribora i alata, šef tehnološkog biroa u odeljenju za razvoj, inženjer za ispitivanje režima obrade pri obradi rezanjem.

Na Mašinski fakultet Univerziteta u Novom Sadu, prelazi 1962. godine. Za asistenta je izabran 1961. godine. U zvanje docenta habilitovan je 1965. godine. Za vanrednog profesora izabran je 1971. godine, a za redovnog profesora 1978. godine. U svojstvu asistenta držao je vežbanja iz sledećih predmeta: Mašinska obrada I, Mašinska obrada II, Tehnološki sistemi, Tehnološki pribori i proverci. Od 1965. do 1981. godine držao je predavanja iz Mašinske obrade rezanjem. Uveo je nove nastavne predmete: Rezanje metala i Specijalne postupke obrade, koje je i predavao. Dve školske godine predavao je Obradu metala deformacijom. Držao je nastavu na posle diplomskim studijama na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu, na smerovima Obrada metala skidanjem strugotine i Proizvodni sistemi, na Mašinskom odseku FTN-a i na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu i Mostaru. Bio je šef Katedre za obradu metala skidanjem strugotine duži niz godina.

Boravio je na devetomesečnoj specijalizaciji u SSSR-u ("Mosetankin", Moskva). Bio je na studijskim putovanjima u SAD (1960. godine), SSSR (1975.), i SR Nemačka (1978.).

Sa Instituta za proizvodno mašinstvo prelazi na Institut za industrijske sisteme 1981. godine gde predaje predmete: Osnovi radnih postupaka i Eksploatacija mašina alati.

Prof. Sekulić je napisao četiri monografije i jednu skriptu. Objavio je ukupne 140 radova (107 u zemlji i 33 u inostranstvu u jedanaest zemalja). Učestvovao je na velikom broju naučnih i stručnih skupova u zemlji i inostranstvu (SAD, Velika Britanija, SR Nemačka, Bugarska, Čehoslovačka, Mađarska, Švajcarska, SSSR, Japan, Kina).

Na Mašinskom fakultetu, odnosno Fakultetu tehničkih nauka, obavljao je niz funkcija. Nosilac je većeg broja projekata koje su finansirali društveni organi i/ili industrija.

Član je više naučnih i stručnih asocijacija u zemlji i inostranstvu, aktivan je član Jugoslovenske zajednice institucija proizvodnog mašinstva. Bio je Počasni podpredsednik Društva alatničara SFRJ, Podpredsednik Jugoslovenskog komiteta za tribologiju, član je Odbora međunarodne fondacije za proizvodna istraživanja IFPR (Board member, International Foundation for Production Research, Blacksburg, Virginia, USA).

Celokupni stručni i naučni rad Prof. Sekulića odvija se u području proizvodnog mašinstva, posebno u mašinskoj obradi rezanjem.

Prof. dr JOKO STANIĆ, dipl.inž.

Dr Joko Stanić, dipl. inž., redovni profesor Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu, rođen je 1930. god. u selu Barama, Republika Crna Gora, gde je završio osnovnu školu, nižu gimnaziju u Beogradu i Herceg Novom, a srednju tehničku školu u Knjaževcu. Od 1952. do 1955. god. radio je u STŠ u Boru. Studije na Mašinskom fakultetu u Beogradu upisao je školske 1955/56. god., a diplomirao je krajem 1960. Na Mašinskom fakultetu, Univerziteta u Beogradu je u radnom odnosu od početka 1961. god., kada je izabran u zvanje asistenta., 1968. u zvanje docenta, 1975. u zvanje vanrednog profesora, a 1980. god. za redovnog profesora za grupu predmeta iz proizvodnog mašinstva. Poslediplomske studije završio je 1966. na Mašinskom fakultetu u Beogradu, a doktorsku disertaciju je odbranio na istom fakultetu 1974.



U proteklom 34-godišnjem periodu bio je veoma aktivan na nastavnom, naučno-istraživačkom i društvenom polju rada. Izvodio je nastavu na redovnim i vanrednim studijama, na Mašinskom fakultetu u Beogradu, centrima za vanredne studije i odeljenjima Mašinskog fakulteta (a povremeno i na Mašinskom fakultetu u Titogradu) iz sledećih nastavnih disciplina: Mašinska obrada, Tehnološki pribori i provera, Tehnologija mašinogradnje, Merenje i kvalitet obrade, Tehnološki merni sistemi, Upravljanje kvalitetom proizvodnje. Bio je angažovan na izvođenju poslediplomske nastave iz sledećih predmeta: Metod inženjerskih merenja, Nauka o rezanju i Osnove tehnookonomske optimizacije (MF Beograd); Uvod u teoriju optimizacije procesa, Kvalitet i pouzdanosti i Automatizacija procesa merenja (FTN Novi Sad); metod naučnoistraživačkog rada i planiranje eksperimenata i Kvalimetrija (MF Niš); Osnove tehnookonomske optimizacije (MF Skoplje); Osnove tehnookonomske optimizacije i Teorija mernih lanaca (specijalističke studije, Trstenik). Za potrebe nastave objavio je veliki broj udžbenika i priručnika, a učestvovao je u izradi nekoliko udžbenika za srednje škole, ukupan broj izdanja je preko 50 (prva, ponovljena, dopunjena i preradjena).

Svoju vrlo bogatu naučnoistraživačku delatnost obavljao je preko Zavoda za mašine alatke Mašinskog fakulteta, Instituta za alatne mašine i alate (IAMA) u Beogradu i Instituta za proizvodno mašinstvo i CIM Mašinskog fakulteta u Beogradu. Pri tome je izvodio i rukovodio istraživanjima u okviru velikog broja naučnoistraživačkih projekata, koje su finansirale privredne organizacije i društveni fondovi. Kao rezultat te aktivnosti su preko 200 objavljenih radova u zemlji i inostranstvu, preko 50 elaborata i drugih radova ograničene cirkulacije. Sa svojim radovima učestvovao je na većini Savetovanja Proizvodnog mašinstva, kao i JUPITER konferencija. Rukovodio je izradom velikog broja diplomskih, magistarskih i doktorskih radova (preko 100 diplomskih, 25 magistarskih i 10 doktorskih).

Aktivno je učestvovao u društvenom radu, društveno-političkim organizacijama, organima upravljanja Fakulteta i Univerziteta, bio je prodekan za nastavu Mašinskog fakulteta, predsednik Izvršnog odbora Saveta Maskog fakulteta, šef Katedre za proizvodno mašinstvo, član Redakcionog odbora "Saopštenja" Mašinskog fakulteta u Beogradu. Za dugogodišnji veoma uspešan stručni, naučni i društveni rad odlikovan je Ordenom rada sa srebrnim vencem.

Prof. dr VLADO VUJOVIĆ, dipl.inž.



Rodjen 1930.god. u selu Progorelici kod Kraljeva. Industrijsku školu i srednje mašinsku školu završio je u Kraljevu pri Fabrici vagona. Mašinski fakultet u Beogradu upisao je 1952.god. i diplomirao prvi u generaciji početkom 1958.god. Kao student proveo je tri meseca u Zapadnoj Nemačkoj na praksi preko IAST-a. U Fabrici vagona u Kraljevu proveo je šest godina. Od 1959. do 1966.god. radi u Osijeku u Osiječkoj ljevaonici željeza i tvornici strojeva kao šef tehničke pripreme, direktor razvojno-istraživačkog centra i tehnički direktor. Od 1966. do 1971.god. radi u Zagrebu u Institutu za alatne strojeve, prvo u svojstvu višeg asistenta, a zatim u svojstvu naučnog saradnika za područje obrade metalnih materijala plastičnom deformacijom. U Zagrebu na strojo-brodogradjevnom fakultetu završava poslediplomske studije i magistrira 1970.god. iz područja Plastične obrade metala. Na mašinskom fakultetu u

Novom Sadu izabran je za docenta 1971.god. za predmet "Obrada deformisanjem". Doktorsku disertaciju je odbranio na Univerzitetu u Novom Sadu, 1976.god. Od 1982.god. je u zvanju redovnog profesora za područje Tehnologije plastičnosti. U Novom Sadu je oformio Laboratoriju za tehnologiju plastičnosti sa značajnom opremom i kadrovskim potencijalom. Oformio je šest nastavnih predmeta iz područja tehnologije plastičnosti, posebnu izbornu grupu u nastavnom planu za ovo područje i poseban smer poslediplomskih studija za oblast Tehnologije plastičnosti. Objavio je u zemlji i inostranstvu preko sto naučnih i stručnih radova. Napisao je tri knjige od toga je jedna monografija pod naslovom "Deformabilnost", koja je prevedena i na engleski jezik. Rukovodio je zajedničkim Američko-jugoslovenskim naučnoistraživačkim projektom u trajanju od osam godina. Posebno je ispoljio aktivnosti na savetovanjima proizvodnog mašinstva Jugoslavije na kojima je redovno učestvovao, dva puta je pisao uvodne referate za svoje područje (Kragujevac, B. Luka). Učestvovao je na međunarodnim naučnim konferencijama u Kairu, Stuttgartu, Bratislavi, Gör-y-Madjarska, Kyoto-Japan i dr. Studijske boravke je realizovao u Z.Nemačkoj, Švajcarskoj, Francuskoj, Holandiji, Rusiji, Engleskoj i USA. Govori nemački, engleski i ruski jezik, a služi se i francuskim.

Rukovodio je brojnim naučnoistraživačkim projektima i projektima u vezi transfera znanja, odnosno saradnje sa privredom. Preko dvadeset godina angažovan je na problematici ponašanja metalnih materijala pri plastičnom deformisanju i izučavanja potencijala deformabilnosti materijala i uslova za njegovo ispoljavanje i njegovi radovi iz ove oblasti su zapaženi i cenjeni u svetskoj stručnoj javnosti. U okviru jugoslovenske naučno-stručne grupe za obradu deformisanjem, pokrenuo je i oformio 1975.god. prvo Jugoslovenski časopis za obradu defomisanjem, koji je zatim transformisanjem prerastao u Međunarodni časopis pod nazivom "Technology of Plasticity", koji izlazi na engleskom jeziku. Ovaj časopis koji finansira Ministarstvo za nauku Republike Srbije kao časopis prve kategorije, ulazi u devetnaestu godinu izlazenja.

Proizvodno mašinstvo, Tehnologija plastičnosti i Deformabilnost metalnih materijala su osnovne preokupacije Prof. Vujovića, kojima je posvetio preko 30 godina svog radnog veka.

OBRADNI PROCESI I MATERIJALI

Obrada metala rezanjem
Obrada metala plastičnim deformisanjem
Nekonvencionalne i druge metode obrade
Novi konstrukcioni i alatni materijali

MANUFACTURING PROCESSES AND MATERIALS

Cutting Processes
Forming Processes
Nontraditional Machining
New Materials

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Banjac, D. Gojković, D. *

HABANJE I POSTOJANOST KRUŽNIH SAMOOBRTNIH NOŽEVA

Rezime

Obradu struganjem kružnim samoobrotnim noževima (KSON) karakteriše niz specifičnosti u odnosu na konvencionalnu obradu standardnim alatima, koje su određene posebnom kinematikom rezanja i konstrukcijom alata. Istraživanja pokazuju da se pri tome u određenim uslovima mogu ostvariti povoljni tehnoeкономski efekti, prvenstveno zbog mogućnosti povećanja postojanosti alata i režima rezanja.

Navedeno je uslovalo realizaciju istraživanja habanja i postojanosti alata, čiji se deo rezultata iznosi u ovom radu.

1. UVOD

Rezultati teorijskih i eksperimentalnih istraživanja procesa obrade sa alatima sa kružnim obrtnim reznim pločicama dokazuju, u poređenju sa konvencionalnom obradom, niz specifičnosti u pogledu karakteristika i funkcija stanja procesa i značajne mogućnosti povišenja tehnoeкономskih efekata pri obradi [1,2,3,5,6,7,8,10,11]. Te mogućnosti posebno dolaze do izražaja pri obradi obradaka velikih kontinualnih površina i teškoobradljivih materijala, zahvaljujući prvenstveno posebnoj konstrukciji alata i povoljnijoj kinematici rezanja [1,3,10].

U slučaju obrade sa kružnim samoobrotnim noževima (KSON) istraženo je i primenjuje se više varijanti konstrukcija alata, sa odgovarajućim različitim kinematskim šemama rezanja [6,7]. Uzimajući u obzir obim rezultata istraživanja i širinu praktične primene varijanti KSON, s jedne strane, i utvrđene potrebe nekih domaćih preduzeća, s druge strane, u istraživanjima koja se vrše u Institutu za proizvodno mašinstvo u Novom Sadu, usvojena je i primenjena I šema rezanja [1,7], gde je statička grudna površina kružne rezne pločice istovremeno i grudna površina KSON [1,2]. Zbog toga je razvijena, ispitana i u istraživanjima primenjena i odgovarajuća sopstvena konstrukcija držača kružne rezne pločice sa kotrljajućim (igličastim) uležištenjem.

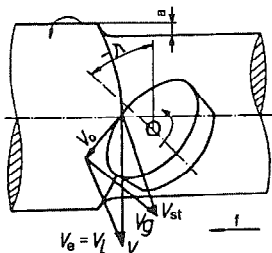
Na osnovu analize literaturnih informacija i rezultata sopstvenih istraživanja [1,2] u osnovi su pouzdano teorijski i eksperimentalno identifikovane karakteristike i funkcije stanja procesa obrade struganjem sa KSON (konstrukcija alata, kinematika rezanja, tačnost i kvalitet obrađene površine, sile i temperature rezanja, habanje i postojanost alata), i dokazane mogućnosti ostvarivanja navedenih proizvodnih tehnoeкономskih efekata u određenim uslovima. Jedan od najznačajnijih delova tih istraživanja, teorijskih i eksperimentalnih, koja se odnose na identifikaciju procesa habanja i postojanosti alata, pri obradi nekoliko standardnih konstrukcionih materijala sa navedenim alatima sa reznim pločicama od tvrdog metala, iznosi se ukratko u ovom radu.

*) Banjac mr Dragan, predavač, Gojković Donka, asistent-pripravnik, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, V. Perića Valtera 2

2. POLAZNE TEORIJSKE I EKSPERIMENTALNE OSNOVE PROCESA HABANJA KSON

Za planiranje, pripremu i realizaciju eksperimentalnih istraživanja habanja i postojanosti reznih pločica KSON pri obradi struganjem izvršena je detaljna analiza širokog spektra literaturnih informacija i rezultata sopstvenih istraživanja karakteristika i funkcija stanja procesa, i na osnovu toga utvrđene osnovne teorijske postavke za određivanje karaktera, oblika i procesa habanja i postojanosti alata. Pri tome značajno mesto zauzima poređenje sa procesom struganja standardnim prizmatičnim noževima.

Osnovu za kvalitativnu i kvantitativnu identifikaciju procesa habanja i postojanosti alata predstavlja analiza specifične konstrukcije i geometrije alata i utvrđene složene povoljnije kinematike rezanja [1,3,8,10] (slika 1).



Slika 1. Kinematska šema rezanja

rezanja (v_1), brzine relativnog kretanja između grudne površine i strugotine (v_2), i brzine strugotine (v_{st}). Istovremeno dolazi do značajne promene kinematske rezne geometrije u odnosu na statičku, tj. za prikazani slučaj istosmernog rezanja ($-\lambda$) kinematski grudni ugao je bitno manji a kinematski ledni ugao bitno veći u odnosu na odgovarajuće statičke vrednosti.

Sve navedeno omogućava da se konstatuju sledeće bitne razlike u odnosu na konvencionalno rezanje neobrotnim alatima:

- povećava se aktivna dužina sečiva (jednaka je obimu kružne rezne pločice), pri čemu je periodično u zahvatu njen mali deo, dok se ostali u praznom hodu hladi,
- pojedine tačke sečiva vrše višestruko manji put rezanja,
- relativne brzine klizanja na kontaktnim površinama se smanjuju, što omogućava smanjenje rada trenja,
- efektivna brzina rezanja (v_e) je manja od brzine glavnog kretanja (v),
- nema koncentrisanog habanja, habanje po obimu sečiva je ravnomerno,
- moguće je efikasnije hlađenje i podmazivanje sečiva,
- značajno su niže snage i temperature rezanja,
- veliki prečnici reznih pločica uslovljavaju relativno bitno veće vrednosti otpora prodiranja, što uz ugradnju uležištenja predstavlja dopunsku osetljivost na pojavu vibracija,
- sečivo je izloženo periodičnim mehaničkim i termičkim naprezanjima, što svakako određuje karakter i oblik habanja alata,
- s obzirom na smanjeni intezitet habanja i sklonost procesa vibracijama očigledno je da za utvrđivanje postojanosti treba primenjivati tehnološke kriterijume.

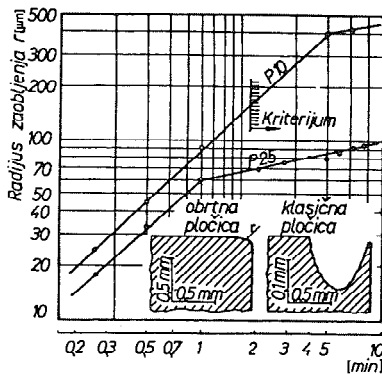
Sve navedeno upućuje na zaključivanje o mogućem velikom povećanju postojanosti, zbog smanjenja inteziteta habanja i povećanja aktivne dužine sečiva i smanjenja puta rezanja pojedinih tačaka sečiva u odnosu na neobrtne alate. Uz pretpostavku da je $v_o = v \cdot \sin \lambda$, ($K = 1$) može se za iste uslove obrade izvesti obrazac za odnos postojanosti KSON u odnosu na prizmatični nož oblika [11]:

$$T = \frac{h}{a \cdot v} \cdot \frac{2\pi}{(f/2R_0) + \cos\lambda \sqrt{(2a/R_0) + (a/r)^2 (\operatorname{tg}^2\lambda - 1)}} \quad (1)$$

gde su:

R_0 - poluprečnik rezne pločice h- kriterijum habanja
 r - poluprečnik obradene površine a- intezitet habanja

U prilog navedenim konstatacijama može se navesti i značajan broj eksperimentalnih potvrda, pri čemu treba naglasiti da se u svim ispitivanim slučajevima dobijala višestruko veća postojanost KSON u odnosu na standardne noževe [3,4,5,6,7,8,10], posebno izraženo kod teškoobradljivih materijala.



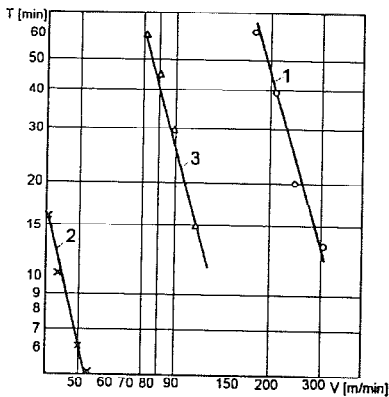
Slika 2. Habanja KSON [10]

Iako većina autora kao merodavan parametar habanja pri utvrđivanju postojanosti KSON navodi širinu pojasa habanja na lednoj površini [9], mali broj njih govori o obliku i karakteru habanja [6,10], mada navedena analiza upućuje na moguće specifičnosti i razlike u odnosu na konvencionalno rezanje.

Kao ilustracija se navode rezultati ispitivanja oblika i procesa habanja pri obradi čelika za poboljšanje Ck 45N sa reznom pločicom od tvrdog metala prečnika 55mm, pri $\lambda=30^\circ$ [10] (slika 2). Kao što se vidi, za razliku od obrade standardnim nožem, kod koje se javlja krater na grudnoj površini, autor dokazuje da se habanje javlja usled termocikličnih naprezanja sečiva i manifestuje u obliku zaobljenja sečiva, usled

nastajanja mikroprslina, riseva i krzanja sečiva.

Slični rezultati su dobijeni i pri obradi teškoobradljivih materijala [6].



Slika 3. Zavisnost postojanosti od brzine rezanja:

1- KSON 2- neobrtne kružne pločice
 3- prizmatični nož

U uslovima zadovoljavajuće dinamičke stabilnosti procesa obrade sa KSON, kao što je rečeno, smanjuje se intezitet ravnomernog habanja po celokupnom obimu kružnog sečiva, pri čemu se ostvaruju višestruko veće postojanosti alata, tim veće što je veća vrednost λ (slika 1). Tako npr. eksperimentalnim ispitivanjima postojanosti pri struganju čelika 1X17H2 sa KSON II šeme rezanja [8], dobijene su, za racionalnu vrednost ugla nagiba sečiva λ , višestruko veće postojanosti samoobrtne rezne pločice u odnosu na prizmatični i neobrtne kružni nož od istog tvrdog metala P10 (slika 3). Efekti KSON se ovde povećavaju sa povećanjem λ , odnosno brzine v_0 .

Na osnovu svega prezentiranog i potrebe da se proces struganja sa KSON dovede do uslova efikasne praktične primene, pripremljena su i realizovana šira eksperimentalna istraživanja habanja i postojanosti alata pri obradi više konstrukcionih materijala.

3. USLOVI I REZULTATI EKSPERIMENTA

Polazeći od utvrđenog matematičkog modela funkcije postojanosti alata, eksperimentalna istraživanja modela habanja i postojanosti alata realizovana su na bazi jednofaktornih i višefaktornih planova eksperimenata, pri čemu su ulazni uticajni parametri utvrđeni i uzeti u obzir na bazi prethodno izložene teorijske analize. Kao osnovni faktori koji određuju habanje i postojanost uzeti su režimi rezanja, ugao nagiba sečiva λ , prečnik rezne pločice i njena rezna geometrija, kao i uticaj sredstva za hlađenje i podmazivanje.

U radu se od ukupnih rezultata iznose samo karakteristični, koji predstavljaju jasnu verifikaciju iznetih teorijskih postavki. Prikazaće se deo rezultata dobijenih pri završnoj obradi čelika Č.4732 u normalizovanom stanju, i sivog liva SL 26, uz primenu razvijenog sopstvenog držača alata i specifične konstrukcije dvostrane kružne rezne pločice od tvrdog metala P10, odnosno K10. Prečnik reznih pločica bio je 35 mm, a uglovi oštrenja sečiva $\gamma=18^\circ$ i $\alpha=0^\circ$, što obezbeđuje odgovarajuće statičke uglove KSON $\gamma_N=13^\circ$ i $\alpha_N=5^\circ$, postavljanjem sečiva pločice ispod ose obratka za vrednost od 8 mm [1,2]. Tačnost kretanja kružnog sečiva na KSON bila je u okviru povećanog bacanja od 0.02÷0.05 mm.

Eksperimenti su realizovani, uz korišćenje dovoljno krutih pribora, na univerzalnim strugovima "POTISJE-MORANDO", Ada (PA-45 pri obradi Č.4732, PA-30 pri obradi SL 26).

Merenje parametara habanja na grudnoj i lednoj površini vršeno je lupom i radioničkim mikroskopom, a preciznija kontrola oblika habanja na profilografu FORM TALYSURF, Taylor Hobson. Istovremeno sa habanjem merene su i druge bitne veličine, kao što su: brzina samoobrtnja i hrapavost obrađene površine, uz praćenje oscilatornih pojava.

Vrednosti ulaznih parametara, posebno režima rezanja i ugla nagiba sečiva λ , definisane u matricama planova eksperimenata, utvrđene su za završnu obradu na osnovu preporuka za date parove materijala obradaka i alata, kao i na osnovu mogućnosti njihove realizacije na izabranim strugovima.

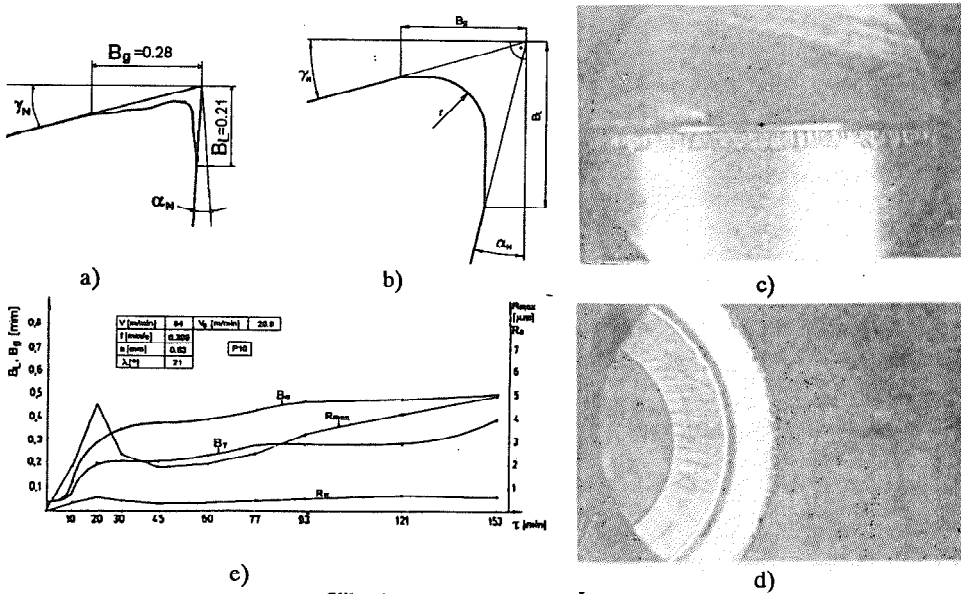
Pri obradi čelika Č.4732 za svaku eksperimentalnu tačku praćen je i meren model habanja sečiva alata (oblik i parametri habanja), definisane vremenske krive habanja i hrapavosti obrađene površine, i na osnovu tehnoloških kriterijuma definisane postojanosti alata. U svakoj eksperimentalnoj tački rezanje je vršeno do istovremene pojave vibracija, naglog porasta habanja i hrapavosti obrađene površine. Kao karakterističan reprezentan primer prikazuje se dobijeni rezultat za jednu eksperimentalnu tačku (v,f,a, λ), pri najmanjoj primenjenoj brzini rezanja (slika 4).

Kao što se vidi, dobijeni rezultati potvrđuju iznete teorijske postavke u pogledu oblika i karaktera habanja, smanjenja inteziteta habanja i povećanja postojanosti alata. Početno malo trošenje sečiva (slika 4a) u toku rezanja vrlo sporo raste i dobija karakterističan oblik zaobljenja (slika 4b), kao rezultat stvaranja mikropukotina i riseva i krzanja sečiva. Tek pri kraju vremena postojanosti alata dolazi do naglog trošenja sečiva uz pojavu vibracija (slika 4c i 4d). To potvrđuje neophodnost da se kao kriterijum habanja primeni tehnološki kriterijum (iz porasta hrapavosti i amplituda oscilovanja, odnosno habanja alata).

Eksperimenti pri obradi sivog liva SL 26 u osnovi daju iste kvalitativne rezultate (slika 5), kao i kod obrade čelika.

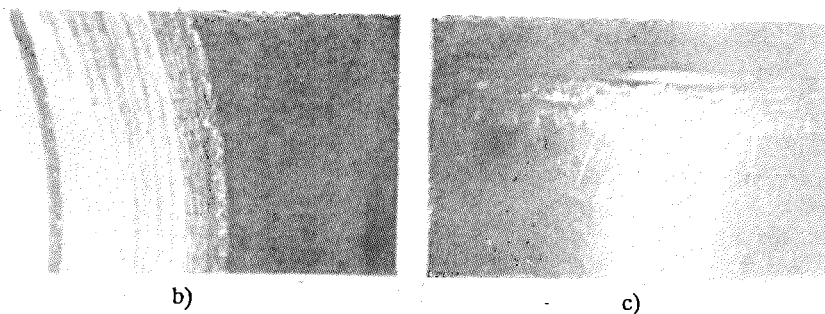
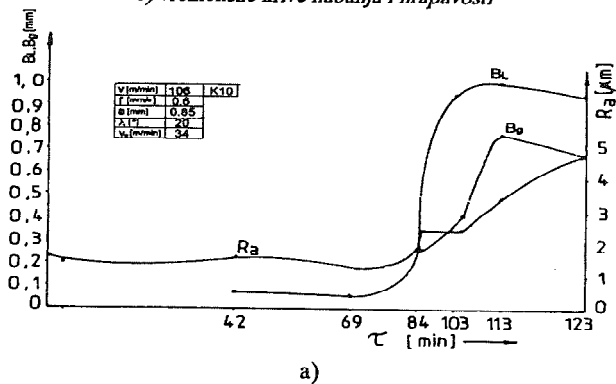
Primer je karakterističan i po tome jer pokazuje nagli porast habanja i hrapavosti obrađene površine u trenutku nastajanja vibracija (zbog povećanih zazora u uležištenju i porasta sila rezanja) pri $\tau=83$ min, što takođe ilustruju i snimci grudne i ledne površine alata (slika 5b i 5c).

Na osnovu izloženih karakterističnih primera rezultata eksperimentalnog ispitivanja habanja, potvrđen je oblik habanja u vidu zaobljenja, pri čemu se kao merodavan parametar habanja - zaobljenja sečiva, može usvojiti širina habanja na lednoj površini (B_L). Kao osnovni faktor habanja javlja se razaranje-krzanje sečiva usled periodičnih termičkih i mehaničkih opterećenja.



Slika 4. Habanje pri obradi Č.4732

- a) početni oblik habanja posle 10 min rezanja c) izgled pohabane ledne površine sečiva
 b) oblik habanja između 60 i 150 min rezanja d) izgled pohabane grudne površine sečiva
 e) vremenske krive habanja i hrapavosti



Slika 5. Habanje SL 26

- a) vremenske krive b) izgled grudne površine c) izgled ledne površine

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu iznetog može se kao karakteristično zaključiti:

1. Pri obradi struganjem sa KSON, pri dinamički stabilnom procesu, ostvaruju se bitno veće postojanosti alata u odnosu na konvencionalno rezanje, prvenstveno zbog smanjenog inteziteta habanja i veće aktivne dužine sečiva.
2. Osnovni oblik krive habanja definiše trošenje-krzanje sečiva, što takode upućuje na dalje napore za poboljšanje procesa, prvenstveno putem povećanja tačnosti uležištenja i krutosti obradnog sistema.

5. LITERATURA

- [1] BANJAC, D., Brzina obrtanja kružne rezne pločice pri struganju samoobrotnim noževima, *Zbornik radova 22. savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije*, Ohrid, 1989.
- [2] BANJAC, D., Hrapavost obrađene površine pri struganju kružnim samoobrotnim noževima, *Zbornik radova IV naučno-stručnog skupa MMA'90*, Novi Sad, 1990.
- [3] BOBROV, V.F., IERUSALIMSKIJ, D.E., Rezanje metalov samovraščajušćimisja rezcami, *Mašinstroenie*, Moskva, 1972
- [4] BRUNO, A., Impiego di un utensile rotante in alcune lavorazioni di tornitura, *Macchine*, N°11, 1974.
- [5] CHEN, P., HOSHI, T., Characteristic of Self-Propelleed Rotary Tools in Machining High-Performance Materials, *Int. J. Japan Soc. Prec. Eng.*, Vol.25. N°4, 1991.
- [6] JAŠČERICIN, P.I., BORISENKO, A.V., DRIVOTTN, I.G., LEBEDEV, V.J., Rotacionnoe rezanie materialov, Minsk, 1987.
- [7] KOMANDURI, A., FLOM, D.G., LEE, M., Highlights of the DARPA Advanced Machining Research Program, *Journal of Engineering for Industry*, N°4, 1985.
- [8] KONOVALOV, E.G., SIDORENKO, V.A., SOUS, A.V., Progresinnye shemi rotacionnogo rezanija mctallov, Minsk, 1972.
- [9] STANIĆ, J., Teorija obrade metala I, Beograd, 1986.
- [10] TÖLLNER, K., Drehen mit Kreisförmiger umlaufender Schneidscheibe, *VDI-Zeitschrift*, N°17, 1972.
- [11] ZAMLJANSKIJ, V.A., Obosnovanie iznosostjosti kruglih samovraščajušćihjsja rezcov, *Izvestija vuzov, Mašinstroenie*, N°11, 1966.

Banjac, D. Gojković, D.

TOOL WEAR AND TOOL LIFE OF SELF-PROPELLED ROTARY TOOLS

Summary

Machining using self-propelled rotary tools has some specific features compared with conventional machining using standard tools, due to specific cutting kinematics and tool construction. Investigations proved this type of machining to be cost-effective, primarily due to prolonged tool life and stringent cutting regimes.

These reasons stand behind the investigation of tool wear and tool life which is partly presented in this paper.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

V. Gordić

MAGNETNA OSETLJIVOST I POSTOJANOST REZNOG ALATA

R E Z I M E

Intezitet magnetne indukcije zavisi od magnetne osetljivosti. Magnetna osetljivost kod feromagneta, sa promenom temperature, višestruko se menja. S obzirom na veliku osetljivost, pri promeni temperature, može se, sa pravom, tvrditi da je magnetna osetljivost prvi i osnovni faktor postojanosti rezne ivice.

1. UVOD

Mera kvaliteta tvrdog metala izražava se preko koercitivne sile. Naime, eksperimentalnim putem se došlo do podatka da optimalna temperatura sinterovanja daje najveću koercitivnu silu. Manifestovanje temperature sinterovanja, koja odstupa od optimalne, odražava se na mekoću tvrdog metala, za slučaj niže temperature, i povećanom tvrdoćom sa krtim osobinama, za slučaj više temperature. Ovaj rad ima za cilj da ukaže na potrebu dopune meri kvaliteta koercitivnom silom sa magnetnom osetljivošću u funkciji temperature.

2. UVODNE NAPOMENE

2.1. ELEKTROMAGNETIZAM

Zavisnost magnetne indukcije B u funkciji magnetnog polja H u feromagnetnom materijalu, oblika tankog torusa na kome je ravnomerno namotano N navoja kroz koje teče naizmenična struja $i = I \cos(\omega t)$ data je na slici 1 i 2.

Magnetno polje u ovom slučaju postojaće samo u unutrašnjosti torusa. Obeležimo sa l dužine linija magnetnih polja i s obzirom da je torus tanak zanemarujemo promene ovih dužina posmatranih linija polja.

Magnetno polje H , prema zakonu ukupne struje, i magnetna indukcija imaju sledeće oblike:

$$H = (N/l)i \quad (1)$$

$$B = \phi_{pe}/S \quad (2)$$

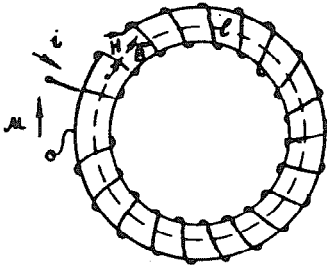
gde je ϕ_{pe} fluks magnetnog kola a S poprečni presek torusa. Iz fizike je poznato [1] da je iz bilansa energije elementarni

doc. dr Vujo Gordić, Mašinski fakultet, Kraljevo

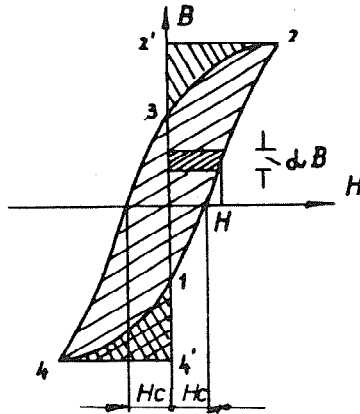
rad utrošen na stvaranje magnetnog polja:

$$dW_m = H dB V \quad (3)$$

gde je H magnetno polje, dB promena magnetne indukcije a V zapremina torusa.



Sl. 1 Elektromagnetni torus



Sl. 2. Kriva magnećenja

2.2. TERMOMAGNETIZAM

Magnetikom nazivamo sredinu koja utiče na spoljašnje magnetno polje (povećava ili slabi to magnetno polje). Uprošćeno mehanizam uticaja magnetika na spoljašnje magnetno polje možemo predstaviti na sledeći način. Magnetikom možemo smatrati zbir ogromnog broja elementarnih magneta - magnetnih dipola, orijentisanih, u odsustvu polja, više ili manje haotično. Takav magnetik u magnetnom polju se namagnetise, magnetni dipoli se orijentišu u pravcu polja (ili suprotno od polja) sopstvena magnetna polja tih dipola zbrajaju se i obrazuju sopstveni makromagnetik, čije polje povećava ili slabi spoljašnje magnetno polje [2]. Na taj način, u stanju namagnetisanja magnetik daje dodatni napon magnetnog polja H' , koji se zbraja sa prvobitnim naponom H . Zbirna veličina H i H' naziva se indukcijom magnetnog polja:

$$B = H + H' \quad (4)$$

Kao što je poznato iz fizike, stepen namagnetisanja J vezan je za napon spoljašnjeg magnetnog polja preko relacije:

$$J = \kappa H \quad (5)$$

gde je κ koeficijent magnećenja ili magnetna osetljivost. Magnetna osetljivost je individualna karakteristika svakog magneta, koja se menja sa promenom temperature; na primer kod termomagnetika što je temperatura viša to je κ manje. Napomenimo, da, kako je navedeno u opštoj fizici, zavisnost H' od J ima sledeći oblik:

$$H' = 4 \pi J \quad (6)$$

Uzimajući u obzir ovu relaciju, uz korišćenje jednačina (4) i (5)

dobijamo:

$$B = H + 4\pi J = (1 + 4\pi\chi)H = \mu H \quad (7)$$

gde je $1 + 4\pi\chi = \mu$ magnetni permeabilitet sredine.
Ako uvedemo pojam specifičnog magnećenja χ po jedinici zapremine v , tada stepen magnetisanja po jedinici zapremine j možemo pisati:

$$j = Jv \quad (8)$$

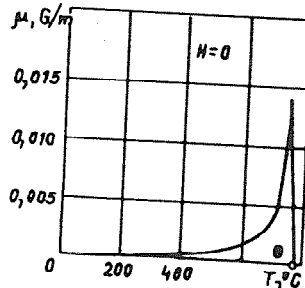
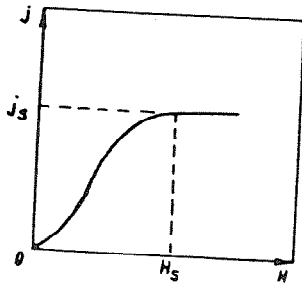
te na osnovu ove, jednačine (8) i jednačine (5), sledi:

$$j = \chi H \quad (9)$$

gde je χ tzv. specifična osetljivost i iznosi:

$$\chi = \kappa v \quad (10)$$

Veličina χ ili κ može biti pozitivna i negativna. Ako je $\chi > 0$, to znači da se pravac vektora magnećenja J poklapa sa pravcem vektora spoljašnjeg magnetnog polja H . Ako je $\chi < 0$, tada su pravci vektora J i H suprotnog smera. Magnetici kod kojih je magnetna osetljivost negativna ($\chi < 0$) i ne zavisi od napona spoljašnjeg magnetnog polja H , nazivaju se dijamagnetici. Magnetici kod kojih je magnetna osetljivost pozitivna ($\chi > 0$) nazivaju se paramagnetici. Postoji posebna vrsta paramagnetika - feromagnetici, kod kojih se pozitivna magnetna osetljivost ($\chi > 0$) jako menja sa promenom napona spoljašnjeg magnetnog polja H .



Sl. 3. Kriva jačine magnećenja

sl. 4. Magnetni permeabilitet u funkciji temperature

Za razliku od dijamagnetika i paramagnetika, zavisnost $j=f(H)$ feromagnetici imaju nelinearan karakter, tj. $\chi=(dj/dH)_T$ menja se sa promenom H . Namagnećenost feromagnetika raste sa porastom H , dostiže pri nekom $H = H_s$ zasićenje ($j=j_s$) sl.3 i sl.4.

Ekspiriment br. 6

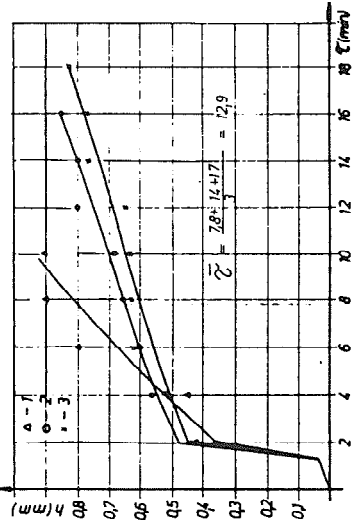
Mašina : strug PA-22, Morando.
 Alat : pločica TM SPUN120 308, PP-20,
 - mehanički nosač alata R1859-2020 F-16.
 Obradak : Č.1940, poboljšan na 49-51 HRC.

Tehnološki parametri:

$\Delta = 0,214 \text{ mm}$, $d_f = 0,225 \text{ mm}$, $n = 225 \text{ 1/min}$, $d = 65 \text{ mm}$.

Tabela T-12

Razn. P	Pojos poboljšanosti letehe površine h (mm)									
	2'	4'	6'	8'	10'	12'	14'	16'	18'	20'
Normalne pločice										
1	0,37	0,45	0,80	0,90	0,90					
2	0,42	0,57	0,60	0,65	0,69	0,80	0,80	0,85		
3	0,43	0,51	0,61	0,62	0,62	0,64	0,78	0,78	0,82	



Ekspiriment br. 8

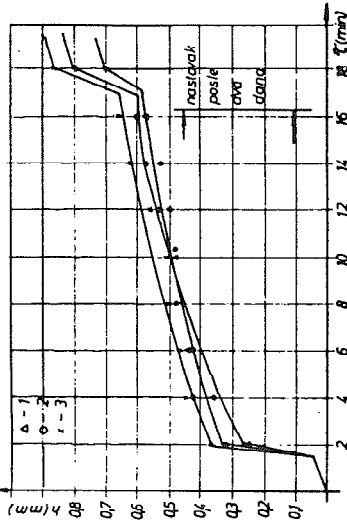
Mašina : strug PA-22, Morando.
 Alat : pločica TM SPUN120 308, PP-20,
 - mehanički nosač alata R1859-2020 F-16.
 Obradak : Č.1940, poboljšan na 49-51 HRC.

Tehnološki parametri:

$\Delta = 0,214 \text{ mm}$, $d_f = 0,225 \text{ mm}$, $n = 225 \text{ 1/min}$, $d = 64 \text{ mm}$.

Tabela T-14

Razn. P	Pojos poboljšanosti letehe površine h (mm)									
	2'	4'	6'	8'	10'	12'	14'	16'	18'	20'
Ekspiriment hr.6 s normalizovanje na 800°C										
1	0,25	0,37	0,44	0,46	0,49	0,53	0,58	0,58	0,80	
2	0,31	0,42	0,42	0,48	0,48	0,50	0,52	0,60	0,70	
3	0,36	0,44	0,47	0,50	0,50	0,55	0,62	0,67	0,87	



Ekspеримент br. 4

Mašina: strug PA-22, Morando.

Alat: - pločica TM SPUN 120 308, PP-20,

- mehanički nasac alata R185 9-2020 F-16.

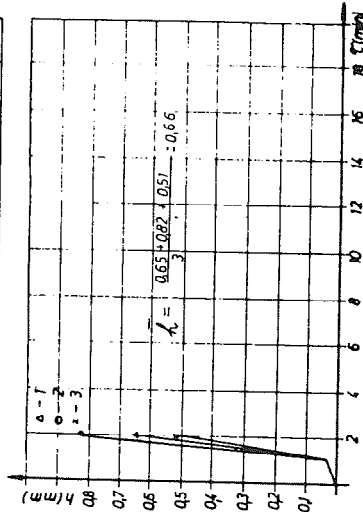
Obradak: Č.1840, poboljšán na 49-51 HRC.

Tehnološki parametri:

$d = 0,216 \text{ mm}$, $d_f = 0,25 \text{ mm}$, $n = 330 \text{ } \frac{\text{}}{\text{min}}$, $d = 5,5 \text{ mm}$.

Tabela T-15

R\B	Pojas pobabanasti letne površine h (mm)								
	1'	4'	6'	8'	10'	14'	16'	18'	20'
1	Normalne + normalizovane na 800°C, grejane na 255°C (bez habetnal)								
2	0,65								
3	0,82								
	0,51								



Ekspеримент br. 11

Mašina: strug PA-22, Morando.

Alat: - pločica TM SPUN 120 308, PP-20,

- mehanički nasac alata R185 9-2020 F-16.

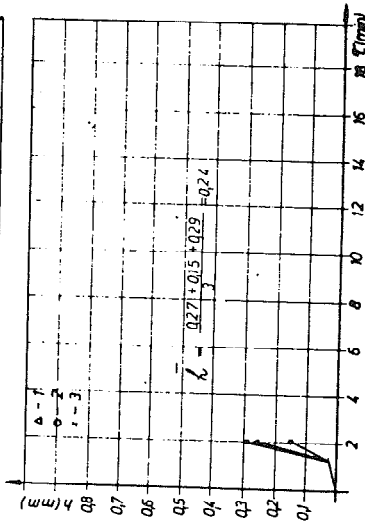
Obradak: Č.1840, poboljšán na 49-51 HRC.

Tehnološki parametri:

$d = 0,214 \text{ mm}$, $d_f = 0,25 \text{ mm}$, $n = 330 \text{ } \frac{\text{}}{\text{min}}$, $d = 5,7 \text{ mm}$.

Tabela T-16

R\B	Pojas pobabanasti letne površine h (mm)								
	1'	4'	6'	8'	10'	14'	16'	18'	20'
1	Normalne + normalizovane na 800°C, grejane na 255°C, habetne na 30°C								
2	0,27								
3	0,15								
	0,29								



3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Potvrda uticaja magnetne osetljivosti vidi se iz eksperimenta [4] sa razlicitim temperaturnim tretmanom. Tako, eksperiment br.6, eksperiment bez dopunskog termickog tretmana, u odnosu na eksperiment br.8, sa dopunskim termickim tretmanom ima inicijalno habanje vece, a i nagib krive habanja je takodje veći. Karakteristicno za eksperiment br.8 je, pored napred naznacenog, i to, što je posle 16. minuta eksperiment prekinut na dva dana i zatim nastavljen, uocen je skok u intezitetu habanja, isti kao na samom pocetku, u prvim minutima rezanja. Ova pojava dala je ideju za eksperiment br.9 i br.10. Naime, da bi se smanjilo inicijalno habanje (krzanje) alata izvedeni su eksperimenti br.9 i br.10 sa termickim tretmanima kao u tabelama T-15 i T-16. Očigledna je prednost eksperimenta br.10 nad br.9, koja se očitava u aritmetickoj sredini habanja, $h=0.24\text{mm}$, kod eksperimenta br.10, u odnosu na $h=0.66\text{mm}$, kod br.9.

4. MAGNETNA OSETLJIVOST U FUNKCIJI TEMPERATURE

U mašinskoj tehnici, a i u nekim drugim tehnikama, poželjno je što više toplote prevesti u magnetno polje radi smanjenja temperaturnog polja (obrada rezanjem). Da bi elementarni rad utrošen na stvaranje magnetnog polja, jednačina (3) dobili što veći, moramo povećati magnetnu indukciju, jednačina (7) odnosno, povećati specifičnu osetljivost, jednačina (10) odnosno magnetni permeabilitet, sl. 4 i sl. 5. Na isti način, ako bi se proces sinterovanja tvrdog metala vodio preko magnetne osetljivosti na temperaturi pika magnetne osetljivosti dobili bismo maksimalnu vrednost koercitivne sile, odnosno maksimalnu magnetnu indukciju.

5. LITERATURA

- [1] Miljanić P., Elektrotehnika, Mašinski fakultet, Beograd, 1976.
- [2] Sičev V., Sloznye termodinamickie sistemy, Energoatomizdat, Moskva, 1986.
- [3] Gordić V., Energija orbitalnih sistema, Naučna knjiga, Beograd, 1991.
- [4] Gordić V., Termodinamički i eksploatacijski aspekt proizvodnje alata za obradu metala rezanjem alatima dobijenim metalurgijom praha, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1987.g

V. Gordić

MAGNETIC SENSITIVITY AND DURABILITY OF CUTTING TOOLS

Summary

Magnetic sensitivity of feromagnets is multiply changed with temperature variation. Having in mind its high sensitivity with temperature variation, it can be positively stated that magnetic sensitivity is the first and basic factor of the cutting edge durability.

S. Janković¹

NEKI PROBLEMI PRI OBRADI POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA

Rezime

Proces obrade polimernih kompozitnih materijala se suštinski razlikuje od procesa obrade metala, zbog nehomogenosti, anizotropije i specifičnih fizičko-mehaničkih svojstava materijala. U radu su date preporuke za izbor alatnog materijala u zavisnosti od vrste polimernog kompozitnog materijala. Posebno je razmatrana operacija bušenja i dat je prikaz geometrijskih parametara burgije, kao i preporučenih oblika reznog dela burgije od tvrdog metala u zavisnosti od vrste polimernog kompozitnog materijala.

1. UVOD

Proizvodi od polimernih kompozitnih materijala se izrađuju uglavnom u konačnom obliku (presovanjem, namotavanjem i dr.). Završna obrada je neophodna da bi se ostvarila zahtevana tačnost, kvalitet površine i konačan oblik proizvoda. Ovo je potpuno opravdano, posebno pri pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, kada je nerentabilno projektovati i proizvoditi kalupe složenih oblika. Pri presovanju se dobija nehomogena struktura materijala u konturnoj oblasti, koja se obradom skida. Znanja i iskustva prikupljena pri obradi metala i legura metala, ne mogu da se koriste pri obradi polimernih kompozitnih materijala visoke čvrstoće.

Obrada polimernih kompozitnih materijala visoke čvrstoće rezanjem poseduje niz specifičnosti, usled njihove karakteristične strukture i svojstava.

1. Zbog izražene anizotropije svojstava, razlikuje se proces obrade u pravcu orijentacije vlakana od procesa obrade u normalnom pravcu. Medjusobni raspored armirajućih vlakana utiče na kvalitet obradjene površine.

2. Samo ostrim alatom se može ostvariti visok kvalitet obradjene površine, zbog niske čvrstoće adhezivne veze granice razdvajanja i slojevite strukture polimernog kompozitnog materijala. Povećanjem sila rezanja, na granici razdvajanja se stvaraju prskotine i materijal matrice se krza (naročito na površinskim slojevima obratka). Pri obradi polimernog kompozitnog materijala slojevite strukture, može doći do delaminacije.

¹ Mr Sanja Janković, dipl.mas.inz., asistent, Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80.

3. Visoka tvrdoća armirajuće komponente nekih polimernih kompozitnih materijala, izaziva niz teškoća u toku procesa obrade. Mikrotvrdoća vlakana bora (40-43 GPa) je veća od mikrotvrdoće nekih alatnih materijala (brzoreznih čelika i tvrdih metala) i može se uporediti sa mikrotvrdoćom supertvrdih alatnih materijala: monokristalnog prirodnog dijamanta (98.1 GPa), sintetičkog dijamanta (89 GPa), i kubnog nitrida bora (84 GPa). Supertvrđi alatni materijali se koriste pri obradi boroplastika.

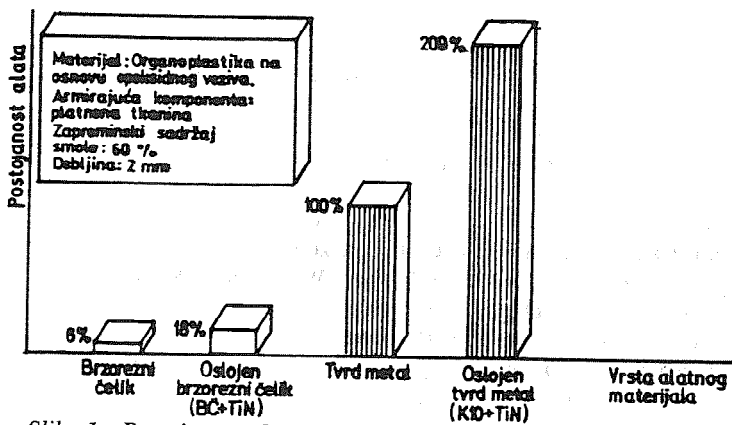
4. Niska toplotna provodnost polimernog kompozitnog materijala utiče na međusobni odnos komponenta generisane količine toplote u zoni rezanja. Koeficijent provodnosti toplote polimernog kompozitnog materijala (0.14-0.50 W/mK) je nekoiko stotina puta manji od koeficijenta provodnosti toplote metala. Najveća količina generisane toplote odlazi na zagrevanje alata. Prema podacima V.N. Drožina, pri obradi polimernog kompozitnog materijala rezanjem ukupna količina toplote se raspoređuje tako da 90% odlazi na zagrevanje alata, 5% odlazi na zagrevanje strugotine i 5% odlazi na zagrevanje obratka. Alatni materijal mora intenzivno odvoditi toplotu, oslobodjenu u zoni rezanja.

2. IZBOR ALATNOG MATERIJALA

Pri obradi polimernih kompozitnih materijala rezanjem, postavljaju se posebni zahtevi u pogledu geometrije reznog dela alata i otpornosti na habanje materijala alata. Za obradu stakloplastika i ugljenoplastika koriste se alati, čija je geometrija identična geometriji alata koji se koriste pri obradi metala. Jedino se pri obradi bušenjem koriste alati karakteristične geometrije reznog dela. Zbog abrazivnog dejstva staklenih i ugljeničnih vlakana i njihove otpornosti prema razaranju, obrada se može izvoditi samo alatima izradjenim od materijala koji se karakterišu visokom otpornošću na habanje. Kao alatni materijal koristi se tvrdi metal sitnozrnaste strukture, polikristalni dijamant i kubni nitrid bora /1/,/2/,/3/.

Pri obradi organoplastike ne javlja se intenzivno abrazivno habanje alata, zato što organska vlakna poseduju nisku tvrdoću. Organska vlakna, usled male vrednosti modula elastičnosti pri zatezanju i visokog relativnog izduženja (do 20%), se izvlače iz matrice. Teško je ostvariti dobar kvalitet obradjene površine. Dužina izvučenih vlakana može dostići 5mm /4/. Postavljaju se specifični zahtevi u pogledu geometrije alata. Sečiva alata bi trebalo da budu oštra, a obrada bi se trebala izvoditi pri povećanoj brzini rezanja. Ukoliko bi se obrada izvodila alatima konvencionalne geometrije, došlo bi do delaminacije materijala i izvlačenja vlakana. Organska vlakna zahtevaju takvu geometriju alata, koja će sprečiti izmicanje vlakana ispred sečiva. Za obradu organoplastika se veoma retko koriste alati od polikristalnog dijamanta, zato što je teško napraviti alat zahtevane geometrije reznog dela /2/. Alati od brzoreznog čelika se ne mogu koristiti pri obradi organoplastika, zbog male otpornosti na habanje. Alati od tvrdog metala (K05-K10) sitnozrnaste strukture se karakterišu znatno većom postojanošću. Postojanost alata može biti povećana, nanošenjem prevlaka TiN na brzorezni čelik ili tvrdi metal (slika 1). Nanesene prevlake (na primer, TiN) povećavaju zaobljenje sečiva alata, a to može negativno uticati na performanse alata /1/,/2/,/3/.

Za obradu ugljenoplastika i stakloplastika je najpogodnije koristiti alate od tvrdog metala kvaliteta K (K10,K20,K30). Alat od tvrdog metala kvaliteta K10 poseduje visoku čvrstoću sečiva i otpornost na habanje, pri umerenim temperaturama rezanja /2/. Alati od brzoreznog čelika se ne koriste zbog niske otpornosti na habanje, relativno niske tvrdoće i niske toplotne provodnosti (3 do 4 puta niža od toplotne provodnosti tvrdih metala). Stakloplastike se karakterišu niskom toplotnom provodljivošću, zato je neophodno da alatni materijal poseduje visoku toplotnu provodnost. Pri obradi stakloplastika na osnovu termoreaktivnih veziva, temperature u zoni rezanja ne bi trebalo da prekorače 473-573K. Na višim temperaturama dolazi do omekšavanja polimernog veziva, pojave termičkih oštećenja i intenzivne termodestrukcije veziva.



Slika 1. Postojanost alata pri obradi organoplastika bušenjem

Oštrenje alata sa minimalnim radiusom zaobljenja sečiva utiče na povećanje postojanosti alata, pri obradi polimernih kompozitnih materijala. Razni alatni materijali se karakterišu različitim vrednostima minimalnih radijusa zaobljenja sečiva pri oštrenju; pri izboru alatnog materijala trebalo bi voditi računa i o ovom kriterijumu /4/.

Postojanost alata od tvrdog metala kvaliteta K može biti do šest puta veća nego postojanost alata od tvrdog metala kvaliteta P, pri istoj tvrdoći. Toplotna provodnost tvrdog metala kvaliteta K je 2 - 3 puta viša od toplotne provodnosti tvrdog metala kvaliteta P. Tvrdi metali kvaliteta K imaju veću čvrstoću i tvrdoću, pri povišenim temperaturama u zoni rezanja (473-773K), nego tvrdi metali kvaliteta P. Tvrdoća tvrdih metala kvaliteta P je niža zbog intenzivnijeg sniženja tvrdoće sa porastom temperature i više temperaturc sečiva alata.

Povećanjem sadržaja kobalta u tvrdom metalu kvaliteta K, povećava se čvrstoća a smanjuje otpornost na habanje. Veću postojanost imaju tvrdi metali sa manjim sadržajem kobalta, koji se karakterišu i većom tvrdoćom; međjutim, oni poseduju malu žilavost (visoku osetljivost na udarna opterećenja). Tvrdi metali sitnozrnaste strukture imaju veću otpornost na habanje, zato što smanjenje veličine zrna karbida volframa dovodi do povećanja tvrdoće.

Na promenu tvrdoće tvrdih metala kvaliteta K utiče: veličina zrna karbida volframa, sadržaj kobalta i prisustvo defekata u strukturi tvrdog metala. Povećanjem tvrdoće tvrdog metala smanjuje se intenzitet habanja, a povećava postojanost alata /4/,/5/.

Alati od polikristalnog dijamanta poseduju visoku tvrdoću, visoku otpornost na habanje i malu žilavost /4/.

3. IZBOR REZNOG ALATA PRI OBRADI POLIMERNIH KOMPOZITNIH MATERIJALA BUŠENJEM

Pri obradi polimernih kompozitnih materijala se koriste burgije definisane geometrije reznog dela i burgije nedefinisane geometrije reznog dela. Burgije definisane geometrije mogu biti jednosečne ili dvosečne. Postoje različite konstrukcije jednosečnih burgija, koje se medjusobno razlikuju po: obliku sečiva, položaju sečiva i načinu odvodjenja strugotine. Burgije izradjene od supertvrdih alatnih materijala, spadaju u grupu alata nedefinisane geometrije reznog dela. U toku procesa obrade, veliki broj abrazivnih zrna se nalazi u kontaktu sa obratkom /2/. Burgije od polikristalnog dijamanta su konstruisane uglavnom kao šuplje burgije i predviđene su za izradu otvora na pločastim polimernim kompozitnim materijalima male debljine, pri povećanoj brzini rezanja i maloj brzini pomoćnog kretanja /3/.

Ukoliko se koriste burgije od polikristalnog dijamanta, povećava se produktivnost i kvalitet obrade polimernog kompozitnog materijala /5/. Polikristalni dijamant se karakteriše izuzetno visokom tvrdoćom. Koeficijent trenja između polikristalnog dijamanta i plastične mase je manji a koeficijent toplotne provodnosti veći, nego kod tvrdog metala /5/.

Pri obradi stakloplastika i ugljenoplastika se koriste spiralne burgije sa pločicama od polikristalnog dijamanta /3/.

Geometrijski parametri burgije od tvrdog metala

Geometrija burgije ima veliki uticaj na: kvalitet obradjene površine i tačnost obrade, postojanost i čvrstoću burgije, i aksijalni otpor rezanja.

Na postojanost burgije presudan uticaj imaju grudni i ledjni ugao. Na kvalitet obradjene površine, posebno na površinskim slojevima, najviše utiče ugao vrha burgije 2κ . Optimalne vrednosti geometrijskih parametara burgija su navedene u tabeli 1.

TABELA 1
GEOMETRIJSKI PARAMETRI BURGJE /5/

Materijal obratka	Materijal reznog dela burgije	Geometrijski parametri burgije (°)		
		2κ	μ	λ
Stakloplastika	K 01, K 10, K 20, K 30	100	10	20
Boroplastika	K 10, K 30	105	10	20
Ugljenoplastika	K 10, K 30	90-100	10	15-20

Smanjenjem ugla vrha burgije 2κ , smanjuje se aksijalna sila F_3 , specifično opterećenje koje deluje na sečivo, habanje burgije i povećava dužina sečiva. Smanjenjem ugla vrha burgije povećava se kvalitet obrade otvora, vreme obrade i vreme izlaza burgije /5/. Ukoliko ugao vrha burgije ima suviše malu vrednost pogoršani su uslovi odvodjenja toplote iz zone rezanja i smanjena je stabilnost vrha.

Pogodno je da burgije koje se koriste za obradu polimernih kompozitnih materijala budu nesimetrično oštrene, tako da razlika dužine glavnih sečiva bude 0.1-0.2 mm.

Preporučeni oblici reznog dela burgije od tvrdog metala u zavisnosti od materijala obratka, prikazani su u tabeli 2.

Najviše se pri izradi otvora prečnika 2-10 mm, koriste monolitne burgije od tvrdog metala. Za pločasti polimerni kompozitni materijal male debljine, pogodno je izabrati spiralnu burgiju sa konveksnim glavnim sečivima (tabela 2 - tip 3).

Modifikovana spiralna burgija (tabela 2 - tip 3) od tvrdog metala se često izrađuje u monolitnom obliku. Zbog specifične geometrije reznog dela pogodna je za obradu organoplastika. Glavno sečivo modifikovane spiralne burgije u radijalnom pravcu ima oblik slova "C"; grudni ugao je pozitivan. Aksijalno istureni vrhovi modifikovanih sečiva ostvaruju prvi kontakt sa materijalom obratka /2/. Najpovoljniji uslovi obrade i najmanja aksijalna sila se ostvaruju, kada širina poprečnog sečiva ($2t'$) nije veća od $0.1d$ /5/.

TABELA 2.
PREPORUČENI OBLICI REZNOG DELA BURGIGE OD TVRDOG METALA /4/

Oblik reznog dela	Skica reznog dela	Materijal obratka
1. Spiralan sa normalnim oštrenjem		Stakloplastika, ugljenoplastika i boroplastika
2. Spiralan sa dvojnim oštrenjem		Stakloplastika, ugljenoplastika i boroplastika
3. Spiralan sa glavnim konveksnim secivima		Organoplastike, stakloplastike, ugljenoplastike, boroplastike

4. ZAKLJUČAK

U stranoj literaturi i u literaturi na našem jeziku nema sistematizovanih podataka o obradi rezanjem polimernih kompozitnih materijala. Neophodno je ispitati obradljivost polimernih kompozitnih materijala i razraditi normative režima rezanja za različite metode obrade. Alati koji se koriste pri obradi polimernih kompozitnih materijala se razlikuju od alata koji se koriste pri obradi metala. Ove razlike su naročito uočljive pri obradi bušenjem i glodanjem. Pod dejstvom mehaničkih i termičkih naprezanja u toku procesa obrade, dolazi do: destrukcije polimera, smanjenja čvrstoće polimernog kompozitnog materijala i povećanog apsorbovanja vlage. Ove pojave negativno utiču na eksploatacione karakteristike gotovih proizvoda i zbog toga je potrebno eksperimentalnim putem utvrditi koje je alate najpogodnije koristiti pri obradi raznovrsnih polimernih kompozitnih materijala.

5. LITERATURA

- /1/ König, W., Wulf, Ch., Grass, P., Machining of Fibre Reinforced Plastics, Annals of the CIRP, Vol.34/2, 1985, 537- 548.
- /2/ König, W., Grass, P., Schmitz-Justen, C., Heintze, A., Neue Entwicklungen beim Bohren und Trennen von faserverstärkten Kunststoffen, Zwf 80, 1985/1, 25 - 31.
- /3/ König, W., Grass, P., Bohr- und Fräswerkzeuge für faserverstärkten Kunststoffe, VDI-Z 128, 1986/3, 71 - 75.
- /4/ Stepanov, A.A., Obrabotka rezaniem visokopročnih kompozicionih polimernih materialov, Mašinstroenie, Leningrad, 1987.
- /5/ Rudnev, A.V., Korolev, A.A., Obrabotka rezaniem stakloplastikov, Mašinstroenie, Moskva, 1969.
- /6/ Janković, S., Obradljivost polimernih kompozitnih materijala visoke čvrstoće, Magistarski rad, Univerzitet u Beogradu, Mašinski fakultet, 1993.

S. Janković

SOME PROBLEMS OCCURING DURING THE MACHINING OF FIBRE REINFORCED PLASTICS

Due to unhomogeneity, anisotropy and specific physical-mechanical material properties, the machining of fibre reinforced plastics differs essentially from metal machining. The paper recommends the choice of tool material depending on type of fibre reinforced plastics. Drilling operation has been specially considered. The paper also describes geometric parameters of a drill and recommends forms of drill cutting part made of hard metal depending on the type of fibre reinforced plastics.

P.Kovač *

TEMPERATURA REZANJA I HABANJE ALATA PRI JEDNOZUBOM I VIŠEZUBOM GLODANJU

Rezime

U radu su prikazani rezultati eksperimentalnih istraživanja temperature rezanja i habanja alata pri čeonom glodanju. Istraživanja su izvedena pri glodanju sa jednim i osam zuba . Tokom eksperimenta praćeno je habanje alata i temperatura rezanja. Merenje temperature je vršeno pomoću veštačkog termopara ugrađenog u sedište rezne pločice. Tokom istraživanja utvrđeno je da ako je radijalno i aksijalno bacanje zuba malo, temperatura i habanje alata je ista.

1. UVOD

Čeono glodanje je vrlo efikasan proces obrade, jer je količina strugotine koja se skine mnogu veća u odnosu na procese koje koriste jednosećni alat. Pri ispitivanjima se iz istog razloga troši veća količina materijala, pa se ispitivanja sa ciljem utvrđivanja postojanosti alata vrše sa jednozubim alatom a onda se na osnovu njih određuje postojanost višezubog alata. Tako da se ukupna postojanost višezubog alata dobija množenjem postojanosti dobijene pri ispitivanju jednozubim alatom sa brojem zuba u alatu. Medjutim pri ispitivanju je uočeno da se javlja izvesno smanjenje postojanosti višezubog glodala u odnosu na postojanost dobijenu množenjem postojanosti jednozubog glodala sa brojem zuba.

U radu [5] je pokazano da je postojanost pri rezanju sa jednim zubom veća u odnosu na postojanost sa dva zuba a ova je veća u odnosu na postojanost pri rezanju sa tri zuba. Kod većeg broja od tri zuba u glodalu ova razlika u postojanosti nije uočena, pa je predloženo da su rezultati ispitivanja postojanosti višezubog glodala dovoljno pouzdani ako se više sa tri zuba. Ovo se objašnjava time da kako se povećava broj zuba u glodalu tako se povećava termičko opterećenje zuba glodala, što dovodi do smanjenja postojanosti višezubog glodala u odnosu na postojanost, koja bi se dobila prostim množenjem postojanosti jednozubog glodala sa brojem zuba.

Dr Pavel Kovač vanr. prof., FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, Trg
Dositeja Obradovića 6.

Kasnija eksperimentalna istraživanja vršena različitim brojem zuba su pokazala, da ustvari bacanje zuba glodala najviše utiče na postojanost glodala [1] i sile rezanja [2].

Na osnovu toga cilj ovih istraživanja je bio da se utvrdi dali postoji razlika između temperature rezanja jednozubog i višezubog glodala i kako na nju utiče habanje i bacanje zuba.

2. PREDMET ISTRAŽIVANJA

Kod glodala postoje dva tipa bacanja zuba a to je radijalno i aksijalno bacanje. Oba bacanja imaju veliki uticaj na proces rezanja. Aksijalno bacanje utiče u prvom redu na hrapavost obradjene površine. Oba bacanja utiču na variranje preseka strugotine a time i na opterećenje zuba. Veći presek strugotine uzrokuje povećanje sila rezanja, temperature rezanja i habanja alata.

Matematički model, koji povezuje širinu pojasa habanja alata na ledjnoj površini na pojednim zubima glave za glodanje, sa radijalnim bacanjem zuba prikazan je u [1].

Model sila rezanja razvijen na osnovu mehanike procesa čeonog glodanja prikazan je u [2]. Jednačine koje su razvijene za izračunavanje sila rezanja pri višezubom glodanju uzimaju u obzir geometriju pločice, nepravilno postavljanja pločice, radijalno bacanje i vibracije vretena.

Zahvaljujući primeni nove merne metode sa ugradjenim minijaturnim termoparom moguće je direktno merenje temperature na kontaktnim površinama između alata i strugotine kao i alata i obradka [3].

Temperatura rezanja raste kako se vreme rezanja povećava. Trend porasta temperature je nezavistan od tačke merenja u zoni rezanja, tako da su krive promene međusobno približno paralelne. Ovo omogućuje da se za praktičnu realizaciju postavi termopar u sedište pločice i da se meri temperatura na površini oslanjanja rezne pločice ispod zone rezanja [3, 4].

Cilj ovih istraživanja je bio da se dokaže da je temperatura rezanja na jednom zubu ista bez obzira dali se obrada vrši sa jednim ili više zuba. Istraživanja su vršena pri konstantnim uslovima obrade, najpre sa jednim zubom a onda sa svih osam zuba u glodalu. Tokom ispitivanja merna je temperatura i habanje tokom vremena rezanja. Da bi se eliminisao uticaj radijalnog i aksijalnog bacanja zuba ono je održavano u uskim granicama $+ 0,002$ mm. Da bi se eliminisao uticaj habanja alata na temperaturu u isto vreme mereno je i habanje alata.

3. USLOVI PRI EKSPERIMENTALNIM ISTRAŽIVANJIMA

Eksperimenti su izveeni na čeliku za poboljšanje Č. 1730 u normalizovanom stanju. Kao alat korišćena je glava za glodanje prečnika 125 mm, sa izmenljivim pločicama od tvrdog metala SPAN 12 03 ER, kvaliteta P25.

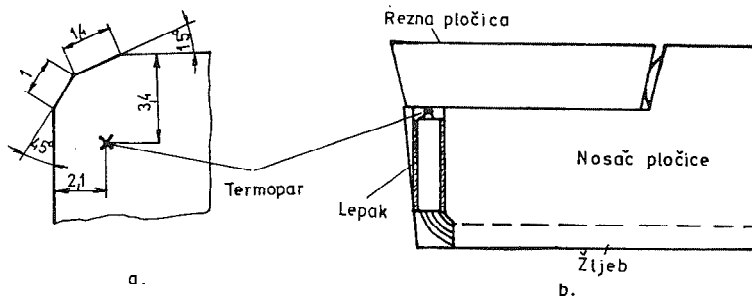
Geometrija reznog dela alata je bila konstantna i iznosila je : grudni ugao 7° , ledjni ugao 18° a napadni ugao 75° .

Istraživanja su izvedena na vertikalnoj glodalici snage 14 kW. Rezanje je vršeno bez sredstva za hladjenje i podmazivanje.

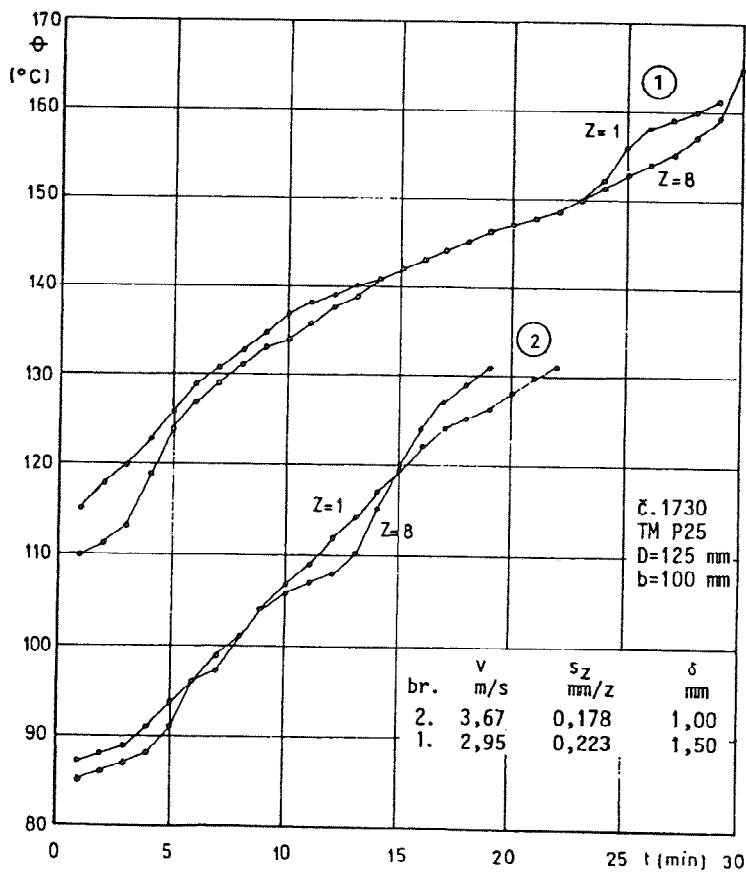
Merenje parametara habanja na grudnoj i ledjnoj površini je vršeno na Zeiss-ovom mikroskopu u prekidu procesa rezanja.

Temperatura rezanja je merena pomoću veštačkog termopara NiCr-Ni ugradjenig u sedište rezne pločice slika 1. Merenje je vršeno na digitalnom termometru TR 2112, koji ima automatsku regulaciju hladnog spoja za šest standardnih termoparova. Istovremeno je vršeno i zapisivanje temperature na svetlosnom oscilografu Hotinger AF8 UV.

Temperaturni signal sa rotirajućeg alata je prenošen pomoću kliznih prstenova.



Slika 1 Položaj termopara pri merenju



Slika 2 Temperatura pri rezanju sa jednim i osam zuba

4. REZULTATI EKSPERIMENTA I NJIHOVA ANALIZA

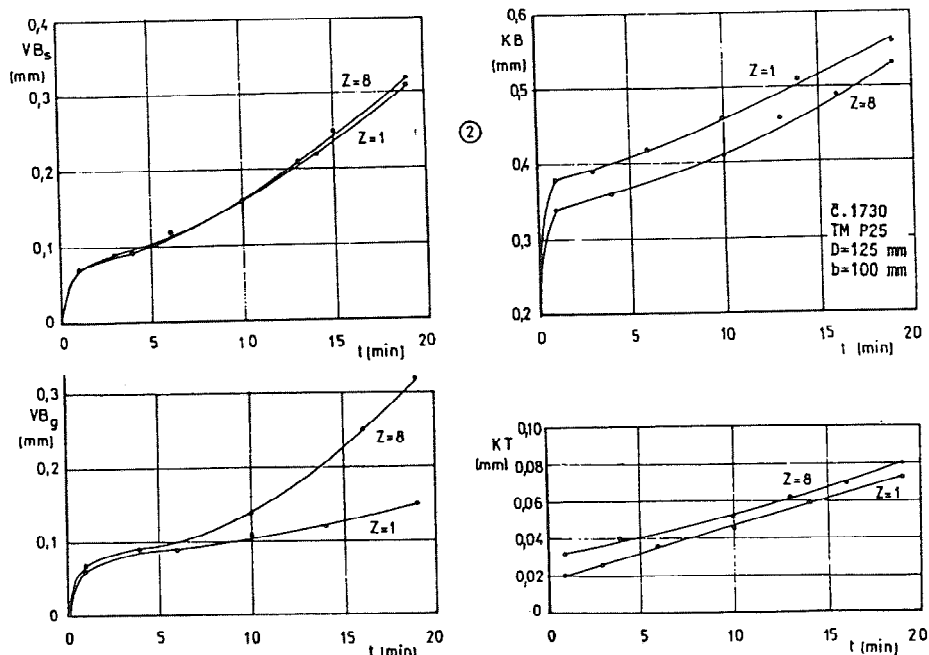
U toku eksperimenta temperatura je merena posle svakog minuta rezanja a parametri habanja povremeno. Cilj istovremenog merenja temperature i habanja jednozubog i višezubog glodala je bilo da se utvrdi da eventualne razlike u temperaturi nisu posledica razlike u habanju. Na osnovu ovih rezultata sastavljeni su dijagrami zavisnosti temperature od vremena rezanja pri glodanju sa jednim i osam zuba, slika 2.

Promena parametara habanja (širina pojasa habanja na fazetama VBs i VBg, širina kratera KB i dubina kratera KT), pri glodanju sa jednim i osam zuba prikazana je na slikama 3 i 4.

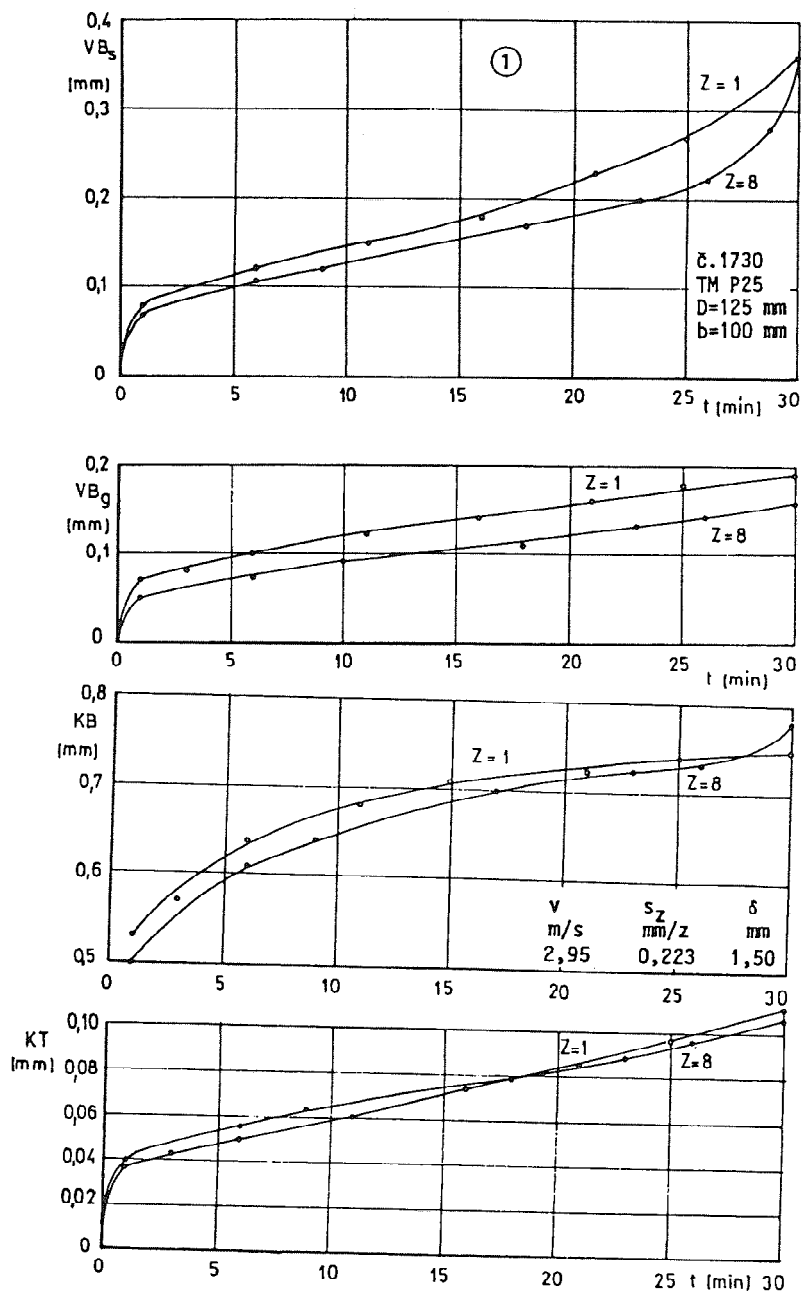
Sa slike 2 se može uočiti da ne postoji značajna razlika između temperature na istom zubu, kada je razano sa jednim zubom i osam zuba. Neznatne razlike, koje se mogu uočiti su posledica razlike u habanju zuba. Na primer pri režimu rezanja broj 1 u periodu od 25 do 30 minuta, mala razlika u temperaturi je posledica razlike u habanju na fazeti VBs u istom periodu. Slično se desilo i pri režimu broj 2 u periodu od 15 do 20 minuta zbog male razlike u parametaru habanja VBg.

Na osnovu dijagrama parametara habanja, može se zaključiti da je postojanost zuba jednozubog i višezubog glodala je ista ako je bacanje zuba malo, što se slaže sa [1]. Ukupna postojanost višezubog glodala se dobija množenjem postojanosti jednozubog glodala sa brojem zuba koji režu.

Na osnovu rezultata istraživanja temperature rezanja u vremenu rezanja može se zaključiti da je temperatura jednozubog i višezubog alata ista ako je radijalno i aksijalno bacanje malo ($\leq \pm 0,002$ mm). Rezultati ispitivanja dobijeni pri jednozubom glodanju mogu se koristiti za određivanje temperature višezubog alata, što je u saglasnosti sa istraživanjima drugih parametara rezanja kao što su habanje alata (postojanost) i otpori rezanja [1, 2].



Slika 3 Parametri habanja pri rezanju sa jednim i osam zuba



Slika 4 Parametri habanja pri rezanju sa jednim i osam zuba

Ovaj fenomen se objašnjava na sledeći način. Kada se rezanje vrši sa jednozubim alatom postoji samo jedan toplotni izvor, a kada se vrši sa više zuba, ima više toplotnih izvora. Zbog većeg broja toplotnih izvora povećava se i temperatura tela glodala. Povećanje temperature tela glodala ne povećava temperaturu rezanja (temperaturu toplotnog izvora) zbog same prirode temperature. Temperatura tela glodala bi mogla samo u idealnim uslovima da dostigne temperaturu rezanja (temperaturu toplotnog izvora) ako ne bi bilo gubitaka u okolinu, prekidnog rezanja itd. U radu je merena temperatura rezanja odnosno temperatura "tačke" u zoni rezanja, ili vrlo blizu nje, pomoću minijaturnog termopara i na nju ne utiče povećanje temperature tela glodala.

5. ZAKLJUČCI

Na osnovu izloženog može se zaključiti:

- Temperatura rezanja jednozubog i višezubog glodala je jednoka ako je radijalno i aksijalno bacanje zuba malo ($\leq \pm 0,002$ mm).
- Temperatura rezanja na zubu višezubog glodala je ista kao i temperatura jednozubog glodala, ako je habanje zuba jednako.

6. LITERATURA

- [1]. Ber, A. : The Influence of Radial Location and Wear Behavior of Multi-Tooth Face Milling Cutter. Annals of the CIRP, Vol 25/1/ 1977 pp 1-4.
- [2]. Fu, H.J., De Vor, R.E., Kapoor, S.G.: A Mechanistic Model for the Predication of Force Systems in Face Milling Operations. Journal of Eng. for Ind. Vol 106, 1984, 81-88.
- [3]. Kovač, P., Milikić, D.: Correlation Between Cutting Temperature and Tool Wear. Proc. of CSME Mech. Eng. Forum. Vol.3, Toronto, 1990, pp 283-288.
- [4]. Kovač, P.: Relationship between Cutting Temperature, Cutting Conditions and Tool Wear. Proc. of 2nd AMST 90, Vol. 1 Trento, 1990, pp 254-261.
- [5]. Kuljanić, E.: An Investigation of Wear in Single-Tooth and Multi-Tooth Milling. Int. J. Mach. Tool Des. Res., Vol. 14, 1974, pp 95-109

TEMPERATURE AND WEAR OF SINGLE-TOOTH AND MULTI-TEETH MILLING CUTTERS

Summary

The results of an experimental investigation of the cutting temperature and tool wear during face milling are presented in the paper. Investigation has been performed for one-tooth and eight-teeth cutters. During the experiment the tool wear and cutting temperature were observed in the time domain. The temperature measurement was performed using a standard CrNi-Ni thermocouple built into the carbide insert support. If radial and axial cutter throw is small the cutting temperature and tool wear of the single-tooth and multi-teeth cutters are similar.

Milikić D., Gostimirović M.*

UTICAJ REŽIMA OBRADJE NA VISINU TEMPERATURA REZANJA PRI BRUŠENJU

Rezime

U radu se analizira uticaj kinematskih i geometrijskih parametara procesa na visinu temperatura rezanja pri brušenju na osnovu teoretskih razmatranja i rezultata eksperimentalnih merenja. Pod pretpostavkom da brusna zrna skidaju idealnu zapreminu nedeformisane strugotine dobijen je izraz za redukovanu jačinu toplotnog izvora i vreme njegovog delovanja. Na osnovu ta dva parametra izvedeni su kvantitativni i kvalitativni zaključci o uticaju kinematskih i geometrijskih parametara procesa brušenja na visinu temperature u površinskom sloju obradka.

1. UVOD

Proces rezanja pri brušenju bitno se razlikuje od drugih postupaka obrade sa definisanom geometrijom sečiva, kao što su struganje ili glodanje. Ove razlike prouzrukuje pre svega mikrostruktura rezne površine tocila, koju sačinjavaju geometrijski potpuno nedefinisana brusna zrna i međuprostori od veziva i pora. Uz to se rezanje odvija znatno većim brzinama, koje u ovom trenutku praktično dostižu vrednosti od cca 125 (m/s).

Pri rezanju aktivnih brusnih zrna **debljina strugotine** se menja od nule do max. vrednosti, dok se istovremeno **efektivna brzina rezanja** smanjuje od max. vrednosti, pri ulasku zrna u zahvat, do min. vrednosti pri njegovom izlasku iz zahvata. Debljina strugotine i efektivna brzina rezanja su dva najvažnija parametra koji utiču na proces rezanja pri brušenju.

Proces delovanja zrna na dužini kontakta može se uslovno podeliti na tri karakteristične faze. U prvoj fazi prodiranja zrna u materijal obradka dolazi samo do elastičnog deformisanja materijala. U drugoj fazi se ostvaruje plastična deformacija i

* Milikić dr Dragoje, dipl.ing., redovni profesor, Gostimirović mr Marin, dipl.ing., asistent, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, V. Perića-Valtera 2.

tečenje materijala, odnosno materijal obradka se samo bočno istiskuje i/ili teče ispod sečiva prema leđnoj površini zrna. Druga faza traje sve dok zrno ne prođe do određene dubine u obradku, kad počinje stvarno obrazovanje strugotine, što se karakteriše kao treća faza. U ovoj fazi istovremeno nastaje proces istiskivanja materijala i obrazovanja strugotine. Koliko materijala obradka će prelaziti u strugotinu, a koliko će biti samo utisnuto, zavisi od geometrije brusnih zrna i efektivne brzine rezanja.

Na osnovu prethodno opisanih mehanizama, koji mogu da variraju od zrna do zrna, može se zaključiti da proces rezanja pri brušenju predstavlja mešavinu između produktivnog rezanja (obrazovanje strugotine) i neproduktivnog brazdanja (paranja) površine obradka.

2. KINEMATSKI I GEOMETRIJSKI PARAMETRI PROCESA BRUŠENJA

Kretanje brusnih zrna tocila u procesu rezanja definiše se preko kinematskih i geometrijskih parametara.

Kinematske parametre sačinjavaju: obimna brzina tocila v_t , brzina obradka v_o , odnosno njihov odnos $q=v_t/v_o$. Nadalje, kinematske parametre čine i pomaci: aksijalni s_a - kod kružnog spoljašnjeg i unutrašnjeg brušenja, bočni s_b - kod ravnog brušenja i radijalni s_r - kod radijalnog brušenja.

Geometrijski parametri se dele na makro i mikro parametre, zavisno od veličine koju ostvaruju u procesu rezanja. U makro parametre spadaju prečnik tocila D_t , prečnik obradka D_o , dubina rezanja a i geometrijska dužina kontakta zrna sa obradkom l_{kg} . Mikro geometrijski parametri procesa brušenja su vezani za dimenzije nedeformisane strugotine koju skida jedno brusno zrno, a izražavaju se preko maksimalne h_{max} ili srednje h_m debljina strugotine.

Koristeći geometrijske odnose pri brušenju, za uslove statičkog kontakta, dolazi se do sledećeg izraza za geometrijsku dužinu kontakta zrna sa obradkom:

$$l_{kg} = \sqrt{a \cdot D_{te}} \quad (1)$$

gde je: $D_{te} = \frac{D_o \cdot D_t}{D_o \pm D_t}$ - ekvival. preč. tocila; (+) spoljašnje, (-) unutrašnje brušenje;

$D_{te}=D_t$ - za ravno brušenje.

Vezano sa dužinu kontakta je vreme obrazovanja strugotine, odnosno vreme zahvata zrna sa obradkom koje iznosi:

$$t_z = \frac{l_{kg}}{v_t} = \frac{\sqrt{a \cdot D_{te}}}{v_t} \quad (2)$$

Maksimalna debljina strugotine koju reže jedno brusno zrno dobija se, korišćenjem geometrijskih parametara procesa brušenja, u obliku sledeće jednačine:

$$h_{\max} = 2 \frac{v_o}{v_t} a \quad (3)$$

Srednja debljina strugotine je zamišljena debljina strugotine koju bi u svakom trenutku rezala aktivna brusna zrna u zahvatu sa obradkom. Ona se može dobiti tako što se zapremina V_k koju režu aktivna brusna zrna raspoređena po širini zahvata, od momenta ulaska u zahvat sa obradkom do izlaska iz zahvata (oblik zakrivljene trostrane prizme), izjednači sa zapreminom paraboloida iste osnove (površina zahvatnog luka $A_k = l_k \cdot b_k$) i srednje visine h_m , odnosno:

$$V_k = \frac{l_k \cdot h_{\max}}{2} b_k = l_k \cdot b_k \cdot h_m, \text{ pa je:}$$

$$h_m = \frac{h_{\max}}{2} = \frac{V_k}{l_k \cdot b_k} \quad (4)$$

Ako se u prvu jednakost jednačine (4) zameni jednačina (3) dobiće se prvi izraz za srednju debljinu strugotine koji glasi:

$$h_m = \frac{v_o}{v_t} a \quad (5)$$

Drugi izraz za srednju debljinu strugotine, koji je pogodniji za praktičnu primenu, dobija se korišćenjem druge jednakosti jednačine (4). Naime, proširivanjem tog izraza sa t_z uz korišćenje jednačine (2), dobija se:

$$h_m = \frac{Z'}{v_t} \quad (6)$$

U prethodnoj jednačini je $Z' = \frac{V_k}{b_k \cdot t_z}$ - specifična zapremina strugotine redukovana na jedinicu širine kontakta tocila sa obradkom.

3. ANALIZA UTICAJA REŽIMA OBRADNE NA VISINU TEMPERATURA PRI BRUŠENJU

Od tri karakteristične temperature koje se javljaju pri brušenju, ovde se posmatra max. temperatura površinskog sloja obradka koja je rezultat istovremenog rezanja većeg broja zrna u zoni kontakta obradak-tocilo.

Visina max. temperature površinskog sloja se u načelu definiše sa dva bitna parametra procesa, odnosno: jačinom toplotnog izvora i vremenom njegovog delovanja o kojima se detaljnije govori u nastavku.

3.1. Jačina toplotnog izvora

Svako brusno zrno pri rezanju predstavlja elementarni toplotni izvor, a zbrajanjem njihove jačine dobija se ukupna jačina toplotnog izvora koji deluje u zoni rezanja. Ona se može izraziti sledećom jednačinom:

$$Q = F_t \cdot v_t \cdot t_z \quad (7)$$

Pri brušenju se izlazni parametri procesa obično izražavaju u iznosu redukovanom na jedinicu širine zone kontakta b_k , pa bi u tom slučaju jednačina (7) glasila:

$$Q' = F_t' \cdot v_t \cdot t_z \quad (8)$$

gde je: $Q' = \frac{Q}{b_k}$ - redukovana jačina toplotnog izvora;

$F_t' = \frac{F_t}{b_k}$ - redukovana tangencijalna sila rezanja.

Sa druge strane, redukovana tangencijalna sila rezanja se može izraziti opšte poznatom jednačinom oblika:

$$F_t' = k_{tm} \cdot h_m \quad (9)$$

U prethodnoj jednačini je k_{tm} specifični tangencijalni otpor rezanja, koji je približno konstantan za određeni materijal obradka.

Zamenom izraza (5) u jednačinu (9) dobija se:

$$F_t' = k_{tm} \frac{v_o}{v_t} a \quad (10)$$

Uzimajući u obzir jednačine (2) i (10), jednačina (8) dobija sledeći konačan oblik:

$$Q' = k_{tm} \frac{v_o}{v_t} a^{3/2} \cdot D_{te}^{1/2} \quad (11)$$

3.2. Vreme delovanja toplotnog izvora

Vreme delovanja elementarnih toplotnih izvora je isto kao vreme zahvata zrna sa obradkom, jednačina (2), odnosno:

$$t_{ei} = \frac{\sqrt{a \cdot D_{te}}}{v_t} \quad (12)$$

Vreme delovanja ukupnog toplotnog izvora je obrnuto proporcionalno brzini pomoćnog kretanja (brzina obradka) i može se simbolično izraziti na sledeći način:

$$t_{ui} = \frac{1}{v_o} \quad (13)$$

Analiza uticaja pojedinih parametara režima obrade na visinu max. temperature površinskog sloja slikovito je prikazana u tabeli I. Pri tome smo se rukovali pravilom da veća jačina toplotnog izvora u zoni rezanja i duže vreme njegovog delovanja u principu daje i veće temperature površinskog sloja i obrnuto.

Tabela I: Pregled uticaja parametara režima brušenja na visinu max. temperature površinskog sloja

Parametar režima obrade koji se povećava	Jačina toplotnog izvora j-na (11)	Vreme delovanja toplotnog izvora		Kontaktna temperatura	
		t_{ei} j-na (12)	t_{ui} j-na (13)	teoret.	eksper.
Brzina rezanja v_r (m/s) (obimna brzina tocila)	↓	↓	—	↓	↑[⇔↓]
Brzina pomoćnog kretanja v_o (m/min) (brzina obradka)	↑	—	↓	?	↓[↑]
Dubina rezanja a (mm)	↑	↑	—	↑	↑[↓]

Značenje simbola u tabeli:

↑ - parametar raste; ↓ - parametar opada; ⇔ - parametar ostaje nepromenjen
Slučajevi u zagradi [] su utvrđeni u manjem broju istraživanja.

4. ZAKLJUČCI

Analiza uticaja režima obrade na visinu kontaktne temperature pri brušenju, koja je sprovedena u ovom radu, pokazuje svu složenost postupka obrade brušenjem u odnosu na druge postupke obrade. Pokazalo se, naime, da ako se proces rezanja posmatra čisto teorijski, onda se mogu pojaviti određene razlike u zaključcima koji proizilaze iz takvog razmatranja i stvarnog stanja koje se dobija na osnovu eksperimentalnih merenja.

Neslaganje između teorijski izvedenih zaključaka i rezultata praktičnih merenja pri obradi brušenjem su, po našem mišljenju posledica neuzimanja u obzir sledećih specifičnosti kojima se odlikuje proces brušenja:

- Potpuno nedefinisani geometrijski oblici brusnih zrna, odnosno njihovih sečiva;
- Neravnomeran raspored brusnih zrna u tocilu, a time i relativno prema obradku;

- Veoma nepovoljna rezna geometrija brusnih zrna koja se ogleda u negativnom grudnom uglu i malom leđnom uglu;
- Fizikalna svojstva sistema: obradak - brusna zrna - strigotina - vezivno sredstvo - SPH sredstvo.

Ovo poslednje je naročito značajno, stim što odlučujući uticaj na pomenuta neslaganja ima toplotna provodljivost materijala obradka, ali i brusnih zrna sa vezivnim sredstvom. Zbog toga se ova karakteristika materijala često uzima kao najvažniji faktor koji određuje obradljivost datog materijala brušenjem. U tom smislu pokazalo se da određene vrste materijala uopšte nisu podesne za produktivno visokoučinsko brušenje, jer se praktično ne može sprečiti njegovo pregrevanje pri obradi i sve posledice koje iz toga proizilaze.

LITERATURA

- [1] Milikić D., Kovač P., Rvović M.: Prilog određivanju kontaktnih temperatura pri ravnom brušenju. XIX Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Kragujevac, 1985.
- [2] Jovičić M., Kršljak B., Vukasojević R., Drobnjak V.: Obrada brušenjem - Identifikacija stanja i optimizacija procesa. Mašinski fakultet i Jupiter zajednica, Beograd, 1986.
- [3] König W.: Fertigungsverfahren, Band 2 - Schleifen, Honen, Läppen. VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1980.
- [4] Bogner N., Helletsberger H., Kriegshaber Ch., Nolchl H.: Schleifen mit kubischen Bornitrid und konventionellen Schleifmitteln. Intergrind '88 Conference, Budapest, 15-17. November 1988.

Milikić D., Gostimirović M.

EINFLUSS DER STELLGRÖSSEN AUF ZERSPANTEMPERATUREN BEIM SCHLEIFEN

Zusammenfassung

In dem Artikel wird Einfluss von kinematischen und geometrischen Größen des Prozesses auf Höhe der Zerspantemperaturen beim Schleifen auf Grund der theoretischen Betrachtungen und der Ergebnisse von experimentale Messungen analysiert. Unter der Vermutung, dass jede Schneidkorn eine idealisierte Spannungsvolumen zerspannt, wird eine Gleichung für spezifische Wärmequelle und Einwirkzeit festgelegt. Auf Grund diese zwei Parametern wird ein quantitativer und qualitativer Schluss über den Einfluss von kinematischen und geometrischen Größen des Schleifprozesses auf die Höhe der Oberflächetemperatur des Werkstückes ausgeführt.

B. Nedić, B. Tadić

PROMENA TEMPERATURE I OTPORA REZANJA PRI OBRADI BUŠENJEM

Rezime

U radu je prikazan jedan relativno novi način merenja temperature rezanja kod obrade bušenjem. Prikazani metod je omogućio dobijanje podataka o temperaturi u neposrednoj blizini zone rezanja. Praćenje promene temperature i otpora rezanja u toku vremena, kao i merenjem habanja alata, poslužili su za formiranje odgovarajućih korelativnih veza. U radu je paralelno sa merenjem temperature rezanja vršeno merenje i analiza otpora rezanja, odnosno aksijalne sile rezanja. Poznavanje promene temperature rezanja kao i veza između temperature i habanja alata predstavlja osnovu za razvoj modela za praćenje i upravljanje procesom obrade otvora bušenjem.

1. Uvodna razmatranja

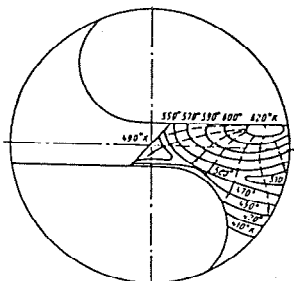
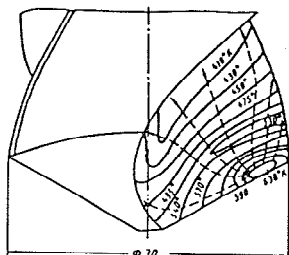
Složena geometrija reznog dela burgije i otežano odvođenje strugotine i dovođenje sredstva za hlađenje i podmazivanje uslovljavaju složene temperaturne uslove na reznom delu burgije. Burgija je najopterećenija na njenom vrhu. Zbog složenih pojava na reznom delu burgije kao i nepristupačnosti za odgovarajuća merenja u literaturi nema dovoljno podataka o temperaturi rezanja. Utvrđivanjem temperaturnog polja dobija se najcelovitija slika razvoja i distribucije toplotne energije u zoni rezanja (slika 1) /1/.

Brojnim ispitivanjima je utvrđeno da postoji analogija između habanja reznih površina alata i raspodele temperatura na tim površinama (slika 2. /2/). To omogućava da se formira odgovarajuća slika habanja alata. Na osnovu ovoga se može doći do zaključka da postoji kritična temperatura za koju važi: ako je temperatura rezanja manja od kritične, tada dolazi samo do abrazivnog habanja, odnosno odnošenja čestica materijala usled habanja. Ukoliko je temperatura rezanja veća od kritične tada dolazi do difuzionog habanja na kontaktnoj površini alata. Poznavajući zakon raspodele temperature i specifičnih sila trenja na grudnoj

Mr Nedić Bogdan, dipl. inž., Mašinski fakultet, Kragujevac;
Mr Tadić Branko, dipl. inž., Mašinski fakultet, Kragujevac

površini alata i uz odgovarajuće pretpostavke može se doći do prognoziranja veličine habanja /2/.

Često se umesto srednje temperature rezanja vrši merenje termonapona, koji predstavlja srednju vrednost termonapona na kontaktnim površinama alata i predmeta obrade i koji je u direktnoj zavisnosti od srednje temperature rezanja. Razlog zbog čega se u literaturi češće sreće merenje prirodnim termoparom termonapon, umesto srednje temperature rezanja je u otežanom baždarenju.



Slika 1. Temperaturno polje

Promena termonapona je direktno uslovljena promenom širine pohabanog pojasa po lednoj površini alata. Sa porastom habanja raste i termonapon. Na slici 3. prikazane su krive habanja i krive promene termonapona pri obradi sa konstantnom brzinom ($v=const$) i pri promeni brzine rezanja radi zadržavanja konstantnog termonapona ($E=const$).

U literaturi postoji vrlo malo podataka vezanih za praćenje promene temperature rezanja pri obradi bušenjem. Jedan od matematičkih modela opisanih u radu /3/ daje vezu temperature rezanja i vremena obrade prema izrazu:

$$\Theta(T) = \Theta_0 + A(1 - e^{BT}) + e(T)$$

u kome je:

- $\Theta(T)$ - temperatura rezanja ($^{\circ}C$),

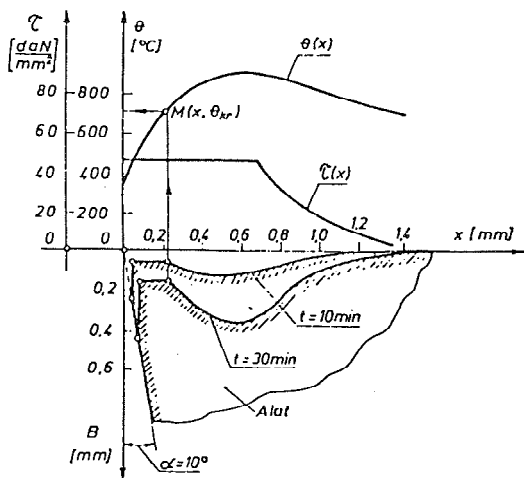
- Θ_0 - temperatura okoline ($^{\circ}C$),

- A - konstanta zavisna od karakteristika materijala i parametara procesa obrade (opisuje temperaturu u ustanovljenom režimu),

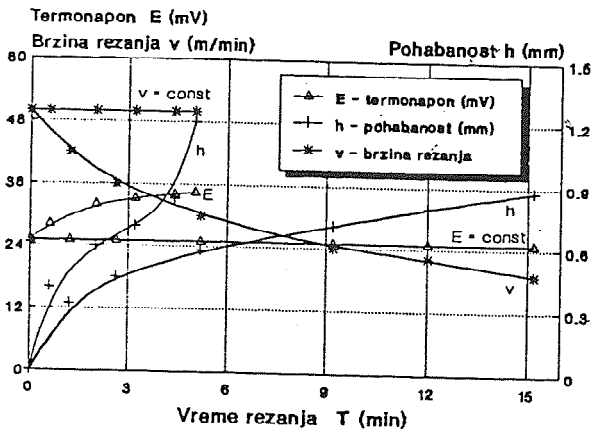
- B - eksponent koji takođe zavisi od svojstva materijala predmeta obrade i parametara procesa obrade, karakteriše brzinu promene temperature, odnosno, obrnuto proporcionalna je vremenu bušenja na polovini dubine bušenja: $B = 0.6931/T \cdot h$,

- $e(T)$ - sistematska ili slučajna greška merenja i

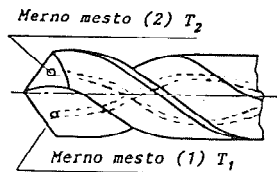
- T - vreme bušenja (s).



Slika 2. Prognoziranje habanja /2/

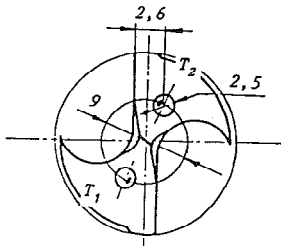


Slika 3. Habanje alata u uslovima konstantne brzine rezanja i konstantnog termonapona

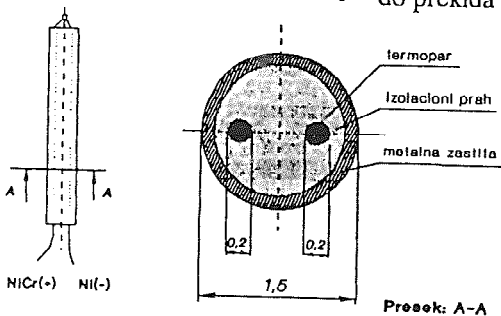


zavojne burgije sa kojom je vršeno ispitivanje je 18 mm. Ostali uslovi obrade su:

- korak: 0.05 mm/o,
- brzine rezanja: 15.8, 20.0 i 25.4 m/min,
- dubina bušenja: 18 mm ($L=D$),
- bez SHP.



Slika 4. Položaj i mesto merenja



Slika 5. Veštački termopar

2. Merenje temperature rezanja

Merenja, obuhvaćena ovim radom se mogu podeliti u dva dela:

- utvrđivanje promene mere-nih veličina u toku vremena obra-de i
- utvrđivanje promene mere-nih veličina sa habanjem alata.

Ispitivanje je vršeno pri obradi bušenjem na strugu više materijala predmeta obrade: Č5430, Č7422 i Č3990. Prečnik

zavojne burgije sa kojom je vršeno ispitivanje je 18 mm. Ostali uslovi obrade su:

- korak: 0.05 mm/o,
 - brzine rezanja: 15.8, 20.0 i 25.4 m/min,
 - dubina bušenja: 18 mm ($L=D$),
 - bez SHP.

Merenje temperature rezanja je vršeno pomoću prirodnog i veštačkog termopara. Temperatura merena pomoću veštačkog termopara je merena u dve tačke, odnosno uske zone (slika 4). To je doprinelo većoj pouzdanosti merenja i sprečilo da usled otkaza jednog od termoparova, iz razloga kontakta sa strugotinom, dođe do prekida i ponavljanja eksperimenta. Relativno veliki prečnik alata i manja dubina rezanja su omogućili da se pri bušenju na strugu, obezbede približno isti uslovi kao pri obradi na bušilici. Pri obradi bušenjem nije korišćeno sredstvo za hlađenje i podmazivanje zbog problema koji se javljaju pri prenosu signala prirodnog termopara a takođe i da se intenziviraju tribološki procesi na reznom klinu i na taj način skрати eksperiment. Veštački termopar je baždaren, dok prirodni termopar nije, zbog složenosti ovog postupka. Zbog toga

su rezultati merenja srednje temperature rezanja prirodnim termoparom izraženi u milivol-tima. Paralelno sa merenjima temperatura rezanja merena je aksijalna sila rezanja tako da

su dobijeni rezultati dati zajedno. Na taj način je obezbeđeno poređenje rezultata merenja otpora i temperature rezanja i utvrđivanje uticaja pojedinih faktora na njihove vrednosti. Uočene razlike između temperatura Θ_1 i Θ_2 su nastale prvenstveno iz razloga nagomilavanja strugotine na žlebu sa donje strane, gde je i izmerena viša temperatura.

3. Promena temperature i otpora rezanja u toku vremena obrade

U okviru ovih ispitivanja vršena je obrada bušenjem u materijalu predmeta obrade Č5430, brzinom rezanja $v=20 \text{ m/min}$ i korakom $s=0.05 \text{ mm/o}$. Pretpostavljajući da se priraštaj temperature može matematički predstaviti u obliku polinoma trećeg stepena (kao i priraštaj otpora rezanja) regresionom analizom dobijenih podataka dolazi se do krivih zavisnosti temperatura rezanja od vremena bušenja (slike 6, 7 i 8):

$$\Theta_i - \Theta_0 = \Delta\Theta_p + A_1(T - T_p) + A_2(T - T_p)^3$$

gde su:

Θ_i - merena temperatura,

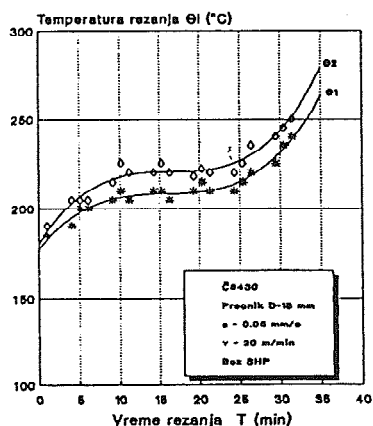
Θ_0 - izmerena temperatura sa novim alatom ($h \rightarrow 0$),

$\Delta\Theta_p$ - porast temperature do prevojne tačke krive ($T=T_p$),

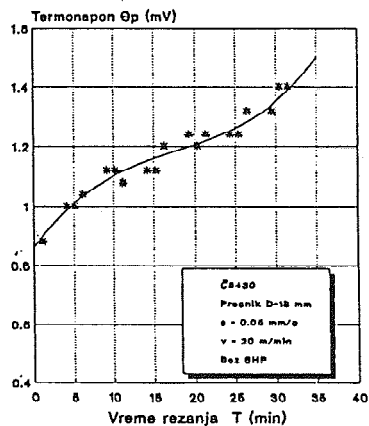
T_p - vreme obrade do prevojne tačke krive.

Tabela 1.

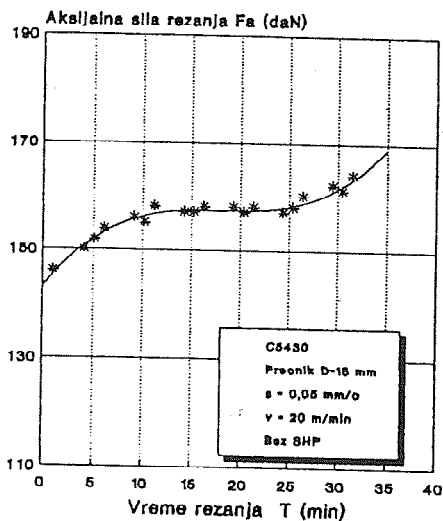
Korelativna zavisnost	koeficijent korelacije
$\Theta_1 - 177 = 31.6 + 0.1(T - 15.9) + 0.0075(T - 15.9)^3$	0.9968
$\Theta_2 - 181 = 39.5 - 0.03(T - 16.4) + 0.009(T - 16.4)^3$	0.997
$\Theta_p - 0.85 = 0.335 + 0.009(T - 17.7) + 0.00003(T - 17.7)^3$	0.9746
$Fa - 143 = 14.4 - 0.02(T - 18.1) + 0.0025(T - 18.1)^3$	0.9983



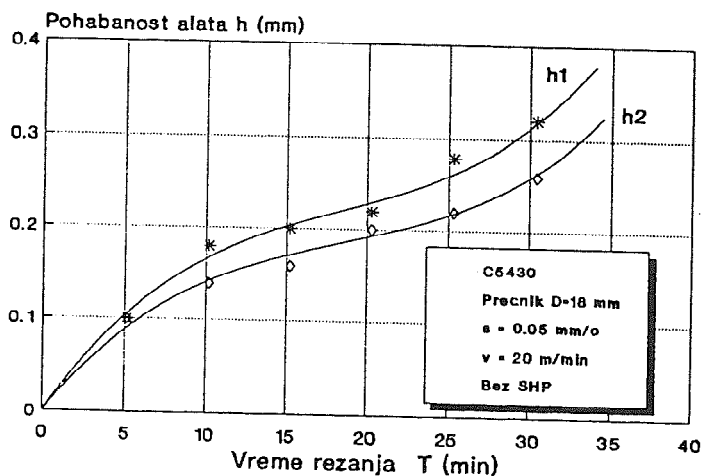
Slika 6. Promena temperature



Slika 7. Promena termonapona



Slika 8. Promena aksijalne sile rezanja



Slika 9. Krive habanja

4. Promene temperature i otpora rezanja sa habanjem alata

Merenje temperature rezanja je vršeno kontinualno, u toku obrade. Nakon obrade određenog broja otvora merena je pohabanost alata i temperatura rezanja na još dva materijala predmeta obrade. Na ovaj način utvrđivan je uticaj habanja i različitih materijala predmeta obrade na temperature rezanja.

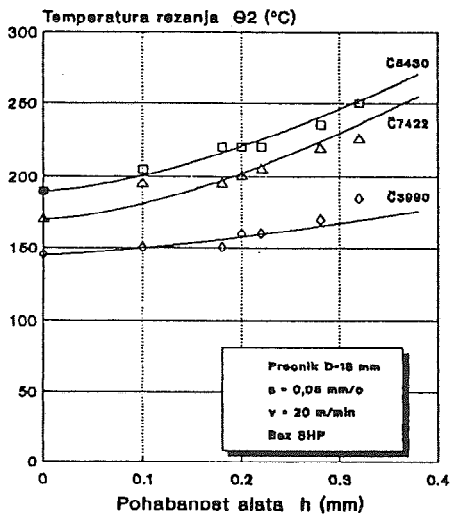
Oblik habanja ispitivane burgije je paraboličan, što je povoljan oblik, jer pri njemu ne dolazi do naglog otkaza burgije. Merene su vrednosti maksimalne širine pojasa habanja na obc ledne površine burgije. Za parametar habanja, pri daljoj analizi uticaja habanja na temperature rezanja i aksijalnu silu, usvojena je veća vrednost (h_1).

Dobijene krive habanja su prikazane na slici 9. Regresionom analizom, uz pretpostavku da je oblik zavisnosti između temperature rezanja i pohabanosti isti kao kod otpora rezanja, dobijaju se krive, prikazane na slikama 10, 11 i 12. Zavisnosti temperature rezanja i habanja alata u ovom obliku ne daje dovoljno dobru korelaciju. Zbog toga su podaci dobijeni merenjem, obrađeni korišćenjem linearnog

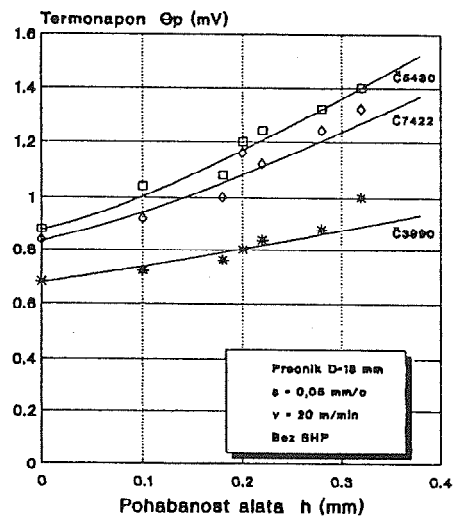
modela (koji daje još manju korelaciju) i pomoću eksponencijalnog modela II u obliku:

$$\Theta_i = \Theta_0 + C h^k$$

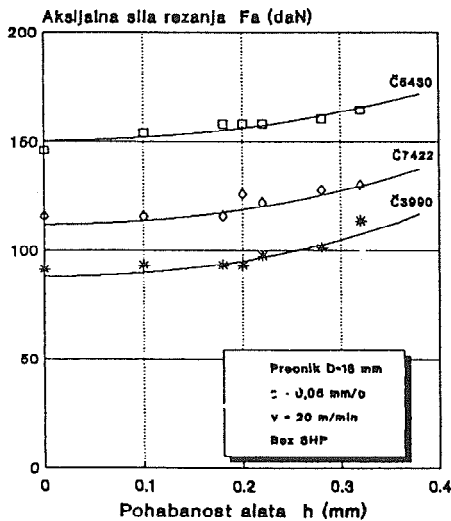
pri čemu je dobijena veoma velika korelativnost posmatranih parametara.



Slika 10. Zavisnost temperature rezanja



Slika 11. Zavisnost termonapona



Slika 12. Zavisnost aksijalne sile rezanja

Temperatura rezanja Θ_2 (slika 10):

$$\check{C}3990 : \Theta_2 = 145 + 118.5 h^{1.368}$$

$$\check{C}7422 : \Theta_2 = 170 + 364.3 h^{1.5}$$

$$\check{C}5430 : \Theta_2 = 190.3 + 343.76 h^{1.504}$$

Termonapon Θ_p (slika 11):

$$\check{C}3990 : \Theta_p = 0.68 + 0.739 h^{1.103}$$

$$\check{C}7422 : \Theta_p = 0.84 + 1.721 h^{1.219}$$

$$\check{C}5430 : \Theta_p = 0.88 + 2.124 h^{1.237}$$

Aksijalna sila rezanja F_a (slika 12):

$$\check{C}3990 : F_a = 88.19 e^{1.95 h^2}$$

$$\check{C}7422 : F_a = 112.35 e^{1.4 h^2}$$

$$\check{C}5430 : F_a = 150.68 e^{0.89 h^2}$$

5. Zaključak

U okviru rada prikazan je relativno nov način merenja temperature rezanja u zonama bliskim zonama rezanja. Na ovaj način učinjen je pokušaj da se problematika merenja temperatura u obradi bušenjem delimično razreši. Smeštanje veštačkih termoparova, kroz rupice za dovođenje SHP, u zone bliskim zonama rezanja omogućeno je praćenje promene merenih temperatura rezanja u zavisnosti od parametara uslova obrade, materijala predmeta obrade i habanja alata. Paralelnim merenjem aksijalne sile rezanja utvrđeno je da je oblik promene temperature rezanja analogan promeni sile rezanja. Za obradu rezultata merenja veoma uspešno (sa velikim koeficijentom korelacije) se može iskoristiti polinom trećeg stepena. Ispitivanja su pokazala da je merena temperatura osetljiviji parametar od sile rezanja pri habanju alata. Usled habanja alata dolazi do znatnijeg porasta temperature rezanja. Poznavanje promene temperature rezanja usled habanja alata za praktičnu primenu bi imalo izuzetnog značaja. Činjenica da je temperatura rezanja veoma osetljiv parametar na promenu habanja alata ukazuje na mogućnosti razvoja senzora habanja na bazi merenja temperature.

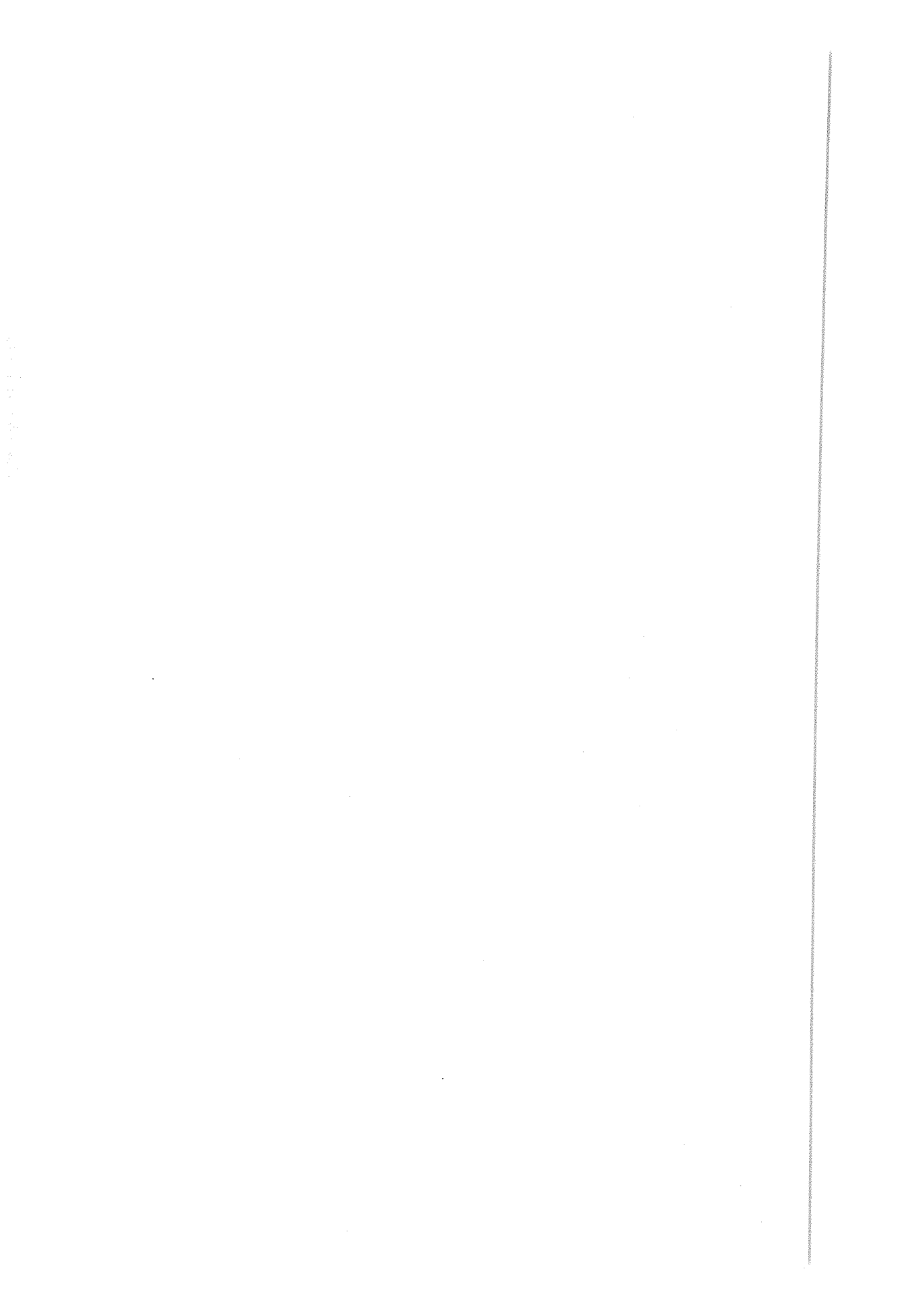
6. Literatura

1. Nedić B., **Upravljanje procesom obrade otvora bušenjem**, magistarski rad, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1992.
2. Stanić J., **Teorija obrade metala I**, Mašinski fakultet, Beograd, 1986.
3. Agapiou S. J., Halldin M. G., DeVries F. M., **On the Machinability of Powder Metallurgy Austenitic Stainless Steels** (prevod na ruski), Savremenoe mašinstroenie, serija B, 1989, No 6.
4. Vulf M. A., **Rezanje metalov**, Mašinstroenie, Lenjingrad, 1973.

THE DRILLING PROCESS CUTTING TEMPERATURE AND RESISTANCE CHANGES

Summary

A relatively new method for measuring the drilling process cutting temperature is shown in this paper. The presented method enables obtaining the temperature data in the close vicinity of the cutting zone. The temperature and cutting resistance data change during the process, as well as the measured tool wear data. These data were used for forming correlative relations. During the work, a simultaneous procedure of measuring the cutting temperature and measuring and analyzing the cutting resistance, or more exactly the axial cutting force, was performed. Knowing the cutting temperature change as well as the relation between temperature and tool wear establishes a base for developing the hole drilling process supervision model.



R. Radiša, M. Gemaljević, M. Stojković *

INTEGRALNI TRETMAN STRUGOTINE I SREDSTVA ZA HLAĐENJE

Rezime

U radu je razmatran problem odvođenja strugotine i sredstva za hlađenje iz zone rezanja, njihova separacija i njihova dalja obrada u sistemu integralnog tretmana strugotine i ekoloških aspekata primenjeno na LOLA horizontalnim obradnim centrima. U radu su prikazani uređaji i neophodni hidroagregati da bi sistem funkcionisao. U zavisnosti od vrste materijala koji se obrađuje i količine nastale strugotine, definisana je familija neophodnih funkcionalnih grupa, koja pokriva ekološki rad familije LOLA horizontalnih obradnih centara.

1. UVOD

Nivo visokoproduktivne, automatizovane i ekonomske obrade rezanjem, zavisi od nivoa razvijenosti tehnologije obrade rezanjem, nivoa razvijenosti upravljanja procesom i nivoa razvijenosti samog obradnog sistema. Jedan od zahteva koji se javlja pri obradi rezanjem, je zahtev za efikasnim i automatizovanim tretmanom strugotine i sredstva za hlađenje. Efikasnim odvođenjem strugotine pozitivno se utiče na postojanost alata, na kvalitet obrađenih površina obratka i smanjena je mogućnost oštećenja elemenata obradnog sistema. Elementi mašine u zoni rezanja i tok sredstva za hlađenje u tom regionu moraju biti projektovani tako da obezbede efikasno odvođenje strugotine iz zone rezanja. Transportni sistem za odvođenje strugotine i sredstva za hlađenje, mora biti projektovan za rukovanje zapreminom i vrstom nastale strugotine, uključujući i sredstvo za hlađenje.

*

Radiša Radomir, dipl. ing maš., LOLA Institut, Beograd
Gemaljević Milenko, dipl. ing maš., LOLA Institut, Beograd
Stojković Miroslav, dipl. ing maš., LOLA FAM, Beograd

2. ZAHTEVI POTREBNI ZA IZBOR VALJANOG TRANSPORTNOG SISTEMA

Za pravilan izbor transportnog sistema i njegovih funkcionalnih grupa neophodno je poznavati sledeće:

- a) način odvođenja strugotine iz zone rezanja
- b) procenjivanje zapremine nastale strugotine
- c) vrstu i oblik nastale strugotine
- d) vrstu i količinu primenjenog sredstva za hlađenje
- e) fizičke veze u sistemu mašina, strugotina, transport
- f) zakonske i socijalne uslove

Automatizovani obradni sistemi tipa horizontalnih obradnih centara, korišćeni pojedinačno kao stanice obrade ili jedinice obrade u okviru fleksibilnog proizvodnog sistema (FPS), zahtevaju automatizovano i efikasno odvođenje strugotine, kako iz zone rezanja tako i od same mašine. Za efikasno odvođenje strugotine iz zone rezanja neophodno je da mašina, alat i radni predmet, stoje u takvom odnosu da strugotina i sredstvo za hlađenje pod uticajem sile zemljine teže nesmetano padaju do transportnog sredstva na mašini. Postolja LOLA horizontalnih obradnih centara prekrivena su teleskopskim prekrivačem, koji su postavljeni tako da usmeravaju strugotinu i sredstvo za hlađenje do transportnog sistema na mašini. Postavljene su i dodatne mlaznice na zaštitnoj komori za spiranje strugotine sa kliznih segmenata teleskopskog prekrivača. Obezbeđeno je snabdevanje sredstvom za hlađenje alata i zone rezanja kroz vreteno radi zaštite konusa alata od unosa čestica metalnog otpada. Obezbeđeno je izduvavanje konusa vretena vazduhom za vreme umetanja alata.

Najveća zapremina strugotine nastala na mašini u jedinici vremena, može biti procenjena poznavanjem snage mašine na vretenu, operacije obrade (struganje, bušenje, glodanje, itd.) i vrste materijala radnog predmeta. Odnos između zapremine nastale strugotine i zapremine odvojenog metala, je u zavisnosti od vrste i oblika nastale strugotine dat koeficijentom ($K > 1$), za različite operacije obrade i različite vrste materijala radnog predmeta.

Vrsta nastale strugotine utiče na vrstu izabranog transportnog sredstva i zahteve postrojenja za preradu strugotine. U zavisnosti od operacije obrade i vrste materijala obratka nastaju različite vrste strugotine (sitna, lomljena, kratka zavojna, duga zavojna, trakasta). Za dobijanje "dobre" strugotine koriste se razne metode, jedna od njih je obrada sa naizmenično-promenljivim korakom u cilju stvaranja "dobre" strugotine. Metod umetanja naizmenično-promenljivog koraka, u proces kontinualnog koraka, razvijen je za lomljenje strugotine i lako odvođenje strugotine iz zone rezanja. Pozitivni efekti primene ovog metoda odnose se na kvalitet obrađene površine, postojanost alata i dinamičko ponašanje elemenata obradnog sistema.

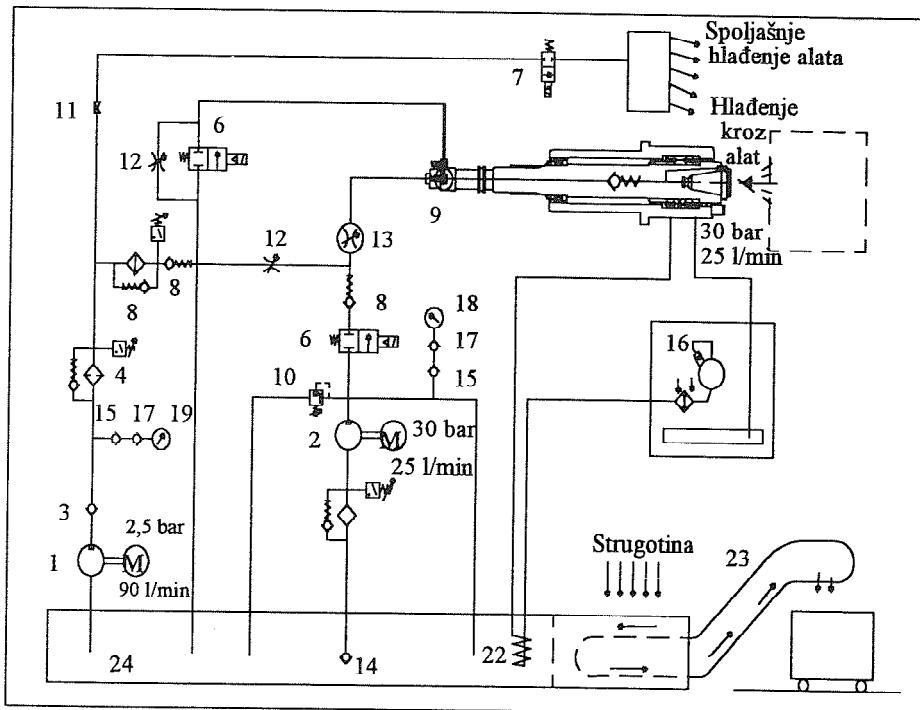
Primenom centralnog sistema hlađenja, ukupna količina sredstva za hlađenje može biti reciklirana. Odvajanje sredstva za hlađenje od strugotine vrši se kroz različite vidove separacije i filtracije. Separacija i filtracija može biti gruba, srednja, fina i superfina. Koriste se različiti sistemi koji se razlikuju po stepenu ostvarene čistoće sredstva za hlađenje po završetku separacije i filtracije.

Mnogi fizički faktori utiču na krajnji projekat transportnog sistema strugotine. U narednoj tački ovog rada data su tehnička rešenja opreme za transport i preradu strugotine i sredstva za hlađenje.

Regulisanje zagađenosti, sigurnosti i smanjenje buke su ekološki faktori koji se uključuju u projekat postrojenja za transport i preradu strugotine i sredstva za hlađenje.

3. OPREMA ZA TRANSPORT I PRERADU STRUGOTINE I SREDSTVA ZA HLAĐENJE

Na slici /1/ prikazana je šema opreme za integralni tretman strugotine i sredstva za hlađenje primenjena na LOLA horizontalnim obradnim centrima.



Slika 1

Legenda:

- | | |
|---------------------------|------------------------------|
| 1. Pumpa niskog pritiska | 13. Indikator protoka |
| 2. Pumpa visokog pritiska | 14. Usisni nepovratni ventil |
| 3. Prigušni ventil | 15. Uvrtna spojnica |
| 4. Filter | 16. Hidroagregat |
| 5. Filter | 17. Priključak za manometar |
| 6. Protočni ventil | 18. Manometar |
| 7. Protočni ventil | 19. Manometar |
| 8. Nepovratni ventil | 20. Savitljivo crevo |
| 9. Ugrađeni pritezač | 21. Filter |
| 10. Sigurnosni ventil | 22. Rashladna cev |
| 11. Loptasta slavina | 23. Transporter strugotine |
| 12. Prigušni ventil | |

Za intenzivno hlađenje koristi se dvobrzinska pumpa -1. Veća brzina treba da omogući protok od 200 l/min sredstva za hlađenje koja se raspoređuje na sledeće grane u sistemu hlađenja:

- intenzivno hlađenje radnog komada (spoljašnje hlađenje alata i radnog predmeta prema slici 1);
- spiranje strugotine iz zone rezanja i sa prekrivača staza usmeravajući ga prema spiralnim transporterima strugotine i
- hlađenje zone rezanja pomoću fleksibilnih creva.

Manja brzina treba da omogući protok od 90 l/min rashladne tečnosti koja se koristi za spiranje strugotine i hlađenje zone rezanja. Pritisak sredstva za hlađenje na izlazu grane za intenzivno hlađenje je 2 bara. Orijentaciona snaga elektromotora za pogon pumpe -1 je 1,5 kW.

Dovod sredstva za hlađenje kroz alat vrši se preko filtera -21, pumpe visokog pritiska -2, nepovratnog ventila -8, i ugradbenog pritezača sa nepovratnim ventilom -9. Filter se postavlja u usisnoj grani pumpe sa kvalitetom filtracije 60 µm i sadrži indikator zaprljanosti filtera.

Sistem hlađenja prednjih ležajeva je nezavisan od prethodno navedenih sistema hlađenja. Za hlađenje se koristi ulje iz hidrauličnog agregata -16 - povratni vod pumpe, koje se usmerava kroz izmenjivač toplote u sastavu hidrauličnog agregata -16, zatim kroz rashladnu cev -22 postavljenu u rezervoaru sredstva za hlađenje, pa prema prednjim ležajevima radnog vretena, a zatim se vraća u rezervoar hidrauličnog agregata.

4. TRANSPORT STRUGOTINE I REZERVOAR SREDSTVA ZA HLAĐENJE

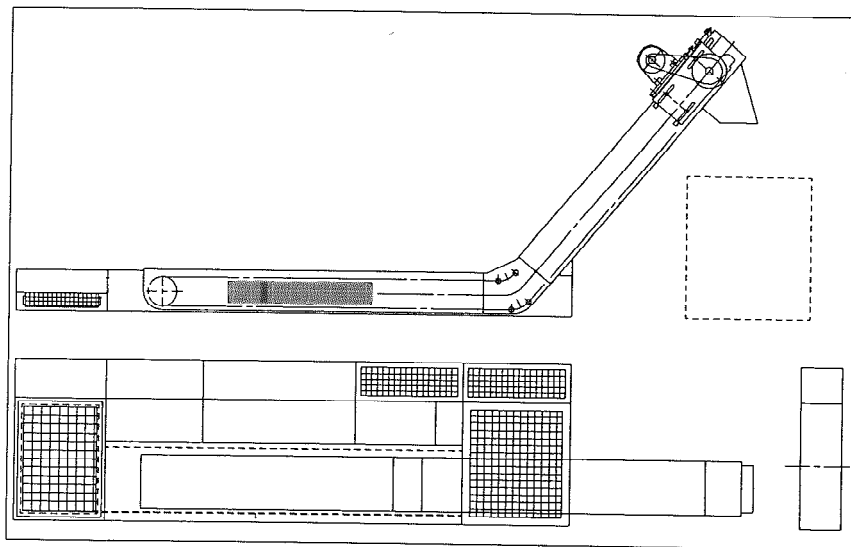
U integralnom sistemu tretmana strugotine važnu ulogu ima rezervoar sredstva za hlađenje, koji sadrži nekoliko separatora različite gradacije sa ciljem da što efikasnije odvoji strugotinu od sredstva za hlađenje. Konstrukcija rezervoara je tako izvedena da što efikasnije obavi osnovni zadatak, ali i da se brzo i efikasno, bez većih zastoja sistema u radu, čisti od zaostale strugotine na pojedinim separatorima. Transportovanjem strugotine iz sistema odvodi se i deo sredstva za hlađenje. Sredstvo za hlađenje se skuplja na dnu suda, odnosno kolica za odnošenje strugotine i zajedno sa strugotinom odvozi na deponiju ili na briketiranje strugotine. Ovim načinom rada se izgubi, vremenom, znatna količina sredstva za hlađenje. Smanjenje gubitka sredstva za hlađenje može se izvesti naknadnom separacijom strugotine i to na dva načina:

- skupljanjem sredstva za hlađenje sa dna kolica za transport - kolica imaju duplo dno. Sredstvo za hlađenje uzeto sa dna kolica ne sme se direktno vratiti u rashladni sistem jer sadrži veliku količinu strugotine. Poželjno je pre vraćanja sredstva za hlađenje u rashladni sistem izvršiti kvalitetnu filtraciju istog.
- drugi način je da se u fazi odvođenja strugotine prema kolicima izvrši centrifugiranje, u cilju separacije sredstva za hlađenje od strugotine. Tada se sredstvo za hlađenje može vratiti direktno u rezervoar sredstva za hlađenje.

U rezervoarima sredstva za hlađenje nalazi se i sistem za separaciju ulja od rashladne tečnosti. Postoje dva načina odvajanja ulja od sredstva za hlađenje (emulzije):

- prvi način odvajanja ulja od emulzije bazira na činjenici da ulje kao lakše pliva po emulziji. U posebno izvedenoj komori pumpom se izvlači ulje sa površine emulzije.

- drugi način bazira na činjenici različitog viskoziteta ulja i emulzije. Rotacioni disk izvlači ulje iz rezervoara. Na drugoj strani diska se nalazi skidač ulja koji skinuto ulje sa diska usmerava prema posudi za skupljanje ulja.



Slika 2

Na slici 2, prikazano je rešenje transportera strugotine i rezervoara sredstva za hlađenje primenjeno na LOLA horizontalnim obradnim centrima. Kod obradnih centara koriste se, uglavnom dve različite konstrukcije transportera strugotine, transporteri strugotine sa nosećim elementima i transporteri strugotine sa grebućim elementima. Horizontalni obradni centri proizvedeni u LOLI koriste transporter strugotine sa grebućim elementima. Osnovne funkcionalne grupe transportera strugotine prikazanog na slici /2/ su:

- pogon transportera strugotine - asinhroni motor, zupčasti i laučasti prenosnik sa sigurnosnom spojnicom za slučaj preopterećenja;
- lančanik zatezač;
- lanac sa transportnim samopodešljivim elementima;
- telo transportera strugotine sa vodičama, usmeračima lanaca, elementima za vezu sa rezervoarom i usmerivačem strugotine prema kolicima za transport strugotine od obradnog sistema.

5. ZAKLJUČAK

Integralni tretman strugotine i sredstva za hlađenje je preduslov automatskog rada obradnog sistema. Automatizovano i kontinualno odvođenje strugotine iz radnog prostora mašine je preduslov za ostvarenje zahtevane tačnosti obrade, sigurnosti rada i ostvarenja zadovoljavajuće produktivnosti obradnog sistema. Recikliranjem sredstva za hlađenje postiže se znatno smanjenje troškova sredstva za hlađenje i ekološki rad obradnog sistema. U tu svrhu su u LOLI razvijeni transporteri strugotine i oprema za preradu sredstva za hlađenje, izrađeni od jediničnih funkcionalnih grupa i standardnih elemenata, što osigurava brzu i jeftinu montažu i laku zamenu.

LITERATURA

- /1/ Swarf removal, The Machine Tool Industry Research Association, London 1989
- /2/ Šolaja, V.: O sličnostima i razlikama izlaza iz dva pristupa optimizaciji procesa bušenja, 17. JUPITER konferencija, 13. jugoslovenski simpozijum NU - ROBOTI - FTS, Zbornik radova, str. 7 -12, Kopaonik, 1991
- /3/ Radiša, R.: Odvođenje strugotine iz zone rezanja, Izveštaj LOLA Instituta, 9 str, Beograd, 1991
- /4/ Istraživanje, razvoj i projektovanje horizontalnog obradnog centra HMC 630, Elaborat 923, Lola Institut, Beograd, 1994.

Radiša, R., Gemaljević, M., Stojković, M.:

INTEGRAL TREATMENT OF METAL CHIPS AND COOLING AGENTS

Summary

The paper deals with problems related to the elimination of metal waste and cooling agents from the cutting zone, their separation and further processing in the system for integral treatment of LOLA machining centers ecological aspects. Devices and hydroagregates necessary for the system operation are also shown. Depending on the type of material being machined and the quantity of generated chips, a family of necessary functional groups covering the ecological operation of LOLA horizontal machining centers was defined.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

S. Radonjić, Z. Nikić, B. Jovanović *

TAJLOROVI IZRAZI PRI OZUBLJENJU PFAUTER GLODALOM

Rezime

Na osnovu opsežnog programa istraživanja prilagodjenog tekućoj proizvodnji fabrike "14. oktobar" u Kruševcu, došlo se do izuzetno vrednih rezultata u obradi ozubljenjem Pfauter glodalom. Definisani su Tajlorovi izrazi; date su komparativne karakteristike alata bez i sa TiN prevlakom, kao i regenerisanog sa TiN prevlakom.

1. UVOD

Rezultati koji se prezentiraju u ovom radu predstavljaju deo programa istraživanja obavljenih u okviru projekta TESOR - Tehnologija i sistemi obrade rezanjem, na temu Konstrukcija i eksploatacija alata sa tvrdim prevlakama; finansiran od Fonda za nauku i tehnologiju u periodu od 1991-1993.

Program proizvodnih istraživanja i uvođenje alata sa plazmenim tvrdim prevlakama u proces ozubljenja izveden je u pogonu Fabrike transmisija "14. oktobar" u Kruševcu.

Polazeći od raznolikosti metoda nanošenja plazmenih tvrdih prevlaka, uzimajući u obzir sve tehnok ekonomske aspekte, računajući na trenutne infrastrukturne kapacitete (PUSK 83, VAC-TEC), a polazeći od ranijih svojih iskustava u radu sa tvrdim prevlakama, autori ovog programa odlučili su se na ARC- sistem (Centar za tvrde prevlake u Novom Sadu).

Prilikom realizacije programa posebno je obraćena pažnja i na eksploatacione karakteristike alata sa tvrdim prevlakama koji su podvrgnuti postupku regeneracije.

Ispitujući uticaje povećanih brzina rezanja na postojanost i ostale tehnok ekonomske karakteristike procesa obrade, korišćen je postupak koji je omogućio identične uslove ispitivanja, a samim tim verodostojne podatke i rezultate. Prilikom ispitivanja radjeno je sa alatima bez prevlake i alatima sa tvrdom prevlakom, a radi uporedjivanja njihovih reznih karakteristika alati su iz iste serije proizvodnje.

*-----
Dr Snežana Radonjić, doc., Tehnički fakultet Čačak,
Prof.dr Zoran Nikić, Tehnički fakultet Čačak,
Božidar Jovanović, dipl.maš.ing., "14.oktobar" Kruševac

2. USLOVI ISPITIVANJA

Ispitivanja su obavljena u proizvodnim uslovima fabrike "14. oktobar" u Kruševcu.

Mašina: horizontalna odvalna glodalica PFAUTER P250H.

Alat: odvalno glodalo $m=3,5_0$ mm proizvođača "Jugoalat" Novi Sad, sledećih karakteristika: $\alpha_n=30^0$, broj hodova $z_1=1$, smer glodanja desni, ugao zavojnice glodala $\gamma=2^0 27'8''$, broj žljebova po obimu odvalnog glodala $n_1=12$, materijal S-6-5-2, 66 do 67 HRC.

Tvrda prevlaka ARC VAC-TEC (Centar za tvrde prevlake u Novom Sadu): debljina sloja 3,4 μ m, mikrotvrdoća 2320 HVo,025, sila adhezije 57 N. Sredstvo za hladjenje i podmazivanje SG-52, JUS B.H3.526, 50 lit/min.

Obradak: ozljebljeno vratilo gabaritnih mera $\phi 250 \times 335$ mm, a obradivana dužina 100 mm, modula $m=3,5$ mm, broj zuba $z=28$, osnovni ugao $\alpha_n=30^0$, Č.4732, poboljšan na 100-110 daN/mm² - otkovak.

Režimi obrade:

- pri obradi sa alatom bez tvrde prevlake (BČ) korišćena je brzina rezanja $v=30,4$ m/min;
- pri obradi sa alatom sa TiN prevlakom korišćene su sledeće brzine rezanja: $v = 30,4$ m/min; 33,2 ; 35,9 ; 38,7 i 41,5 m/min;
- pri obradi sa regenerisanim (preošćenim) odvalnim glodalom sa tvdom prevlakom korišćene su sledeće brzine rezanja: $v=30,4$; 33,2 i 35,9 m/min.

Pomoćno kretanje je kod svih alata, sa svim brzinama rezanja bilo isto:

- aksijalni korak $s_a=1,5$ mm/o obradka i
- radijalni korak $s_r=0,32$ mm/o obradka.

Osnovna kretanja u procesu obrade:

- obradak ima obrtno kretanje oko svoje ose koje je u sprezi sa obrtnim kretanjem alata preko promenljivih zupčanika na mašini;
- odvalno glodalo pored obrtnog kretanja ima radijalno kretanje u odnosu na obradak (ulazi u obradak do potrebne mere ozubljenja) i aksijalno kretanje duž obratka do potrebne dužine ozubljenja.

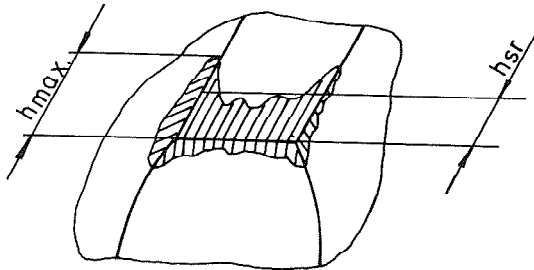
Regeneracija glodala je vršena na oštrilici AGW-302 "KLINGELNBERG" sa brusnom pločom $\phi 250 \times 20 \times \phi 50,8$ kvaliteta BB60J8V, proizvođača "Idnina" Kratovo, uz korišćenje SHP HSF-71 "FAM" Kruševac IF03302. Brusna ploča sa vretenom je nagnuta pod uglom od 15^0 prema vertikalnoj ravni. Tocilo ima kružno kretanje sa $v=35$ m/min i aksijalno kretanje (uz uspon zavojnice žljeba $\gamma=2^0 27'8''$) $v_a=16$ m/min. Oštrenje se vrši po grudnoj površini zuba glodala; pri svakom prolazu se skida 0,001 mm. Ukupna debljina skidanog sloja zavisi od širine pojasa habanja na ledjnoj površini h mm.

3. REZULTATI ISPITIVANJA

Pri ispitivanju bila je jedna pogodnost, što se za obradu sa jednom brzinom koristio jedan red radijalnih zuba odvalnog glodala (po obimu), a kako je alat imao deset ovakvih redova, to je bilo omogućeno, u istim uslovima obrade, sa istim alatom, varirati brzine rezanja. Pa može da se kaže da su dobijeni rezultati veoma pouzdani.

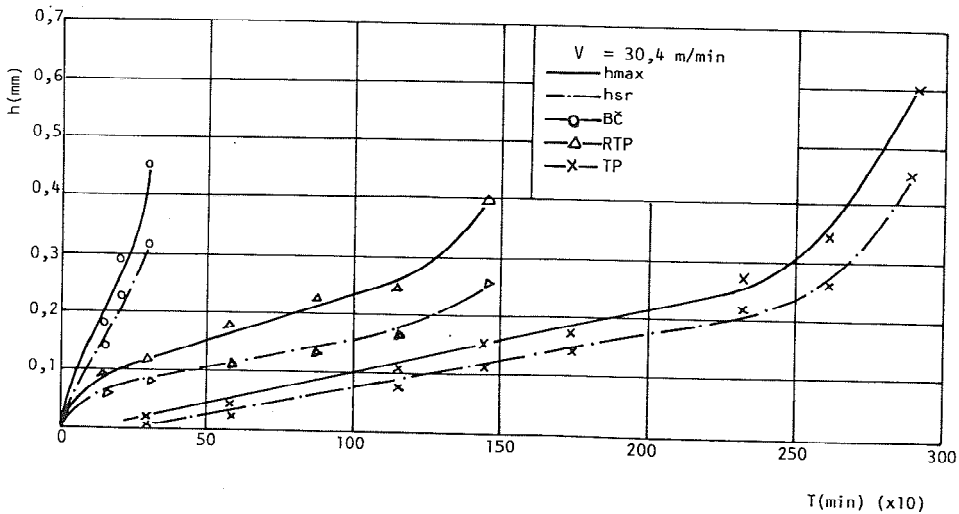
Slika habanja sa parametrima habanja po ledjnoj površini zuba odvalnog glodala, data je na slici 1. Habanje je mereno na alatnom

mikroskopu. Proces habanja je praćen na tri reprezentativna zuba u jednom radijalnom redu (po obimu) glodala. Za krive habanja korišćene su srednje vrednosti od tri merenja.



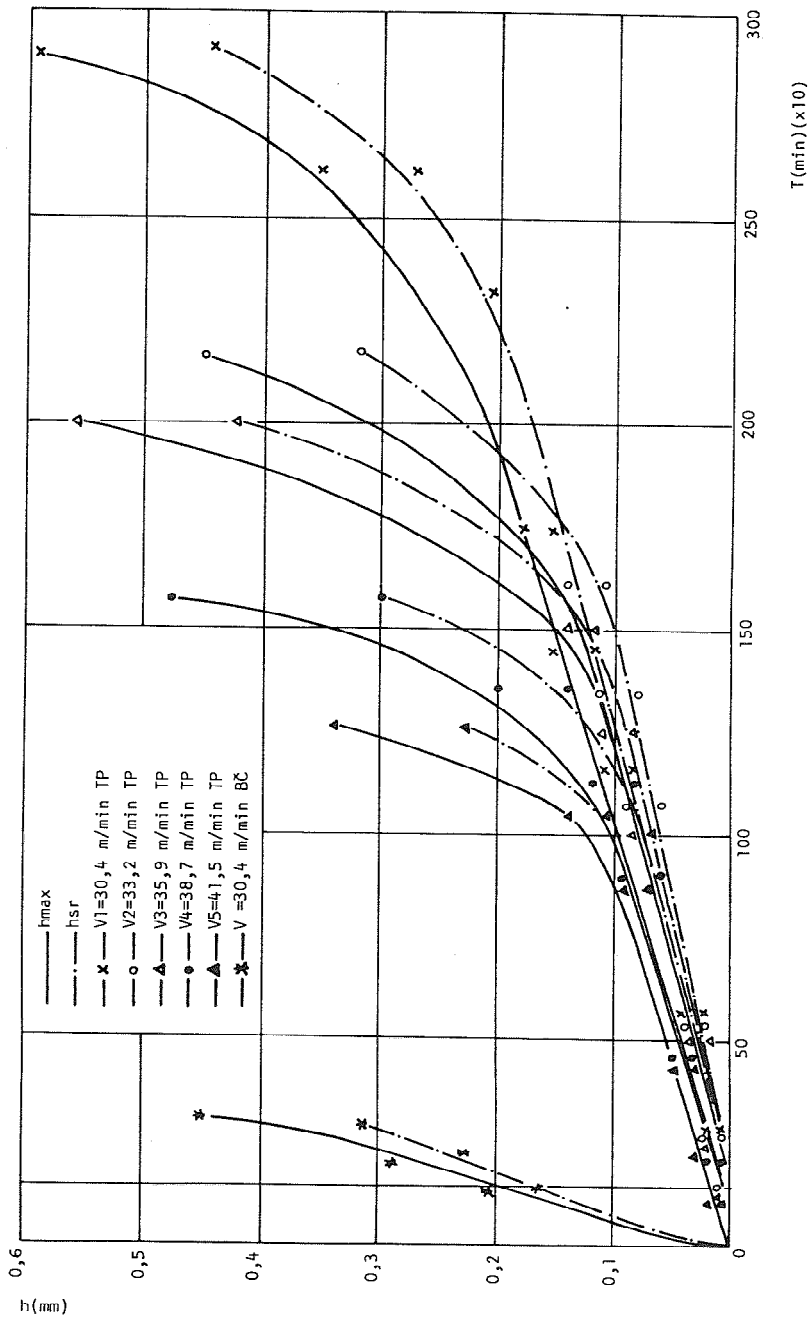
Sl.1. Slika habanja zuba odvalnog glodala sa parametrima habanja

Na slici 2. date su uporedne krive habanja dobijene pri obradi sa brzinom rezanja $v=30,4$ m/min, za alat bez tvrde prevlake, za alat sa tvrdom prevlakom na bazi TiN i za regenerisani alat sa tvrdom prevlakom.



Sl.2. Uporedne krive habanja dobijene pri ozubljenju sa alatom bez prevlake (BČ), alatom sa TiN prevlakom (TP) i regenerisanim alatom sa TiN prevlakom (RTP)

Na slici 3. date su uporedne krive habanja za različite brzine rezanja sa oslojenim alatom i za jednu brzinu sa neoslojenim alatom. Rezultate u dijagramu treba množiti sa 10, jer glodalo ima deset radijalnih redova.



Sl.3. Uporedne krive habanja pri ozubljenju alatom bez tvrde prevlake i alatom sa TiN prevlakom, za različite brzine rezanja

Na bazi dobijenih podataka definisani su Tajlorovi izrazi, zavisnosti brzine rezanja i postojanosti, za različite kriterijume zatupljenja, pri obradi odvalnim glodalom sa tvrdom prevlakom kao i obradi sa regenerisanim glodalom sa tvrdom prevlakom:

a) alat sa tvrdom prevlakom - TP

$$\text{za } h=0,2 \text{ mm} \quad v = \frac{634}{T^{0,5698}}$$

$$\text{za } h=0,3 \text{ mm} \quad v = \frac{387}{T^{0,4613}}$$

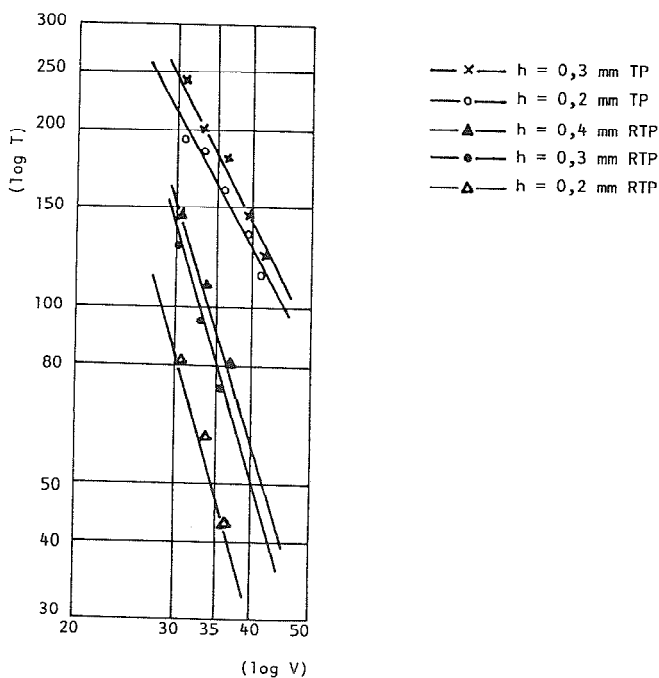
b) regenerisani alat sa tvrdom prevlakom - RTP

$$\text{za } h=0,2 \text{ mm} \quad v = \frac{98,65}{T^{0,268}}$$

$$\text{za } h=0,3 \text{ mm} \quad v = \frac{127,68}{T^{0,2957}}$$

$$\text{za } h=0,4 \text{ mm} \quad v = \frac{126,36}{T^{0,28567}}$$

U dijagramu na sl.4. data je zavisnost brzine rezanja i postojanosti za odvalno glodalo sa tvrdom prevlakom TP i regenerisano glodalo sa tvrdom prevlakom RTP, za različite kriterijume zatupljenja.



Sl.4. Zavisnost brzine rezanja i postojanosti odvalnog glodala za različite kriterijume zatupljenja

4. ZAKLJUČAK

Uvodjenje alata za ozubljenje sa tvrdim prevlakama u proizvodni proces fabrike "14.oktobar" u Kruševcu pokazao se opravdanim. Postojanost Pfauter glodala oslojenog TiN je preko pet puta veća od neoslojenog. Ono što je još interesantnije, i kod regenerisanih odvalnih glodala sa prevlakom od TiN postojanost je preko tri puta veća od novog neoslojenog alata.

Ovo poboljšanje eksploatacionih karakteristika alata ima bitan uticaj na smanjenje troškova proizvodnje.

Na bazi dobijenih rezultata definisani su Tajlorovi izrazi (zavisnost postojanosti i brzine rezanja) za različite kriterijume zatupljenja, za alate sa TiN prevlakom i regenerisane alate sa TiN prevlakom.

5. LITERATURA

- [1] Z.Nikić, S.Radonjić, V.Jugović, B.Jovanović, Uvodjenje tehnologije ozubljenjaalatima sa plazmenim tvrdim prevlakama u "14.oktobar" Kruševac, Naučno razvojni projekat, Tehnički fakultet Čačak,1992.
- [2] Z.Nikić, S.Radonjić, Plasma technologies and tribo processes on tools for too thing, INTERTRIBO'90, Čehoslovačka,1990.
- [3] S.Radonjić, Z.Nikić, B.Jovanović, Eksploatacione karakteristike Fellows noževa sa TiN prevlakama, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Novi Sad, 1992.
- [4] Z.Nikić, S.Radonjić, V.Jugović, B.Jovanović, Eksploatacione karakteristike Pfauter glodala presvučenih slojem TiN, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Novi Sad, 1992.
- [5] Z.Nikić, S.Radonjić, Exploiting Characteristics of Pfauter Milling Cuttercoated with TiN Layers, Production Research 1993, 12th ICPR, Lappeenranta, Finland, 1993.

TAYLOR'S EXPRESSIONS FOR TOOTHING BY PFAUTER MILLING

Summary

Valuable results for tothing by Pfauter milling were obtained on the basis of a vast research programme adapted to the current production process at the "14. oktobar" factory in Kruševac.

Taylor's expressions are defined; comparative characteristics are given for the tools with and without TiN coatings, as well as for the tools regenerated with TiN coatings.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Рыжов Э. В.

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ПРИ ФИЗИКО-
МЕХАНИЧЕСКИХ МЕТОДАХ ОБРАБОТКИ

Резюме

Технический прогресс машиностроения в значительной степени характеризуется совершенствованием технологии производства машин. Особое значение имеет дальнейшее развитие технологии механической обработки, оказывающей большое влияние на качество деталей и их эксплуатационные свойства.

Доклад посвящен связи условий выполнения технологических операций с качеством поверхности деталей.

В докладе приводятся методы обработки, способствующие повышению эффективности механического воздействия на заготовки путем введения дополнительной энергии.

1. Введение.

Характерным является тот факт, что машины совершенно одинаковых конструктивных компоновок из одних и тех же материалов часто имеют весьма отличающуюся надежность. Причиной этого во многих случаях являются различия в технологических процессах изготовления машин.

Изменения в технологии диктуются потребностями производства необходимых машин.

В свою очередь, развитие новых прогрессивных технологических методов обработки способствует конструированию более современ-

Проф. доктор техн. наук Эдуард Вячеславович Рыжов,
Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля, Киев, Украина.

менных машин, использованию новых материалов, уменьшению труда на их изготовление. Ясно, что дальнейшее повышение уровня машиностроения невозможно без широкого использования достижений технологической науки. Она позволяет не только технологу, но и конструктору строить свою работу, опираясь как на опыт производства, так и на технические расчеты.

Эксплуатационные свойства многих машин - износостойкость, коррозионная стойкость, герметичность, усталостная прочность, электро- и теплосопротивление контактов, отражательная способность поверхностей, прочность прессовых соединений и другие - в значительной степени определяются геометрическими параметрами поверхностей, физико-механическими и химическими свойствами, микроструктурой поверхностных слоев, следовательно, неразрывно связаны с технологией изготовления деталей.

2. Технологическое обеспечение качества поверхности.

Детали после любого метода формообразования имеют на своих поверхностях шероховатость (микронеровности), а во многих случаях, кроме того, волнистость и отклонения от правильной геометрической формы (макронеровности - овальность, конусность и т. д.). Наличие указанных неровностей приводит, например, к дискретному характеру соприкосновения деталей в соединениях. В результате действительная (фактическая) площадь касания всегда меньше номинальной, ограниченной внешними размерами соприкасающихся тел и являющейся основой для проектно-конструкторских разработок. Это приводит к большим контактным давлениям и деформациям, оказывающим значительное влияние на процессы, протекающие в соединении - трение и износ, фреттинг-коррозию, перемещения, определяющие контактную жесткость, герметичность и виброустойчивость, надежность посадок и т. д. [1].

Технологическое обеспечение шероховатости - одного из важнейших параметров поверхности - часто базируется лишь на зависимостях между методами окончательной обработки и высотой микронеровностей (чистовое точение обеспечивает $R_a = 0,80-2,5$ мкм, тонкое точение $R_a = 0,10-0,80$ мкм, чистовое строгание $R_a = 1,0-6,3$ мкм, чистовое фрезерование $R_a = 1,0-4,0$ мкм). Однако, как показали экспериментальные и теоретические решения контактных задач с учетом состояния реальных поверхностей, этих данных явно недостаточно. Значительную роль здесь играет величина и закон высотного изменения опорной (несущей) площади каждой из

сопрягаемых поверхностей: шероховатые поверхности с одинаковой высотой неровностей, но с различными опорными площадями будут иметь отличающуюся несущую способность. Уменьшение высоты неровностей, получаемое одним и тем же определенным технологическим методом (шлифованием, полированием, хонингованием и т. д.), приводит к возрастанию опорной площади. Достижение меньшей высоты шероховатости при изменении метода обработки совершенно не означает обязательного получения большей опорной площади, чем для поверхности с большей высотой шероховатости, но обработанной иным методом. Следовательно, при необходимости обеспечения определенной опорной (несущей) площади данной детали недостаточно ограничиваться только назначением высотных параметров, а необходимо обязательно определять технологический метод получения поверхности с заданной шероховатостью.

Опорная площадь может оказаться одинаковой для нескольких поверхностей, обработанных различными технологическими методами. Отличие таких поверхностей устанавливается по геометрическим характеристикам отдельных неровностей профиля (микронеровностей) - углам профиля, радиусам кривизны профиля выступа (закругления вершин), шагу неровностей профиля (по вершинам и по средней линии), их соотношениям и т. д.

Оценка шероховатости поверхности будет неполной, если не учитывать направление неровностей.

Несущая способность поверхностей деталей в значительной степени зависит от волнистости и макронеровностей, приводящих к уменьшению фактической (несущей) площади по сравнению с ровной шероховатой поверхностью (при наличии волн в 5-10 раз, а при отклонениях от правильной геометрической формы - в десятки и даже сотни раз).

Эксплуатационные показатели зависят не только от геометрических параметров качества, но и от физико-механических свойств поверхностей, степени и глубины наклепа (упрочнения), величины и знака остаточных напряжений и др. Каждый технологический метод обработки (точение, шлифование, хонингование и т. п.) имеет свои количественные и качественные характеристики, свой "почерк" - определенную высоту неровностей, их шаги, радиусы округления вершин, направление неровностей, степень и глубину наклепа и т. д.

3. Качество поверхности при физико-механической обработке

Совершенствование процессов обработки возможно как за счет

повышения эффективности методов механической обработки (лезвийной, абразивной, деформирующей), так и путем дополнительного воздействия на зону контакта инструмента и детали (тока, плазмы, магнитного поля и др.), т.е. использования процессов комбинированной физико-механической обработки.

Все более широкое применение находят различные материалы, обработка которых в ряде случаев представляет определенные трудности, а иногда даже препятствует их использованию на промышленных предприятиях.

Так, например, широко используются на деталях наплавки и покрытия, имеющие объемную твердость HRC 58-64 и микротвердость отдельных включений типа боридов, карбоборидов, карбидов, достигающую до 4 10 МПа, что значительно ограничивает возможности их обработки твердосплавными и абразивными инструментами.

Для точения указанных деталей успешно применяется поликристаллический сверхтвердый материал "киборит" (при глубине резания 1,5-2 мм и работе "по корке"). При чистовой обработке удается достигнуть R - 0,3 мкм, исключив в ряде случаев последующее шлифование.

Эффективность точения можно значительно повысить, применив плазму для предварительного нагрева металла - тонкое плазменно-механическое точение взамен шлифования наплавленных деталей позволяет в широких пределах варьировать параметрами их качества.

Широкое распространение получает метод алмазно-электроэрозионного шлифования алмазными кругами. Оптимизация режимов обработки позволила обеспечить высокую опорную площадь поверхностей, отсутствие структурной необходимости, наличие сжимающих остаточных напряжений.

Перспективен метод магнитно-абразивной обработки деталей изразличных материалов (стали, чугуна, меди, алюминия, драгоценных металлов и др.). При данном методе возможны два основных режима - обеспечивающий частичное сохранение исходных неровностей или полностью их устраняющий. Обеспечивается большая опорная площадь (60-70%) и радиусы закругления вершин 300-5000 мкм при снижении Ra с 0,54-1,5 мкм до 0,02 мкм.

Весьма перспективным является метод электромеханической обработки, когда в зону контакта инструмента (пластины или ролика) и детали подается ток и происходит сглаживание неровностей и упрочнение поверхностного слоя сразу после точения или строгания. Обработка выполняется на универсальном оборудовании. В ряде случаев исключается. Термическая обработка и шлифование,

т. к. высота неровностей соответствует шлифованной поверхности, а опорная площадь превышает эту площадь после шлифования в 1,5-2 раза.

Все эти способы позволяют не только эффективно обрабатывать новые материалы, но и достигать при этом высокого качества деталей, технологического управления эксплуатационными показателями деталей машин [2].

Литература

[1] Рыжов Э. В. Технологические методы повышения износостойкости деталей машин. - Киев: Наукова думка. - 1984 - 272 с.

[2] Рыжов Э. В., Аверченков В. И. Оптимизация технологических процессов механической обработки. - Киев: Наукова думка. 1989 - 192 с.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

S. Sekulić*

FUNKCIJE RASPODELE OTKAZA REZNOG ALATA

Rezime

U radu je izložena praktična primena programskog paketa "Curvefit", koji omogućuje određivanje konstanti u 25 različitih matematičkih modela. Izlaz "Bestfit" daje 18 prvorangovanih jednačina, na osnovu koeficijenata korelacije, pri čemu se usvaja prvi u rangu.

1. UVOD

Ispitivanja zavisnosti brzina rezanja - postojanost u laboratorijskim uslovima, ukazuje da se za iste uslove pri obradi dobijaju značajna rasipanja postojanosti kao posledica neujednačenih triboloških uslova pri rezanju. Iz tih razloga obično se vrše preliminarna ispitivanja sa većim brojem alata, pri čemu se eliminišu alati sa ekstremnim vrednostima postojanosti, a sa preostalim se vrše sistematska ispitivanja. Posmatrajući ovakav način izbora reprezentativnih alata za ispitivanje funkcije postojanosti sa verovatnosnih pozicija možemo zaključiti da on nema nikakve podloge i opravdanja.

Prikupljanjem podataka o otkazima alata svih vrsta, u proizvodnim uslovima, uočava se vrlo veliko rasipanje koje je posledica manje kontrolisanih uslova vezanih, pre svega, za obradak i alat, a i ostale uslove koji prate proces. Pored toga, u realnim uslovima obrade, do otkaza alata ne dolazi samo usled triboloških pojava u zoni rezanja već i kao posledica drugih, slučajnih, poremećaja.

Na osnovu napred izloženog potrebno je razlikovati pojam postojanosti i vremena bezotkaznog rada alata i dati za oba pojma tačnije definicije, obzirom da je obrada rezanjem tipičan stohastički proces.

Tako se za postojanost alata može reći da predstavlja srednje zbimo vreme efektivnog rezanja do pojave zatupljenja, definisanog merodavnim kriterijumima habanja, dok vreme bezotkaznog rada, u proizvodnim uslovima, predstavlja srednje zbimo vreme rezanja do pojave otkaza alata. Na osnovu napred izloženog može se zaključiti da je srednje vreme bezotkaznog rada manje od postojanosti alata. Razlikovanje gore dva navedena pojma je vrlo

*Prof. Sekulić St.Sava, dipl.inž., redovni profesor, Institut za industrijske sisteme, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad

značajno obzirom da se prvi odnosi na tribološke karakteristike materijala obratka i alata, pri ostalim istim uslovima, a drugi i na ostale, slučajne poremećaje koji prate realne proizvodne uslove.

Praćenje otkaza alata u realnim proizvodnim uslovima, kao što je napred navedeno, ukazuje na značajno rasipanje vrednosti, pri čemu se mogu izdiferencirati otkazi kao posledice triboloških pojava i otkazi usled drugih uticaja.

Varijanje režima obrade u proizvodnim uslovima je vrlo teško ili čak neizvodljivo, ali se lako mogu registrovati podaci o otkazima i postojanosti pri nepromenjenom režimu obrade.

U zavisnosti od veličine serije koja se obrađuje, broj registrovanih vrednosti može biti različit. Ako je broj registrovanih vrednosti $N \geq 50$ on predstavlja reprezentativan uzorak, a ukoliko je $N < 50$ on to više nije. Za oba slučaja treba primeniti odgovarajuće metodologije obrade podataka koji omogućuju određivanje funkcije raspodele otkaza, pouzdanosti, intenziteta i frekvence postojanosti ili otkaza i srednje vrednosti postojanosti ili bezotkaznog rada alata.

2. ODREĐIVANJE SREDNJE VREDNOSTI POSTOJANOSTI ODNOSNO SREDNJEG VREMENA BEZOTKAZNOG RADA ALATA

Stanje reznog alata može se opisati prostom funkcijom stanja

$$x(t) = \begin{cases} 1 & \text{alat u radu} \\ 0 & \text{alat u otkazu} \end{cases}$$

Vreme do otkaza nije konstantno, već predstavlja slučajnu veličinu koju možemo prognozirati ako znamo parametre funkcije raspodele otkaza.

Funkcije raspodele otkaza reznog alata određuju se na osnovu praćenja otkaza alata u vremenu.

Kao što je poznato statistički reprezentativan uzorak treba da ima preko 50 podataka ($N \geq 50$). Obrada ovako prikupljenih podataka zahtevaznatan utrošak vremena ili posedovanje računara i razvijene odgovarajuće programe za njihovu obradu.

U maloserijskoj proizvodnji, kao i pri hitnim potrebama, parametre funkcije raspodele otkaza treba odrediti na osnovu praćenja u kraćem periodu vremena, odn. na osnovu malog broja podataka o otkazima, što predstavlja nedovoljno reprezentativan uzorak ($N \geq 50$), jer ne postoje uslovi za realizovanje predhodno napomenute procedure koja se odnosi na reprezentativan uzorak.

U ovakvim slučajevima dovoljno je u toku tekuće proizvodnje, obaviti snimanje krivih habanja (minimum 5-6). Sa krivih $b=f(t)$ odn. $b=f(z)$ (gde je z broj obrađenih obradaka na posmatranoj operaciji, tj. $t=kz$ i $k=const.$), za usvojeni kriterijum $b=B$, određuju se pripadajuće postojanosti.

Parametri raspodele otkaza reznog alata mogu se odrediti grafoanalitički ili čisto grafičkim postupkom.

Hipoteza o raspodeli se prihvata ukoliko su, za celu populaciju, odstupanja svih tačaka, manja od kritične vrednosti (daju se tablično u zavisnosti od veličine uzorka N i nivoa poverenja α), koje obrazuju interval poverenja.

Kada su poznati parametri funkcije raspodele otkaza $F(t)$, mogu se odrediti: pouzdanost $R(t)$, frekvencija $f(t)$, intenzitet otkazal $\lambda(t)$ i srednje vreme bezotkaznog rada T_x .

3. IZBOR FUNKCIJE RASPODELE OTKAZA REZNOG ALATA

Literaturni izvori ukazuju sa se kao funkcija raspodele otkaza reznog alata najčešće koristi Weibull-ova raspodela međutim, u prvim radovima vezanim sa pouzdanost alata primenjavana je normalna raspodela [1]. U pojedinim radovima sreću se i eksponencijalna, log-normalna, gama i Poasonova raspodela [2].

U dosadašnjem višegodišnjem radu na problematici vezanoj za primenu pouzdanosti reznog alata autor ovog rada je, kao dovoljno opštu, redovno primenjivao Weibull-ovu raspodelu, obzirom da je u pitanju tehnički sistem i da je raspodela frekvenci najčešće bila nesimetrična.

Da bi se problematika izbora funkcije raspodele otkaza izvršila sa širih stanovišta iz značajne datoteke o otkazima alata odabrano je više serija podataka, koje su obrađene primenom programskog paketa "Curvefit", koji omogućuje određivanje konstanti u 25 različitih matematičkih modela (Sl. 1.)

Nakon obrade prikupljenih podataka, kao izlaz "Bestfit" dobija se 18 prvorangovanih jednačina, na osnovu koeficijenata korelacije ili manje ukoliko je $r^2 < 0,1$ (Sl. 2. i Sl.3.)

4. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Eksperimentalna ispitivanja obuhvataju podatke jedanaest serija opita:

- šest serija opita sadrže šest pozicija obrade na automatskoj blok liniji za obradu klipova motora sa unutrašnjim sagorevanjem (Prva serija, pozicija KS-1, veličina uzorka $N_1 = 39$, druga serija; KS-2; $N_2 = 40$, treća serija; KS-3; $N_3 = 46$, četvrta serija; KS-4; $N_4 = 43$, peta serija; KS-5; $N_5 = 40$ i šesta serija; KS-6; $N_6 = 50$) [3,4],
- sedma serija odnosi se na poziciju uzdužna obrada kopiranjem, ostvarena na fleksibilnoj liniji obrade, veličina uzorka $N=6$ [5,6,8],
- osma serija opita odnosi se na operaciju predhodna obrada otvora u ušici klipa, veličina uzorka $N=11$ [7,10,14],
- deveta serija opita odnosi se na operaciju urezivanje navoja u navrtkama M16 na uzorku $N=28$ [9,13,15],
- deseta serija opita odnosi se na operaciju struganje (spoljašnje, uzdužno), veličine uzorka $N=25$ [11,12],
- jedanaesta serija opita odnosi se na poziciju KS-5, struganje (usecanje kanala za klipne prstenove), veličina uzorka $N=50$ [8].

5. OBRADA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA I ANALIZA

Na osnovu izlaza "Bestfit" dobijena je tablica T.1, u kojoj su rangovane pojedine jednačine u zavisnosti od veličine koeficijenta korelacije R_{cor}^2 i učestanosti n , za svih jedanaest serija opita.

Kao matematički modeli raspodele otkaza raznog alata, obzirom na zastupljenost, moglo bi se, od 25 analiziranih, izdvojiti sledećih 10 zavisnosti, koje su najčešće zastupljene u svih 11 serija opita.

EQ#	1	$y = A + Bx$	Prava linija
	7	$y = A + B/x + C/x^2$	Hiperbola drugog reda
	8	$y = A + Bx + Cx^2$	Parabola
	10	$y = Ax^B$	Multiplikativna
	13	$y = Ax^{Bx}$	Super geometerijska

EQUATIONS FITTED USING THIS PROGRAM		
1. $Y=A+B^X$	2. $Y=B^X$	LINE THRU ORG.
3. $Y=1/(A+B^X)$	4. $Y=A+B^X+C^X$	LINE AND RECIP.
5. $Y=A/B^X$	6. $Y=X/(A+B^X)$	RECIP. HYPERBOLA
7. $Y=A/B^X+C^X+X$	8. $Y=A+B^X+C^X+X$	PARABOLA
9. $Y=A^X+B^X+X$	10. $Y=A^X+B$	POWER
11. $Y=A+B^X$	12. $Y=B^X(1/X)$	ROOT
13. $Y=A^X(B+X)$	14. $Y=A^X(B/X)$	MOD GEOMETRIC
15. $Y=A^X(B^X)$	16. $Y=A^X(B/X)$	MOD EXPONENTIAL
17. $Y=A+B^X(1/X)$	18. $Y=1/(A+B^X \ln(X))$	RECIP LOG
19. $Y=A+B^X+X^2$	20. $Y=A+B^X(1/X)+X^2$	MOD HERAL
21. $Y=A+e^{-(X-B)^2/C}$	22. $Y=A+e^{-(\ln(X)-B)^2/C}$	LOG NORMAL
23. $Y=A^X B+(1-X)^2$	24. $Y=A^X B+(1-X)^2$	BETA
25. $Y=1/(A+(X-B)^2+C)$		CAUCHY

NOTES: A. Values of X and Y may be positive, negative, or zero
 B. Only 255 values of X and Y can be used.

SL 1.

CURVE FIT	'A' COEF.	'B' COEF.	'C' COEF.	R ²	R ² COR	EQUATION OF CURVE
25	0.0023	-131.9975	1.0574	0.9973	0.9902	$Y=1/(A+(X-B)^2/C)$
8	0.4525	-0.0121	0.0091	0.9921	0.9802	$Y=A+B^X+C^X+X$
6	-14.4921	279.7241	0.0069	0.9936	0.9030	$Y=X/(A+B^X)$
4	-2.1404	0.0150	96.6372	0.9741	0.9721	$Y=A+B^X+C^X$
22	0.0237	3.8725	0.5085	0.9783	0.9679	$Y=A+e^{-(\ln(X)-B)^2/C}$
13	0.0084	0.6048	0.6009	0.9653	0.9649	$Y=A^X(B^X)$
24	0.0061	29.3003	-0.7532	0.9663	0.9636	$Y=A+B^X+C^X$
19	0.0700	1.0047	-0.7532	0.9663	0.9636	$Y=A+B^X+C^X$
15	0.0047	0.0279	0.0009	0.9637	0.9623	$Y=A+e^{-(X-B)^2/C}$
11	0.0047	1.0023	0.0009	0.9637	0.9623	$Y=A+B^X$
21	0.0000	-7.09463	60608.1329	0.9645	0.9617	$Y=A+e^{-(X-B)^2/C}$
19	145.6598	-27.9152	0.0009	0.9252	0.9223	$Y=1/(A+B^X \ln(X))$
7	0.0000	3.1502	0.0000	0.8933	0.8892	$Y=A+X^2$
10	2.0040	-469.2794	16690.4993	0.8922	0.8727	$Y=A+B^X+C^X+X$
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.8653	0.8619	$Y=A+B^X$
1	-0.7845	0.0000	0.0000	0.7848	0.7766	$Y=A^X(B^X)$
14	6.0808	-82.2220	0.0009	0.7745	0.7660	$Y=1/(A+B^X)$
3	38.8993	-9.2176	0.0009	0.7745	0.7660	$Y=1/(A+B^X)$
15	2.5478	-277.9769	0.0009	0.7375	0.7274	$Y=A+e^{-(X-B)^2/C}$

SL 2.

CURVE FIT	'A' COEF.	'B' COEF.	'C' COEF.	R ²	R ² COR	EQUATION OF CURVE
7	2.1193	-139.5295	790.4513	0.9123	0.9053	$Y=A+B^X+C^X+X$
4	-1.2590	0.0155	11.3334	0.8930	0.8924	$Y=A+B^X+C^X$
22	0.0241	3.1672	0.5557	0.7564	0.7479	$Y=A+e^{-(\ln(X)-B)^2/C}$
0	0.7265	-0.0101	0.0028	0.7477	0.7337	$Y=A+B^X+C^X+X$
24	0.0555	12.6111	-2.5007	0.6739	0.6536	$Y=A+B^X+C^X$
19	32.0253	1.4325	2798.0340	0.6739	0.6536	$Y=A+B^X+C^X$
21	0.1565	33.7869	2798.0340	0.5823	0.4746	$Y=A+e^{-(X-B)^2/C}$
1	-0.2665	0.0095	0.0000	0.4113	0.3954	$Y=A+B^X$
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.3978	0.3710	$Y=A+B^X$
13	0.0404	0.0077	0.0009	0.3420	0.3242	$Y=A+e^{-(X-B)^2/C}$
15	-0.0404	1.0081	0.0009	0.3420	0.3242	$Y=A+B^X$
11	0.0404	-0.1940	0.0009	0.1569	0.1361	$Y=1/(A+B^X)$
3	20.5764	-12.3002	10.3010	0.1700	0.1332	$Y=1/(A+(X-B)^2/C)$
25	-0.0017					

SL 3.

Table T.1.

RANG	R ² >									
	-0.95	-0.90	-0.85	-0.80	-0.75	-0.70	-0.65	-0.60	-0.55	-0.50
1	4	5	4	4	4	4	4	4	4	4
2	6	6	5	7	11	7	11	7	7	7
3	21	7	8	19	10	22	19	11	19	11
4	22	5	19	8	19	22	8	22	22	21
5	10	22	21	8	10	18	8	8	8	22
6	19	4	1	12	21	19	16	10	10	10
7	20	20	10	1	21	9	21	16	16	10
8	11	15	6	15	8	10	1	1	21	16
9	13	10	20	16	8	14	1	13	9	21
10	15	3	12	5	1	20	16	11	1	1
11	17	21	12	7	12	20	17	8	11	13
12	24				14	7	12	14	8	14
					17	17		15	14	12

14	$y = Ax^{B/x}$	Modifikovana geometrijska
16	$y = A \exp(B/x)$	Modifikovana eksponencijalna
19	$y = AB^x x^C$	Herleova
21	$y = A \exp \{ [(x - B)^2]/C \}$	Normalna
22	$y = A \exp \{ [(\ln x - B)^2]/C \}$	Logaritamska normalna

Međutim ovaj se zaključak može prihvatiti sa rezervom, jer u pojedinim serijama jednačine sa najvišim vrednostima koeficijenta korelacije nisu obuhvaćene.

Obzirom na dosadašnja iskustva vezana za pouzdanost reznog alata treba konstatovati da u 10 izdvojenih nema eksponencijalne zavisnosti (EQ#15) i da "Curvefit" paket ne sadrži Weibull-ovu raspodelu.

Gornje dve konstatacije su značajne obzirom da iz Weibull-ove raspodele

$$y = A \exp [(x/B)^C]$$

za $C = 1$ dobijamo eksponencijalnu (EQ#15) oblika

$$y = A \exp(Bx)$$

i da normalna (EQ#21) za $B = 0$ i gama raspodela (EQ#24) za $C = 0$ se transformišu u eksponencijalnu (EQ#15).

Na osnovu gore izloženog može se izvesti zaključak da je korisno i dovoljno primeniti "Curvefit" paket, ukoliko se dobije dovoljno visoka vrednost koeficijenta korelacije, pri čemu se kao najpovoljnija, iz izlaza "Bestfit", usvaja jednačina koja je prva u rangu, odn. redosledu.

Ukoliko prva jednačina u rangu, iz izlaza "Bestfit", ima nisku vrednost koeficijenta korelacije obradi podataka se može pristupiti primenjujući poznate metodologije, koje su razrađene za Weibull-ovu raspodelu, koje pored određivanja konstanti obuhvataju testiranje hipoteze o raspodeli [8].

6. ZAKLJUČCI

Na osnovu napred izloženog može se zaključiti:

- u cilju određivanja funkcije raspodele otkaza, odn. pouzdanosti reznog alata, korisno je primeniti programski paket "Curvefit" i
- ukoliko raspodeli, koja je prva u rangu, pripada nedovoljno visok koeficijent korelacije, preporučuju se poznate metodologije obrade podataka, koje se odnose na "Weibull-ovu raspodelu.

7. LITERATURA

- [1] Kacev, P.G., Statističeskie metodi issledovanija režuččego instrumenta, Mašinostroenie, Moskva, 1968.
- [2] Ramaligam, S, Watson, J.D., Tool -life distribution, Part 1:Single-injury tool-life model, Trans. ASME, 1977, B99, No 3, 519-522. Part 2. Tool-life model with failure after bullting.
- [3] Sekulić, S., Troškovi alata i ukupni troškovi obrade u funkciji pouzdanosti alata kod

- protočnih automatskih linijza, Tribologija u industriji, 1, 16-23, 1979.
- [4] Sekulić, S., Cost of cutting tolls and total machining costs as a function of the cutting tool reliability in automatic flow lines, Int. J. Prod. Res., Vol. 20, No 2, 187-200, 1982.
 - [5] Sekulić, S., Određivanje pouzdanosti reznog alata skraćenim postupkom, Zbornik radova XVII Savjetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Budva, 11-16.
 - [6] Sekulić, S., Determination of cutting tool reliability on flexible automatic flow lines, Toward the factory of the future, Proc. of the 8th Int. conf. on prod. res. - ICPR-85, Aug. 1985, Stuttgart, 163-168, 1985.
 - [7] Sekulić, S., Grafički postupak za određivanje pouzdanosti reznog alata zasnovan na broju obradaka obrađivanih pojedinim alatima, Zbornik radova XIX Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, sept. 1985., Kragujevac, 218-222, 1985.
 - [8] Sekulić, S., Predlog načina prikupljanja podataka o postojanosti i otkazima alata u proizvodnim uslovima i njihova obrada, Zbornik radova 20. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Proizvodne tehnologije, maj 1986., Beograd, 51-58, 1986.
 - [9] Sekulić, S., Verovatnosna prognoza ekstremnih količina reznog alata za obradu određene količine obradaka, Zbornik radova 9. Savjetovanja BIAM '88, Zagreb, jun 1988, 355-358, 1988.
 - [10] Sekulić, S., Grafoanalitički i grafički postupak obrade podataka pri određivanju pouzdanosti alata, Zbornik radova Fakulteta tehničkih nauka, Novi Sad, 124-136, 1984,15.
 - [11] Sekulić, S., Prognoza srednjih i ekstremnih vrednosti bezotkaznog rada alata, Zbornik radova XVI Sym-Op-Is '89, okt. 1989., Kupari, 1989.
 - [12] Sekulić, S., Prognosis of the mean and extremal time value of the failure of the cutting tools based on its reliability, Proc. VII Tribotechnology in theory and practice, Oct. 1989., Karlovy Vary, 1989.
 - [13] Sekulić, S., Analitička metoda za određivanje ekstremnih vrednosti kada je poznata funkcija raspodele otkaza - na primeru reznih alata, Zbornik radova naučne konferencije Industrijski sistemi - IS '90, jun 1990, Novi Sad, 1990.
 - [14] Sekulić, S., Graphical procedure for prognosis of the cutting-tool reliability on the flexible automatic lines, based on the number of work pieces machined with particular tools, Proc. INTERTECHNO '90, Sept. 1990, Budapest, 1990.
 - [15] Sekulić, S., Analytical approach for determination of the extremal values when the failure distribution is known - on example of cutting tools, Proc. 11th Int. conf. on prod. res. - ICPR '91, Aug. 1991., Hafei, PR China, 1991., 753-760.

S. Sekulić

DISTRIBUTION FUNCTION OF THE CUTTING-TOOL FAILURE

In the paper, practical applications of the programme package "Curvefit", which enable determination of constants in 25 different mathematical models, is exposed. Output "Bestfit" gave 18 first ranked equations, based on correlation coefficients, by wherein we adopt the first in rank.

J. Stanić,*
M. Savković**

VEZA IZMEĐU PARAMETARA HRAPAVOSTI PRI ZAVRŠNOM
STRUGANJU ČELIKA Č.0361 IZMENLJIVIM
PLOČICAMA P-15

Rezime

U radu je prikazan način određivanja matematičkog modela za izračunavanje parametara hrapavosti R_a , R_Q , R_T i R_{max} za operaciju završnog struganja čelika Č.0361 izmenljivim pločicama P-15. Za iznalaženje matematičkog modela, korišćen je jednofaktorni plan eksperimenta. Eksperiment je u celini izveden u pogonskim uslovima.

1. UVOD

U savremenoj mašinogradnji, zahtevi za kvalitetom obradene površine imaju poseban uticaj na funkciju i vek trajanja mašinskih elemenata. Mnogobrojnim ispitivanjima, ustanovljeno je da eksploatacioni pokazatelji pojedinih mašinskih elemenata ne zavise isključivo od njihovog oblika i materijala upotrebljenog za njihovu izradu, već i od tehnološkog procesa po kome su izrađeni. Jasno je da je pri tome kvalitet obradene površine jedna od veoma bitnih karakteristika koje utiču na eksploatacione karakteristike mašinskih elemenata. Pod kvalitetom obradene površine, podrazumevaju se svojstva površinskog sloja, koji se formira usled dejstva alata na obradenu površinu tokom obrade rezanjem. Kvalitet obradene površine određuje se :

*Prof. Dr. Joko P. Stanić, dipl. maš. ing., Mašinski fakultet, 27. marta 80, Beograd
** Mile M. Savković, dipl. maš. ing., Mašinski fakultet, Dositejeva 19, Kraljevo

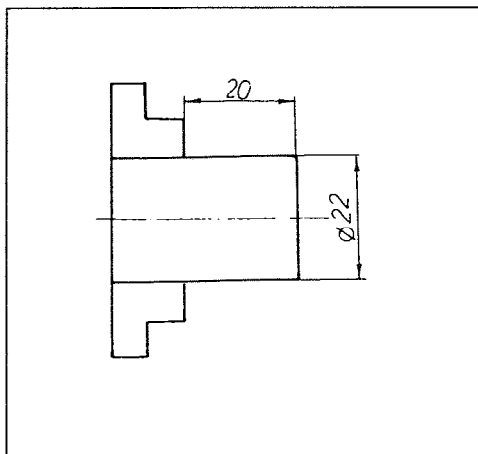
- geometrijskim karakteristikama obrađene površine (hrapavost, valovitost, odstupanje oblika).

- fizičko - mehaničkim svojstvima površinskog sloja (mikrotvrdoća, zaostala naprezanja, struktura).

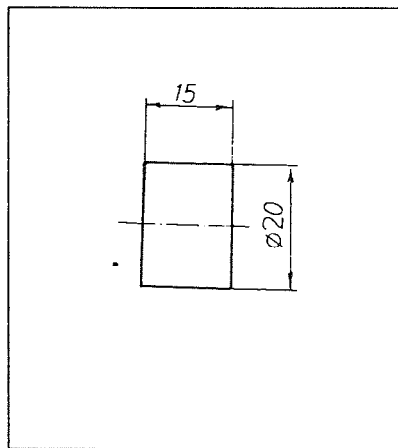
Kvalitet obrađene površine, sa geometrijskog aspekta predstavlja odstupanje stvarne, od neke geometrijski idealne površine. U industrijskim pogonima se najčešće obrađuje veći broj komada jednim alatom bez promene rezne ivice (bez oštrenja alata) za naredni komad, što je i obrađeno u ovom radu.

2. Uslovi izvođenja eksperimenta

Eksperiment je u celini izveden u pogonskim uslovima fabrike " Ivo Lola Ribar - Progres " Raška, na univerzalnom strugu " Potisje - Ada ". Ispitivani materijal je Č.0361 a oblik i dimenzije komada pre i posle obrade prikazani su na sl. 1 i sl. 2.



sl. 1



sl.2

Obrada materijala izvršena je strugarskim nožem sa pločicom od tvrdog metala oznake P - 15, proizvođač " PP - Corun " - Užice, bez hlađenja u toku procesa rezanja. Ovde se radi o uzdužnoj obradi komada na dužini od 15 mm, posle čega je komad odsečen i kao takav išao na merenje parametara hrapavosti. Za obradu svakog novog komada nije korišćena nova rezna ivica. Prilikom stezanja svakog novog komada slobodna dužina komada bila je 20 mm. Nije vršeno zabušivanje komada. Dubina rezanja je konstantna i iznosi $t = 1$ mm. Broj obrtaja glavnog kretanja je konstantan i iznosi 600 o / min. Uzorak nije termički obrađivan. Hrapavost obrađene površine, merena je u preciznoj kontroli " Prva petoletka " Trstenik. Merenje hrapavosti vršeno je kontaktnom metodom na profilogramu - profilometru, čitavom dužinom komada (15 mm).

3. Izvođenje eksperimenta

Parametri koji se proučavaju su u funkciji koraka i brzine obrtanja, međutim usvojena je konstantna brzina obrtanja tako da faktori zavise samo od koraka, pa je očigledno da se radi o jednofaktornom planu eksperimenta.

Da bi mogli da vršimo matematičku obradu podataka prvo ćemo dati tabelarno srećene rezultate ispitivanja.

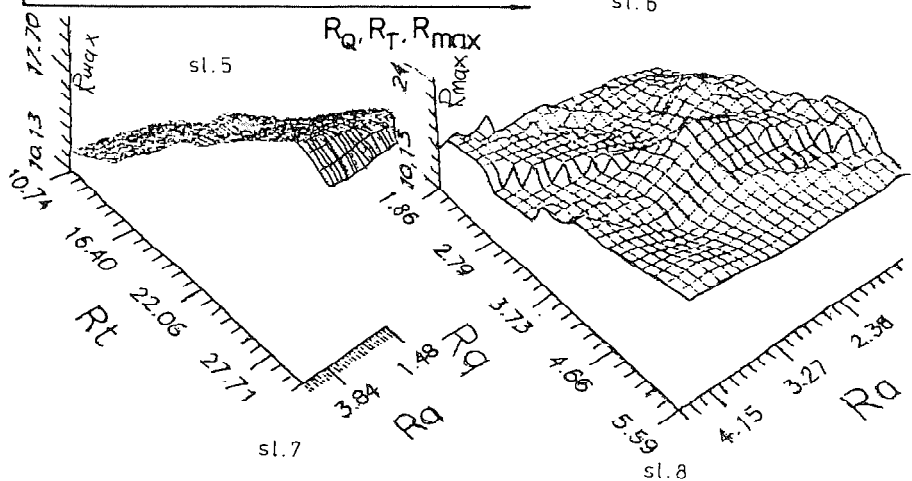
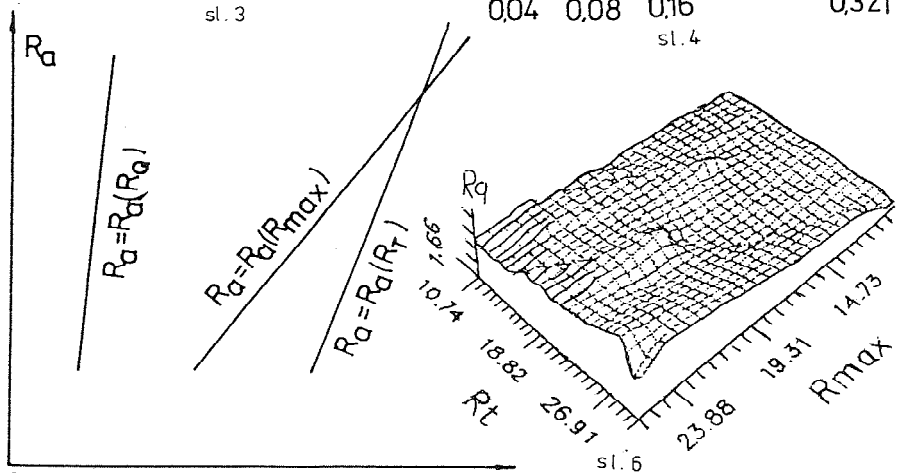
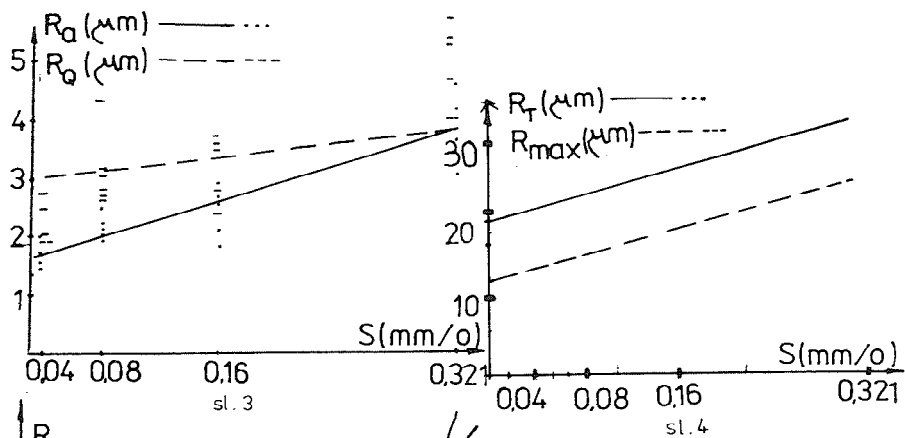
S (mm / o)	0.04	0.08	0.16	0.321
	1.610	2.189	2.645	3.935
R _a	1.494	1.968	2.892	4.108
(μm)	1.494	2.178	2.691	4.533
	1.975	2.479	2.066	3.616
	1.758	2.040	1.752	2.965

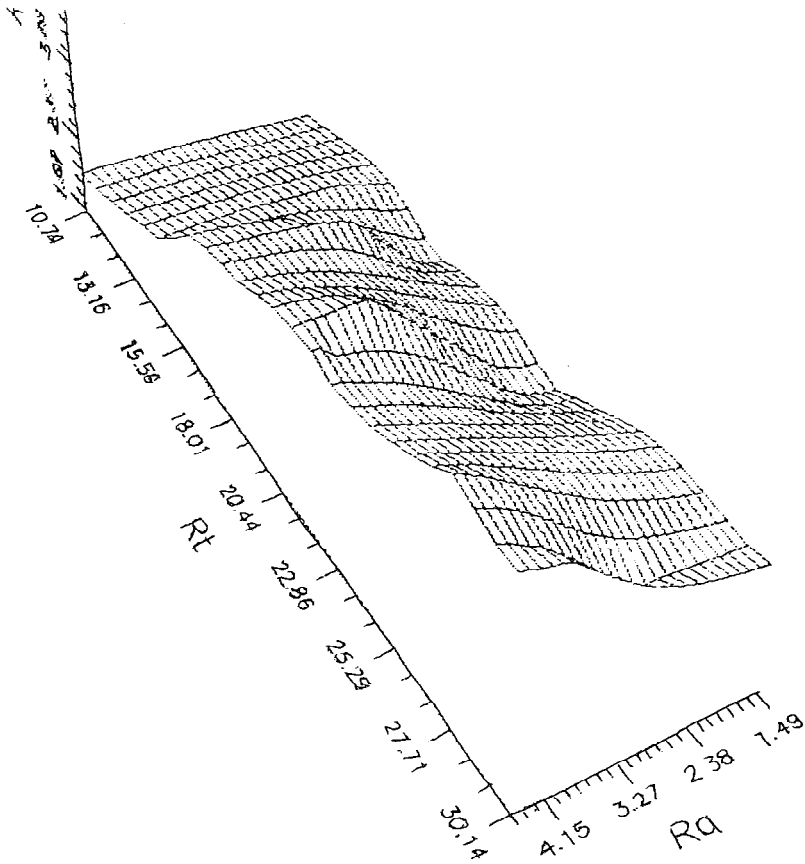
S (mm / o)	0.04	0.08	0.16	0.321
	2.013	2.752	3.359	5.231
R _q	1.862	2.645	3.610	5.296
(μm)	1.862	2.966	3.485	5.593
	2.666	3.094	2.723	4.551
	2.417	2.691	2.305	3.845

S (mm / o)	0.04	0.08	0.16	0.321
	11.52	14.68	17.42	30.14
R _τ	10.74	17.80	19.79	28.33
(μm)	10.74	21.51	23.46	27.75
	22.31	17.63	21.40	21.20
	16.03	16.11	16.99	29.32

S (mm / o)	0.04	0.08	0.16	0.321
	10.94	13.70	15.09	24.67
R _{max}	10.16	15.11	19.79	25.84
(μm)	10.16	19.21	21.91	25.84
	17.31	16.38	19.13	20.02
	14.09	14.46	13.18	25.79

4. Diagrami rezultata ispitivanja





sl. 9

Svi dijagrami na slikama : 3, 4, 5, 6, 7, 8 i 9 dobijeni su na osnovu jednačina koje daju vezu između koraka i određenog parametra hrapavosti. Ove jednačine imaju sledeći oblik :

$$R_a = 1,414 + 7,355 S ; \quad R_Q = 2,899 + 2,322 S ;$$

$$R_T = 17,435 + 15,371 S ; \quad R_{max} = 12,13 + 29,13 S ;$$

Sa dijagrama na slikama : 3 i 4 može se videti kako povećanje koraka utiče na porast pojedinih parametara hrapavosti i može se zaključiti na koji parametar ima veći uticaj, odnosno vidi se brzina rasta datog parametra.

Na osnovu zajedničkog parametra S , uspostavlja se međusobna veza između samih parametara što se može videti sa dijagrama na slikama : 5, 6, 7, 8 i 9. Na osnovu ovih dijagrama može se ustanoviti u kakvoj su međusobnoj zavisnosti pojedini parametri hrapavosti. Ovakav način prikazivanja (slike : 5, 6, 7, 8 i 9) ima određenu prednost jer na osnovu ovih dijagrama možemo uskladiti više zahteva odjednom, odnosno izabrati vrednost koraka koja daje optimalne vrednosti tri parametra hrapavosti.

5. Zaključak

Proizvodna praksa, često nameće stroge zahteve u pogledu kvaliteta obradenih površina zbog njihove namene, funkcije i slično, a čelik Č. 0361 se dosta često koristi. Ponekad su ti zahtevi koji se nameću (u pogledu veličina parametara hrapavosti) kontradiktorni. Rad je upravo imao za cilj da da vezu između ovih parametara kako bi smo videli kako utiče promena jednog parametra na ponašanje drugog. Sa zadnjih slika se može videti u kom intervalu (za zadati broj obrtaja posmatramo korak) je vrednost ovih parametara minimalna, odnosno maksimalna, tj. koji je režim obrade najpovoljniji za zadati problem. Dalja nadgradnja ovog rada bila bi da variramo i broj obrtaja (dvofaktorni plan ispitivanja) i tako pronademo povoljnije režime obrade u širem smislu.

6. Literatura

- 1) Joko P. Stanić, Metod inženjerskog merenja - osnove matematičke teorije eksperimenta ; Mašinski fakultet, Beograd, 1981.
- 2) Joko P. Stanić, Metod inženjerskih merenja; Mašinski fakultet, Beograd, 1990
- 3) Mirko N. Dumanović, Joko P. Stanić, Aleksandar Đorđević, Radovan N. Nikolić, Određivanje parametara hrapavosti pri završnom struganju čelika Č.4120 izmenljivim pločicama izrađenim od kubnog bornitrida; Teška mašingradnja - naučni skup Kruševac - Vrnjačka Banja , 1993.
- 4) Mile M. Savković, Merenje parametara hrapavosti pri promenljivom koraku i konstantnom broju obrtaja; Seminarski rad, Beograd 1993.

J. Stanić ,
M. Savković

Zusammenhang zwischen den Rauhp Parametern bei dem Endabziehen von stahl Č. 0361 durch die austausch baren Platten P - 15

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde eine Bestimmungswiese des mathematischen Modells zur Ermittlung Rauhp Parameter R_a , R_Q , R_T und R_{max} zur Purchführung von Endobziehen des Stahls Č.0361 durch die Austausch-Baren Platten P - 15, dargestellt. Zur Ermittlung des mathematischen Modells wurde ein Einfaktorenexperiment plan benutzt. Der Versuch erfaßte Vollkommen in den Betriebsbedingungen.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

V. Šimon.*

ODVALNO GLODALO ZA PRETHODNU OBRADU ZUBACA
TOČKA GLOBOIDNOG PUŽASTOG PARA

Rezime

U ovom radu razvijena je metoda za prethodnu obradu zubaca globoidnog pužastog točka sa cilindričnim odvalnim glodalom. Određena je greška takve obrade, tj. količina zaostalog materijala koja se naknadno skida sa jednosecni-
m alatom u okviru finalne obrade. Dobi-
jeni rezultati pokazuju, da je taj dodatak za finalnu obradu relativno male debljine, te da je ovakva prethodna obrada zubaca točka globoidnog pužastog para ekonomski opravdana.

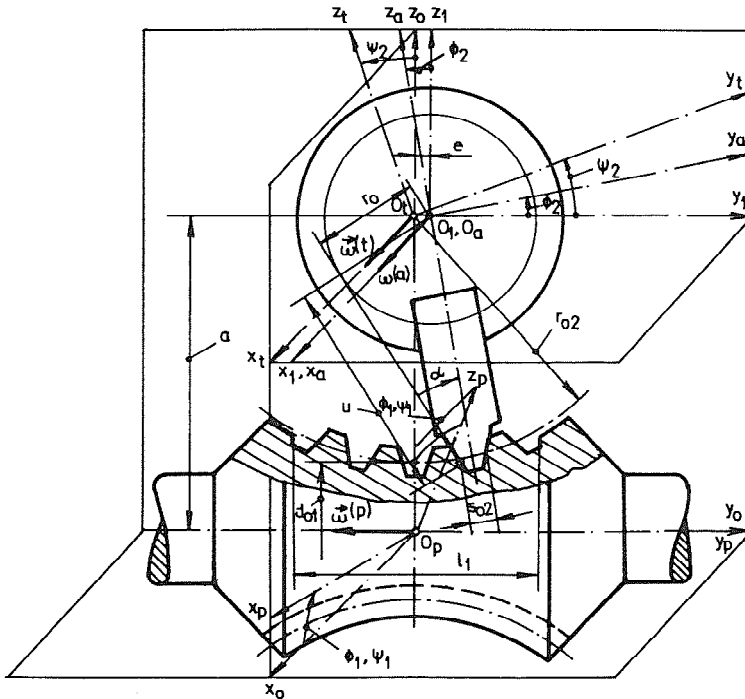
1. UVOD

Poznate su prednosti globoidnog pužastog prenosa u odnosu na cilindrični pužasti par: veći broj zubaca je u trenutnom dodiru, a trenutne dodirne linije su skoro u potpunosti upravne na relativnu brzinu površina u dodiru, što stvara povoljne uslove za formiranje uljnog filma između tih površina.

Klasični globoidni pužasti par, razvijen i proizveden u Cone Drive-u, u SAD 1932 godine, je sa pravolinijskim aksijalnim profilom puža (slika 1). Uvedene su razne korekcije na pužu radi dobijanja ravnomernije raspodele opterećenja po zupcima pužastog točka. U poslednje vreme, sa globoidnim pužastim prenosom najviše su se bavili u Japanu i u Kini, što je i najbolja svedodžba o njegovoj perspektivnosti. Jedan od razloga što globoidni pužasti prenos - i pored njegovih dobrih osobina - nije u široj upotrebi, je potreba za korišćenjem specijalnog globoidnog odvalnog glodala za izradu zubaca pužastog točka. Izrada jednog takvog glodala uslovljena je korišćenjem specijalne mašine za brušenje ledne površine njegovih zubaca, a takvu masinu poseduje samo Cone Drive. Iz tih razloga, globoidni pužasti točak se često izrađuje približnom metodom, tj. korišćenjem jednosecnog alata, što dovodi do pogrešne geometrije zubaca točka i do lošeg sprežanja tako izradenih zubaca sa površinom puža. Pored toga, klasični globoidni pužasti par ima još jednu lošu

*Dr. Vilmos Šimon, redovni profesor Tehnološkog fakulteta u Novom Sadu, 21000 Novi Sad, Bul. Cara Lazara 1.

osobinu, koja se ogleda u dodiru zubaca pužastog točka sa površinom puža po dvema trenutnim dodirnim linijama, pri čemu se jedan od ta dva dodira odvija po oštroj ivici površine zubaca točka, što ima za posledicu pogoršanje uslova hidrodinamičkog podmazivanja. Sa ciljem da se eliminišu ovi nedostaci, autor ovog rada razvio je jedan novi tip globoidnog pužastog para ([1], [2], [3]), čiji je pužasti točak sa glatkom površinom zubaca, izrađenih jednosečnim alatom, a površina puža je obvojna površina tako izrađenih zubaca točka. Pri tome, puž se izrađuje u tri izvedbe: sa pravolinijskim aksijalnim profilom (slika 1), odnosno brusen sa koturastim ili prstastim točilom.



Sl. 1 Geometrija i tehnologija izrade globoidnog pužastog para sa pravolinijskim aksijalnim profilom

Kao što je već rečeno, zbog teške izrade specijalnog globoidnog odvalnog glodala, pored zubaca pužastog točka ovog novog tipa globoidnog pužastog prenosa, često se i zupci klasičnog globoidnog točka izrađuju sa jednosečnim alatom, naročito ako se radi o izradi točka kao rezervnog dela. Međutim, izrada globoidnog pužastog točka sa jednosečnim alatom je veoma neproduktivna metoda. Sa ciljem da se ta izrada učini ekonomičnijom, u ovom radu razrađena je metoda za prethodnu obradu zubaca globoidnog pužastog točka sa cilindričnim odvalnim glodalom.

Istraživanja su pokazala, da tačnost obrade globidnog pužastog točka sa cilindričnim odvalnim glodalom vrlo malo zavisi od vrste tog odvalnog glodala, tj. od toga da li je to glodalo projektovano za izradu zubaca evolventnih cilindričnih zupčanika ili za obradu točka arhimedovog, konvolutnog ili evolventnog cilindričnog pužastog para. Iz tih razloga, u daljnjim istraživanjima tretirace se samo predhodna obrada zubaca točka globidnog pužastog para sa cilindričnim odvalnim glodalom, projektovanog za izradu točka arhimedovog pužastog para.

2. TEORIJSKE OSNOVE

Generatorsku površinu odvalnog glodala za izradu zubaca točka arhimedovog pužastog para (sl. 2), prema radovima [4]-[10], definiše sledeća jednačina:

$$r_g^{(g)}(r_g, \theta) = \begin{bmatrix} r_g \cos\theta \\ r_g \sin\theta \\ c_0 - r_g \operatorname{tg}\alpha_a + k_g \theta \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

gde su: $c_0 = \frac{s_{og}}{2} + r_{og} \operatorname{tg}\alpha_a$; $s_{og} = m\pi - s_{oz}$; $k_g = \frac{z_1 m}{2}$

m = modul

z_1 = broj hodova

r_{og} = poluprečnik podeonog cilindra glodala

α_a = ugao aksijalnog profila

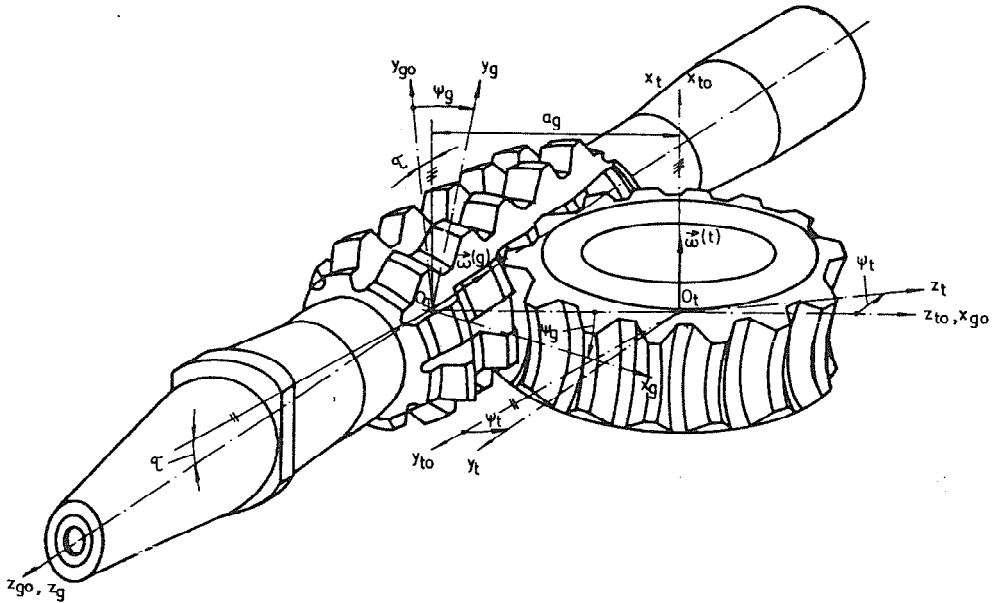
s_{oz} = debljina zubaca globidnog pužastog točka (sl. 1)

Ovo odvalno glodalo generise površinu na zupcu pužastog točka, određenu jednačinama:

$$\begin{aligned} r_t^{(g)} &= M_{g,t} r_g^{(g)} \\ n_g^{(g)} v_g^{(g,t)} &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

gde su: $M_{g,t}$ matrica za transformaciju koordinata iz koordinatnog sistema K_g (vezanog za glodalo), u koordinatni sistem pužastog točka K_t , $n_g^{(g,t)}$ normala generatorske površine glodala, a $v_g^{(g,t)}$ relativna brzina glodala u odnosu na pužasti točak, oba vektora definisana u koordinatnom sistemu glodala K_g . Matrica $M_{g,t}$ i vektori $n_g^{(g,t)}$ i $v_g^{(g,t)}$ predstavljeni su u radu [11], a detaljnu obradu teorije odvalnih glodala za izradu e-

volventnih cilindričnih zupčanika i točkova različitih vrsta cilindričnih pužastih parova sadrže radovi [4]–[10].



Sl. 2 Obrada zubaca globoidnog pužastog točka sa cilindričnim odvalnim glodalom

Površina boka zupca točka klasičnog globoidnog pužastog para se sastoji iz tri dela: između dva dela te površine koju formira prva, ulazna izvodnica puža, nalazi se obvojna površina puža. Imajući u vidu, da po veličini dominiraju površine koje formira prva izvodnica puža, da se obvojna površina puža relativno malo razlikuje od te površine, i da se ceo bok novog tipa globoidnog pužastog para, razvijenog od strane autora ovog rada, sastoji od površine koju formira prva izvodnica puža, ceo daljnji proračun će se odnositi na tu površinu, definisanu sledećim jednačinama:

$$\mathbf{r}_t^{(t)} = \mathbf{M}_{p,t} \mathbf{M}_{a,p} \mathbf{r}_a^{(\omega)}$$

$$x_p^{(\omega)} - z_p^{(\omega)} \operatorname{tg} \phi_1^{(t)} = 0 \quad (3)$$

$$n_1^{(\omega)} \mathbf{v}_1^{(p,\omega)} = 0$$

gde su:

$$r_p^{(a)} = M_{a,p} r_a^{(a)}$$

$$n_1^{(a)} = M_{p,1} n_a^{(a)}$$

$r_t^{(t)}$ = vektor položaja tačaka površine boka zubaca globoidnog pužastog točka

$r_a^{(a)}$ = vektor položaja tačaka rezne ivice ili površine alata za generisanje površine puža

$n_a^{(a)}$ = vektor normale površine alata za generisanje površine puža

$v_1^{(p,a)}$ = vektor relativne brzine puža u odnosu na alat u koordinatnom sistemu K_1

$\phi_1^{(I)}$ = ugao položaja prve izvodnice puža

$M_{a,p}$ = matrica za transformaciju koordinata iz koordinatnog sistema K_a (vezanog za alat) u koordinatni sistem puža K_p

$M_{p,t}$ = matrica za transformaciju koordinata iz koordinatnog sistema K_p (vezanog za puž) u koordinatni sistem točka K_t

$M_{p,1}$ = matrica za transformaciju koordinata iz koordinatnog sistema K_p u nepokretni koordinatni sistem K_1

Pri tome treba napomenuti, da druga i treća jednačina sistema jednačina (3) definišu prvu izvodnicu puža, a ako je puž pravolinijskog aksijalnog profila, treća jednačina sistema jednačina (3) se izostavlja.

Teorijske osnove globoidnih pužastih parova i sve gore navedene veličine detaljno su obrađene u radovima [1]-[3].

Odstupanje površine, koju generise cilindrično odvalno glodalo na boku zupca globoidnog pužastog točka, od teorijski ispravne površine, određuje se na osnovu rastojanja presečnih tačaka normale površine zupca pužastog točka generisane od strane cilindričnog odvalnog glodala, sa istom tom površinom i sa teorijski ispravnom površinom boka zupca. Za određivanje tih presečnih tačaka koriste se jednačine:

$$n_{yt}^{(g)} (x_t^{(g)} - x_t^{(t)}) - n_{xt}^{(g)} (y_t^{(g)} - y_t^{(t)}) = 0 \quad (4)$$

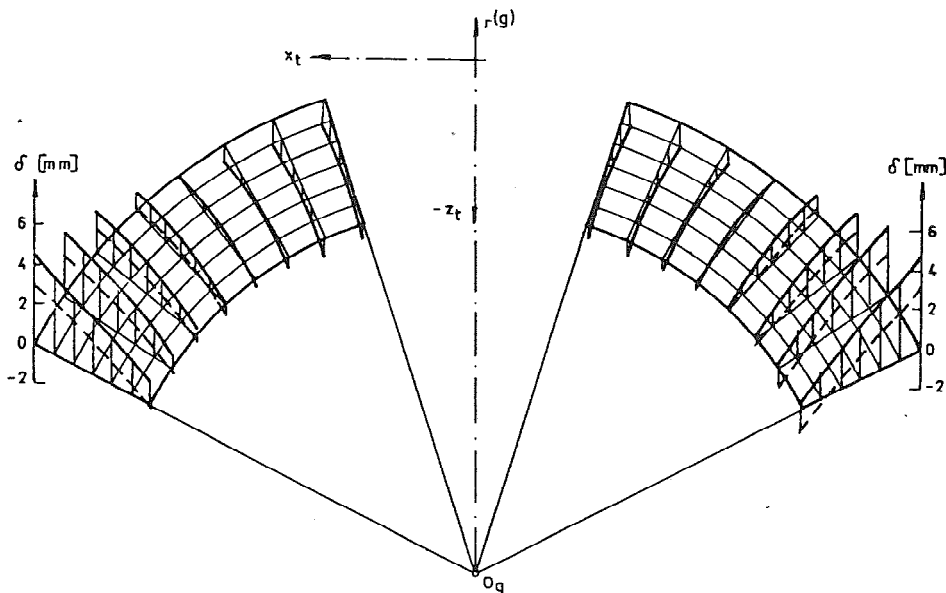
$$n_{xt}^{(g)} (z_t^{(g)} - z_t^{(t)}) - n_{zt}^{(g)} (x_t^{(g)} - x_t^{(t)}) = 0$$

gde je: $n_t^{(g)} = M_{g,t} n_g^{(g)}$

Odstupanja površine, generisane od strane cilindričnog odvalnog glodala, računaju se pomoću izraza:

$$\delta = \pm \sqrt{(x_k^{(m)} - x_k^{(D)})^2 + (y_k^{(m)} - y_k^{(D)})^2 + (z_k^{(m)} - z_k^{(D)})^2} \quad (5)$$

Pri čemu, odstupanja sa pozitivnim predznakom predstavljaju dodatak za naknadno skidanje pomoću jednosečnog alata, a negativna odstupanja predstavljaju podsecanja na boku zupca globoidnog točka. U slučaju negativnih odstupanja, neophodno je korigovati debljinu zupca cilindričnog odvalnog glodala: treba je povećati za maksimalnu vrednost negativnih odstupanja.



Sl. 3 Dodaci za naknadnu obradu i veličina podsecanja nakon prethodne obrade zubaca globoidnog pužastog točka sa cilindričnim odvalnim glodalom

3. REZULTATI

Na osnovu iznetih teorijskih osnova razvijen je odgovarajući program za računar. Korišćenjem tog programa određena su odstupanja površine boka zupaca globoidnog pužastog točka, modula $m=8$ mm, nakon prethodne obrade tih zupaca sa cilindričnim odvalnim glodalom. Dobijeni rezultati prikazani su na slici 3. Na toj slici, zubac globoidnog pužastog točka razdvojen je po

srednjoj ravni točka na dva dela, radi jasnijeg prikazivanja dodataka za naknadnu obradu (+), odnosno podsecanja (-). Pri tome, odnos dimenzija zupca točka prema odstupanjima je 8:1. Analizom rezultata se može konstatovati, da se dodaci javljaju na krajevima zubaca točka, a podsecanja u sredini zupca. Sa ciljem da se eliminišu podsecanja, neophodno je povećati debljinu zupca glodala za 1,383 mm.

Istrazivanja su pokazala, da sa povećanjem broja hodova puza blago rastu dodaci za naknadnu obradu i da se isto tako blago smanjuje veličina podsecanja. Takođe je dokazano, da se dodaci za naknadnu obradu mogu znatno smanjiti, ako se pri obradi sa cilindričnim odvalnim glodalom, osa tog glodala prvo nagne za ugao $\Delta\omega=+2^\circ$, a zatim za $\Delta\omega=-2^\circ$ (slika 2.). Tako dobijeni dodaci su na slici 3. prikazani sa isprekidanim linijama.

Na osnovu iznetog može se zaključiti, da nakon prethodne obrade zubaca globoidnog pužastog točka sa cilindričnim odvalnim glodalom ostaju relativno mali dodaci za skidanje sa jednosećnim alatom, što ima za posledicu povećanje produktivnosti i ekonomičnosti izrade globoidnih pužastih parova.

4. LITERATURA

- [1] Simon, V., "Double Enveloping Worm Gear Drive with Smooth Gear Tooth Surface", International Conference on Gearing, Zhengzhou, 1988, Proceedings, pp. 191-194.
- [2] Simon, V., "A New Type of Ground Double Enveloping Worm Gear Drive", ASME 5th International Power Transmissions and Gearing Conference, Chicago, 1989, Proceedings, pp. 281-288.
- [3] Simon, V., "Characteristics of a Modified Double Enveloping Worm Gear Drive", 6th International Power Transmission and Gearing Conference, Scottsdale, 1992, Proceedings, pp. 73-79.
- [4] Simon, V., "The Calculation of the Profile and Optimum Diameter of Grinding Wheels for the Relief Grinding of Hobs", 18th International Machine Tool Design and Research Conference, London, 1977, Proceedings, pp. 461-472.
- [5] Simon, V., "Computer Aided Design of Hobs for Gear Manufacture of the Worm Gear Drive with Ground Worm", 20th International Machine Tool Design and Research Conference, Birmingham, 1979, Proceedings, pp. 275-288.
- [6] Simon, V., "Grinding Wheel Profile for Hob Relief Grinding", ASME Journal of Mechanical Design, Vol. 104, 1982, pp. 734-742.
- [7] Simon, V., "Computer Aided Manufacturing of High Precision Hobs", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 28, 1988, pp. 443-452.
- [8] Simon, V., "Improvements in Hob Precision", 12th Conference on Machine Tools, Budapest, 1992, Manufacturing Technology, XXXII, No. 9-10, 1992, pp. 418-425.
- [9] Simon, V. "The Main Aspects of Optimal Hob Design and Manufacture", VIII.th International Conference on Tools, Miskolc, 1993, Proceedings, pp. 351-357.
- [10] Simon, V., "Hob for Worm Gear Manufacturing with Circular Profile", International Journal of Machine Tools and Manufacture, Vol. 33, 1993, pp. 615-625.
- [11] Šimon, V., "Uticaj prečnika pužnog glodala na uslove sprežanja pužastog para", Naučno-stručni skup o aktuelnim prob-

tema mašinskih elemenata i konstrukcije, Ohrid, 1985,
Zbornik, str. 49-64.

HOB FOR PREPROCESSING THE GLOBOIDAL WORM GEAR TEETH

Summary

A method for preprocessing the globoidal worm gear teeth by cylindrical hob is presented in this paper. The optimal position of the hob is determined, and the differences between the processed and the needed gear tooth surfaces are calculated. The obtained results show that the thickness of the material which should be removed in finishing by the flying wheel after the gear teeth preprocessing by the cylindrical hob, is relatively small. In this way, the productivity of globoidal worm gear tooth processing is considerably improved.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Lj. Tanović,
M. Jovičić,
R. Puzović *)

POKAZATELJI KVALITETA BRUSNIH PLOČA ZA SEČENJE

REZIME:

U radu su prikazani rezultati ispitivanja kvaliteta brusni ploča za sečenje domaćeg "Mačkatica" - Surdulica i ruskog proizvođača "Comex". Analiziran je uticaj obimne brzine i brzine pomoćnog kretanja brusne ploče na promenu koeficijenta brušenja a prema standardu TOCT 21963-82. Rad obuhvata pregled obavljenih istraživanja, uslove izvođenja eksperimenta, metodologiju merenja i dobijene rezultate.

1. UVOD

Polazeći od aspekta proizvodnosti i troškova obrade od svih postojećih metoda sečenja materijala najširu primenu ima sečenje brusnim pločama. Proces sečenja izvodi se na mašinama koje mogu biti izvedene tako da:

- a) brusna ploča izvodi glavno obrtno i pomoćno pravolinijsko kretanje u vertikalnom pravcu odgovarajućom brzinom,
- b) brusna ploča izvodi glavno obrtno a obradak pomoćno paravolinijsko kretanje u horizontalnom pravcu,
- c) brusna ploča izvodi glavno obrtno i pomoćno pravolinijsko kretanje pri čemu obradak izvodi glavno dopunsko obrtno kretanje

*)Doc. dr Ljubodrag Tanović, Prof. dr Milenko Jovičić, mr Radovan Puzović, asistent,
Mašinski fakultet, 11000 Beograd

Na osnovu literaturnih izvora [1,2], postoje odgovarajuće preporuke po pitanju izbora brusnih ploča, karakteristika mašina i režima sečenja.

Tako se za sečenje čelika koriste brusne ploče od elektrokorunda prečnika 80-500 mm sa organskim vezivom; za tvrdi metal, staklo i plastiku koriste se brusne ploče od silicijum karbida a za keramiku (mada u mnogim slučajevima i tvrdi metal) dijamantske brusne ploče sa organskim vezivom.

Pri izboru mašine na svakih 25 mm prečnika brusne ploče neophodno je da instalisana snaga bude na nivou 0.75-1.0 kW. To podrazumava da pri radu brusnom pločom prečnika 200 mm treba da instalisana snaga mašine bude 6-8 kW. Pored prečnika brusne ploče, pri određivanju potrebne snage, mora se uzeti u obzir i obrađivani materijal, brzina rezanja, debljina brusne ploče itd.

Postoje preporuke da što je je teža obradljivost time mora biti veća i snaga mašine i veća brzina rezanja.

Povećanjem obimne brzine brusne ploče umanjuje se njeno habanje a kao posledica češćeg dolaženja abrazivnih čestica u kontakt sa obrađivanim materijalom. Preporučuje se brzina pomoćnog kretanja na nivou 0.7-0.8 m/min.

Istraživanja su pokazala da pri brzinama iznad 50 m/s primena SHP nema efekta sobzirom da ono ne dolazi u zonu rezanja kao posledica rasipanja izvan, uslovljavajući povećano habanje brusne ploče. Smatra se da je granica primenljivosti SHP obimna brzina brusne ploče od 45 m/s.

Proizvodnost sečenja brusnim pločama prečnika 200-500 mm, i većim, je nekoliko puta veća u odnosu na sečenje trakastim testerama ili testerastim glodalom. Tako da se prečnik obradka $\phi 60$ mm od Č. 1530 seče brusnom pločom od elektrokorunda $\phi 500$ mm pri brzini 55 m/s za 6 sec a testerastim glodalom $\phi 710$ mm za 2.5 min.

Pri sečenju obradaka od ugljeničnih i konstrukcionih čelika dostiže se proizvodnost od $4 \text{ cm}^3/\text{s}$, kod brzoreznih čelika $2 \text{ cm}^3/\text{s}$, nerđajućih $0.5 \text{ cm}^3/\text{s}$ i drugih teškoobradljivih čelika $0.1-0.5 \text{ cm}^3/\text{s}$.

Istovremeno dolazi i do promene strukture površinskog sloja tako da kod Č. 1330 one dostižu dubinu 0.13 mm pri korišćenju brusnih ploča srednje zrnosti.

Tačnost odsecanja zavisi od načina stezanja sečenog dela i veličine bacanja brusne ploče.

Kao kriterijum za ocnu kvaliteta brusne ploče za sečenje može se uzeti [2]:

- efektivna površina reznih sečiva po jedinici površine brusne ploče,
- zapremina međuprostora između susednih abrazivnih zrna,
- koeficijent brušenja.

U daljem delu daje se prikaz dobijenih rezultata pri oceni kvaliteta brusnih ploča domaće i ruske proizvodnje. *)

2.0 USLOVI IZVOĐENJA EKSPERIMENTA

BRUSNA PLOČA : $\phi 230 \times 3 \times 22$ i $\phi 180 \times 3 \times 22$ mm

ruska : 93 A 50 H33-37 BU 2 kl. 1

domaća : A 30-B-MK-20

Brusne ploče su sa bakelitnim vezivom i ojačanim vlaknima i namenjene su za sečenje metala na temperaturama ne većim od 600 °C. Imaji spoljašnji prečnik 180 i 230 mm i debljinu 3 mm a obraziv je hromotitanasti elektrokorund.

MAŠINA : Obradni centar HBG-50 sa kontinualnom promenom broja obrtaja do 8000 min^{-1} brzinom pomoćnog kretanja do 2000 mm/min (ILR - Železnik)

OBRADAK: materijal - Č. 1530

$\phi 20$ mm za brusnu ploču $\phi 180$ mm

$\phi 24$ mm za brusnu ploču $\phi 230$ mm

Pri izboru prečnika obradka mora se voditi računa da on iznosi 10-12% od prečnika brusne ploče (ГОСТ 21963-82)

REŽIM: Obimna brzina brusne ploče 38-42-60 m/s, brzina pomoćnog kretanja 300-800 mm/min. Sečenje se izvodi bez SHP.

3.0 METODIKA MERENJA

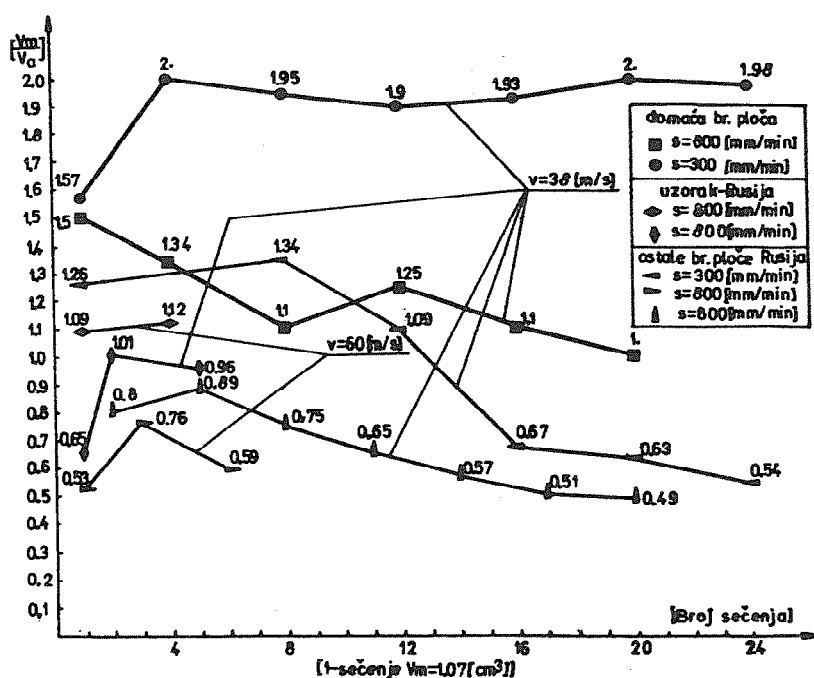
Obradak u vidu šipkastog polufabrikata navedenih prečnika kruto se steže u mašinskoj stezi koja se nalazi na radnom stolu mašine. Proces sečenja ostvaruje se vertikalnim pomeranjem alata prema odabranim režimima i pri uslovu da se osa brusne ploče poklapa sa osom obradka. Promena prečnika brusne ploče se meri u osam tačaka po obimu tako da se za merodavan uzima srednja vrednost svih merenja. Za merenje je korišćen mehanički komparator tačnosti 0.01 mm koji se zajedno sa stalkom nalazio na stolu mašine.

Prati se promena odnosa zapremine brusne ploče V_a i zapremine skinutog materijala V_m u funkciji broja sečenja sve dok se brusna ploča ne istroši na prečnik 0.75 od početnog, to jest, dok se brusna ploča $\phi 230$ mm ne istroši na $\phi 172.5$ mm a $\phi 180$ mm na prečnik $\phi 135$ mm. Tada se proces sečenja prekida i utvrđuje se koeficijent brušenja $K = V_m/V_a$. Po ГОСТ 21963-82 propisan je koeficijent $K = 1.6$.

*) Rad je nastao kao rezultat izvedenog projekta: "Ispitivanje brusnih ploča $\phi 230 \times 3 \times 22$ i $\phi 180 \times 3 \times 22$ " za potrebe JUGOAVTA DD, Beograd, Elaborat SIKVA 09-64

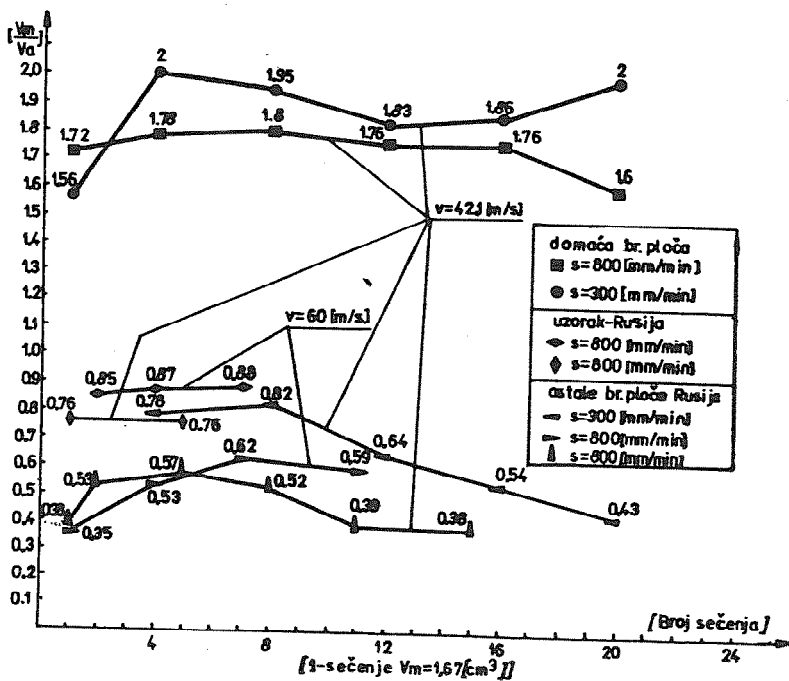
4.0 DOBIJENI REZULTATI

Na sl. 1 prikazana je promena koeficijenta brušenja brusnih ploča $\phi 180$ mm, a na sl. 2 brusnih ploča $\phi 230$ mm odgovarajućih proizvođača pri datim režimima sečenja. Pri $v = 38$ m/s i brzini pomoćnog kretanja 300 mm/min kod brusnih ploča domaćeg proizvođača $K = 1.9$ a ruskog $K = 0.92$ što je oko dva puta manji. Povećanjem brzine pomoćnog kretanja na 800 mm/min umanjuje se kod domaćeg proizvođača K na nivo 1.21 a ruskog $K = 0.69$ što je približno za 2 puta, u korist domaćeg proizvođača. Prvobitno dostavljeni uzorci od ruskog proizvođača daju $K = 0.87$ ($v = 38$ m/s, $s = 800$ mm/min) što je za oko 25% veći u odnosu na isporučene brusne ploče (sl. 1).



sl. 1 Promena koeficijenta brušenja brusnih ploča $\phi 180$ mm u funkciji broja sečenja

Analiza kod brusnih ploča $\phi 230$ mm (sl. 2) pokazuje da je pri $v = 42$ m/s i brzini pomoćnog kretanja 300 mm/min u domaćeg proizvođača $K = 1.86$ a kod ruskog za oko tri puta manji, $K = 0.64$. povećanjem brzine pomoćnog kretanja na 800 mm/min kod domaćih brusnih ploča $K = 1.73$ a ruskih za oko 3.5 puta manji, $K = 0.46$.



sl. 2 Promena koeficijenta brušenja brusnih ploča $\phi 230$ mm u funkciji broja sečenja

Povećanjem brzine pomoćnog kretanja od 300 na 800 mm/min smanjuje se koeficijent K kod domaćih brusnih ploča za oko 5% ($\phi 230$ mm) i 35% ($\phi 180$ mm). Kod ruskih brusnih ploča pri istim uslovima smanjuje se za oko 30% ($\phi 230$ mm) i 25% ($\phi 180$ mm).

5.0 ZAKLJUČAK

Celokupna procedura ispitivanja kvaliteta brusnih ploča izvršena je prema standardu ГOCT 21963-82 a pokazala je:

- Kvalitet brusnih ploča domaćeg proizvođača je bolji u odnosu na ruskog
- Uticaj brzine pomoćnog kretanja, kod brusnih ploča domaćeg proizvođača $\phi 230$ mm, je neznatan na promenu koeficijenta brušenja mada se smanjuje za 35% sa povećanjem s kod brusnih ploča $\phi 180$ mm.

Kod brusnih ploča ruskog proizvođača povećanje brzine pomoćnog kretanja od 300-800 mm/min dovodi do smanjenja koeficijenta K približno za 25-30%.

- Povećanje obimne brzine brusne ploče uslovljava povećanje koeficijenta brušenja.

6.0 LITERATURA

- [1] Ippolitov G. Abrazivno-almazna obrabotka, Mašinstrenie, Moskva, 1979
- [2] Shaw M. C. The rating of abrasive cutting wheels, Trans. ASME, 1975, B 97, N1, 138-146
- [3] Spur G. Handbuch der Fertigungstechnik Spanen, Carl Hanser Verlag Munchen Wien, 1985
- [4] Krugi otreznie, GOCT 21963-82

QUALITY INDICATORS OF GRINDING PLATES FOR CUTTING

Summary

The paper shows the results of quality testing for grinding plates for cutting manufactured by two factories: Yugoslav "Mačkatica", Surdulica and Russian "Comex". The influence of circumference velocity and the grinding plate auxiliary movement velocity on the grinding coefficient variation is analyzed according to the GOST 21963-82 standard. The paper includes the description of performed investigations, experiment conducting conditions, measuring methodology and obtained results.

M. Vučićević, M. Jovičić*

OBRADLJIVOST VISOKOLEGIRANIH SINTEROVANIH MATERIJALA PRI ZAVRŠNOJ OBRADI STRUGANJEM

Rezime

U ovom radu se iznose rezultati ispitivanja vezana za iznalaženja obradljivosti pri završnom profilnom struganju sedišta ventila za motore na bezolovni benzin od teškoobradljivih sinterovanih materijala na bazi Cr-Mo-Co-Ni-Cu, Cr-Mo-V-Mn-W i Mo-Ni-Pb. Ispitivanja su vršena u pogonskim uslovima, gde su u zavisnosti od promene elemenata režima rezanja, vršena merenja habanja alata od *CBN* i *Cermet*-a i posredstvom matematičko-statističke teorije eksperimenata određuju funkcije obradljivosti.

1. UVOD

Kod stvaranja proizvoda važnu ulogu, sa jedne strane ima izbor i transformacija materijala, a sa druge, njegovi ekonomski efekti. U cilju stvaranja kvalitetnih i konkurentnih proizvoda, tokom poslednjih godina nesrazmerno raste obim istraživanja u oblasti razvoja i primene najefikasnijih metoda za dobijanje i transformaciju materijala u proizvod. Naime, koriste se one metode obrade, pomoću kojih se postiže ušteda u materijalu, a po mogućnosti i kraće vreme izrade po jedinici proizvoda. Navedeni zahtevi u velikom obimu se postižu pri izradi delova od metalnog praha tehnologijom sinterovanja. Ovim postupkom se postiže, da se sa srazmerno kraćim vremenom i manjim utroškom materijala omogućava izrada malih i po konfiguraciji složenih delova sa relativno visokom mernom tačnošću i dobrim fizičko-mehaničkim osobinama. U stručnoj literaturi je oskudno interpretirana oblast obrade rezanjem delova od sinterovanog materijala. To se objašnjava sa jedne strane činjenicom da je prerada metala tehnologijom sinterovanja, relativno mlada disciplina, pa samim tim nisu ni mogle biti istražene mnoge mogućnosti obrade rezanjem. Sa druge strane, istraživanja završne obrade delova od određenog sinterovanog materijala finansiraju i vrlo često izvode konkurentne firme (najčešće industrije reznog alata i donekle korisnici sinterovanih delova), pa iskustva i saznanja do kojih se dođe u tim ispitivanjima, skoro uvek se eksploatišu kroz prodaju novog proizvoda ili licence.

*Dr Miroslav Vučićević, pred. Viša tehnička mašinska škola Beograd, dr Milenko Jovičić, red. prof. Mašinski fakultet Beograd

2. USLOVI I REZULTATI ISPITIVANJA

Eksperimentalna ispitivanja su izvođena u uslovima pri procesu završnog profilnog struganja sedišta ventila za motore na bezolovni benzin od različitih sinterovanih materijala, nožem sa pločicom od CBN i Cermet-a. Proces završne obrade struganjem obavljan je u pogonima "21. maj"-a Beograd.

2.1 MAŠINA, ALAT I OBRADAK

Eksperiment koji se odnosi na krivu habanja za pojedine elemente režima rezanja, vršen je na CNC strugu INDEX GE42 firme INDEX-WERKE KG iz Esslingen-a. Ova mašina omogućava željene promene brojeva obrtaja i koraka u širokom rasponu. Korak se praktično može ostvariti svaki veći od nule, a broj obrtaja od 85 min^{-1} do 5000 min^{-1} . Pogonska snaga mašine je 22 kW , a obrtni momenat 243 Nm .

Na osnovu literaturnih podataka i *ad hoc* ispitivanja jedne grupe alata, autor se odlučio za rad sa noževima od kubnog (teseralnog) bornitrida, CBN [1] i Cermet-a [2]. CBN se izrađuju kao dvodelne pločice, pri čemu je podloga od TM, a rezni deo od polikristalnog CBN. Naime, pošto je polikristalni CBN sam po sebi vrlo krt, zato mu podloga od TM sa većom čvrstoćom i žilavošću povećava stepen otpornosti na dinamičke udare, zadržavajući veliku tvrdoću i visoku otpornost na habanje. Po redosledu tvrdoća odmah je iza polikristalnog dijamanta, a s obzirom na termičku postojanost i hemijsku inertnost na povišenim temperaturama u kontaktu sa materijalima na bazi Fe-C, prevazilazi dijamant.

Obratke predstavljaju prstenasta sedišta ventila automotora za gorivo bez dodatka olova. Zbog specifičnih eksploatacijskih uslova, posebno izduvnih sedišta, ona se izrađuju od legiranih sinterovanih materijala. Ovde će se razmatrati tri vrste sinterovanih materijala za usisna i izduvna sedišta ventila. Firma TEIKOU PISTON RING CO.LTD. daje dvodelna usisna i izduvna sedišta interne oznake V556W.

TABELA 1. HEMIJSKI SASTAV SINTEROVANOG MATERIJALA

SIN-TER. MAT.	IN-TER-VAL	HEMIJSKI SASTAV SINTEROVANOG MATERIJALA [%]												
		C	Cr	Mo	Co	Ni	V	W	Mn	Cu	Pb	P	OST.EL.	Fe
A	OD	0,8	2,5	2,0	4,5	0,8	-	-	-	10,0	-	0,1	max 1,0	O S T A T.
	DO	1,3	4,5	4,5	7,5	2,3	-	-	-	14,0	-	0,3		
B	OD	0,7	3,5	4,5	-	-	1,5	6,0	0,2	-	-	-	max 2,0	
	DO	1,1	4,5	5,5	-	-	2,5	7,0	0,5	-	-	-		
C	OD	0,5	-	1,0	-	2,5	-	-	-	-	2,0	-	max 1,5	
	DO	1,0	-	1,5	-	3,5	-	-	-	-	3,5	-		

Deo sedišta na koji naleže "pečurka" ventila i koji se naknadno završno obrađuje struganjem sa internom oznakom V556, obeležen je sa A. Drugi sinterovani materijal, od firme GOETZE AG sa internom oznakom PMF 15, za izduvno sedište motora za bezolovni benzin obeležen je sa B, a materijal usisnog sedišta firme BLEISTAHL, oznake FCN 335 sa C. Najveću tvrdoću ima materijal B, od 100 do 115 HRB, dok materijal A ima od 25 do 38 HRC, a C od 280 do 300 HB. Gustina materijala A je od $7,7$ do 8 g/cm^3 , a materijala B *min* $6,7 \text{ g/cm}^3$, a C preko $7,4 \text{ g/cm}^3$. Hemijski sastav za navedene materijale

dat je u tab. 1.

U procesima izvođenja eksperimenata korišćeno je sredstvo za hlađenje i podmazivanje *HYSOL* firme *CASTROL* iz Hamburg-a. Ovo *SHP* čini rastvor oko 4 do 5% biostabilnog emulzionog ulja sa dodacima aditiva protiv korozije i bolje obradljivosti. Protok *SHP* prilikom ispitivanja uzet je od 5 l/min kao što je u proizvodnim uslovima.

2.2 PLANIRANJE I REZULTATI EKSPERIMENATA

Za odvijanje eksperimenata korišćena je plan matrica potpunog ortogonalnog

TABELA 2. EKSPERIMENTALNI I MODELSKI REZULTATI ZA $T(v,s)$ I $R_{\phi}(v,s)$

REDNI BROJ EKSP.	M A T.	PLAN - MATRICA ORTOGONALNOG PLANA PRVOG REDA			EKSPERIMENTALNI I MODELSKI REZULTATI ZA $T(v,s)$ I $R_{\phi}(v,s)$								
					POSTOJANOST ALATA				SREDNJE ARITMETIČKO ODSUP.				
		CBN		TI2A		CBN		TI2A					
		x_0	x_1	x_2	$\ln T$	$\ln \hat{T}$	$\ln T$	$\ln \hat{T}$	$Ra [\mu m]$	$\hat{Ra} [\mu m]$	$Ra [\mu m]$	$\hat{Ra} [\mu m]$	
A1	A	+ 1	- 1	- 1	4,029	3,997	2,845	2,832	-1,309	-1,339	-0,798	-0,819	
A2		+ 1	+ 1	- 1	2,557	2,560	0,470	0,463	-1,661	-1,707	-1,514	-1,487	
A3		+ 1	- 1	+ 1	3,456	3,458	2,152	2,150	0,010	-0,037	-0,094	-0,066	
A4		+ 1	+ 1	+ 1	2,054	2,023	-0,223	0,248	-0,371	-0,403	-0,713	-0,734	
A5		+ 1	0	0	3,077	3,001	1,253	1,306	-0,968	-0,861	-0,798	-0,770	
A6		+ 1	0	0	3,100	3,001	1,253	1,306	-0,798	-0,861	-0,755	-0,770	
A7		+ 1	0	0	2,890	3,001	0,256	1,306	-0,994	-0,861	-0,693	-0,770	
A8		+ 1	0	0	2,912	3,001	1,386	1,306	-0,777	-0,861	-0,844	-0,770	
B1	B	+ 1	- 1	- 1	3,611	3,584	2,261	2,250	-1,022	-0,970	-0,673	-0,805	
B2		+ 1	+ 1	+ 1	2,219	2,264	0,095	0,113	-1,273	-1,315	-1,139	-1,184	
B3		+ 1	- 1	+ 1	2,970	3,004	1,649	1,658	0,095	0,047	0,095	0,050	
B4		+ 1	+ 1	+ 1	1,705	1,684	-0,511	-0,545	-0,357	-0,299	-0,198	-0,330	
B5		+ 1	0	0	2,595	2,626	0,788	0,867	-0,734	-0,626	-0,616	-0,559	
B6		+ 1	0	0	2,625	2,626	0,875	0,867	-0,635	-0,626	-0,580	-0,559	
B7		+ 1	0	0	2,674	2,626	0,993	0,867	-0,598	-0,626	-0,734	-0,559	
B8		+ 1	0	0	2,639	2,626	0,833	0,867	-0,755	-0,626	-0,693	-0,559	
C1	C	+ 1	- 1	- 1	4,527	4,594	3,594	3,558	-1,109	-1,097	-0,755	-0,779	
C2		+ 1	+ 1	+ 1	2,996	3,063	1,131	1,128	-1,386	-1,366	-1,171	-1,155	
C3		+ 1	- 1	+ 1	3,846	3,912	2,632	2,630	0,262	0,281	0,039	0,054	
C4		+ 1	+ 1	+ 1	2,312	2,380	0,182	0,077	0,000	0,013	-0,301	-0,324	
C5		+ 1	0	0	3,472	3,477	1,917	1,872	-0,511	-0,531	-0,511	-0,543	
C6		+ 1	0	0	3,404	3,477	1,902	1,872	-0,598	-0,531	-0,494	-0,543	
C7		+ 1	0	0	3,398	3,477	1,840	1,872	-0,462	-0,531	-0,616	-0,543	
C8		+ 1	0	0	3,459	3,477	1,840	1,872	-0,562	-0,531	-0,598	-0,543	

plana prvog reda za dvofaktorni sistem (v,s) , sa brojem eksperimenata $N = 2^k + n_0 = 2^2 + 4 = 8$, gde su nivoi faktora kod završnog struganja sa CBN za $v = \{60, 85, 120\}$ i $s = \{0,04; 0,07; 0,12\}$, odnosno kod primene T12A za $v = \{40, 60, 90\}$ i $s = \{0,04; 0,07; 0,12\}$. Proces se odvijao u uslovima optimalne geometrije reznog dela noža [3]. Na osnovu krivih habanja alata (CBN, T12A), pri profilnom struganju sinterovanih materijala A, B i C, date su logaritamske eksperimentalne i modelske vrednosti za T i R_a u tab. 2.

3. ODREĐIVANJE PARAMETARA OBRADLJIVOSTI U FUNKCIJAMA POSTOJANOSTI ALATA I KVALITETA OBRADENE POVRŠINE

Kao što je poznato, složene pojave, kao što su procesi rezanja, koji se ne mogu sagledati čulima i/ili predvideti istraživačkim razumom, predstavljaju se modelima. Modeli nam omogućavaju da karakteristike razmatranih pojava lakše sagledamo i shvatimo. Međutim, kako se modeliranjem vrši prilagođavanje karakteristika stvarnih pojava u karakteristike koje možemo da shvatimo, to i model sa određenim stepenom predstavlja stvarnu pojavu. Koliki je taj stepen najviše zavisi od sposobnosti i vida posmatranja. Obradljivost materijala predstavlja složenu kategoriju koja nije neposredno merljiva veličina, već predstavlja skup parcijalnih funkcija u zavisnosti od uticajnih faktora. Ovi faktori u prvom redu su vezani za fizičko-mehanička, metalurško-hemijska i strukturno-termička svojstva obrađivanog materijala i utiču na oblik i veličinu parcijalnih funkcija obradljivosti kao tehnološke karakteristike materijala od kojih zavise tehnološki faktori vezani za metod obrade, alat, mašinu, režime i uslove obrade.

Izračunavanje vrednosti koeficijenata regresije u funkciji reagovanja, postojanosti alata i srednjeg aritmetičkog odstupanja profila, kao mere kvaliteta obrađene površine i disperzione analize, se izvodi preko poznatih relacija [4,5].

TABELA 3. VREDNOSTI PARAMETARA OBRADLJIVOSTI

ALAT	OBRAD.	KONSTANTE I PARAMETRI OBRADLJIVOSTI								
		U FUNKCIJI T			U FUNKCIJI v			U FUNKCIJI R_a		
		P	p_1	p_2	Q	q_1	q_2	Q_R	q_{R1}	q_{R2}
CBN	A	54664	-2,073	-0,490	192,9	0,482	0,236	105,4	0,528	1,187
	B	16972	-1,917	-0,526	160,8	0,522	0,274	58,2	0,507	0,925
	C	107693	-2,210	-0,621	189,2	0,452	0,281	93,2	0,389	1,255
T12A	A	111135	-2,929	-0,631	52,8	0,341	0,215	83,2	0,823	0,685
	B	30106	-2,667	-0,555	47,8	0,375	0,208	30,8	0,468	0,778
	C	156274	-3,029	-0,870	51,8	0,330	0,287	29,4	0,466	0,757

Konstatujemo da su svi koeficijenti višestruke regresije signifikantni, dok se hipoteza o neadekvatnosti modela odbacuje [6]. Parametri i funkcije obradljivosti dati su u tab. 3 i 4.

TABELA 4. PARCIJALNE FUNKCIJE OBRADLJIVOSTI

ALAT	MATERIJ. OBRATKA	PARCIJALNE FUNKCIJE OBRADLJIVOSTI		
		POSTOJANOST ALATA	BRZINA REZANJA	SREDNJE ARITM. ODSUPANJE
CBN	A-V556	$\frac{54664}{v^{2,073} s^{0,490}}$	$\frac{192,9}{T^{0,482} s^{0,236}}$	$\frac{105,4 s^{1,187}}{v^{0,528}}$
	B-PMF15	$\frac{16972}{v^{1,917} s^{0,526}}$	$\frac{160,8}{T^{0,522} s^{0,274}}$	$\frac{58,2 s^{0,925}}{v^{0,507}}$
	C-FCN335	$\frac{107693}{v^{2,210} s^{0,621}}$	$\frac{189,2}{T^{0,452} s^{0,281}}$	$\frac{93,2 s^{1,255}}{v^{0,389}}$
T12A	A-V556	$\frac{111135}{v^{2,929} s^{0,631}}$	$\frac{52,8}{T^{0,341} s^{0,215}}$	$\frac{83,2 s^{0,685}}{v^{0,823}}$
	B-PMF15	$\frac{30106}{v^{2,667} s^{0,555}}$	$\frac{47,8}{T^{0,375} s^{0,208}}$	$\frac{30,8 s^{0,778}}{v^{0,468}}$
	C-FCN335	$\frac{156274}{v^{3,029} s^{0,870}}$	$\frac{51,8}{T^{0,330} s^{0,287}}$	$\frac{29,4 s^{0,757}}{v^{0,466}}$

4. ZAKLJUČAK

Nađena je korelaciona veza između postojanosti alata i elemenata režima rezanja $T-f(v,s)$ za profilno struganje sedišta ventila od teškoobradljivih sinterovanih materijala A, B i C sa nožem od CBN i izmenljive pločice T12A. Isto tako postoji korelacija između kvaliteta obradene površine izražene preko srednjeg aritmetičkog odstupanja profila u zavisnosti od elemenata režima rezanja $R_a-f(v,s)$, pri profilnom struganju sa CBN i T12A. Najveći uticaj na kvalitet obradene površine kod profilnog struganja sa oba alata ima korak.

5. LITERATURA

- [1] Верещагин, Л. Ф., Яковлев, Н. Е., Слесарев, Н. В., Сверхтвердый материал на основе кубического нитрида бора, Станки и инструмент, (1972), №6.
- [2] Abel, R., Cermets - bestens geeignet für das Schlichten, Werkzeuge für die spanende Fertigung, VDI-Z Special, Sept, 1989.
- [3] Vučićević M., Jovičić M., Optimizacija geometrije alata od CBN pri završnoj obradi struganjem teškoobradljivih sinterovanih materijala, V Međunarodna naučno-stručna konferencija mma'94, N. Sad, 1994.
- [4] Налимов, В. В., Теория эксперимента, Наука, Москва, 1971.

- [5] Pantelić, I., *Primena statističkih metoda u istraživanjima i procesima proizvodnje*, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1984.
- [6] Vučićević, M., *Istraživanje procesa završne obrade struganjem teškoobradljivih sinterovanih materijala*, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.

PREPARATION OF HIGH ALLOY SINTERED MATERIALS IN THE FINISHING GRINDING PROCESS PHASE

Summary

This paper presents the research results of preparation finding in the finishing phase of valve sitting profile grinding for lead free fuel driven automobile motors, made of hardly processable sintered materials based upon CR-Mo-Co-Ni-Cu, Cr-Mo-V-Mn-W and Mo-Ni-Pb. The research was carried out under operational conditions, where, depending on the cutting regime elements, the tool wear measurements were performed for the tools made of CBN and Cermet and the preparation function was determined by means of the mathematical and statistical theory of experiments.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

V. Zogović, Z. Krivokapić*

**RAZVOJ INFORMACIONOG MJERNOG SISTEMA
ZA ISTRAŽIVANJE PROCESA OBRADJE BUŠENJEM**

Rezime

U cilju sveobuhvatnih istraživanja procesa obrade otvora zavojnim burgijama, posebna pažnja posvećena je ispitivanjima pojava koje ovaj proces prate u njegovoj početnoj fazi i upravljanju i kontroli procesa. Za realizaciju navedenih istraživanja, u laboratoriji Mašinskog fakulteta u Podgorici, radi se na razvoju odgovarajućeg mjernog sistema po tzv. modulskom principu kako bi se obezbijedio zahtijevani nivo kvaliteta proizvoda. U radu su izloženi neki rezultati dosadašnjih ispitivanja procesa obrade bušenjem.

1. UVOD

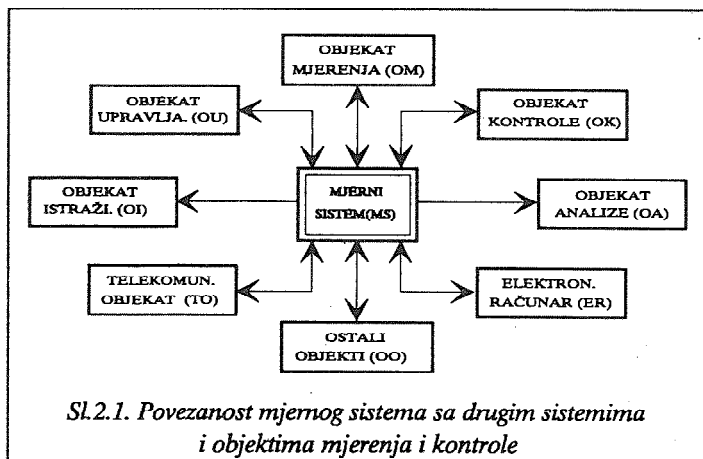
Od svih postupaka obrade metala rezanjem bušenje predstavlja jedan od najčešće korišćenih. Ovaj proces, kao što je poznato, odvija se u veoma složenim i otežanim uslovima praćen sa specifičnim zahtjevima za kvalitetom obrade. Imajući u vidu činjenicu da više od 50% operacija bušenja su završne operacije nameće se potreba za izgradnjom informacionog mjernog sistema radi sveobuhvatnih eksperimentalnih istraživanja i upravljanja i kontrole procesa obrade bušenjem. Realizacijom ovakvog sistema stvorili bi se uslovi da se u fazi eksperimentalnih ispitivanja dođe do skupa relevantnih parametara za proces obrade bušenjem i istovremeno verifikuju pravila koja će poslužiti za izgradnju baze znanja kao osnove za projektovanje optimalnog tehnološkog postupka obrade bušenjem. To je faza koja ujedno obezbjeđuje definisanje graničnih vrijednosti parametara koje su potrebne za narednu fazu - upravljanje i kontrolu procesa bušenja u realnom vremenu. Potrebno je dakle razviti takav sistem koji će biti sposoban da u radnom ciklusu obrade izvršava četiri osnovne funkcije: funkciju identifikacije, funkciju komparacije, funkciju odlučivanja i funkciju modifikacije.

2. MJERNI SISTEMI

Mjerni sistem obuhvata određeni skup mjernih elemenata, mjernih pribora i pomoćnih uređaja povezanih međusobno, preko kanala veze, u jednu funkcionalnu i konstrukcijsku cjelinu i priključenih za objekat mjerenja, objekat kontrole, objekat

* Mr Vukašin Zogović, asistent, Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica
Dr Zdravko Krivokapić, docent, Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica

upravljanja, objekat analize, objekat istraživanja ili kakav drugi objekat (sl.2.1) radi generisanja, pretvaranja, memorisanja, prikazivanja i upotrebe u određene svrhe mjernih signala (mjernih informacija, mjernih rezultata) jedne ili više mjernih veličina koje inače karakterišu stanje objekta, stanje procesa u tom objektu ili, uopšte, koje su predmet mjerenja nezavisno od vrste objekta i cilja mjerenja [1].



Sl.2.1. Povezanost mjernog sistema sa drugim sistemima i objektima mjerenja i kontrole

Osnovni značaj mjerne tehnike (mjernih sistema) u proizvodnom mašinstvu sastoji se u sledećem:

1) da se cjelokupna kontrola kvaliteta i upravljanja kvalitetom proizvodnje zasniva na upotrebi mjernih sistema i direktnom korišćenju rezultata mjerenja bez obzira o kojoj je fazi

tehnologije (izrade, montaže, održavanje i dr.) riječ,

2) da se fundamentalna, razvojna i primijenjena naučna istraživanja u oblasti proizvodnog mašinstva, tehnici i nauci uopšte, ne mogu se zamisliti, pored ostalog, bez primjene moderne mjerne tehnike i da je brzina razvitka nauke i tehnike u bitnoj mjeri zavisna od stepena razvoja mjerne tehnike,

3) da bez razvoja i primjene modernih mjernih sistema ne bi bio moguć ni razvoj najmodernijih programiranih i adaptivno upravljanih obradnih sistema i obradnih centara, fleksibilnih linija i tehnologija.

Modulski princip ili princip agregiranja predstavlja jednu od najvažnijih osnova za gradnju savremenih mjernih sistema. Prema ovom principu, mjerni sistem se gradi, komponuje iz nezavisnih funkcionalnih blokova, koji se zovu moduli.

Jedno od glavnih obilježja mjernih sistema, izrađenih na modulskom principu, sastoji se u tome što se potrebni mjerni sistem može relativno lako i brzo formirati iz datih, standardnih modula koji će biti potpuno iskorišćeni pri obavljanju unaprijed poznatih metroloških operacija. To nije slučaj kod klasičnih mjernih sistema, jer mnoge komponente "čvrstog" sistema ostaju neiskorišćene ili nedovoljno se koriste pri obavljanju jednog velikog broja mjernih procesa.

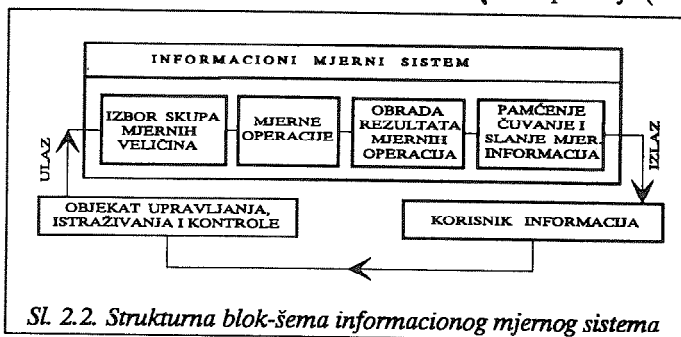
Danas se sve više, a po negdje i potpuno, razvijaju i koriste takvi mjerni sistemi (npr. informacioni mjerni sistemi) kod kojih su gotovo sve metrološke operacije automatizovane i programirane pomoću elektronskih računara. Krug primjene ovakvih mjernih sistema, zasnovanih na korišćenju računara, vrlo je širok: od proizvodnje (proizvodne metrologije) do laboratorija za naučna, razvojna, primijenjena i druga istraživanja.

U razvoju mjernih sistema na bazi računara izražene su dvije opšte tendencije:

1. Gradnja i korišćenje mjernih sistema sa integrisanim (u njih) elektronskim računarima.

2. Povezivanje klasičnih (pa i novijih) mjernih sistema sa elektronskim računarima.

Informacioni mjerni sistemi spadaju u najviše klase savremene mjerne tehnike. Ovi sistemi obuhvataju, pored mjerne i mikroelektronsku i računsku tehniku. Pri tome je funkcionisanje mjernih i drugih jedinica sistema po pravilu uvijek automatizovano. Ovaj kompleks, koji, predstavlja integraciju automatizovanih mjernih, mikroelektronskih i računarskih jedinica u jednu tehničku i funkcionalnu cjelinu sposoban je da u proizvodnoj metrologiji obavlja sledeće osnovne operacije (sl.2.2):



Sl. 2.2. Strukturalna blok-šema informacionog mjernog sistema

-mjerjenje i kontrolu karakteristika kvaliteta, karakteristika procesa i parametara stanja objekta ispitivanja i njihovo prikazivanje na nekoj od indikatorskih jedinica (pri tome su procesi mjerjenja i kontrole po pravilu potpuno

automatizovane),

- matematičku obradu skupova rezultata mjerjenja i to u realnom vremenu (što znači odmah po dobijanju rezultata mjerjenja), bez obzira na mnoštvo i karakter mjernih informacija,

- memorisanje rezultata mjerjenja na kraće ili duže vrijeme,

- prenos mjernih informacija sa jednog na druga bliža ili udaljena mjesta kroz odgovarajuće komunikacione linije,

- perforiranje traka i štampanj rezultata mjerjenja, tj. prikazivanje mjernih rezultata na perforiranim i štampanim trakama,

- upravljanje i kontrola procesa, tj. generisanje signala kojim se, preko izvršnih i radnih organa, upravlja obradnim i drugim sistemima, (procesima).

3. PRELIMINARNA EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

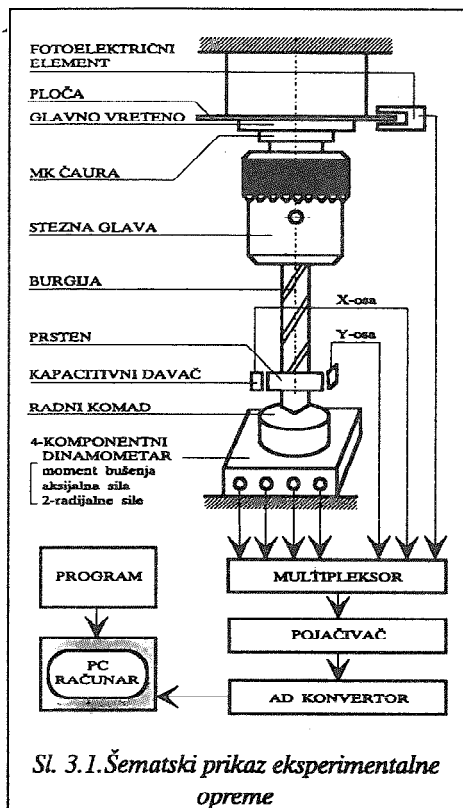
Eksperimentalnim radom obuhvaćeni su sledeći parametri:

- Mašina: statička i dinamička krutost, tačnost izrade, ponovljivost, rad i drugi.
- Alat: dužina, krutost, prečnik, geometrija vrha, materijal i drugi.
- Radni komad: krutost, nagib, hrapavost, obradljivost i drugi.
- Režimi rezanja: brzina rezanja i brzina pomoćnog kretanja.

Izgled mjerne oprme korišćene za eksperimentalna ispitivanja prikazan je na sl. 3.1. Kao što se sa šeme vidi uređaji su tako povezani da prema tački 2. čine jedan informacioni mjerni sistem.

Ovaj mjerni sistem omogućava istovremeno snimanje i zapisivanje pomjeranja vrha burgije, u ravni normalnoj na osu alata, u dva upravna pravca, sila rezanja i momenta bušenja. Kapacitivni davači pomjeranja postavljeni su, pod međusobnim uglom od 90°, vrlo blizu koncentričnog prstena učvršćenog za burgiju. Kada se burgija okreće mijenja se kapacitivnost, s obzirom da se mijenja rastojanje između davača i prstena usled pomjeranja vrha burgije, i ti senzorski signali, transformisani u voltni izlaz,

pojačavaju se, a zatim u A/D konvertoru digitalizuju i šalju u PC-računar. Istovremeno



Sl. 3.1. Šematski prikaz eksperimentalne opreme

odsustvo klizača i/ili sličnih nepovoljnih mehaničkih elemenata i kontinualna prenosna karakteristika.

Zahvaljujući savremenim operacionim pojačavačima koji imaju veliku ulaznu otpornost i izrazito malu ulaznu kapacitivnost realizovani pretvarač $C \rightarrow U$, na bazi pojačanja naelektrisanja osim jednostavnosti konstrukcije, visoke osjetljivosti i reagovanja na brze promjene vrijednosti mjerene veličine, ima i veoma linearnu prenosnu karakteristiku sa greškom manjom od 0,5%.

U toku višemjesečnog rada kapacitivni davači (senzori) položaja potvrdili su svoju visoku pouzdanost i mogućnost preciznih mjerenja sa visokom tačnošću.

DINAMOMETAR: Za mjerenje komponenti radijalnog otpora rezanja u dva upravna pravca (koji se poklapaju sa pravcima mjerenja radijalnih pomjeranja) korišćena je mjerna platforma tipa 9257A a za mjerenje aksijalnog otpora i otpornog momenta bušenja mjerna platforma tipa 9271A firme "KISTLER". Ovi dinamometri rade na principu piezoelektričnog efekta, a mogu registrovati statičke i dinamičke komponente u određenim mjernim područjima, sa sopstvenom frekvencijom od oko 4 kHz.

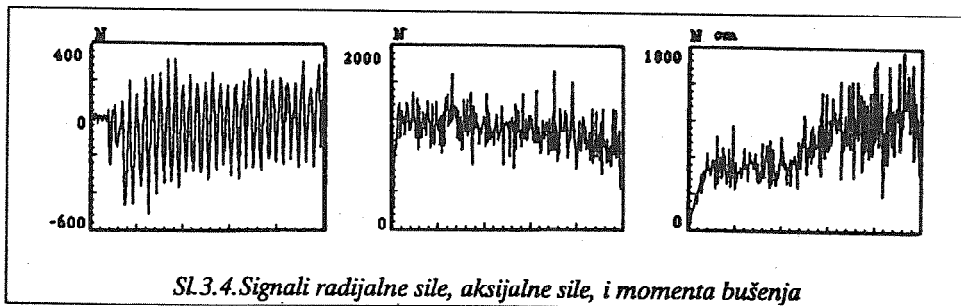
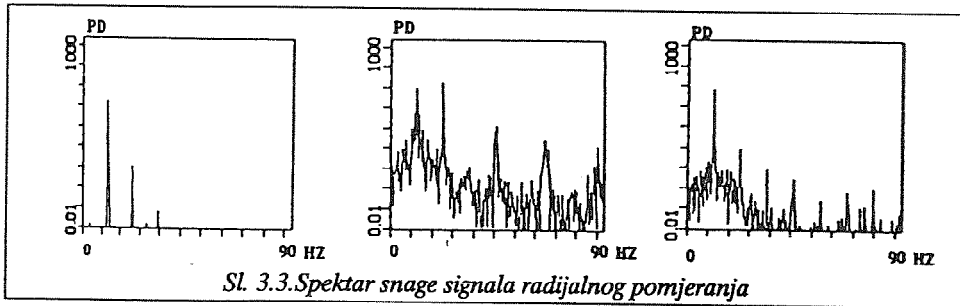
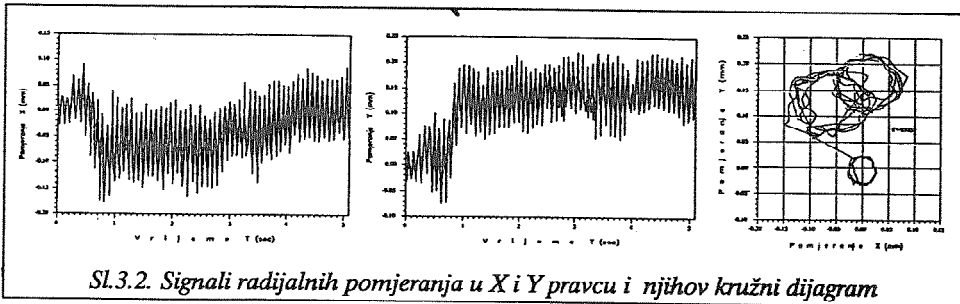
RAČUNAR: Za eksperimentalna ispitivanja i obradu podataka korišćen je PC/AT/486 sa instaliranim sistemom za akviziciju podataka i upravljanje ED 2000 koji je 100%

se sa dinamometra i signali radijalnih sila, u dva upravna pravca koji se poklapaju sa pravcima postavljanja kapacitivnih davača, aksijalne sile i momenta bušenja nakon pojačanja i digitalizacije dovode u PC-računar. Mjerenje broja obrtaja vrši se pomoću fotoelektričnog elementa (fotočelije) i ploče (sa prorezom) pričvršćene za glavno vreteno mašine. Dobijeni signal se nakon pojačanja dovodi na A/D konvertor a zatim u PC-računar. Ovako prikupljeni podaci smještaju se u memoriju PC-računara i formiraju se datoteke podataka. Mjerni sistem, dakle, omogućava da se istovremeno snime sve veličine, karakteristične za proces bušenja, sa režimima obrade i prečnicima burgija koji se koriste u realnim uslovima rada. Kratak opis pojedinih funkcionalnih blokova (modula) mjernog sistema sa sl.3.1 dat je dalje u tekstu.

KAPACITIVNI SENZORI: Kapacitivni senzori položaja su poznati još odavno, ali dosadašnja elektronska rješenja su bila komplikovana i nijesu obezbjeđivala dovoljnu linearnost prenosne karakteristike. Prednosti kapacitivnog senzora položaja su:

softverski i hardverski kompatibilan sa BURR-BROWN sistemom za akviziciju PSI-20000. Računar je opremljen i potrebnim programima za analizu signala aksijalne sile (otpora), otpornog momenta i radijalne sile (otpora) bušenja kao i za analizu signala radijalnih pomjeranja. Spektralnom analizom signala otpora rezanja utvrđuje se da li je neki proces stabilan ili ne, a na osnovu spektra snage signala radijalnih pomjeranja može se analizirati poligonalni oblik otvora u početnoj fazi procesa bušenja. Takođe, na osnovu signala radijalnih pomjeranja, računar određuje pozicionu tačnost alata što je vema važan parametar naročito pri obradi otvora (rupa) burgijama malog prečnika kod kojih je $l > 3d$ [4].

Dio eksperimentalnih rezultata, prezentiran u obliku dijagrama, prikazan je na sl.3.2 do sl.3.4.



Na sl.3.3 prikazan je spektar snage signala radijalnih pomjeranja vrha burgije. Frekvencija koja odgovara piku (špicu) na spektru gustine snage funkcija je koja je u korelaciji sa brojem strana poligona profila otvora. U radovima [2] i [5] dokazano je da

je profil otvora poligon sa neparnim brojem strana i da se broj strana, koji u početku iznosi tri, sa povećanjem dubine otvora povećava.

4. ZAKLJUČAK

Dosadašnja realizacija mjernog sistema omogućava da se u fazi eksperimentalnih ispitivanja dođe do skupa relevantnih parametara za proces obrade bušenjem i istovremeno verifikuju pravila koja će poslužiti za izgradnju baze znanja kao osnove za projektovanje optimalnog tehnološkog postupka obrade bušenjem posredstvom ekspert sistema što ima za cilj inicijalnu optimizaciju parametara procesa. To je faza koja ujedno obezbjeđuje definisanje graničnih vrijednosti parametara koje su potrebne za narednu, drugu, fazu - upravljanje i kontrolu procesa bušenja u realnom vremenu. Za realizaciju druge faze potrebna je dalja nadgradnja postojećeg sistema kako hardverska tako i softverska.

5. LITERATURA

- [1] Stanić, J., Tehnološki merni sistemi, Mašinski fakultet, Beograd, 1991.
- [2] Lee, S. J., Dinamic analysis of the small diameter drilling, Ph. D. Thesis, University of Wisconsin-Madison, januar 1985.
- [3] Stanić, J., Upravljanje kvalitetom proizvoda, Metodi I, Građevinska knjiga, Beograd, 1989.
- [4] Zogović, V., Ispitivanje uticaja načina oštrenja zavojnih burgija na tačnost pozicije otvora, Prvi međunarodni naučno-stručni skup TM '94, Zbornik radova, Knjiga 3, Krushevac-Vrnjačka Banja, oktobar 1994, 547-553.
- [5] Zogović, V., Prilog istraživanju prelaznih pojava pri obradi bušenjem, 15. jugoslovenski simpozijum NU•ROBOTI•FTS, Zbornik radova, Prohor Pčinjski, 1993, 283-289.

V. Zogović, Z. Krivokapić

DEVELOPMENT OF AN INFORMATION MEASURING SYSTEM FOR DRILLING PROCESS INVESTIGATION

Summary

In order to perform a comprehensive investigation of the drilling process, special attention has been paid to the investigation of the phenomena which appear in its initial phase and during its operation and control. In order to realize the mentioned investigations and to ensure the required level of products quality, a suitable measuring system based on a modular principle is being developed at the Podgorica University Department of Mechanical Engineering laboratory. The paper presents some results of the drilling process investigations conducted so far.

B. Devedžić, S. Aleksandrović*

UTICAJ NEMONOTONOSTI DVOFAZNIH PROCESA DEFORMISANJA NA GRANIČNU DEFORMABILNOST TANKIH LIMOVA

REZIME

U radu se uporedo prikazuju krive granične deformabilnosti tankih limova dobijene pomoću dva teorijska pristupa i eksperimentalnim postupkom.

Na osnovu teorije dekohezije mikrostrukture i t.z.v. kombinovanog teorijskog modela formirani su računarski programi koji omogućuju relativno lako dobijanje graničnih krivih samo na osnovu par osnovnih karakteristika materijala i procesa deformisanja.

1. UVOD

Dijagrami granične deformabilnosti limova (Keeler- Goodwin-ovi dijagrami - DGD u daljem tekstu) najčešće se dobijaju jednim od više mogućih eksperimentalnih postupaka. Međutim, to može u nekim industrijskim i drugim sredinama predstavljati relativnu teškoću, s obzirom na potrebno vreme, opremu, obučene stručnjake i dr. Osim toga, u velikom broju slučajeva nema praktične potrebe da se njihovi oblici i položaji određuju sa izuzetno velikom tačnošću, što znači da bi se mogla prihvatiti i njihova teorijska aproksimacija - ukoliko to izrazito pojednostavljuje postupak dobijanja dijagrama.

Opšte je poznato da se osnovni dijagrami granične deformabilnosti odnose na jednofazno monotono deformisanje sa pravolinijskom putanjom deformisanja. Takođe je poznato da se pri višefaznim nemonotonim procesima graničana deformabilnost menja. To je, pored ostalog, posledica odgovarajućih dekohezionih

* Dr Branislav Devedžić red.prof., Mašinski fakultet Kragujevac, Sestre Janjić 6.
Mr Srbislav Aleksandrović dipl. ing., asistent, Mašinski fakultet Kragujevac

promena u mikrostrukturi. Koristeći teoriju dekohezije /1,3,4/, kao i quasi-teorijski pristup /5/, dobijeni su DGD u daljem prikazani na način koji olakšava upoređenje sa eksperimentalnim rezultatima.

2. OSNOVNE RELACIJE TEORIJSKIH PRISTUPA

Za monotone procese deformisanja važi da će do razaranja materijala doći kada koeficijent iskorišćenja plastičnosti dostigne vrednost 1.

$$q = \int_0^{\varphi_e^*} \frac{d\varphi_e}{\varphi_{el}} = 1 \quad (1)$$

gde je φ_e -ekvivalentna lokalna deformacija na kritičnom mestu otpreska, a indeks L se odnosi na graničnu vrednost (limit).

U razmotrenom slučaju moguće je uspostaviti analognu vezu i za slučaj kada se umesto ekvivalentne deformacije φ_e koristi veća deformacija u ravni lima φ_1 .

Kada je proces nemonoton može se uticaj nemonotonosti uzeti u obzir preko koeficijenta $b < 1$, pa će koeficijent iskorišćenja plastičnosti za i-tu fazu biti

$$q^{(i)} = b^{(i)} \frac{\Delta \varphi_1^{(i)}}{\varphi_{1L}^{(i)}} \quad (2)$$

Za dvofazni proces biće ukupna granična deformacija /4/:

$$\begin{aligned} \varphi_{1L(t)}^T &= \varphi_1^{(1)} + \Delta \varphi_{1(t)}^{(2)} = \frac{\varphi_{1L(t)}^{(2)}}{b^{(2)}} + q^{(1)} \left(\varphi_{1L}^{(1)} - \frac{\varphi_{1L(t)}^{(2)}}{b^{(2)}} \right) \\ \varphi_{2L(t)}^T &= t^{(1)} \varphi_1^{(1)} + t_{(j)}^{(2)} \left(\varphi_{1L(t)}^T - \varphi_1^{(1)} \right) \end{aligned} \quad (3)$$

gde su granične deformacije za pojedine faze $\varphi_{1L}^{(1)}$ i $\varphi_{1L(t)}^{(2)}$, dok su deformacioni odnosi $t = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$ u njima $t^{(1)}$ i $t_{(j)}^{(2)}$, a

$$q^{(1)} = b^{(1)} \frac{\Delta \varphi_1^{(1)}}{\varphi_{1L}^{(1)}} \quad (4)$$

Vrednosti $\varphi_{1L}^{(i)}$ dobijaju se kao presek pravca putanje pojedine faze i osnovnog DGD (datog grafički ili analitički). Za drugu fazu $t_{(j)}^{(2)}$ je nezavisno promenljiva (uzima vrednosti od približno -0,5 do 1).

U radu /4/ dat je predlog empirijskog izraza za faktor b:

$$b^{(i)} = 1 + a(m^{(i-1)} - m^{(i)})q^{(i-1)}(1 + m^{(i-1)}) \left| 1 + \gamma(m^{(i-1)})^k (q^{(i-1)})^l \right| \quad (5)$$

i predlog vrednosti konstantnih veličina a, γ , k, l:

$a \approx \frac{1}{3}$; $\gamma \approx 20$; $k \approx 3$; $l \approx 1$ za niskouglenične čelične limove. Veličina $m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1}$ je naponski koeficijent koji se za proporcionalno naprezanje lako dovodi u vezu sa deformacionim koeficijentom t . Prema prethodnom lako se dobija:

$$b^{(1)} = 1; q^{(1)} = \frac{\varphi_1^{(1)}}{\varphi_{1L}^{(1)}}; b^{(2)} = 1 + \frac{1}{3}(m^{(1)} - m^{(2)})q^{(1)}(1 + m^{(1)}) \left| 1 + 20(m^{(1)})^3 q^{(1)} \right|.$$

$\varphi_1^{(1)}$ je deformacija na kraju prve faze procesa.

Drugi teorijski pristup je kombinacija prethodno navedenog i t.z.v. quasi-teorijskog modela izloženog u /5/. Ovdje će biti dati samo konačni izrazi za granične deformacije. Za detalje treba videti /5/ i /6/.

$$\varphi_{1L(i)}^T = \varphi_1^{(1)} + \frac{1 - q_a^{(1)}}{1 + f(t^{(1)} - t_{(i)}^{(2)})q_a^{(1)}} \frac{(1 + 1,8s)n}{\frac{6A_{\varphi(i)}^{(2)}}{\sqrt{3}(t_{(i)}^{(2)} + 1)} - 2} \quad \text{za } t_{(i)}^{(2)} > 0 \quad (6)$$

$$\varphi_{1L(i)}^T = \varphi_1^{(1)} + \frac{1 - q_a^{(1)}}{1 + f(t^{(1)} - t_{(i)}^{(2)})q_a^{(1)}} \frac{(1 + 1,8s) \frac{2t_{(i)}^{(2)} + 3}{3(t_{(i)}^{(2)} + 1)} n}{\frac{6A_{\varphi(i)}^{(2)}}{\sqrt{3}} - 2} \quad \text{za } t_{(i)}^{(2)} < 0 \quad (7)$$

ovdje je s debljina lima, n eksponent deformacionog ojačavanja

$$A_{\varphi(i)}^{(2)} = \sqrt{1 + t_{(i)}^{(2)} + (t_{(i)}^{(2)})^2}; \quad q_a^{(1)} = \frac{\varphi_1^{(1)}}{\varphi_{1L}^{(1)}} \quad \text{a} \quad \varphi_{1L}^{(1)} = \frac{(1 + 1,8s)n}{\frac{6A_{\varphi}^{(1)}}{\sqrt{3}(t^{(1)} + 1)} - 2} \quad \text{za } t^{(1)} > 0 \text{ t.j.}$$

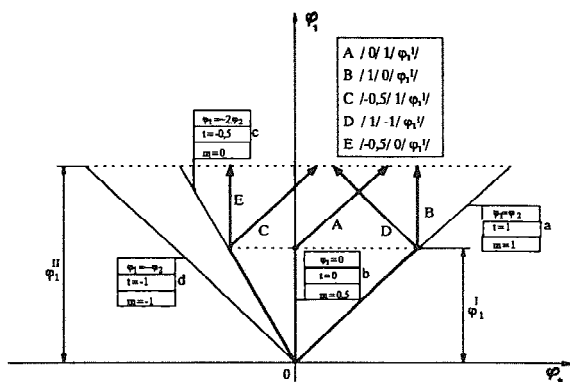
$$\varphi_{1L}^{(1)} = \frac{\frac{2t^{(1)} + 3}{3(t^{(1)} + 1)} (1 + 1,8n)}{\frac{6A_{\varphi}^{(1)}}{\sqrt{3}} - 2} \quad \text{za } t^{(1)} < 0. \text{ Za } t^{(1)} > t^{(2)} \text{ } f=3, \text{ a za } t^{(1)} < t^{(2)} \text{ } f=1/3.$$

$\varphi_{2L(i)}^T$ se dobija po jednačini (3b).

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI I UPOREĐENJE SA TEORIJSKIM MODELIMA

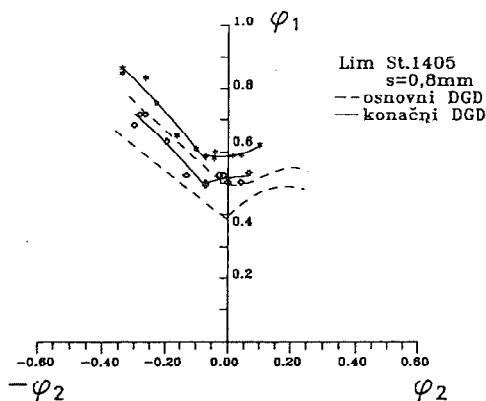
U nastavku su prikazani rezultati dva nemonotona postupka. Jedan u prvoj fazi ima putanju c (jednoosno zatezanje), a drugi putanju a (dvoosno razvlačenje) sa sl.1. Simbolički opis putanja na ovoj , i ostalim slikama, je prema /2/. Prvi podatak označava vrednost deformacionog odnosa t za putanju u prvoj fazi, drugi podatak je odnos t sa drugu fazu (promenljiv od -0,5 do 1) i treća vrednost je maksimalna deformacija φ_1 na kraju prve faze.

Eksperimentalni postupak kojim su dobijene granične krive je razvlačenje traka različite širine (30-120x120 mm) izvlakačem prečnika 50 mm. Osnovne krive (dobijene pri jednofaznom monotonom deformisanju) naznačene su isprekidanim linijama. Materijal lima je St.1405 (po DIN-u) debljine 0,8 mm proizveden u železari Thyssen (Nemačka). Stanje kontaktnih površina je suvo, a brzina deformisanja 20 mm/min. Karakteristike materijala i ostali detalji mogu se naći u /6/.

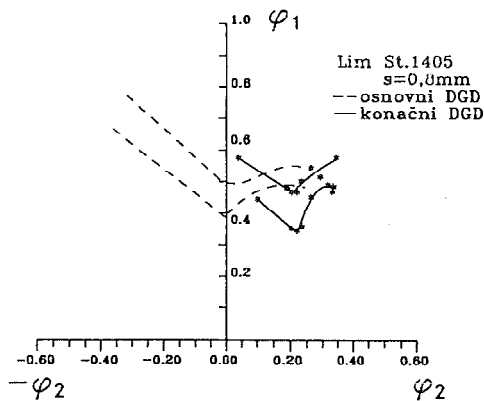


Sl.1 Shematski prikaz najčešće realizovanih putanja pri dvofaznom deformisanju /6/

Za dijagram na sl.2 u prvoj fazi je vršeno jednoosno zatezanje široke trake /6/ iz koje su, zatim, pripremane epruvete za DGD. Krive su date u parovima pri čemu donja odgovara lokalizaciji, a gornja razaranju.



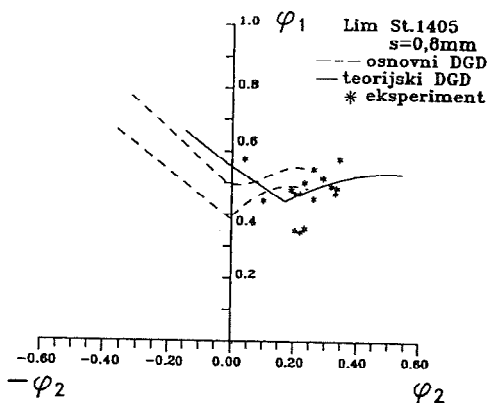
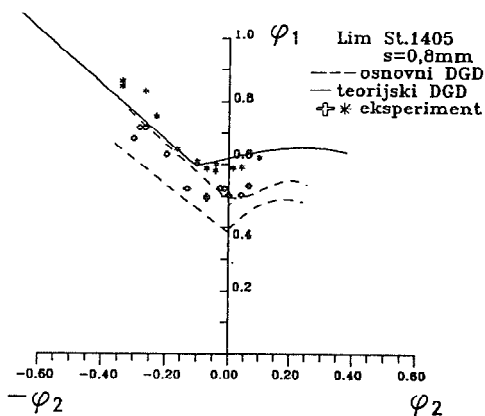
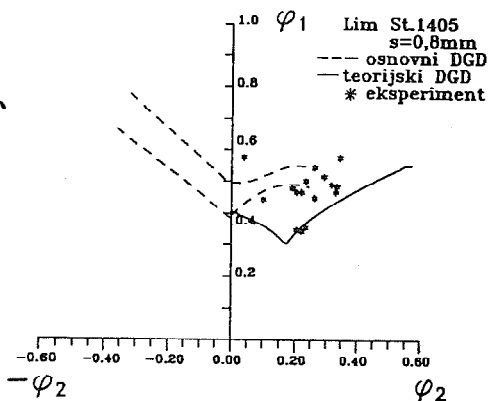
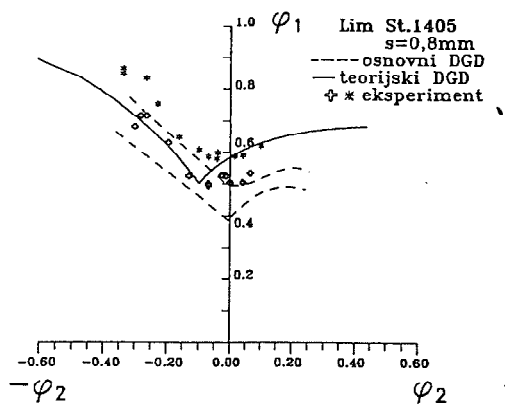
Sl. 2 Eksperimentalni DGD za nemonotoni postupak /-0,58/t⁽²⁾/0,17/



Sl. 3 Eksperimentalni DGD za nemonotoni postupak /1/t⁽²⁾/0,17/

DGD na sl.3 određen je za postupak koji u prvoj fazi ima razvlačenje /6/. Iz deformisanog komada sečene su epruvete za drugu fazu.

Sl. 4 daje uporedne rezultate eksperimenta i teorijskog "kombinovanog" modela. Dobija se samo jedna kriva čiji oblik i položaj dobro prate eksperimentalne tačke. Zbog ograničenog prostora nije moguće prikazati algoritam i detalje programa pa se čitalac upućuje na /6/.



Kriva sa sl. 5 je nešto ispod eksperimentalnih vrednosti, što ne mora da se shvati kao nedostatak, već kao postojanje rezerve. Sa tehnološkog aspekta bilo bi opasno neslaganje da teorijska kriva leži iznad eksperimentalnih vrednosti.

Sl.6 i sl.7 daju rezultate teorije dekohezije i očigledno je vrlo povoljno slaganje sa eksperimentom. Treba naglasiti da je opsežnim ispitivanjima /6/ utvrđeno da za ovu klasu limova u empirijskom faktoru b (5) više odgovaraju nove vrednosti konstanti $a=1/5$ i $\gamma=10$ što se vidi sa prethodnih dijagrama. Za pojedinosti o algoritmu i programu po ovom teorijskom modelu zainteresovani se upućuje na /6/.

4. ZAKLJUČAK

Ispitivanja, čiji su rezultati ovde delimično prezentirani, potvrđuju značajnu aplikativnu vrednost pomenutih teorijskih modela. Posebno je značajno istaći njihovu relativnu jednostavnost i primenljivost ne samo za dvofazne nego i za višefazne nemonotone postupke. Potrebno je da postupak unutar svake faze bude monoton i da pravci glavnih napona i deformacija ne pokazuju velike promene od faze do faze.

Napomena: Zbog ograničenog obima rada nisu mogle biti prikazane pojedinosti navedenih postupaka, pa se zainteresovani upućuju na naznačenu literaturu (osnovni cilj rada bio je da se uporedo prikažu granične krive dobijene različitim postupcima, a ne temeljito razmatranje tih postupaka).

5. LITERATURA

- /1/. V.L. Kolmogorov : Plastičnost i razrušenje, Metalurgia, Moskva, 1977.g.
- /2/. S.N. Rasmussen : Theoretical Prediction of Strainpath Dependence of Limit Strains in Sheet Materials, Annals of the CIRP, Vol.30/1/1981.g., s. 179-184.
- /3/. B. Devedžić : On the effects of strain path on the forming limit of sheet metal, 15th Biennial Congress IDDRG, Dearborn, USA, 1988.g.
- /4/. B. Devedžić : Jedan nov pristup određivanju deformabilnosti limova u uslovima složene istorije deformisanja, 22. Jugoslovensko savetovanje proizvodnog mašinstva, Ohrid, 1989.g., Zbornik s. 27-35.
- /5/. B. Devedžić : Granična deformabilnost limova pri različitim istorijama deformisanja, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, 1992.g., Zbornik s. 1-11 do 1-19.
- /6/. S. Aleksandrović : Granična deformabilnost tankih limova u uslovima nemonotonog procesa plastičnog deformisanja, mag. rad, Maš. fak. Kragujevac, 1993.

B. Devedzic, S. Aleksandrovic

THE INFLUENCE OF NON MONOTONY OF TWO PHASE FORMING PROCESSES ON THIN SHEET METALS FORMING LIMIT

Summary

This paper compares thin sheet metals forming limit curves obtained by two theoretical methods with the results obtained experimentally.

On the basis of both micro structure decohesion theory and "combined quasi-theoretical" approach we created computer programs which enable a relatively simple generation of forming limit curves by using just a few basic characteristics of the material and the forming process. The experiment for obtaining the limit forming curves was set up in a similar way.

A comparative analysis of theoretical and experimental results is given in the paper.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Domazetović V.*
Janjić M.**

ISTRAŽIVANJE STEPENA USAGLAŠENOSTI
TEORIJSKIH I EKSPERIMENTALNIH VRIJEDNOSTI
RADNIH PRITISAKA KOD SLOBODNOG SABIJANJA

Rezime

U radu se daju promjene radnog pritiska, dobijene eksperimentalnim putem, kod slobodnog sabijanja Al trupaca u toplom stanju, pri različitim temperaturama, brzinama deformisanja i stepenima deformacije. Određene su i teorijske promjene radnog pritiska i izvršeno je upoređenje teorijskih i eksperimentalnih pritisaka preko koeficijenta usaglašenosti.

1. UVOD

Izrada velikog broja elemenata od Al-legura se vrši obradom deformisanjem. Za uspješno i ekonomično izvođenje bilo kojeg tehnološkog postupka obrade deformisanjem od velikog značaja je poznavanje specifičnog deformacionog otpora, na osnovu koga je moguće proračunati radni pritisak.

Ispitivanja prezentirana u ovom radu su obavljena u Kombinat aluminijuma u Pogdorici na leguri AK6, hemijskog sastava datog u tab. 1.

Element	Cu	Mg	Mn	Si	Fe	Ni	Zn	Ti	ostalo
%	2.2	0.6	0.6	0.95	0.3	0.05	0.027	0.05	0.08

Tab.1 Hemijski sastav legure AK6

Radna mašina je hidraulična presa, nominalne sile 50[MN]. Glavna radna pumpa, snage 250[kW] pogoni radni fluid u glavni i povratne cilindre. U neopterećenom stanju se višak fluida usmjerava na pogon glavnog radnog zamajca, preko hidromotora, čime se vrši akumulisanje energije do 4000[kN·m]. Hidromotor služi i kao radna pumpa, tako da se pomoću njega iskoristava akumulisana energija zamajca, kada je potrebno u odgovarajuće radne cilindre ubaciti veliku količinu ulja.

U okviru širih ispitivanja procesa slobodnog sabijanja na presi od 50[MN] vršeno je mjerenje hidrauličnih pritisaka, na osnovu kojih je određen radni pritisak pri slobodnom sabijanju.

* Domazetović dr Vuko, dipl. maš. ing, red.prof. Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica
** Janjić Mileta, dipl. maš. ing, asistent pripravnik, Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica

2. TEORIJSKI PRORAČUN PRITISKA KOD SLOBODNOG SABIJANJA CILINDRIČNIH KOMADA - TRUPACA

U procesu slobodnog sabijanja na kontaktnim površinama između radnog komada i alata javljaju se pojedine zone (klizanja-A, prijanjanja-B, zastoja-C), čiji raspored i dužine zavise od odnosa prečnika i visine komada, specifičnog deformacionog otpora i koeficijenta trenja [1,2]. Izvode se sledeće varijante raspodjele napona.

I VARIJANTA: Sve tri zone su prisutne A, B i C ako su zadovoljeni uslovi:

$$\text{a) } d/h \geq 2(1+\psi) \text{ i } \quad \text{b) } 0 < \mu \leq 0.5,$$

gdje je: $\psi = -\ln(2\mu)/2\mu$. Integraleći izraze za normalne napone po pojedinim zonama dobija se izraz za srednji radni pritisak:

$$p_I = \sigma_s \left\{ \frac{2h^2}{\mu^2 d^2} \left[\frac{1}{2\mu} \left(1 + \frac{\mu d_b}{h} \right) - \left(1 + \frac{\mu d}{h} \right) \right] + \frac{d_b^2}{2\mu d^2} \left(1 + \frac{\mu d_b}{3h} \right) - \frac{1}{3} \frac{h^2}{d^2} \right\}, \quad (1)$$

gdje je: $d_b = 2(0.5d - h\psi)$.

II VARIJANTA: Postoje dvije zone B i C, ako su zadovoljeni uslovi:

$$\text{a) } d/h \geq 2 \text{ i } \quad \text{b) } \mu \leq 0.5,$$

a radni pritisak je:

$$p_{II} = \sigma_s \left(1 + \frac{1}{6} \frac{d}{h} - \frac{1}{3} \frac{h^2}{d^2} \right). \quad (2)$$

III VARIJANTA: Prisutne su zone A i C uz zadovoljenje uslova:

$$\text{a) } 2(1+\psi) \geq d/h \geq 2 \text{ i } \quad \text{b) } 0 < \mu < 0.5, \quad p_{III} = 2\sigma_s \frac{h^2}{\mu^2 d^2} \left(e^{\frac{\mu d}{h}} - \frac{\mu d}{h} - 1 \right). \quad (3)$$

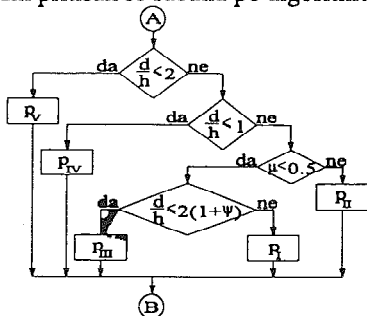
IV VARIJANTA: Prisutna je samo zona C ako su zadovoljeni uslovi:

$$\text{a) } d/h \leq 2 \text{ i } \quad \text{b) } \mu > 0, \quad p_{IV} = \sigma_s \left(1 + \frac{\mu d}{4h} \right). \quad (4)$$

V VARIJANTA: Kada su zadovoljeni uslovi da je:

$$\text{a) } d/h \leq 1 \text{ i } \quad \text{b) } \mu > 0, \quad p_V = \sigma_s. \quad (5)$$

Na osnovu izraza za srednji pritisak za pojedine varijante i postavljenih uslova, radni pritisak se računa po algoritmu datom na sl.1.



Sl.1 Algoritam za proračun teorijskog pritiska

U izrazima za pritisak figureše koeficijent trenja μ . On zavisi od kontaktnih uslova materijala i alata, početnih dimenzija komada i stepena deformacije. Parametar μ je moguće odrediti primjenom varijacione metode [3,4]. Na osnovu [5], za izračunavanje koeficijenta trenja μ koristi se izraz:

$$\mu = 3.417 \cdot 10^{1.566 - 4.283 \ln \varphi} K_0^{-131.083 + 21.269 \ln T} \times \varphi^{26.738 - 131.381 \ln K_0} T^{21.588 \ln K_0 \ln \varphi}, \quad (6)$$

gdje su:

- $K_0 = h_0/d_0$, -odnos početne visine i prečnika trupca,
 φ -logaritamski stepen deformacije visine i
 T -temperatura sabijanja,

Specifični deformacioni otpor se uzima sa krivih očvršćavanja, dobijenih metodom Šofmana, za odgovarajući stepen deformacije.

3. USLOVI IZVOĐENJA EKSPERIMENTA

Presna na kojoj je izvođen eksperiment ima ukupni radni hod 1000[mm] i podesivu brzinu presovanja $v=0+20$ [mm/s]. Sabijanje se vrši između ravnih ploča, koje naliježu na oslone ploče, dimenzija 1200×1200×350[mm]. Podmazivanje je grafitnom mašću, koja se ručno nanosi.

Pripremi su prečnika: $d_0=262$ [mm] i visine: $h_0=300$ [mm]. Dobijaju se od tečnog metala iz elektrolize, koji se nakon legiranja i prečišćavanja u indukcionim pećima lije u trupce dužine 6:7[m]. Nakon hlađenja, trupci se odsijecaju i mehanički obrađuju na zadate dimenzije. Poslije se vrši njihovo zagrijavanje u vremenu 3+3.5[h].

Za mjerenje pritiska u glavnom radnom cilindru je korišćen davač P-4k, čiji je proizvođač firma Hottinger. Za pojačavanje promjenjivih električnih signala korišten je šestokanalni pojačivač KWS 16A-5 proizvodnje Hottinger (SRN). Za sve režime rada snimani su dijagrami promjene hidrauličnog pritiska u zavisnosti od hoda pritiskivača pomoću x-y pisača N306.

Temperatura uzorka i alata je prije i poslije sabijanja registrovana pomoću digitalnog instrumenta Minitemp. Transmission inc. Nakon završetka presovanja pomoću kljunastog mjerila je provjeravana tačnost dimenzija sabijenih trupaca.

4. PLAN EKSPERIMENTA

Korištenjem navedene mjerne i radne opreme moguće je obezbijediti variranje parametara u zahtijevanim intervalima i precizno određivanje njihovih izlaznih vrijednosti. Kao izlazna veličina posmatra se radni pritisak, koji se dobija na osnovu pritiska u hidrauličnom cilindru [8]. Iz jednakosti sila koje djeluju na čelu pritiskivača, pod pretpostavkom idealnog deformisanja cilindra se dobija:

$$p_e A_k = p_h A_c \Rightarrow p_e = p_h A_c / A_k, \quad (7)$$

gdje su:

- p_e -eksperimentalni radni pritisak,
 p_h -pritisak u hidrauličnom cilindru,
 A_k -kontaktna površina tupca i alata i
 $A_c = 15948,5$ [cm] -površina hidrauličnog klipa.

Preliminarnim ispitivanjem se došlo do saznanja da je radni pritisak funkcija zajedničkog dejstva više faktora: temperature presovanja T , brzine deformisanja v (brzine deformacije $\dot{\varphi}$) i stepena deformacije φ , tj. $p=p(T, v/\dot{\varphi}, \varphi)$, te da se ova zavisnost može na adekvatan način predstaviti stepenom funkcijom:

$$p = c \cdot T^{a_1} \cdot v^{a_2} \cdot \varphi^{a_3}, \quad (8)$$

koja se logaritmovanjem može transformisati u linearni oblik i za slučaj uzimanja u obzir efekta međudejstva faktora ima oblik:

$$Y = a_0 + a_1 X_1 + a_2 X_2 + a_3 X_3 + a_{12} X_1 X_2 + a_{23} X_2 X_3 + a_{13} X_1 X_3 + a_{123} X_1 X_2 X_3, \quad (9)$$

Za eksperiment je uzet trofaktorni ortogonalni plan na dva nivoa, sa ponavljanjem u centralnoj tački četiri puta i ukupnim brojem eksperimenata $N=2^3+4=12$. Vrijednosti faktora date su u tab.2, a plan matrica sa vrijednostima radnog pritiska u tab.3.

Broj eksp.	nivo	faktori		
		T[°C]	v[mm/s]	φ
1	max	460	20	0.4
	sr	440	15	0.2
	min	420	10	0.1
2	max	460	20	0.7
	sr	440	15	0.53
	min	420	10	0.4
3	max	460	20	1.0
	sr	440	15	0.84
	min	420	10	0.7

Tab.2 Vrijednosti faktora

Red. broj	faktori			pritisak p_e [daN/mm ²]		
	x_1	x_2	x_3	eksp.1	eksp.2	eksp.3
1	+	+	+	4.21	4.28	4.98
2	-	+	+	4.74	5.02	5.59
3	+	-	+	3.22	3.27	3.62
4	-	-	+	3.26	3.64	4.73
5	+	+	-	4.73	4.21	4.28
6	-	+	-	5.12	4.74	5.02
7	+	-	-	3.09	3.22	3.27
8	-	-	-	3.17	3.26	3.64
9	0	0	0	3.68	3.59	4.46
10	0	0	0	3.48	3.26	4.04
11	0	0	0	3.53	3.44	4.38
12	0	0	0	3.58	3.51	4.22

Tab.3 Plan matrica eksperimenta

Obrada eksperimentalnih podataka, odnosno regresiona i disperziona analiza [7] izvršena je na računaru.

5. ANALIZA DOBIJENIH REZULTATA

Adekvatni modeli za sva tri eksperimenta, zavisnosti radnog pritiska od navedenih parametara, uz odbacivanje nesigifikantnih koeficijenata su:

$$\text{eksp.1: } p = 13519.66T^{-0.653}v^{0.1706-0.0674\ln\varphi}\varphi^{0.1053}, \quad (10)$$

$$\text{eksp.2: } p = 175062.792T^{-1.0943}v^{0.2227}, \quad (11)$$

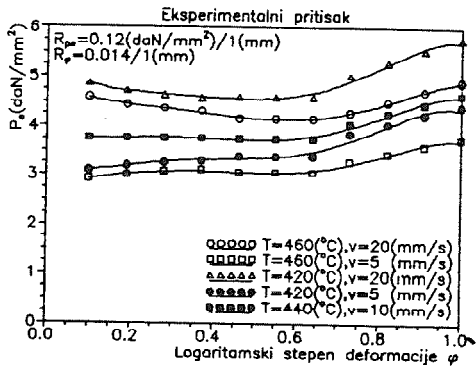
$$\text{eksp.3: } p = 152.87 \cdot 10^5 T^{-1.7822}v^{0.1941}\varphi^{0.4386}. \quad (12)$$

Objedinjavanjem ovih relacija dobija se zavisnost eksperimentalnog pritiska od stepena deformacije $p_e = p_e(\varphi)$, koja je prikazana na sl.2, za konstantne vrijednosti temperature i brzine deformisanja i to četiri krive za sve kombinacije njihovih ekstremnih vrijednosti i jedna kriva za njihove srednje vrijednosti.

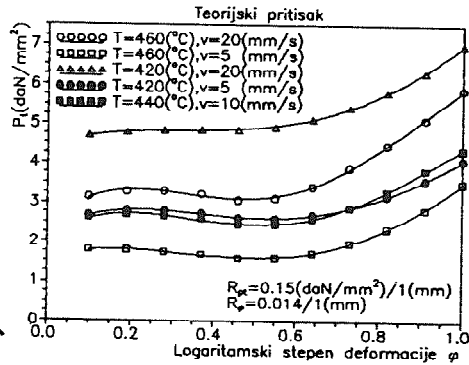
Promjena pritiska određena teorijski $p_t = p_t(\varphi)$ za iste kombinacije vrijednosti temperature i brzine deformisanja, data je na sl.3. Kao mjera odstupanja teorijskih i eksperimentalno dobijenih vrijednosti radnog pritiska uvodi se koeficijent usaglašenosti kao odnos eksperimentalnog i teorijskog pritiska:

$$q = p_e/p_t. \quad (13)$$

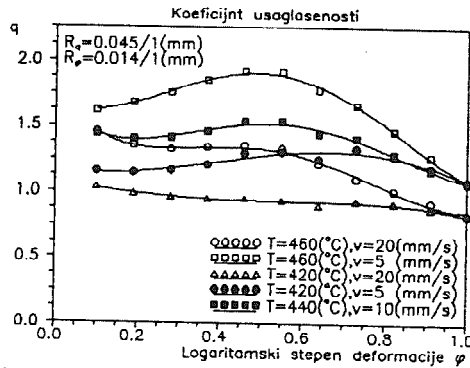
Promjena koeficijenta usaglašenosti dobijena na osnovu pritisaka određenih eksperimentalno (sl.2) i teorijski (sl.3) data je na sl.4.



Sl.2 Promjena eksperimentalnog pritiska od stepena deformacije



Sl.3 Promjena teorijskog pritiska od stepena deformacije



Sl.4 Promjena koeficijenta usaglasenosti od stepena deformacije

Promjena koeficijenta usaglasenosti u zavisnosti od logaritamskog stepena deformacije $q=q(\varphi)$ je sledeća:

1. Za $T=460[^\circ\text{C}]$ i $v=20[\text{mm/s}]$ $q=q(\varphi)$ opada za $\varphi=0.1\div 0.27$ i $\varphi=0.4\div 1.0$, a raste za $\varphi=0.27\div 0.4$;
2. Za $T=460[^\circ\text{C}]$ i $v=5[\text{mm/s}]$ $q=q(\varphi)$ raste za $\varphi=0.1\div 0.48$, a opada za $\varphi=0.48\div 1.0$;
3. Za $T=420[^\circ\text{C}]$ i $v=20$ $q=q(\varphi)$ opada na čitavom rasponu $\varphi=0.1\div 1.0$;
4. Za $T=420[^\circ\text{C}]$ i $v=5[\text{mm/s}]$ $q=q(\varphi)$ raste za $\varphi=0.1\div 0.66$, a opada za $\varphi=0.66\div 1.0$;
5. Za $T=440[^\circ\text{C}]$ i $v=10[\text{mm/s}]$ $q=q(\varphi)$ opada za $\varphi=0.1\div 0.2$ i $\varphi=0.53\div 1.0$, a raste za $\varphi=0.2\div 0.53$;
6. Krive 5. i 1. su slične, a lokalni maksimum q_{max} se javlja za više vrijednosti stepena deformacije sa smanjenjem temperature i brzine deformisanja;
7. Oblik krivih 2. i 4. je sličan, a q_{max} se pomjera ka višim vrijednostima φ sa smanjenjem temperature;
8. Za $\varphi=1$ krive se grupišu blizu vrijednosti $q=1$ to 2. 4. 5. i 1. 3. što znači da je razlika p_e i p_t mala.

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu iznijetog se da zaključiti da za manje i srednje stepene deformacije ($\varphi \leq 0.65$) (sl.2) radni pritisak blago raste za niže brzine deformisanja ($v=5$ [mm/s]),

približno je konstantan za srednji režim deformisanja ($T=440[^\circ\text{C}]$ i $v=10[\text{mm/s}]$), a za veće brzine deformisanja ($v=20[\text{mm/s}]$) pritisci su najveći i blago opadaju, što je uslovljeno padom specifičnog deformacionog otpora.

Odstupanje teorijskog od eksperimentalnog (sl.4) pritiska je najveće za srednje stepene deformacije ($\varphi\approx 0.5$) (sl.4) i za $T=460[^\circ\text{C}]$ i $v=5$ [mm/s] iznosi 90%, za ostale ne prelazi 50%, a najmanje je kod $T=420[^\circ\text{C}]$ i $v=20[\text{mm/s}]$ i nije više od 10%. Za velike stepene deformacije $\varphi\approx 1$ eksperimentalni i teorijski podaci su dobro usaglašeni, a njihovo odstupanje je manje od 10%.

Kod projektovanja tehnološkog procesa obrade deformisanjem. Moguće je izvršiti korekciju teorijski izračunatog pritiska pomoću koeficijenta usaglašenosti.

7. LITERATURA

- [1] STOROŽEV M. V., POPOV E. A.: Teorija obrabotki metallov davlenijem, *Mašinstrojenje, Moskva, 1977.*
- [2] ČAUŠEVIĆ M.: Teorija plastične prerade metala, *Svjetlost, Sarajevo, 1979.*
- [3] MUSAFIJA B.: Primijenjena teorija plastičnosti, II dio, *Svjetlost, Sarajevo, 1974.*
- [4] TARNOVSKIJ I. JA., POZDEEV A. A., GANAGO O. A.: Deformaciji i usilija pri obrabotke metallov davlenijem, *Mašgiz, Moskva, 1959.*
- [5] VUKČEVIĆ M., DOMAZETOVIĆ V.: Prilog ispitivanju koeficijenta trenja pri toplom sabijanju uzoraka od Al-legura, *21. savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Opatija, 1987.*
- [6] TIHOMIROV V.: Planirovanije i analiz eksperimenta, *Ljgkaja industrija, Moskva, 1974.*
- [7] STANIĆ J.: Metod inženjerskih mjerenja, *Mašinski fakultet, Beograd, 1990.*
- [8] DOMAZETOVIĆ V., VUKČEVIĆ M.: Prilog ispitivanju karakterističnih pritisaka hidraulične prese 50[MN], *20. SPMJ, Beograd, 1986.*

INVESTIGATION OF THE COORDINATION DEGREE BETWEEN THEORETICAL AND EXPERIMENTAL VALUES OF UPSETTING PRESSURES

Summary

The paper shows experimentally obtained working pressure variations in the process of hot Al billets upsetting, at different temperatures, deforming velocities and deformation degrees. Theoretical working pressure variations were also determined and compared to the experimental results using the coordination coefficients.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

V. Domazetović, M. Vukčević*

**MODELIRANJE SLOBODNOG SABIJANJA KRUPNIH
CILINDRIČNIH PRIPREMAKA**

Rezime

U radu je analizirana zavisnost sile deformisanja pri sabijanju krupnih cilindričnih uzoraka od Al-legure od temperature, brzine deformacije i stepena deformacije. Dobile su analitičke zavisnosti tipa

$F = F(\varphi, T, \dot{\varphi})$ za određene intervale varijacije nezavisno promjenljivih.

Dane su karakteristične grafičke interpretacije.

1. UVOD

Slobodno sabijanje karakteriše znatan dio ili makar početnu fazu mnogih postupaka obrade deformisanjem. Za uspješno i ekonomično izvodjenje raznih postupaka od velikog je značaja obezbjedjenje podataka o otporu deformaciji. Teorijska rješenja [1,2] mogu dati znatna odstupanja jer se u realnim tehnološkim procesima obrade metala deformisanjem javlja mnoštvo uticajnih faktora koji bitno opredjeljuju tok i karakter obrade. To je uslovalo veliku aktuelnost problematike eksperimentalnog utvrđivanja zavisnosti otpora deformacije od posebno uticajnih faktora procesa deformisanja. Eksperimenti se najčešće vrše na relativno sitnim uzorcima pa se rezultati primjenjuju na stvarne postupke obrade deformisanjem. U ovom radu će biti istraživani procesi slobodnog sabijanja krupnih cilindričnih trupaca.

2. USLOVI I PLAN EKSPERIMENTA

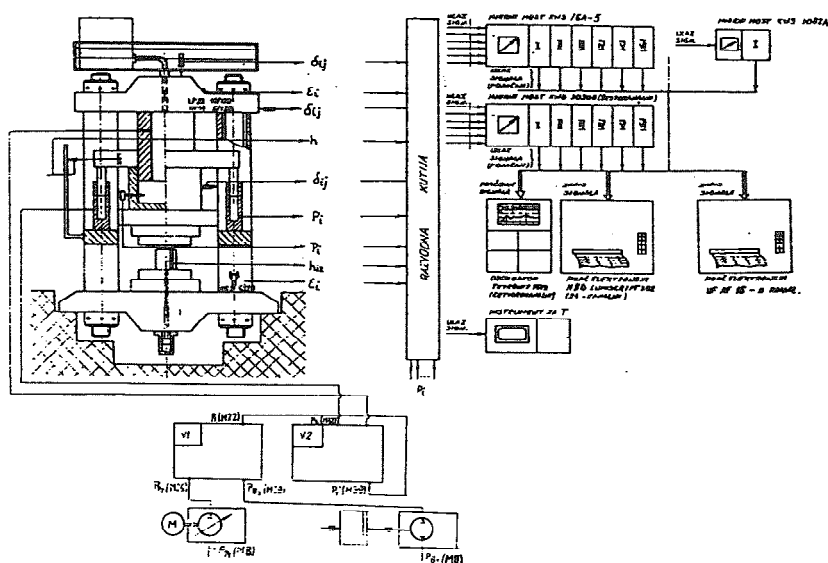
Ispitivanja su vršena na livenim trupcima industrijski veoma aplikativne legure AK6 hemijskog sastava: Cu=2.2%; Mg=0.6%; Mn=0.6%; Si=0.95%; Fe=0.3%; Ni=0.05%; Zn=0.27%; Ti=0.05%; ostale primjese ukupno 0.08%, koji je u preporučenim granicama.

* Dr Vuko Domazetović, red. prof., Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, Podgorica
Dr Milan Vukčević, docent, Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, Podgorica

Korišćena je hidraulična presa nominalne sile 50 MN, ukupnog hoda 1000 mm i podešive brzine pritiskivača: 0.5-20 mm/s. Podmazivanje je izvodjeno ručno, grafitnom mašću.

Istraživanja su obuhvatila mjerenje većeg broja kinematskih parametara, pritisaka, nominalnih i maksimalnih sila, tehnoloških parametara procesa i parametara hidrauličnog sistema. Promjena mjernih veličina je registrovana pomoću davača a zatim pojačavana šestokanalnim pojačivačem.

Na sl.1. je shematski prikazan mjerni sistem. Na fotoosetljivom papiru snimani su dijagrami promjene mjernih veličina u vremenu.

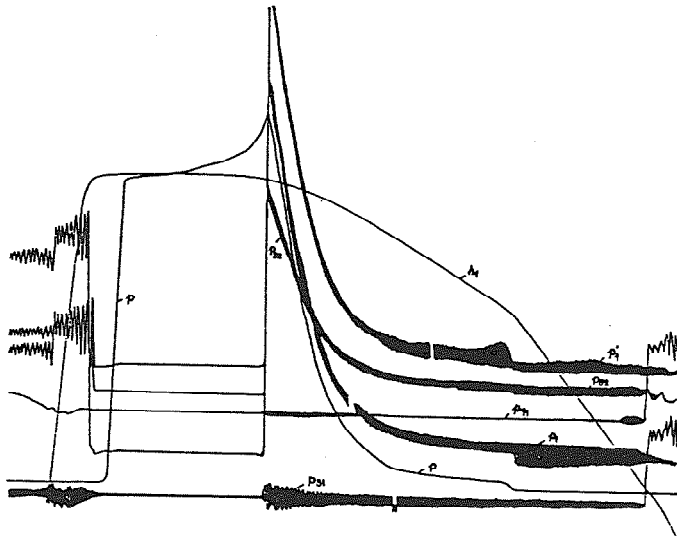


Sl.1.- Prikaz mjernog sistema

Na sl.2 je dat tipski dijagram promjene karakterističnih pritisaka hidraulične instalacije i hoda pritiskivača sa vremenom. Metod planiranja eksperimenta je ovdje iskorišćen pri neposrednom pogonskom eksperimentisanju.

Plan šaržiranja i presovanja je urađjen na osnovu plana eksperimenta, koji je u ovom slučaju trofaktorni na dva nivoa. Početna visina komada h_0 je varirana po geometrijskom redu na devet nivoa počev od 600 mm do 197mm. Početni dijametar je 262 mm. Temperatura zagreva materijala u peći je varirana tako da se pri ulaganju u alat obezbijede nivoi: $T_{min} = 420^{\circ}C$, $T_x = 440^{\circ}C$, $T_{max} = 460^{\circ}C$. Tokom odvijanja procesa postavljen je režim rada prese tako da u hodu presovanja u trenutku dodira alata i materijala budu obezbijedjene brzine: $v_{min} = 5 \text{ mm/s}$, $v_x = 10 \text{ mm/s}$, $v_{max} = 20 \text{ mm/s}$ [3,4].

Posobno važan eksperimentalni rezultat je određivanje zavisnosti sile deformisanja kao mjere suprostavljanja metala daljoj deformaciji od temperature (T), brzine deformacije ($\dot{\phi}$) i stepena deformacije (ϕ). Ova zavisnost je predpostavljena u stepenom obliku (1) i karakteriše je velika osetljivost u odnosu na konkretne uslove eksperimenta.



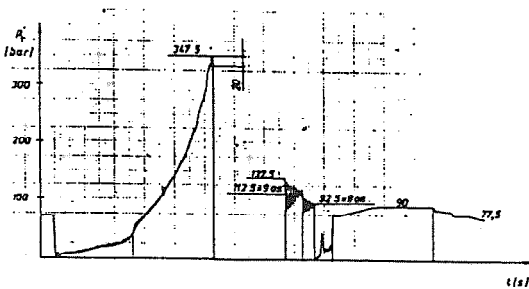
Sl.2. Promjene pritiska i hoda pritiskivača tokom radnog ciklusa

$$F = CT^{\alpha_1} \varphi^{\alpha_2} \dot{\varphi}^{\alpha_3} \quad (1)$$

U cilju odredjivanja numeričkih vrijednosti konstante i parametara obradljivosti neophodno je model (1) transformisati na linearni oblik. Parametri linearizovanog modela su nalaženi primjenom računara, izvršena je provjera njihove značajnosti i provjera adekvatnosti matematičkog modela. Dekodiranjem su dobijene tražene stepene zavisnosti.

3.- EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Korišćenom opremom je moguće bilo obezbijediti i tačno registrovati vrijednosti temperature i stepena deformacije dok je brzina deformacije varirana u užem području i uzimana osrednjena na deformacionim intervalima.



Sl.3.- Tipični dijagram pritiska na ulazu u glavni cilindar tokom radnog ciklusa

Na osnovu dijagrama (sl.3.) promjene pritiska na ulazu u glavni cilindar prese sa vremenom moguće je bilo odrediti silu presovanja prema obrascu:

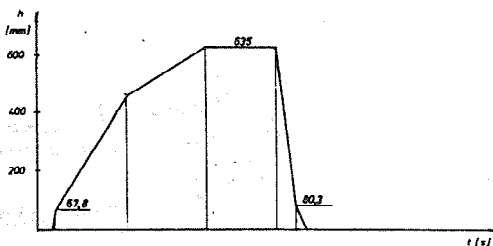
$$F = p_1 A_c \quad (2)$$

gdje su:

p_1 - izmjereni pritisak fluida na ulazu u glavni cilindar,

A_c - površina klipa u cilindru

Dijagram (sl.4.) daje promjenu hoda pritiskivača sa vremenom:



Sl.4.- Tipski dijagram promjene hoda pritiskivača sa vremenom

Analizom odgovarajućih segmenata dijagrama na sl.3. i sl.4. moguće je uspostaviti vezu promjene pritiska od hoda sabijanja.

Istaknuta organizacija eksperimenta je omogućila da se dodje do velikog broja relacija tipa (1) koje karakterišu vrlo različite uslove deformisanja definisane sa: stepenom deformacije, temperaturom i brzinom deformacije. Širok opseg nezavisno promjenljivih parametara procesa je omogućen specifičnom postavkom eksperimenta tj:

- Sabijanjem trupaca različitih visina koje su varirane po geometrijskom redu na devet nivoa u rasponu od 197 do 600 mm.

- Zagrijavanjem trupaca na tehnološki značajne temperature na tri nivoa u rasponu od 420 do 460 °C.

- Deformisanjem trupaca različitim brzinama deformisanja (na tri nivoa u rasponu 5 do 20 mm/s) koje se mijenjaju kao i same visine trupaca sa procesom deformisanja što uslovljava različite osrednjene brzine deformacije.

- Deformisanjem uzorka do maksimalne sile prese (50 MN) što je omogućilo da se interval ukupnog stepena deformacije podijeli na šest po geometrijskom redu postavljenih nivoa.

Ovakva organizacija eksperimenta je omogućila takodje i relativno uske intervale nezavisno promjenljivih parametara procesa za pojedine djelove hiperprostora koji ispunjavaju uslove stepenog odziva. To je uslovalo u velikom dijelu adekvatnost stepenog opisa sile.

Kao tipski primjer navodi se slučaj sljedećih vrijednosti nezavisno promjenljivih veličina:

- početna visina uzorka $h_0 = 600-454-344$ [mm],

- temperatura zagrijavanja uzorka: $T = 420-440-460$ [°C],

- raspon brzine deformacije: $\dot{\varphi}=0.016-0.153 [s^{-1}]$,
- interval deformisanja: $\varphi=0.27-0.54-0.81-1.08-1.35-1.63-1.80$

Dobijeni su izrazi za silu koji karakterišu pojedine intervale deformisanja:

$$F_1 = \exp(10)\varphi^{0.27}T^{-1.29}\dot{\varphi}^{0.21} \quad (3)$$

$$F_2 = \exp(12.5)\varphi^{0.62}T^{-1.65}\dot{\varphi}^{0.15} \quad (4)$$

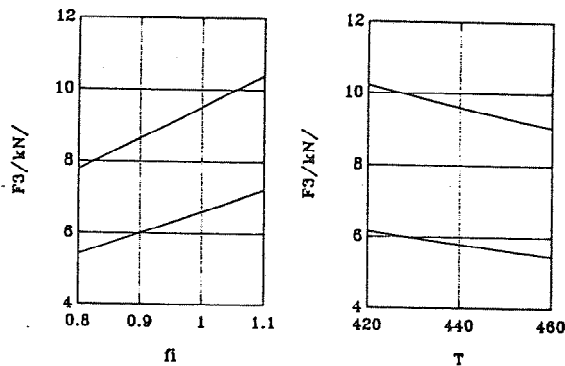
$$F_3 = \exp(10.5)\varphi^{0.91}T^{-1.94}\dot{\varphi}^{0.15} \quad (5)$$

$$F_4 = \exp(7.5)\varphi^{1.59}T^{-0.88}\dot{\varphi}^{0.14} \quad (6)$$

$$F_5 = \exp(2.5)\varphi^{1.73}T^0\dot{\varphi}^{0.08} \quad (7)$$

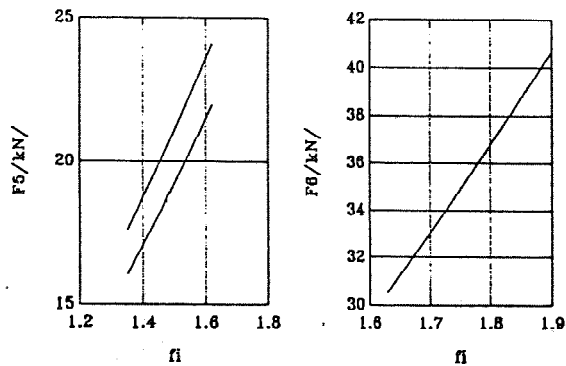
$$F_6 = \exp(2.5)\varphi^{1.88}T^0\dot{\varphi}^0 \quad (8)$$

Na sl.5. su prikazane ekstremne krive $F_3 = F_3(\varphi)$ odnosno $F_3 = F_3(T)$ (5) koje definišu intervale varijacije sile F_3 u funkciji od stepena deformacije i temperature.



Sl.5.- Interval varijacije sile F_3 u zavisnosti od stepena deformacije i temperature

Sa porastom faze deformisanja uticaj stepena deformacije postaje dominantan. Na sl.6 je data zavisnost sile od stepena deformacije u petoj (interval varijacije) i šestoj fazi deformisanja.



Sl.6.- Sila u petoj i šestoj fazi deformisanja

4.- ZAKLJUČAK

Ovim ispitivanjima u stvarnim radnim uslovima potvrđena su ranija laboratorijska istraživanja prema kojima se zavisnost radne sile slobodnog sabijanja od stepena, brzine i temperature deformacije može uspješno predstaviti modelom stepene funkcije. Prezentirani tip modela je provjeravan u najrazličitijim kombinacijama tokom procesa sabijanja tako da se može smatrati valjanim i prihvatljivim. Uticaj svake od uočenih nezavisno promjenljivih na radnu silu i radni pritisak se može smatrati posebnim kako po karakteru tako i po intezitetu.

U navedenim zavisnostima je dat uticaj nezavisno promjenljivih tako da su eksponenti dobijenih stepenih funkcija konstante. Ukoliko bi se uzeo u obzir međusobni uticaj nezavisno promjenljivih tip modela bi ostao isti, dok bi se eksponenti po pravilu izražavali u funkciji od uočenih nezavisno promjenljivih.

LITERATURA

1. Storožev, M.V., Popov, E.A., Teorija obrabotki metalov davljenijem, Mašinstrojenije Moskva, 1977.
2. Kolmogorov, V.L., Mehanika obrabotki metalov davljenijem, Metalurgija, Moskva, 1986.
3. Tihomirov, V., Planirovanije i analiz eksperiomenta, Legkaja industrija, Moskva, 1974.
4. Hortman, K., Lezki, E., Schafer, W., Statistische Vercushsplanung und-auswertung in Staffwirtschaft, 1983.
5. Poluhin, P.I., Gun, J.G., Galkin, A.M., Spravočnik, Metalurgija, Moskva, 1983.
6. Hensel, A., Spittel, T., Rationeller Energieeinsatz bei Umformprozessen, VEB, Leipzig, 1985.
7. Domazetović, V., Vukčević, M., Ispitivanje radnih pritisaka hidraulike pri sabijanju cilindričnih uzoraka, JUPITER, Cavtat, 1986.

V. Domazetović, M. Vukčević

FORCE EXAMINATION IN THE PROCESS OF SETTING LARGE CYLINDRICAL BILLETS

Summary

The paper analyzes the large Al-alloy billets setting process force dependence on temperature, deforming velocity and deformation degree. The analytical dependencies of the $F=F(\varphi, T, \dot{\varphi})$ type are obtained for specific intervals of independent variables. The paper also gives typical graphical interpretations.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M.B. Jevtić, P. Miljanić, D. Nikolić^{*)}

REZULTATI ISTRAŽIVANJA I RAZVOJA ELEKTROMAGNETNOG IMPULSNOG
OBLIKOVANJA METALA DEFORMISANJEM

R e z i m e

U radu je data mogućnost primene nekih postavki matematičke fizike i teorije elektromagnetike. Naime, energija elektromagnetnog impulsnog polja se može iskoristiti za obradu deformisanjem. Uvažavajući navedene postavke autori rada su dali koncepciju i konfiguraciju eksperimentalnog sistema.

1. U V O D

Značajna koncentracija naučnoistraživačkih napora u svetu je usmerena prema osvajanju novih visokobrzinskih i visokoproduktivnih metoda oblikovanja materijala. Jedna od tih metoda je elektromagnetno impulsna obrada, čije se istraživanje izvodi u LOLA Institutu. Prema tvrdjenju vodećih svetskih futurologa u oblasti proizvodnog mašinstva sa sadašnjeg nivoa gledano za petnaestak godina preko 60% instalisane proizvodne opreme se neće moći prepoznati po obliku i tehnologiji, jer će se intenzivno uvoditi nove tehnologije i novi proizvodni postupci obrade. Predmet ovog rada je jedna od novih metoda, koji su autori nazvali EMIO. Metoda EMIO sa jednostrukim pretvaranjem energije omogućava dobijanje obradaka složene konfiguracije u veoma kratkog vremenu do 40 mikrosekundi. Suština metode EMIO i relevantna fizikalnost procesa, kao i teorijske postavke su locirane u teoriji matematičke fizike i elektromagnetike.

*) Dr Milenko B. Jevtić, dipl.ing., Naučni saradnik, LOLA Institut, Beograd, Kneza Višeslava 70/A

Akademik SANU, Dr Petar Miljanić, dipl.ing., Redovni profesor, Mašinski fakultet, Beograd, 27 marta 80

Dr Dragomir Nikolić, dipl.ing., Redovni profesor Mašinski fakultet, Beograd, 27 marta 80.

Kroz izolovane provodnike induktora se propuštaju snažni impulsi električne energije i u radnoj zoni se formira impulsno elektromagnetno polje. Uzajamno dejstvo elektromagnetnog polja i indukovane struje u obradku u radnoj zoni se manifestuje nastankom ponderomotornih sila, koje kao mehanički pritisak magnetnog polja dejstvuju na obradak i izvode željeni koristan rad na obradku.

2. RAZVOJ EKSPERIMENTALNE INSTALACIJE

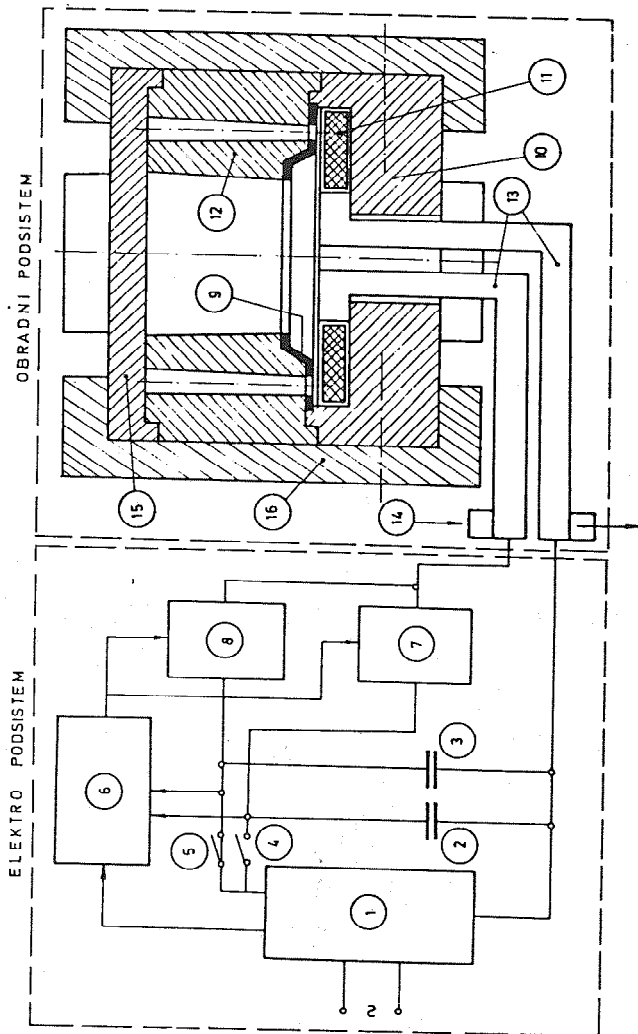
Ovako navedene teorijske postavke su vrlo značajne, pa se nameće potreba njihovog ispitivanja i relevantne eksperimentalne verifikacije fizikalnosti procesa EMIO. U cilju izvodjenja eksperimentalnih ispitivanja razvijena je i kompletirana eksperimentalna instalacija, koja je shematski prikazana na slici 1. Eksperimentalna instalacija EMIO se sastoji od elektro i mašinskog podsistema. Elektropodsistem se sastoji od modula za punjenje kondenzatora 1, koji u sebi sadrži visokovoltni transformator i ispravljač struje i napaja se iz standardne električne mreže. Preko preklopnika 4 i 5 izvodi se punjenje baterije kondenzatora 2 i 3, koji se pomoću upravljačkog modula 6 i komutatora 7 i 8 prazne skoro trenutno i odvođe struju u induktor 11 mašinskog podsistema. Induktor 11 sadrži spiralno savijene izolovane bakarne provodnike 13 sa unutrašnjim kanalima kroz koje teče voda hladeći ih. Iznad tela induktora 10 i navojaka 11 nalazi se obradak 9, koji se prema konfiguraciji matrice 12 oblikuje. Pomoću veznih elemenata svi vitalni elementi mašinskog podsistema su objedinjeni u jednu funkcionalnu celinu, pri čemu je ostvareno centriranje tela induktora i matrice. Sistem sa dva kondenzatora može ostvariti tri energetska nivoa uključivanjem kondenzatora C1, kondenzatora C2 i istovremenim pražnjenjem oba kondenzatora. U principu moguće je sačiniti bateriju od više kondenzatora i ostvariti višestruko veći broj energetskih nivoa zavisno od krutosti obradaka i konfiguracije oblikovanog materijala.

Savijanje navojaka induktora je izvedeno u specijalnom alatu. Savijeni provodnici se postavljaju u telo induktora i zalivaju armiranom epoksidnom smolom kao izolatorom, a potom se vakumiraju i peku na 140 °C kako bi se završio proces polimerizacije.

Teorijskim istraživanjem se došlo do matematičke realizacije (1), koja predstavlja zavisnost pritiska elektromagnetnog polja

$$P = \mu_0 \frac{n^2 K s l_{\max}^2}{2 l^2}, \quad (1)$$

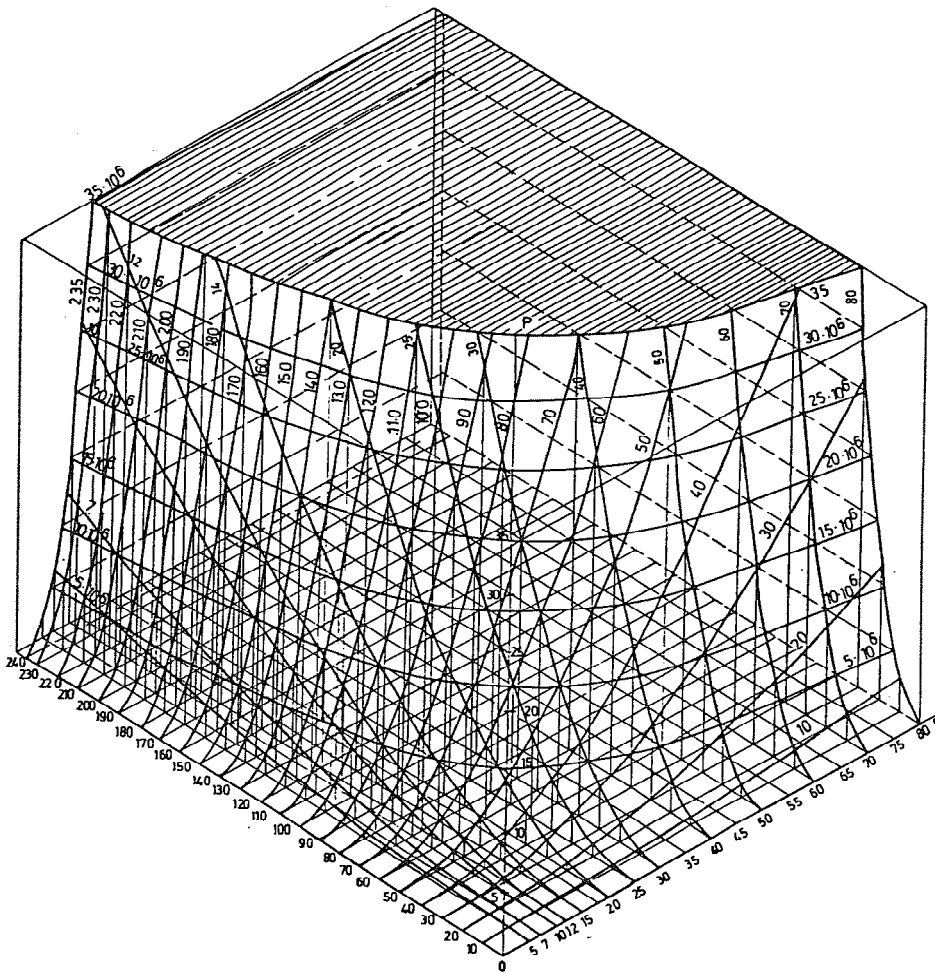
P od magnetne propustljivosti, koeficijenta slabljenja magnetnog polja, jačine struje i dimenzije obradka u radnoj zoni EMIO. Korektnost izraza (1) je provereno i dimenzionom analizom.



Slika 1. - Prikaz eksperimentalne instalacije EMIO

Zavisnost osnovnih parametara je predstavljen na slici 2 u obliku prostranog dijagrama i može se videti da u šrafiranoj zoni malim promenama električnih parametara odgovara asimptanski porast pritiska magnetnog polja P , a što EMIO metodu čini veoma interesantnom i tehnički atraktivnom.

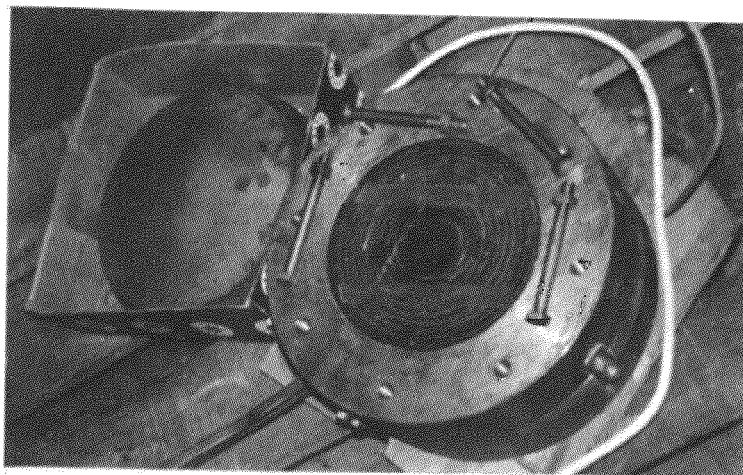
Izgled induktora je predstavljen na slici 3, a snimak celokupne eksperimentalne instalacije EMIO na slici 4. Pri izvodjenju eksperimentalnih ispitivanja proces pražnjenja kondenzatora je praćen pomoću osciloskopa sa memorijom kako bi se utvrdilo stvarno vreme odvijanja procesa u radnoj zoni EMIO.



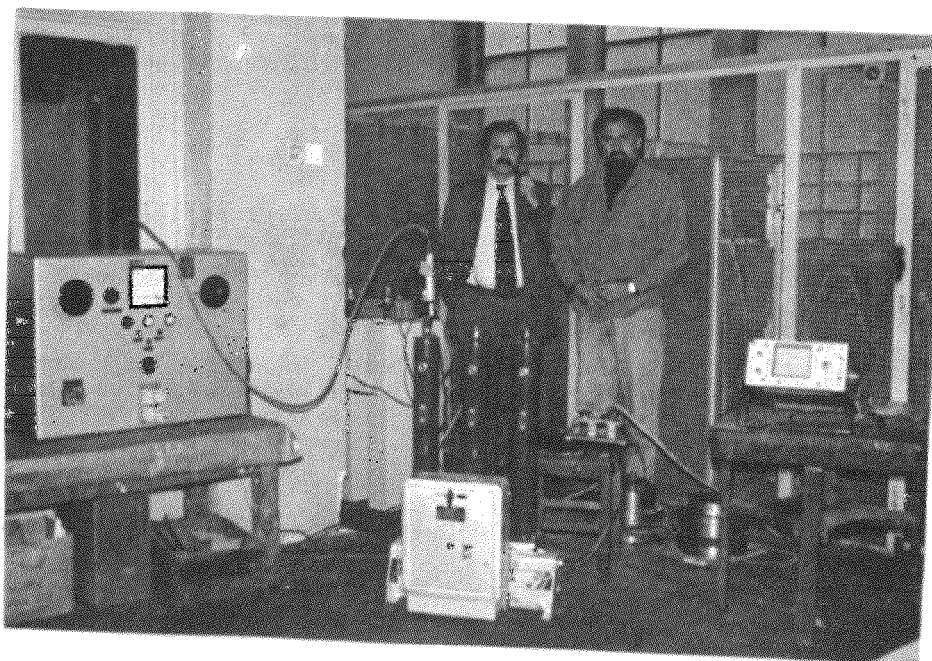
Slika 2. - Prikaz proračunom dobijenih zavisnosti parametara

3. REZULTATI EKSPERIMENTALNIH ISPITIVANJA

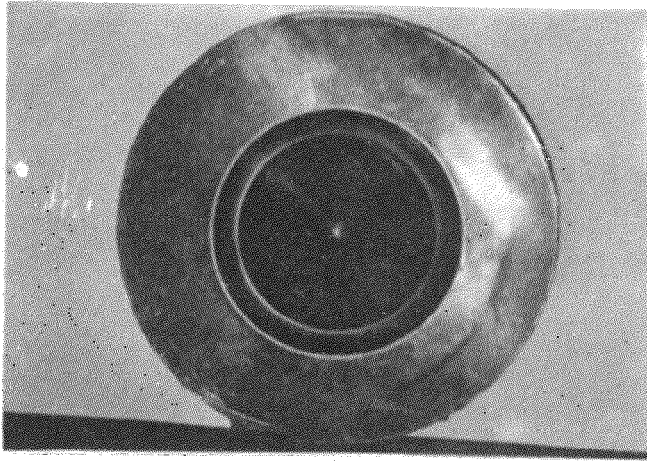
Sprovedenim eksperimentalnim ispitivanjima dobijeni su afirmativni i ohrabrujući rezultati pri čemu je eksperimentalno verifikovana fizikalnost procesa EMIO i dobijeni su konkretni deformisani obradci od čeličnog i bakarnog lima. Eksperimenti su izvedeni sa različitim energetske nivoima, a u slučaju bakarnog lima ϕ 220x2,5 izvršeno je izvlačenje ϕ 125x40 mm, dok je kod čeličnog lima sa nižim energetske nivoom lim ϕ 220x1 mm deformisan izvlačenjem ϕ 125x20 mm. Pri eksperimentalnim ispitivanjima variran je napon pražnjenja u intervalu od 0,5 do 6,0 KV pri čemu su dobijeni različiti energetske nivoi. Na slici 5. je dat snimak deformisanog lima sa EMIO tehnologijom.



Slika 3 - Izgled induktora EMIO



Slika 4 - Izgled eksperimentalne instalacije EMIO



Slika 5. - Snimak deformisanog lima sa EMIO postupkom

4. ZAKLJUČAK

Sprovedenim ispitivanjem EMIO dobijeni su pozitivni i ohrabrujući rezultati pa ovakvo ispitivanje treba nastaviti u cilju daljeg razvoja industrijske varijante EMIO. Eksperimentima je verifikovana fizikalnost procesa i dobijeni su konkretni uzorci.

5. LITERATURA

- | 1 | Wilson, E., High Velocity Forming of Metals, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, N.Y., USA, 1987
- | 2 | Jevtić, M.B., Nikolić, D., Visokobrzinska EMIO obrada, LOLA Saopštenja 25 (1990), 39, XLIII Naučni skup LOLA, LOLA Institut, Beograd, 1991, str. 5031 - 5041.
- | 3 | Jevtić, M.B., Nikolić, D., Obrada deformisanjem pomoću EMIO, I Medjunarodni naučni skup, Teška mašinogradnja 93, Zbornik radova, Vrnjačka Banja, 1993, str. 387-392.
- | 4 | Jevtić, M.B., Nikolić, D., Miljanić, P., EMIO obrada metala deformisanjem, Studija br. 89/94, LOLA Institut, Beograd, 1994.

M.B. Jevtić, P. Miljanić, D. Nikolić

**RESEARCH AND DEVELOPMENT RESULTS FOR
ELECTROMAGNETIC PULSE METAL FORMING BY
DEFORMATION**

Summary

A new possibility of applying some mathematical physics and electromagnetic theory theses is given in the paper. Electromagnetic pulse field energy is used for deforming pieces which are to be processed according to a defined form. The authors expose the basic physical thesis of the deformation process and give the concept and configuration of the technological system for processing by deformation.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M.B. Jevtić, D. Nikolić, P. Miljanić^{*)}

**ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ ELEKTROHIDRAULIČNOG POSTUPKA OBLIKOVANJA
METALA DEFORMISANJEM**

R e z i m e

U radu se predstavlja mogućnost korišćenja teorijskih postavki o električnom impulsnom pražnjenju u tečnom fluidu u cilju izvodjenja deformisanja materijala. U okviru ovog rada autori su razvili relevantni eksperimentalni sistem sa kojim će se ispitati fizikalnost i izvodljivost navedenog procesa.

1. U V O D

U novije vreme značajni naučnoistraživački naponi su usmereni prema osvajanju novih nekonvencionalnih, visokoproduktivnih i visokobrzinskih metoda oblikovanja materijala deformisanjem. Jedna od tih metoda je i elektrohidraulična metoda oblikovanja materijala deformisanjem, koju su njeni autori nazvali ELHIM. Teorijske postavke ELHIM metode se nalaze u matematičkoj fizici. Metoda ELHIM u fizičkom smislu predstavlja korišćenje efekata impulsnog električnog pražnjenja u radnoj zoni mašinskog podsistema koja je ispunjena tečnim fluidom. Osnovni cilj svih istraživanja je razvoj eksperimentalne instalacije za izvodjenje ispitivanja fizikalnosti procesa ELHIM i eksperimentalno utvrđivanje vrednosti vitalnih parametara sa kojimā bi se u navedenoj fazi istraživanja razvila industrijska varijanta obradnog sistema ELHIM. Laboratorijska eksperimentalna ELHIM instalacija se sastoji od elektro i mašinskog podsistema. Impulsno električno pražnjenje se izvodi u radnoj zoni koja predstavlja komoru ispunjenu sa vodom i u koju je potopljena bakarna elektroda dok drugi električni pol predstavlja kućište mašinskog podsistema. Impulsno električno pražnjenje se izvodi u formi

^{*)} Dr Milenko B. Jevtić, dipl.ing., Naučni saradnik, LOLA Institut, Beograd, Kneza Višeslava 70/A,

Dr Dragomir Nikolić, dipl.ing., Redovni profesor, Mašinski fakultet, Beograd, 27 marta 80,

Akademik SANU Dr Petar Miljanić, dipl.ing., Redovni profesor, Mašinski fakultet, Beograd, 27 marta 80.

električne eksplozije sa formiranjem snažnog električnog luka, koji je praćen nastankom strujno-varničnih gasnih mehurova i kanala u vodi. Prema Paskalovom zakonu nastali gasni mehurovi se trenutno šire i usmeravaju na oblast gde se nalazi obradak i u obliku udarnih talasa izvode njegovu deformaciju sa željenom konfiguracijom.

2. RAZVOJ EKSPERIMENTALNE ELHIM INSTALACIJE

Shodno istraženim teorijskim postavkama ELHIM tehnologije u navedenoj fazi istraživanja je pristupljeno razvoju eksperimentalne instalacije na kojoj bi se izvela detaljna, protokolom ispitivanja predviđena eksperimentisanja sa različitim materijalima i krutostima obradaka i na kojoj bi se izvela eksperimentalna verifikacija fizikalnosti procesa ELHIM. Pored toga utvrdili bi se i osnovni parametri procesa sa kojima bi se u sledećoj fazi razvila industrijska aplikacija ove metode.

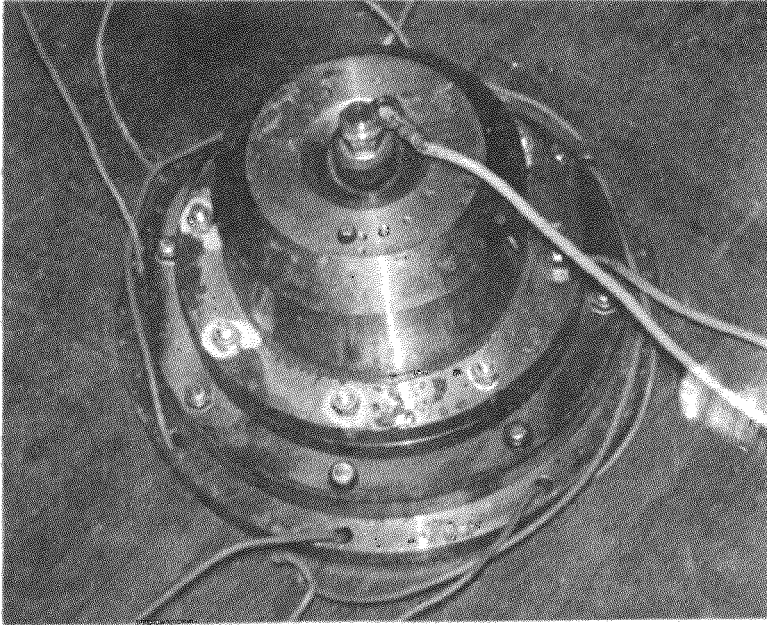
Razvijena eksperimentalna ELHIM instalacija je prikazana u referenci [2]. Elektro podsistem se sastoji od modula za punjenje baterije kondenzatora, koji se napaja strujom iz standardne mreže i koji sačinjavaju visokovoltni transformator i ispravljač struje. Ovaj modul preko sistema preklopnika K1 i K2 puni bateriju kondenzatora. Baterija kondenzatora C1 i C2 pri njihovom pražnjenju pomoću komutatora K1 i K2 napaja radnu zonu mašinskog podsistema, odnosno preko elektrode 5 izvodi električno pražnjenje. Punjenje i pražnjenje kondenzatora C1 i C2 se izvodi preko upravljačkog modula. Mašinski podsistem se sastoji od kućišta 4 sa vodom 11 ispod koje se nalazi gumeni zaptivač, koji sprečava oticanje vode. Ispod gumenog zaštitivača je postavljen obradak 1, koji se deformiše prema matrici 3. Ceo sistem je izolovan sa pločom 6, a elektroda 5 je izolovana sa čaurama 10 i 20. Veznim elementima 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30 i 31 je ostvarena funkcionalna celina osnovnih delova mašinskog podsistema ELHIM. Punjenje radne komore sa vodom se izvodi preko otvora sa vijcima 17.

Na slici 1 je prikazan izgled izradjenog i montiranog mašinskog podsistema ELHIM.

Pored energetskog nivoa definisanog veličinom napona struje pražnjenja veoma značajan parametar je žično rastojanje od vrha elektrode do površine obradka, kao i ukupan obuhvaćeni ugao između obradka i vrha elektrode. Žično rastojanje i obuhvaćeni ugao se u ovako koncipiranom mašinskom podsistemu mogu menjati sa vertikalnim pomeranjem elektrode dodavanjem distantnih prstenova u sistemu.

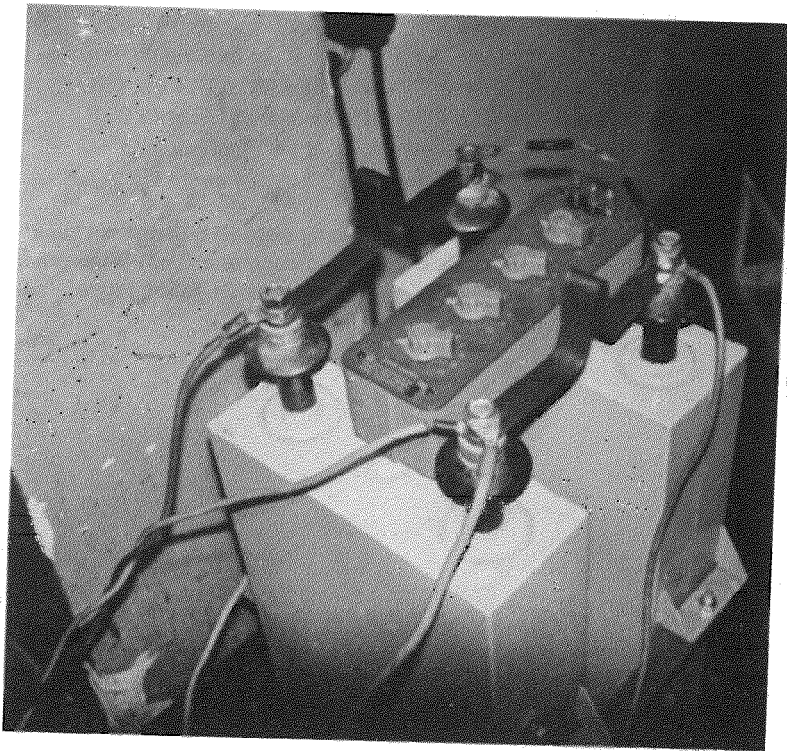
Izgled kondenzatorske baterije sa kondenzatorima C1 i C2 je predstavljen na slici 2, pri čemu je sa otporničkim modulom ostvarena veza kondenzatora sa osciloskopom sa memorijom na kome se prati i evidentira vreme pražnjenja kondenzatora.

Paralelna veza kondenzatora C1 i C2 je ostvarena pomoću bakarnih šina.



Slika 1. - Izgled mašinskog podsistema ELHIM

Ovako razvijena koncepcija eksperimentalne instalacije ELHIM je kompletirana i povezana u logičku celinu i sa njom će se izvoditi prema predviđenom protokolu planirana ispitivanja parametara procesa ELHIM i eksperimentalna verifikacija fizikalnosti navedenog procesa. Sa dobijenim vrednostima relevantnih osnovnih parametara će se u narednoj fazi razviti industrijski aplikacija ELHIM za konkretne forme industrijskih obradaka.



Slika 2 . - Izgled kondenzatorske baterije

3. ZAKLJUČAK

Na osnovu teorijskih postavki matematičke fizike izvršeno je istraživanje mogućnosti primene procesa impulsnog električnog pražnjenja na deformisanje obradaka od limova i razvijena je realna eksperimentalna instalacija za izvodjenje eksperimentalnih ispitivanja ELHIM i verifikacija fizikalnosti procesa. Sa dobijenim vrednostima parametara razviće se industrijska aplikacija ELHIM.

4. LITERATURA

- | 1 | Wilson, F., High Velocity Forming of Metals, American Society of Tool and Manufacturing Engineers, N.Y.USA, 1987,
- | 2 | Jevtić, M.B., Nikolić, D., Elektrohidraulična metoda oblikovanja metala deformisanjem, I Medjunarodni naučni skup "Teška mašingradnja 93", Zbornik radova, Vrnjačka Banja, 1993, str. 382-386,
- | 3 | Jevtić, M.B., Nikolić, D., Miljanić, P., Elektrohidraulična metoda oblikovanja metala deformisanjem, Studija br.90/94, LOLA Institut, Beograd, 1994.

M.B.Jevtić, D.Nikolić, P.Miljanić

**RESEARCH AND DEVELOPMENT OF A ELECTROHYDRAULIC
PROCEDURE FOR METAL FORMING BY DEFORMATION**

Summary

The report introduces the possibility of implementing material deformation based on the theoretical principles of electrical pulse discharge in a fluid. Within the research, a relevant experimental system for testing the plausibility of the discussed process is presented.

А. Љевар*

РОТАЦИОНИ МОДЕЛ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ

Резиме

У раду се у сажетом облику разматрају основе ротационог механизма пластичне деформације материјала. Елементарни носилац заокретања појединих микрообласти у кристалу је линијска грешка- дисклинација, за разлику од дислокације која је елементарни носилац трансляционог померања једног дела кристала у односу на други.

Ротациони модел пластичне деформације карактеристичан је при већим степенима деформације.

1. УВОД

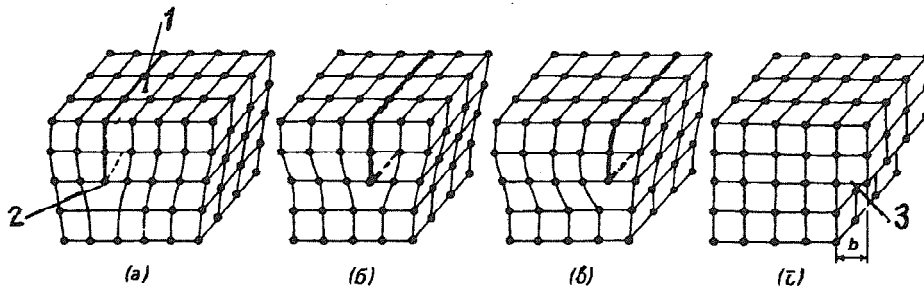
Једна од најважнијих особина металних кристала је да се могу пластично деформисати. Стварно напрезање, које је потребно применити да би започела пластична деформација реалних металних кристала, је 100 до 10000 пута мање од теоријски израчунатог напрезања. Основни разлог за ово је присуство линијске грешке у кристалима-дислокације [1].

Ако промене које се јављају при пластичној деформацији посматрамо у атомарним димензијама онда је клизање најважнији механизам.

Померање дислокације за једно међуатомско растојање захтева само незнатну промену распореда атома у близини екстра равни (сл.1). Због тога је стварно напрезање, које изазива померање, много мање од теоријског смицајног напрезања. На крају се на површини кристала ствара клизна степенница па дислокација нестаје. Дислокациона линија се простира од једног до другог кристала и представља границу између деформисаног и недеформисаног дела кристала.

Механизам пластичне деформације у коме је дислокација његов елементарни носилац је смицајни (транслациони). Он се односио на изучавање дислокација и њихових мањих група истог знака [1, 2]. Сматрало се да је укупна пластична деформација резултат релативно независних кретања појединачних дислокација. При том, основа ових процеса лежи у претпоставци да

* Мр Александар Љевар, ВТШ у Зрењанину, Б. Стратимировића 23



Слика 1. Четири стадијума кретања позитивне ивичне дислокације кроз просторну решетку: 1- екстра раван; 2-дислокациона линија; 3-клизна степенница [1]

се пластична деформација одвија хомогено у целом кристалу за време клизања. Другим речима, претпоставља се да промена оријентације кристалне решетке настаје слично у целој запремини кристала.

Класични модели деформације кристалних чврстих тела засновани су на Тејлоровом моделу [3]. Према овом моделу деловање пет независних система клизања омогућава сваку промену облика кристала. Испитивања су показала да је стварни број независних система клизања мањи од пет, а могуће је одвијање клизања и по једном систему [2].

2. РОТАЦИОНИ МОДЕЛ ПЛАСТИЧНЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ

До уназад петнаестак година истраживачи су сматрали да ако се анализирају све финија својства индивидуалних дислокација могуће је тачније описати њихова међудејства са другим грешкама кристалне структуре при било којем већем степену деформације (ϵ). Међутим, неуспешни експерименти то нису потврдили и да се класична дислокациона теорија може применити до $\epsilon = 0,1 + 0,2$ [4]. На пример, испитивања која су дата у раду [5] при пластичној деформацији поликристалног никла издвајају два квалитетно различита интервала деформације. У интервалу $0 < \epsilon \leq 0,3$ пластична деформација је праћена интензивним променама дислокационе субструктуре. У другом интервалу за $\epsilon > 0,3$ дислокациона субструктура као да се "замрзла", односно при већим степенима пластичне деформације густина дислокације почиње да опада и може достићи вредност која је типична за полазно недеформисано стање. На рентгенограмима овако јако деформисаних кристала уочава се појава астеризма и текстуре деформације [2]. У процесу пластичне деформације уочена су заокретања равни кристалне решетке. То је указивало на могућност обртања појединих микрозапремина кристала у односу на околину [6]. Међутим према ранијим физичким моделима деформације таква обртања су сматрана пасивним траговима нехомогености пластичне деформације.

Са растом степена деформације долази до повећања густине дислокације ρ . При том, енергија узајамног деловања дислокација расте брже у односу на њихову сопствену енергију. При некој критичној вредности густине дислокације ρ_c (за метале је $\rho_c \approx 10^{13} - 10^{15} m^{-2}$), силе које делују између дислокација постају веће од спољашњих сила. Тада није могуће независно поме-

рање појединачних дислокација. Стварају се стабилне дислокационе конфигурације које су добро уређене. Долази до кооперативних деформационих процеса и локализације деформације [7].

Уведен је ротациони модел пластичне деформације. Експериментално је потврђено присуство линија заустављеног заокретања решетке - парцијалних дисклинација [6,7]. При већим ϵ ове линијске грешке (дисклинације) имају улогу елементарног носиоца ротационог модела пластичне деформације и елементарних унутрашњих извора напрезања великог димензионалног дејства. Оваква деформација назива се и турбулентном деформацијом, у односу на смицајну (трајслагациону) деформацију која се назива ламиларном.

Са растом степена пластичне деформације мења се кристалографска оријентација. Првобитно хомогено оријентисане области постепено се разбијају на читав скуп узајамно дезоријентисаних области, на почетку ћелија, а затим фрагмената [7]. Специјалним методама рендгенске и електронске дифрактометрије утврђено је да се на стадијуму фрагментовања дезоријентација између суседних микрообласти (фрагмената) линеарно увећава са растом степена пластичне деформације и може достићи десетак, па чак и стотину степени. Обратно, димензије фрагмената се смањују и теже ка граничним вредностима реда $0,1 \div 0,2 \mu m$.

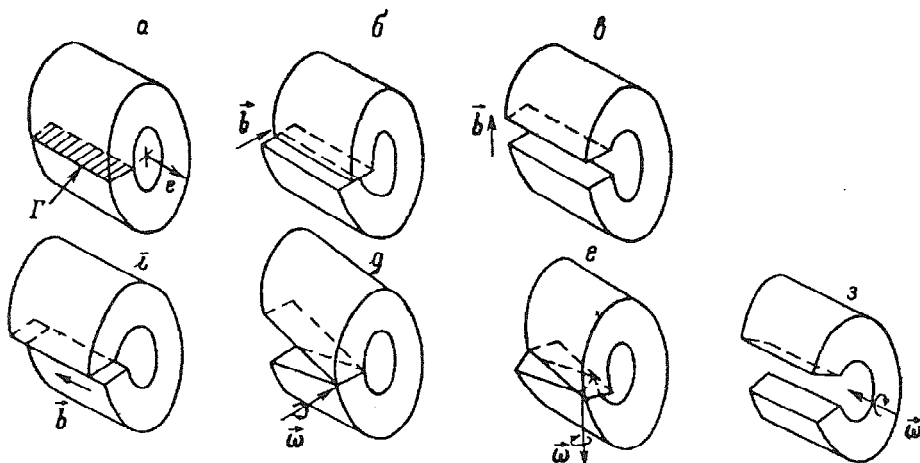
3. ПОЈАМ ДИСКЛИНАЦИЈА

Још су В. Волтера и А. Љав [6] разматрали два типа дислокација (као извора унутрашњих напрезања) у еластичној континуалној средини. Први тип је у вези са трајслагационим померањем недеформисаних површина разреза Γ (озн. на сл. 2а) за вектор \vec{b} , а други је у вези са ротацијом истих за вектор $\vec{\omega}$. Прве су познате као дислокације (сл. 2 б, в, г), друге - као дисклинације (сл. 2 д, е, з).

Насилним заокретањем недеформисаних површина разреза Γ за угао ω око фиксираних осе могу настати празнине које се попуне (додатним) материјалом, или преклопљене области из којих се удаљи сувишни материјал. Смањењем унутрашњег отвора и настајањем релаксације у цилиндру ће се створити линијска грешка - дисклинација. Интензитет дисклинације представља Франков вектор $\vec{\omega}$ (или вектор ротације). Код клинасте дисклинације $\vec{\omega} \perp \vec{e}$, а код увојне $\vec{\omega} \parallel \vec{e}$. Могућ је произвољни однос вектора $\vec{\omega}$ и \vec{e} - тада је то комбинована дисклинација.

Инваријантне карактеристике дисклинација су: просторни положај дисклинационе линије, правац те линије (одређен је вектором \vec{e}) и ротације $\vec{\omega}$ (осе ротације). Уопштено, дисклинација је криволинијска, а у специјалном - праволинијска (сл. 2). Дисклинација такође поседује сопствено поље еластичних напрезања, дисторзију, брзину померања, ефективну масу и др.

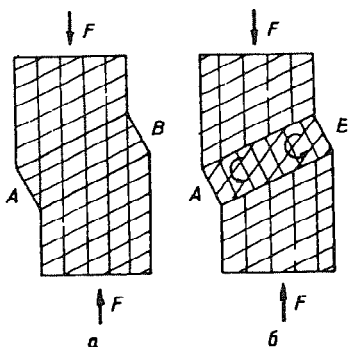
Ако је кристал димензија реда $10^{-3} cm$ енергија дисклинације већа је од енергије дислокације приближно за $0,04 (\omega R/b)^2$; где је b , ω - интензитет Бургерсовог вектора и вектора ротације, а R - спољашни полупречник цилиндричног модела. Мало је вероватно постојање оваквих (јединичних) дисклинација. Развојем метода експерименталних истраживања модел ротационе деформације је практично доказан [5-7].



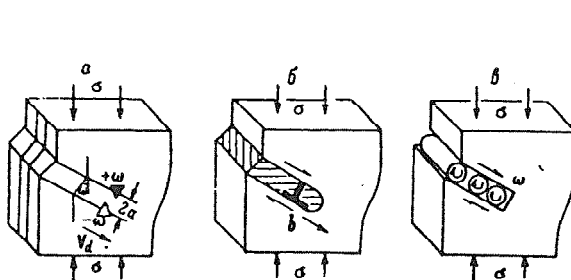
Слика 2. Волтерове дислокације; а - полазни хомогени изотропни безструктурни цилиндар са радијалним разрезом Γ ; \vec{b} - јединични вектор осе цилиндра; б, в, - ивична дислокација са Бургеровим вектором \vec{b} ; г - завојна дислокација; д, е, - увојна дислокација са Франковим вектором $\vec{\omega}$; з - клинаста (нагибна) дислокација $[\vec{b}]$.

Код савршене (јединичне) дисклинације вектор ротације мора да задовољи услове обртне симетрије кристала, односно кристал са осом симетрије r -га реда може да садржи дисклинацију интензитета $\omega = 2\pi k/r$, где је k - цео број, а $r = 1, 2, 3, 4, 6$.

У реалним условима уочавају се несавршене (парцијалне дисклинације). Оне настају када се при ротацији површина разреза Γ са мањим ω овоме супроставе препреке (баријерне равни), на пример, границе двојника типа $\{111\}$, границе кристалита, границе субзрна и др. Парцијалне дисклинације увек су у вези са стварањем раванских грешки, што није случај са јединичним дисклинацијама. За настајање јединичне, или парцијалне дисклинације потребно је у одређеној области стварање већег вишка дислокација истог знака. За ово је потребна већа нехомогеност пластичне деформације.



Слика 3. Поређење траке клизања (а) и ротационе траке (б). Линијама је представљена оријентација атомарних равни.



Слика 4. Допринос ротације у одвијању пластичне деформације. Ротационе траке су представљене у облику: а - дипола парцијалних дисклинација; б - клизних трака са $b = 2\omega$; в - разреза са ваљцима,

Парцијалну дисклинацију могуће је геометријски представити као линију која ограничава назавршену или прекинуту границу блока, фрагмента, полигона или субзрна [6,7].

При пластичној деформацији путем транслационих смицања, односно услед пролаза дислокација, правац атомарних равни се не мења у траци клизања (AB на слици 3а). Међутим, уочавају се и друге траке које споља дају такође макроскопско померање, али је материјал у њима заокренут за угао ω у односу на околну запремину (сл. 3б). Овакве траке су назване ротационе траке* [8]. Елементарни носилац овакве пластичне деформације је дисклинација.

Према дислокационој теорији брзина пластичне деформације је $\dot{\epsilon} = \rho b v$; где је ρ - густина покретних дислокација, b - интензитет Бургерсовог вектора, v - брзина дислокације. Међутим, брзина пластичне деформације при кретању дисклинација је $\dot{\epsilon} = 2\theta\omega a v_d$; где је: θ - густина дипола дисклинација; v_d - брзина дипола дисклинација; a - крак дипола [6], сл. 4.

4. ЗАКЉУЧАК

Ротационе појаве у пластичној деформацији имају значајну улогу, од заокретања појединих микрозапремина материјала и померања једног дела матрице у односу на други;

ротациона пластичност је аналогна турбулентном кретању течности за разлику од ламиларног клизања појединачних дислокација; порцијалне дисклинације представљају елементарни акт ротационе пластичности;

померање дисклинационог дипола засновано је на заједничком померању неуеђеног система дислокација путем његовог просторног распоређивања у уређени систем (слично је заједничком померању атома на малим растојањима при клизању дислокација);

почетак ротационих појава је у вези са градијентима примењених и унутрашњим напрезањима који стварају обртне моменте. Настала релаксација (на рачун ротације) енергетски је погодна за стварање обртања;

при развоју ротационе нестабилности (при кретању дисклинација) у металу се стварају структуре са грашкама: блокови, фрагменти, које се могу описати путем мреже дислокација, а прекинута субграница - клинастим дисклинацијама;

напрезање од дисклинационих структура (субструктура у металу) одређује механичко понашање легуре, његово ојачавање и разарање.

При обради метала пластичним деформисањем, која се већином спроводе при већим степенима деформације, ротациони модел пластичне деформације има посебан значај.

* Израз "ротационе деформационе траке" или краће "ротационе траке" предложен је с обзиром на деформационо порекло и одговарајући ротациони модел пластичне деформације. Раније се користио израз "деформационе" или "прелазне" траке. На руском језику користи се израз "полос сбрса", на немачком "die Knickbänder", а на енглеском "kink band".

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Drobniak, A., Fizička metalurgija - Fizika čvrstoće i plastičnosti 1, TMF Beograd, 1981, 401.
- [2] Honikomb, R., Plastičeskaja deformacija metalov, prevod sa engleskog, Mir, Moskva, 1972, 408.
- [3] Taylor, G. I. , - J. Inst. Metals. 62, 1938, 307-327.
- [4] Ljevar, A., Novi naučni prilaz u izučavanju plastične deformacije. XXIV Oktobarsko savetovanje rudara i metalurga D. Milanovac, Saopštenja, 1992, 425 - 428.
- [5] Rubcov, A. S., Ribin, V.V. Fizika metallov i metallovedenie, t. 44., v.3.,1977, 611-622.
- [6] Vladimirov, V. I. , Romanov. A.E. , Disklinacii v kristallah, Nauka, Leningrad, 1986, 223.
- [7] Ribin, V. V., Boljšie plastičeskie deformacii i vjazkoe razrušenje metallov, Moskva, 1986, 224.
- [8] Ljevar, A., Disklinacioni model rotacionih deformacionih traka, Zbornik radova Tehničkog fakulteta "Mihajlo Pupin" Zrenjanin, 1990, 40 - 50.

A. Ljevar

PLASTIC DEFORMATION ROTARY MODEL

Summary

Bases of the material plastic deformation rotating model are given in this paper in concise form. The elementary bearer of turning of some crystal microfields is the line error - disclination, while dislocation represents the elementary bearer of the translatory movement of one crystal part with respect to another.

V. Marinković

0 ODREĐIVANJU SREDNJE VREDNOSTI KOEFICIJENTA ANIZOTROPIJE I NJEGOVOM UTICAJU NA PROCES DUBOKOG IZVLAČENJA

Rezime

U radu je sa teorijskog i praktičnog aspekta razmotreno pitanje određivanja srednjeg koeficijenta anizotropije lima. Analiziran je uticaj različitih termomehaničkih faktora (stepena deformacije, temperature zagrevanja, termičke obrade, debljine lima) na veličnu parcijalnih i srednjeg koeficijenta anizotropije.

Razmotren je, zatim, uticaj koeficijenata anizotropije na proces dubokog izvlačenja.

U zaključku su date preporuke od značaja za praksu, kako za određivanje koeficijenata anizotropije, tako i za racionalno projektovanje procesa dubokog izvlačenja.

1. UVOD

Egzaktno projektovanje tehnoloških procesa obrade materijala deformisanjem moguće je samo onda kada se uzme u obzir i anizotropija mehaničkih i plastičnih karakteristika materijala koji se obrađuje (priprema). To naročito važi za proces obrade lima, dok se fenomen anizotropije u procesima obrade materijala zapreminskim deformisanjem može zanemariti.

Anizotropija materijala lima je posledica, pre svega, orijentisanosti kristalne strukture ("teksture"), koja nastaje u procesu primarne obrade odlivaka deformisanjem (valjanjem), dakle, u procesu proizvodnje lima. Ovde se radi o teksturnoj ili geometrijskoj anizotropiji ("makro-anizotropiji"), koja se odnosi na polikristale, za razliku od strukturne anizotropije ("mikro-anizotropije"), koja se odnosi na monokristale.

Izotropni (tačnije rečeno, kvazi-izotropni) polikristali (metali, legure) u procesima obrade materijala deformisanjem postaju anizotropni, zbog pojave teksture u pravcu najintenzivnijeg tečenja materijala.

Istraživanja pokazuju da se izborom optimalnih termomehaničkih faktora obrade i naknadne termičke obrade materijala anizotropija lima može u znatnoj meri da smanji [1], [2], ali ne i da se potpuno eliminiše. S druge strane, pokazalo se da to nije ni neophodno, jer se anizotropija limenih priprema može u praksi racionalno da upotrebi [1], [2], [5], [6].

Ignorisanje anizotropije lima, međutim, može dovesti do značajnih odstupanja između proračunskih stvarnih parametara procesa obrade deformisanjem.

2. ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA ANIZOTROPIJE

Najčešće korišćeni pokazatelj anizotropije materijala lima jeste koeficijent anizotropije ("r-faktor"). Za praktične potrebe ovaj koeficijent se definiše kao odnos logaritamskih deformacija po širini i debljini epruvete od lima u opitu istezanja [1], [2], [3], [4]:

$$r_{\alpha} = \frac{\varphi_b}{\varphi_s} = \frac{\ln(b/b_0)}{\ln(s/s_0)} = \frac{\ln(b/b_0)}{\ln(l_0 b_0 / l \cdot b)} \quad (1)$$

dr Veljko Marinković, vanr. prof., Mašinski fakultet u Nišu

gde su: α - ugao nagiba pravca izrezane epruvete iz table lima u odnosu na pravac valjanja (x-osu),

l_0, b_0, s_0 - početna dužina, širina i debljina mernog dela (standardne) epruvete,

l, b, s - dužina, širina i debljina mernog dela epruvete nakon deformisanja (istezanja).

Merenje dimenzija mernog dela epruvete treba obaviti na više mesta, mikrometrom povišene tačnosti. Promena dimenzija epruvete u toku istezanja može se pratiti kontinualno primenom specijalnih uređaja-ekstenziometara [1], [5]. Kod savremenih mašina za ispitivanje materijala, koje su opremljene računarnom (i odgovarajućim softverom), ceo postupak određivanja "r-faktora" je automatizovan, sa mogućnošću prikazivanja rezultata ispitivanja na štampaču i/ili displeju [7].

Koeficijent anizotropije u proizvoljnom pravcu u odnosu na pravac valjanja određuje se po obrascu [1], [2], [4]:

$$r_\alpha = [H/F + (2N/F - 1 - G/F - 4H/F) \cdot \sin^2 \alpha \cdot \cos^2 \alpha] / [\sin^2 \alpha + (G/F) \cdot \cos^2 \alpha] \quad (2)$$

gde su: H, F, N, G - parametri anizotropije.

U opštem slučaju koeficijent anizotropije ima različite vrednosti u različitim pravcima. Iz praktičnih razloga uvodi se pojam srednjeg koeficijenta anizotropije.

Na osnovu relacije (2) može se definisati (integralni) srednji koeficijent anizotropije u obliku [1], [9]:

$$\bar{r} = (H/F) / \sqrt{G/F} + (2N/F - 1 - G/F - 4H/F) / \left[2(\sqrt{G/F} + 1)^2 \right] \quad (3a)$$

Izraz (3a) može se svesti na jednostavniji oblik:

$$\bar{r} = (r_0 + r_{90}) \cdot (r_{45} + \sqrt{r_0 \cdot r_{90}}) / (\sqrt{r_0} + \sqrt{r_{90}})^2 \quad (3b)$$

gde su:

r_0, r_{90}, r_{45} - koeficijenti anizotropije za epruvete izrezane uzduž ($\alpha = 0^\circ$) i popreko ($\alpha = 90^\circ$) na pravac valjanja lima i pod uglom ($\alpha = 45^\circ$).

Obrasci (3) zasnovani su na teoriji anizotropije R. Hill-a [1], [2], [3], [4].

Za praktične potrebe, međutim, srednja vrednost koeficijenta anizotropije definiše se obično kao aritmetička sredina pojedinih (parcijalnih) koeficijenata anizotropije:

$$r_{sr} = \frac{1}{3}(r_0 + r_{45} + r_{90}) \quad (4a); \quad r_{sr} = \frac{1}{3}[0,5(r_0 + r_{90}) + r_{45}] \quad (4b); \quad r_{sr} = \frac{1}{4}(r_0 + 2r_{45} + r_{90}) \quad (4c);$$

$$r_{sr} = \frac{1}{3}[0,5(r_0 + r_{90}) + 2r_{45}] \quad (4d); \quad r_{sr} = \frac{1}{4}(r_0 + r_{30} + r_{60} + r_{90}) \quad (4e);$$

$$r_{sr} = \frac{1}{6}(r_0 + 2r_{30} + 2r_{60} + r_{90}) \quad (4f); \quad r_{sr} = \frac{1}{5}(r_0 + r_{30} + r_{45} + r_{60} + r_{90}) \quad (4g);$$

$$r_{sr} = \frac{1}{3}[0,5(r_0 + r_{90}) + r_{45} + 0,5(r_{30} + r_{60})] \quad (4h); \quad r_{sr} = \frac{1}{4}[0,5(r_0 + r_{90}) + 2r_{45} + 0,5(r_{30} + r_{60})] \quad (4i);$$

$$r_{sr} = \frac{1}{4}(r_0 + r_{22,5} + r_{67,5} + r_{90}) \quad (4j); \quad r_{sr} = \frac{1}{6}(r_0 + 2r_{22,5} + 2r_{67,5} + r_{90}) \quad (4k);$$

$$r_{sr} = \frac{1}{5}(r_0 + r_{22,5} + r_{45} + r_{67,5} + r_{90}) \quad (4l); \quad r_{sr} = \frac{1}{7}(r_0 + r_{15} + r_{30} + r_{45} + r_{60} + r_{75} + r_{90}) \quad (4m);$$

$$r_{sr} = \frac{1}{12}(r_0 + 2r_{15} + 2r_{30} + 2r_{45} + 2r_{60} + 2r_{75} + r_{90}) \quad (4n);$$

$$r_{sr} = \frac{1}{4}[0,5(r_0 + r_{90}) + 0,5(r_{15} + r_{75}) + 0,5(r_{30} + r_{60}) + r_{45}] \quad (4o)$$

Vrednosti parcijalnih i srednjih koeficijenata anizotropije, za veći broj materijala i karakteristične uslove obrade deformisanjem i termičkog tretmana, date su u TABLICI 1.

Važan pokazatelj anizotropije materijala lima je i stepen ravanske anizotropije [1], [6]:

$$\lambda_r = |r_{\max} - r_{\min}| / r_{sr} \quad (5)$$

gde su: r_{\max}, r_{\min} - najveća i najmanja vrednost koeficijenata anizotropije u ravni lima.

* Često se sreće i naziv Lankford-ov koeficijent.

TABLICA 1 (nastavak)

6	Ugljenični čelik C=0,062% T=750°C, s _H =60% [13]	Vremena žarenja (s)				1,071	1,471	1,428	0,893	1,339	1,250	1,338																																																																						
		1	1,742	3	1,914																																																																													
7	Čelik 08 X0 (TOCT [2]) Hladnovaljani	Daklina s _{na} (mm)				1,286	1,843	1,811	1,055	1,582	1,484	1,682																																																																						
		0,7											0,857	1,426	1,333	0,609	1,214	1,095	1,213																																																															
		0,5																		1,640	2,010	1,823	1,185	1,776	1,732	1,777																																																								
		0,8																									1,900	1,873	1,202	1,803	1,752	1,602																																																		
		1,0																															1,460	1,980	1,847	1,170	1,765	1,663																																												
		1,2																																					1,350	1,900	1,783	1,117	1,675	1,567																																						
		2,0																																											1,450	1,850	1,833	1,156	1,738	1,642																																
		0,5																																																	0,931	0,838	0,917	0,614	0,821	0,924																										
		1,0																																																							0,880	0,884	0,852	0,953	0,848	0,886																				
		2,0																																																													0,972	0,866	0,977	0,851	0,976	0,875														
10				1,434	1,765	2,070	2,065	1,271	1,906	1,749																																																																								
20											1,329	1,676	2,190	1,732	1,068	1,631	1,531																																																																	
0,05																		0,976	1,520	1,219	0,773	1,158	1,098	1,156																																																										
1,01																									1,130	1,770	1,331	0,845	1,298	1,242	1,286																																																			
5																																1,295	1,759	1,854	0,988	1,497	1,429	1,496																																												
MEKI																																							0,405	0,840	0,885	0,410	0,615	0,545																									0,613													
POLU- TVRDI																																													0,440	0,620	0,503	0,325	0,484	0,472																				0,487												
0,180																																																			0,200	0,250	0,400	0,343	0,213	0,320															0,297	0,345	0,330	0,326	0,313	0,296						
2,080																																																									2,800	2,850	3,100	3,500	2,610	1,860															2,620	2,830	2,820	2,800	2,628	2,610
0,780																																																															1,940	1,680	0,983	0,685	0,861	1,002														

^{*)} BTO - Bez termičke obrade, NTŽ - Niskotemperaturno žarenje, NFŽ - Nepotpuno žarenje, NR - Normalizacija

TABLICA 1 (nastavak)

6	Ugljeni čelik C=0,082% T=750°C, s _H =60% [13]	Vrsta žarenja t (sati)				1,071	1,471	1,428	0,683	1,338	1,250	1,338	1,338			
		1	1,742	3	1,814									4	1,714	
7	Čelik 08 10 (ГОСТ [2])	Deklinacija s (mm)				1,540	2,010	1,623	1,165	1,776	1,732	1,776	1,776			
		0,7														
		0,8														
		2,100														
8	Mesing CuZn 36 [2]	Deklinacija s (mm)				0,801	0,838	0,917	0,614	0,921	0,921	0,921	0,921			
		0,5														
		1,0														
		2,0														
9	Čelik za du- boko izvlačenje s=0,8 mm [11]	Izvlačenje s (mm)				1,434	1,765	2,870	2,063	1,271	1,906	1,748	1,901			
		10														
		20														
		1,877														
10	Č.0147 [12]	s (mm)				0,978	1,320	1,219	0,773	1,158	1,099	1,158	1,158			
		0,65														
		1,01														
11	Č.0147 P _s [5]	s=0,7 mm e=20%				1,285	1,756	1,564	0,998	1,497	1,429	1,496	1,496			
		MEKI POLU- TVRDI														
12	ALUMINIJUM S=0,7 mm [10]	s (mm)				0,405	0,880	0,885	0,410	0,615	0,545	0,615	0,615			
		0,450														
13	CINK [3]	s (mm)				0,200	0,250	0,100	0,800	0,340	0,213	0,326	0,286	0,314		
14	TITAN [3]	s (mm)				2,600	2,650	3,100	3,500	2,610	1,840	2,920	2,620	2,630	2,620	2,630
15	NIKEL [2]	s (mm)				1,040	1,060	0,963	0,651	1,002	0,983	1,002	0,983	1,002	0,983	

*) BTO - Bez termičke obrade, NTŽ - Niskotemperaturno žarenje, NPŽ - Nepotpuno žarenje, NR - Normalizacija

U analizi različitih procesa obrade lima deformisanjem sada se sve češće koristi kao pokazatelj anizotropije tzv. koeficijent poprečne (logaritamске) deformacije [2]:

$$\mu_{ij} = d\varphi_i / d\varphi_j \quad (6)$$

gde indeks i odgovara pravcu poprečne deformacije pri linearnom istezanju epruvete u j pravcu.

Između koeficijenata anizotropije r_α i μ_y postoje relacije:

$$r_\alpha = \mu_y / (1 - \mu_y) \quad ; \quad \mu_y = r_\alpha / (1 + r_\alpha) \quad (7)$$

3. UTICAJ ANIZOTROPIJE NA PROCES DUBOKOG IZVLAČENJA

Anizotropija materijala lima deluje na proces dubokog izvlačenja dvojako: povećava deformabilnost (granični stepen izvlačenja), a smanjuje tačnost izvučenih elemenata.

Analizom fenomena anizotropije i adekvatnim projektovanjem procesa dubokog izvlačenja može se pozitivni uticaj anizotropije maksimalno iskoristiti, a negativan svesti na najmanju meru.

3.1. Granični odnos izvlačenja

Opšte su poznati teorijski obrasci za određivanje graničnog odnosa izvlačenja E. A. Popova, L. A. Šofmana i drugih, koji su formulisani na bazi pretpostavke o izotropnosti materijala lima, uz apstahovanje niza drugih važnih uticajnih faktora na proces dubokog izvlačenja.

Zato se u praksi i danas, uglavnom, koriste tablične vrednosti odnosa izvlačenja (za prvu i naredne operacije izvlačenja) prema V. P. Romanovskom [8], koje su u potpunosti empirijskog karaktera. Kao što je poznato, V. P. Romanovskij je odnose izvlačenja definisao kao funkcije odnosa geometrijskih parametara pripremljena i izratka:

$$m = f_1(s_0 / D_0) \quad (8a); \quad m = f_2(s_0 / D_0, D_v / d) \quad (8b)$$

gde su: s_0, D_0 - dimenzije pripremljena (debljina i prečnik),

D_v, d - dimenzije izratka (prečnik venca i prečnik cilindričnog dela izratka).

Na osnovu podataka datih u [8], autor [9] je postavio analitički izraz za proračun odnosa izvlačenja, za prvu operaciju dubokog izvlačenja, u obliku:

$$m = 0,624 - 2,828 \cdot (s_0 / D_0) - [0,039 + 0,928 \cdot (s_0 / D_0)] \cdot r_r \quad (9)$$

Tretirajući materijal lima kao transferzalno-izotropno telo V. D. Golovljev [3] je postavio sledeći obrazac:

$$m = \exp\{[0,5(1+r)(2+r)/(1+2r)] \cdot \ln m^z\} \quad (10)$$

gde je: m^z - odnos izvlačenja za izotropni materijal.

Često se u literaturi navodi i sledeći polu-empirijski obrazac [5]:

$$\beta_{0max} = 1/m = \exp\left[\sqrt{0,5(1+r_r)} / (1+\eta)\right], \quad \eta \approx 0,25 \quad (11)$$

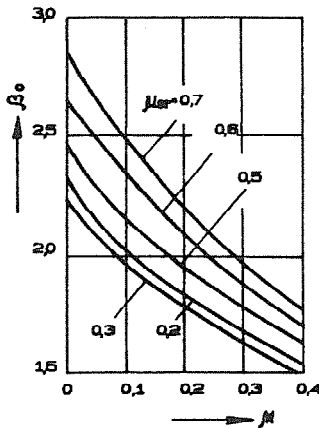
Polazeći od konstatacije da na granični odnos izvlačenja u najvećoj meri utiče minimalni koeficijent anizotropije u ravni lima ($r_\alpha = r_{min}$), S. P. Jakovljev [1], [6] je za određivanje graničnog odnosa izvlačenja postavio sledeći izraz:

$$m = \exp\left[-0,25\pi(1+r_{min}) / \sqrt{1+2r_{min}}\right] \quad (12)$$

Najpotpuniji obrazac dao je F. V. Grečnikov [2], koji se zbog složenosti ovde ne navodi, već daje samo njegov grafički prikaz (Sl. 1, [2]).

Rezultati proračuna graničnog odnosa izvlačenja, za prvu operaciju dubokog izvlačenja, po preporukama različitih autora, dati su u TABLICI 2.

Rezultati proračuna pokazuju da podaci V. P. Romanovskog važe zapravo, samo za (kvazi)izotropne limove. Analogni rezultati i zaključci važe, u osnovi, i za naredne operacije dubokog izvlačenja.



Sl. 1.

TABLICA 2.

ODNOS IZVLAČENJA $m=d/D_0$							
r_{cr}	$\frac{s_0}{s}$	IZVORI PODATAKA					
		TABL. [8]	OBRA. (9)	OBRA. (10)	OBRA. (11)	OBRA. (12)	SL. 1. [2]
0,8	0,001	0,59	0,59	0,60 ¹⁾	0,47	0,43 ²⁾	0,49 ³⁾
	0,20	0,48	0,52	0,49			
2,5	0,001	0,59	0,52	0,50	0,35	0,37	0,40
	0,20	0,48	0,42	0,38			

¹⁾ m^* uzeto iz [8] ²⁾ pretpostavljeno $r_{min}=r_{cr}/1,5$ ³⁾ $\mu=0,1$

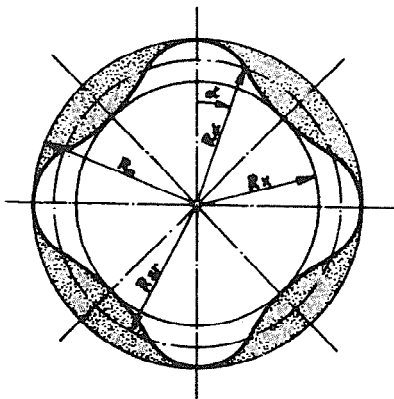
3.2. Geometrijska netačnost izradaka

Istraživanja mnogih autora [1], [2], [3], [4], [5], [6], [8], [14], [15], pokazuju da anizotropija lima izaziva pojavu neravnomernosti debljine lima po omotaču izratka, zatim pojavu valovitosti ivice (oboda) izvučenih elemenata i odstupanje od cilindričnosti.

Za izvlačenje cilindričnih elemenata bez venca karakteristična je pojava tzv. "ušiju" izvlačenja (po pravilu, 4 uzvišenja i 4 udubljenja, u odnosu na proračunsku visinu izratka). Po zakonu o postojanosti zapremine biće debljina zida elementa ispod uzvišenja manja nego ispod udubljenja. Ove se debljine određuju po pbrascima [1], [2], [14]:

$$s_{uz} / s_0 = m^{-1/(1+r_m)} \quad (13a); \quad s_{ud} / s_0 = m^{-1/(1+r_m)} \quad (13b)$$

gde su: r_{uz}, r_{ud} - koeficijenti anizotropije u pravcu uzvišenja, odnosno udubljenja ($r_{uz} = r_{max}; r_{ud} = r_{min}$).



Sl. 2.

Pojava "ušiju" izvlačenja podrazumeva neophodnost naknadnog obrezivanja izvučenih elemenata, što povećava utrošak materijala.

Ova veoma nepovoljna pojava može se svesti na najmanju meru (a ponekad i potpuno isključiti operacija obrezivanja) sledećim merama:

- izborom transferzalno - izotropnog materijala;
- zamenom kružnog priprema (za cilindrične elemente profilisanim i
- pravilnom orijentacijom priprema u odnosu na koeficijente anizotropije, pri izvlačenju "kutijastih" (nerotacionih) elemenata ili cilindričnih elemenata iz kvadratnih priprema.

Kontura profilisanog priprema se formira (konstruiše) na osnovu analize tečenja anizotropnog materijala u procesu dubokog izvlačenja [1]. Promenljivi radijus konture određuje se po obrascu (Sl. 2.):

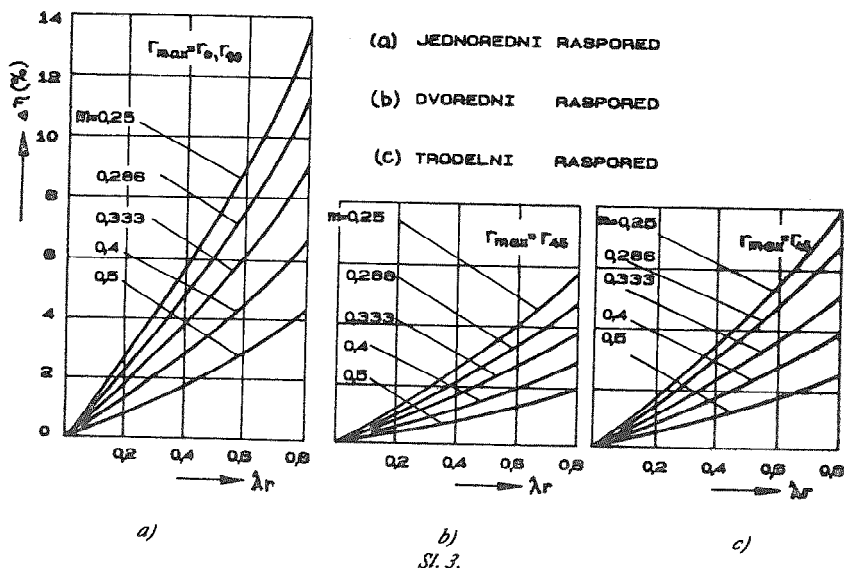
$$R_x = \frac{R_0 + R_z}{2} + \frac{R_0 - R_z}{2} \cdot \cos 4\alpha \quad (14)$$

Minimalni radijus priprema može se odrediti po obrascu [6]:

$$R_x \approx R_0(1 - m \cdot \lambda_r \cdot \gamma) \quad (15)$$

gde je: $\gamma \approx 0,039m^{-2,1} - 0,052^*$

Upotrebom profilisanog priprema ne samo da se smanjuje valovitost ivica izvučениh elemenata, već se pri scrijskoj izradi delova od lima može postići značajna ušteda u materijalu (Sl. 3., [6]).



Iz istih razloga pri izvlačenju kutijastih elemenata, sa kvadratnom osnovom, pored upotrebe profilisanih priprema, potrebno je uglove priprema orijentisati prema minimalnom koeficijentu anizotropije. Kod izvlačenja kutijastih elemenata, sa pravougaonom osnovom, neophodno je pripremak orijentisati tako da maksimalni koeficijent anizotropije pada u pravcu duže stranice osnove izratka.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega izloženog mogu se izvesti sledeći najvažniji zaključci.

Prvo, srednji koeficijent anizotropije treba računati po obrascima (3) ili po obrascu (4c).

Drugo, za izvlačenje rotacionih elemenata treba koristiti materijale sa svojstvima transferzalno-izotropnog tela ($\lambda_r = 0$), pri tome, sa velikim koeficijentom anizotropije ($r_\alpha = r_{sr} > 1$).

Treće, pri korišćenju limova sa izraženom ravanskom anizotropijom racionalno je projektovati profilisane pripreme.

Četvrto, pri projektovanju procesa izvlačenja "kutijastih" elemenata neophodno je voditi računa o orijentaciji minimalnog koeficijenta anizotropije.

5. LITERATURA

- [1] Jakovlev, S.P., Kuhar, V.D., Štampovka anizotropnih zagotovok, "Mašinstroenie", Moskva, 1986, 136.
- [2] Arišenski, J.M., Grečnikov, F.V., Arišenski, V.J., Polučenie racionalnoj anizotropii v listah, "Metalurgija", Moskva, 1987, 141.
- [3] Golovlev, V.D., Rasčeti processov listovoj štampovki, "Mašinstroenie", Moskva, 1974, 136.
- [4] Devdžić B., Obradivost materijala dubokim izvlačenjem, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1972, 261.

* Aproksimacija dijagrama datog u [6].

- [6] Korotkov, V.A., Judin, L.G., Jakovlev, S.P., Vlijanie anizotropii mehaničeskikh svojstv materiala pri mnogooperacionnoj vitjažke, "Kuznečno-šampovočnoe proizvodstvo", 1987, No 6, 31-32.
- [7] Dripke, M., Woerner, H.P., Senkrechte Anisotropie r und Verfestigungsexponent n , "Baender Bleche Rohre", 7-1979, 286-291.
- [8] Romanovskij, V.P., Spravočnik po holodnoj šampovke, "Mašinstroenie", Leningrad, 1979, 520.
- [9] Marinković, V., MAŠINSKA OBRADA - I deo, Zbirka zadataka iz obrade materijala deformisanjem, Mašinski fakultet, Niš, 1990, 275.
- [10] Chakrabarty, J., Mellor, P.B., Instability Modes in Deep-Drawing, 17-th Int. Mach. Tool Des. Res. Conf., Birmingham, 1976, 579-586.
- [11] Strezov, V., Promena na koeficientite na normalnata anizotropija pri linisko isteganje na tanki limovi, XI sovetovanje za proizvodstveno mašinstvo, Zbornik radova, Ohrid, 1977, 194-203.
- [12] Stojković, V., Određivanje karakterističnih veličina koje definišu obradivost lima izvlačenjem, SIMOD, god. II, br. 2, 1976, 31-48.
- [13] Stankovski, V., Knežević, R., Analiza uticajnih parametara na plastičnu anizotropiju pri graničnoj ravnomernoj deformaciji istezanjem čelika za duboko izvlačenje, IV međunarodni simpozijum o plastičnosti i otporu deformaciji metala, Herceg-Novi, 1984, 291-301.
- [14] Marinković, V., Analiza uticajnih faktora na tačnost i kvalitet elemenata od lima i mogućnosti odstranjivanja njihovog negativnog dejstva, Prerada lima izvlačenjem i ocena obradivosti lima, Seminar, Vranje, 1980, 27.
- [15] Dannemann, E., Der Einfluss von Werkzeuggeometrie und Werkstueckwerkstoff auf die makrogeometrischen Eigenschaften von tiefgezogenen, kreiszylindrischen Naepfen, IV Internat. Kongres der Blech verarbeitenden Industrie, Paris, 1973.

V. Marinković

DETERMINATION OF THE MEAN ANISOTROPY COEFFICIENT AND ITS INFLUENCE ON THE DEEP DRAWING PROCESS

Summary

The question of determining the mean sheet metal anisotropy coefficient is examined from the theoretical and practical points of view in this paper. The influence of various thermo-mechanical factors (deformation degree, heating temperature, thermal treatment, sheet metal thickness) on the partial and mean anisotropy coefficient values is analyzed. Further more, complex influence of anisotropy coefficients on the deep drawing process is examined. As a conclusion, recommendations important for practice are given, both for the anisotropy coefficients determination and rational design of the deep drawing process.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Marinković T.,* Marinković V.,** Popović P.,**

ODREĐIVANJE RADNOG PRITISKA PROCESA ISTISKIVANJA SA
SVARIVANJEM CEVI OD ALUMINIJUMSKIH LEGURA U ALATU SA MOSTOM

Rezime

Pri istosmernom istiskivanju cevi i šupljih profila u alatima sa mostom nastaje složeno tečenje materijala koje se ogleda u rasecanju priprema, naknadnom svarivanju materijala u komorama alata i njegovom isticanju kroz procepe između zidova prstena za istiskivanje i trna. Zbog složenosti procesa u radu je primenjen jedan analitičko-eksperimentalni postupak (Teorija planiranja eksperimenta) za određivanje radnog pritiska (sile) istosmernog istiskivanja cevi od aluminijumskih legura.

1. UVOD

Teorija i tehnologija izrade punih i šupljih profila predstavlja veoma dugo predmet interesovanja mnogobrojnih istraživača[1- 10].

Tehnologija izrade cevi i šupljih profila složene konfiguracije preseka istiskivanjem u toplom stanju od aluminijuma i Al-legura (poslednjih decenija i od raznih vrsta čelika, titana i Ti-legura) zasiva se, pre svega, na primeni specijalnih alata - tzv. kombinovanih prstena za istiskivanje odnosno prstena za istiskivanje sa mostom[2] [6] [7] [9]. Konstrukcija ovih prstena za istiskivanje može biti različita, pri čemu su moguća rešenja sa jednim ili više spojenih mostova. Pri tome se koriste jednostavni liveni pripremljeni oblika valjka (trupci).

Sušтина procesa istiskivanja u ovakvim alatima ogleda se u rasecanju priprema na čeonj strani mosta, opticanju konture poprečnog preseka mosta, naknadnom svarivanju materijala u komorama alata i njegovom isticanju kroz procepe između kalibrirajućih zidova prstena za istiskivanje (koji obrazuju spoljašnju konturu profila (cevi)). Trn (ili više trnova-kod profila sa više šupljina) integralni je deo mosta .

Cevi i profili dobijeni na opisani način imaju dva ili više uzdužnih šavova, zavisno od broja krakova mosta. Kako se kvalitet cevi pri profila zasniva na kvalitetu šavova (u makro i mikro smislu) to je očigledno da se od legura koje se obrađuju ovim postupkom istiskivanja zahteva da pored visoke deformabilnosti poseduju i sposobnost (samo) zavarivanja.

Poseban problem predstavlja pojava "mrtvih" zona, ne samo u uglovima alata, već i na čeonj površini mosta, odakle je moguće izvesno oticanje materijala, što pogoršava opšti kvalitet proizvoda.

* Tomislav Marinković, dipl. ing, DD "NISSAL", Niš, ** Prof. dr Velibor Marinković, dipl. ing. i Prof. dr Predrag popović, dipl. ing., Maš. fakultet, Niš

Međutim, bez obzira na određena ograničenja, ova tehnologija izrade cevi profila ima niz prednosti, npr.:

- _ dobijanje profila veoma složene geometrije,
- _ visoka tačnost oblika i dimenzija profila,
- _ relativno visoki kvalitet površina profila (cevi),
- _ niska cena izrade profila po jedinici mere (dužini profila ili masi).

2. CILJ ISTRAŽIVANJA

Teorijska istraživanja procesa istiskivanja dala su određene rezultate u domenu istiskivanja osnosimetričnih glatkih i orebrenih punih profila i cevi [1] [4] [5] [6] , dok su u domenu istiskivanja sa svarivanjem veoma retka i izvedena sa nizom značajnih uprošćenja i aproksimacija, tako da se inženjeri u praksi i dalje oslanjaju na sopstveno iskustvo i parcijalna eksperimentalna istraživanja (najčešće laboratorijska, sa modelskim materijalima) drugih autora.

Cilj ovog rada bio je da se sa realnim materijalom, u realnim uslovima tekuće proizvodnje, sprovedu kompleksna teorijsko eksperimentalna istraživanja, čiji rezultati mogu biti relevantni, kako za teoriju tako i za praksu.

Pošto su ovakva istraživanja veoma skupa i dugotrajna, tehnika, procedura i realizacija istraživanja bile su bazirane na primeni jednog od univerzalnih i veoma efektivnih metoda poznatih u teoriji planiranja eksperimenta.

3. POSTAVKA, REALIZACIJA I REZULTATI ISTRAŽIVANJA

3.1. IZBOR METODA I MATEMATIČKOG MODELA

Polazeći od prirode procesa istiskivanja koji se istražuje, principa teorije planiranja eksperimenta i ciljeva istraživanja, izabran je odgovarajući analitičko eksperimentalni postupak - metod ortogonalnih planova prvog reda, tipa (glavne) "polureplike" [13-15]. Pripadna plan-matrica data je u tabl. 1 .

Na osnovu tzv. "apriornih" informacija o procesu pošlo se od realne pretpostavke da se može izabrati matematički model (jednačina višestruke regresije) u vidu kvazilinearnog polinoma:

$$y = b_0 + \sum_{1 \leq i \leq k} b_i x_i + \sum_{1 \leq j \leq k} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i \leq j \leq k} b_{ijl} x_i x_j x_l + \dots \quad (1)$$

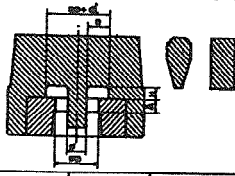


gde su:

b_0, b_i, b_{ij}, \dots - koeficijenti regresione jednačie.

3.2. IZBOR UTICAJNIH FAKTORA

Na veličinu radnog pritiska (sile) istiskivanja u većoj ili manjoj meri mogu da utiču sledeći faktori: vrsta materijala (legure), stepen redukcije preseka (deformacije), temperatura deformisanja, oblik i dimenzije mosta, dimenzije svamih komora, dimenzije kalibrirajućih površina, dimenzije pripreмка, brzina deformisanja, tribološku uslovi i dr.

TABLICA 1.

FIZIČKE ("PRIRODNE") KOORDINATE (FAKTORI)		$X_1 = \lambda_3$	$X_2 = \frac{H}{2B}$	$X_3 = \frac{h}{D}$	$X_4 = v_1$	$X_5 = g$			
OSNOVNI NIVO		4.158	0.4167	0.225	4.5				
INTERVAL VARIJACIJE		1.782	0.1389	0.075	3.5				
GORNJI NIVO		5.94	0.5556	0.3	8				
DONJI NIVO		2.376	0.2778	0.15	1				
REDOBL. IZVOĐJ. OPITA	KODOVI	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	Y_1	Y_2	\bar{Y}
	RED. BR. SERIJE OPITA								
9	1	+	+	+	+	+	477.6	482.3	484.9
11	2	-	+	+	+	-	440.8	440.8	440.8
1	3	+	-	+	+	-	495.9	495.9	495.9
3	4	-	-	+	+	+	477.6	482.8	480.00
13	5	+	+	-	+	-	459.2	477.9	468.4
15	6	-	+	-	+	+	489.8	499.5	449.15
5	7	+	-	-	+	+	514.3	499.6	506.95
7	8	-	-	-	+	-	398.7	418.1	405.9
10	9	+	+	+	-	-	489.8	509.9	497.75
12	10	-	+	+	-	+	482.5	440.8	431.65
2	11	+	-	+	-	+	495.9	532.7	514.3
4	12	-	-	+	-	-	418.1	399.7	405.9
14	13	+	+	-	-	-	477.6	525.3	501.45
16	14	-	+	-	-	-	400.4	422.8	411.45
6	15	+	-	-	-	-	470.2	514.3	492.25
8	16	-	-	-	-	+	485.9	462.9	479.4

Kako se sa povećanjem broja faktora povećava broj serije opita [13-15], za ova istraživanja izabrano je pet faktora, pri čemu je uticaj pojedinih, napred navedenih, faktora objedinjen.

Za ispitivani materijal izabrana je jedna od najčešće primenjivanih legura aluminijuma - AlMgSiCu. Temperatura deformisanja nije varirana, jer je dopušteni temperaturni interval uzan i nalazi se na granici moguće greške pri zagrevanju. Takođe, tritološki uslovi nisu menjani, jer se istiskivanje sa svarivanjem izvodi bez podmazivanja. Izabrane su dimenzije pripremk ($l_0/d_0 \approx 1$) i dimenzije preseka mosta ($b_m/h_m = 20/40$) .

Prema tome, izabrani su sledeći uticajni faktori u vidu "prirodnih" koordinata (v.tab. 1):

$$x_1 = \lambda_s = A_s/A_c ; x_2 = H_{red} = H/2B ; x_3 = h_{red} = h/D ;$$

$$x_4 = v_j ; x_5 = \phi \quad (2)$$

gde su:

A_s - površina poprečnog preseka obratka u zoni svarivanja ("karakteristični " presek [6]),

A_c - površina poprečnog preseka cevi ,

H , B - visina i širina komora za svarivanje,

h - visina pojasa za kalibrisanje,

D - spoljašnji prečnik cevi,

v_j - brzina isticanja materijala iz alata,

ϕ - forma poprečnog preseka mosta (pravougaonog., "deltoidnog").

Ovde treba još naglasiti da je za uticajni faktor usvojen stepen redukcije preseka u zoni svarivanja λ_s umesto opšteg stepena redukcije preseka $\lambda_0 = A_0/A_c > \lambda_s$, prema preporukama M.S.Giljengoma, F.V.Žuravljeva i drugih [1] , [2] , [6] .

3.3. IZVOĐENJE EKSPERIMENTA I OBRADA REZULTATA

Redosled izvođenja serije opita saglasan je sprovedenoj randomizaciji eksperimenta, koji je realizovan sa dva ponavljanja opita u svakoj seriji opita.

Nakon sprovedenih merenja izvršena je statistička obrada eksperimentalnih rezultata po poznatoj metodologiji [13-15]. Na taj način je dobijena sledeća jednačina višestruke regresije (za radni pritisak istiskivanja) u kodiranim koordinatama:

$$y = 464,7 + 30,54 x_1 - 4,1 x_2 + 0,45 x_3 - 2,06 x_4 + 12,4 x_5 - 2,98 x_1 x_2 + 2,5 x_1 x_3 -$$

$$\begin{aligned}
 & - 4,13 x_1 x_4 - 5,74 x_1 x_5 + 2,75 x_2 x_3 + 2,06 x_2 x_4 - 6,43 x_2 x_5 + 4,82 x_3 x_4 - \\
 & - 7,33 x_3 x_5 - 2,52 x_4 x_5
 \end{aligned} \quad (3)$$

Primenom Studentovog kriterijuma utvrđeno je da se mnogi koeficijenti regresije mogu zanemariti, kao nesignifikantni, tako da se jednačina (3) svodi na jednostavan oblik :

$$y = 464,7 + 30,54 x_1 + 12,4 x_5 \quad (4)$$

Prema Fišerovom kriterijumu ($F_r = 1,43 < F_t = 2,6$) izabrani matematički model je adekvatan.

Najzad, uvođenjem "prirodnih" koordinata ($x_5 = \pm 1$) dojavu se sledeći obrasci za radni pritisak istiskivanja.

$$p = 405,89 + 17,14 \lambda_s \quad (N/mm^2) \quad (5a)$$

$$p = 380,99 + 17,14 \lambda_s \quad (N/mm^2) \quad (5b)$$

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu sprovedenih istraživanja mogu se izvesti sledeći zaključci:

1. U datom intervalu variranja uticajnih faktora (inače, uobičajenih za praksu) na veličinu radnog pritiska (sile) istiskivanja, u granicama greške eksperimenta, bitno utiču samo dva faktora: stepen redukcije preseka i oblik mosta. U tom smislu povoljniji je "deltoidni" poprečni presek mosta (obrazac (5b)).

2. Iz jednačine (3) još sledi da sa povećanjem redukovane visine pojasa za kalibrisanje raste radni pritisak istiskivanja, a da sa povećanjem redukovane visine komora za svarivanje i brzina isticanja opada, o čemu u praksi treba voditi računa.

3. Iz obrasca (5) proizilazi da se sa nekoliko serija opita, po principu tzv. "jednofaktornog" eksperimenta mogu dobiti analogni obrasci za sve ostale legure koje se obrađuju tehnologijom opisanom u ovom radu.

5. LITERATURA

- [1] Ermanok, M.Z. i dr., Pressovanie profilej iz aluminijevih splavov, "Metallurgija", Moskva, 1977, 264.
- [2] Giljdengorn, M.S. i dr., Pressovanie so svarkoj polih izdelij iz aluminijevih splavov, "Metallurgija", Moskva, 1975, 240.
- [3] Gun, G.J. i dr., Pressovanie aluminijevih splavov, "Metallurgija", Moskva, 1974, 336.
- [4] Perlin, I.L., Rajt barg, L.H., Teorija pressovanija metallov, "Metallurgija, Moskva, 1975, 448.

- [5] Lange, K., Stenger, H., Strangpressen, Aluminium Verlag GmbH, Disseldorf, 1976, 395.
- [6] Rajtburg, L.H., Proizvodstvo pressovanih profilej, "Metallurgija", Moskva, 1984, 262.
- [7] Spur, G., Stoferle, Th., Handbuch der Fertigungstechnik, Band 2/2, Umformen, Carl Hanser Verlag, Munchen / Wien, 1984, 362-1099.
- [8] Prudkovskij, B.A. i dr., Modelirovanje tečenija metalla pri pressovanii s razdeleniem potokov, Teorija i tehnologija deformacii metallov i splavov: Nauč. tr. / MISiS, "Metallurgija", Moskva, No100, 1977, 35-38.
- [9] Volčanšek, V., Istraživanje uticajnih faktora na otpor isticanja i njihove korelacione odnose pri istosmernom toplom presovanju legure AlMgSi0,5 u proizvodnim uslovima, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Niš, 1981, 249.
- [10] Duplancić, I., Tok materijala pri isprešavanju cijevi pomoću kombinirang alata, 19. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Kragujevac 1985, 549-553.
- [11] Marinković, T. i dr., Prilog istraživanju uticaja oblika profila na tečenije materijala pri istosmernom istiskivanju, " Teška mašingradnja TM ' 93", Zbornik radova, Kruševac, 1993, 576 .
- [12] Weitzel, F., Muster, Gestaltung und Konstruktion von Strangpresswerkzeugen, Teil1, Aluminium, No10, 1992, 959-964, 866-877.
- [13] Stanić, J., Metod inženjerskih merenja , Mašinski fakultet , Beograd, 1990,
- [14] Marinković, V., Radovanović, M., Priručnik za laboratorijske vežbe iz obrade materijala rezanjem , Mašinski fakultet , Niš , 1994, 220.
- [15] Novik ,F., S., Arsov, J.B., Optimizacija pressov tehnologii metallov metodami planirovanija eksperimentov, "Mašinstroenie", Moskva, 1980, 304.

T. Marinković, V. Marinković, P. Popović.

DETERMINATION OF THE WORKING PRESSURE FOR THE EXTRUSION PROCESS WITH THE ALUMINUM TUBES WELDING IN A BRIDGE TOOL

Summary

During direct extrusion of tubes and hollow profiles in bridge tools there is a complex material flow consisting of billet separation, subsequent material welding in die chambers and its flowing out through clearances between die walls and mandrel. The process complexity required the application of an analytic-experimental procedure (Theory of experiment design) for determining the working pressure (force) for aluminum alloy tubes extrusion.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

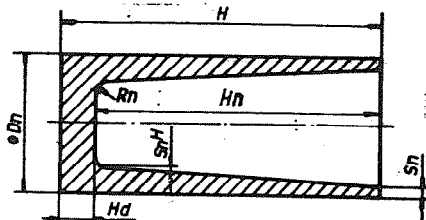
M. Mitrić

PRIMER DUBOKOG IZVLACENJA MESINGANE ČAURE

Za proizvodnju čaura primarna je obrada deformisanjem: - duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida, uz obavezna međufazna žarenja i površinske pripreme pripremaka, kao i faze plastične deformacije dna i sužavanje čaure. U radu je dat kratak pregled definisanja: oblika i mera alata za izvlačenje, s obzirom na visokozahtevni dimenzionalni kvalitet čaure i deformabilnost mesinga, deformacija i deformacione sile.

UVOD

Umesto opisa daje se crtež (sl.1.) cilindrične čaure sa, oblikovanim dnom i slovne oznake kao i nominalni iznosi mera.



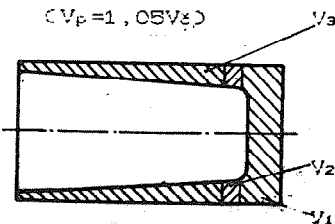
$D_n = \phi 24,56 \text{ mm}$
 $H = 120 \text{ mm}$
 $H_n = 107 \text{ mm}$
 $H_d = 10 \text{ mm}$
 $s_n = 0,15 \text{ mm}$
 $s_n^H = 2,0 \text{ mm}$
 $R_n = 3,0 \text{ mm}$
 Materijal: MS 70

Sl. 01. Mesingana čaura

Analizirajući crtež čaure (sl.1.), može se zaključiti da se ista može izraditi tehnologijom dubokog izvlačenja sa redukcijom debljine zida. Mada se u radu ne istražuje operacija oblikovanja dna crtež čaure sa oblikovanim dnom dat je radi proračuna mera priprema. Definisaćemo priprema, alate, deformacije i sile procesa dubokog izvlačenja zaključno sa završnom fazom izvlačenja.

Definisanje priprema

Logičan je zaključak da se čaura izvlači iz priprema-rondele



prečnika D_0 i visine H_0 . Mere rondela određujemo izjednačavanjem zapremina rondela $\phi D_0 \times H_0$ i zapremine čaure sa sl.1. Naravno, zapremina čaure se prethodno izdela na elementarne zapremine kao što je prikazano na sl.2.

$V_1 = V_d$ - zapremina dna čaure
 V_2 - zapremina prelaza dna u omotač
 V_3 - zapremina omotača čaure
 Jednostavnim izračunavanjem dobiju se sledeće mere priprema-rondela.

Sl. 02. Elementarne zapremine $\phi D_0 \times H_0 = \phi 43,5 \times 8,6 \text{ mm}$

Mr. Milovan Mitrić, dipl. maš. inž., "Aluminka"-Sipovo

Određivanje broja izvlačenja

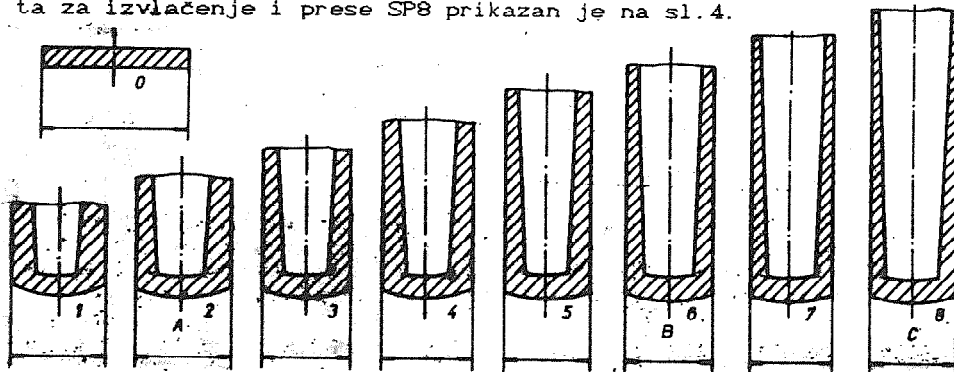
S obzirom na mogućnost izvlačenja mesinga bez rekristalizacionog žarenja, a vodeći računa o stepenu tačnosti čaure, alata i prese proces dubokog izvlačenja čaure objedinjen je u tri faze i to:

- faza A-savijanje priprema i dva izvlačenja,
- faza B-četiri izvlačenja i
- faza C-dva izvlačenja.

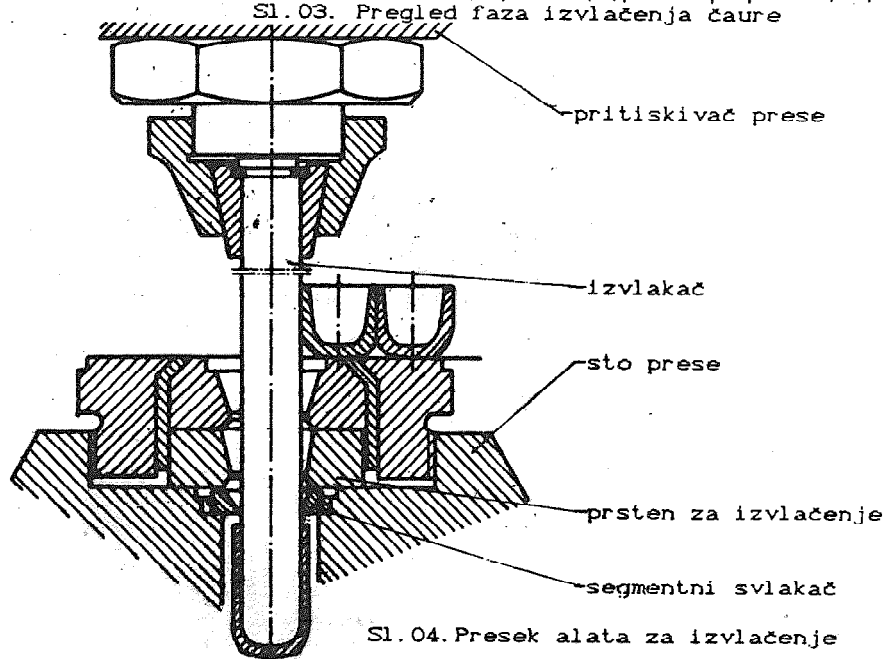
Na sl.3. sematski su predstavljeni poluproizvodi sa merama posle izvlačenja po fazama 0-8 odnosno grupama izvlačenja A,B i C.

ALATI ZA DUBOKO IZVLAČENJE

Alati za izvlačenje su,uz materijal i presu,limitirajući faktor. Konstruisani su prema literaturnim preporukama 1, 3, i 4 i izrađeni su od kvalitetnog alatnog čelika sa visokim tačnošću. Priključne mere alata su prilagođene presi SP8-"Herlan". Presek alata za izvlačenje i prese SP8 prikazan je na sl.4.

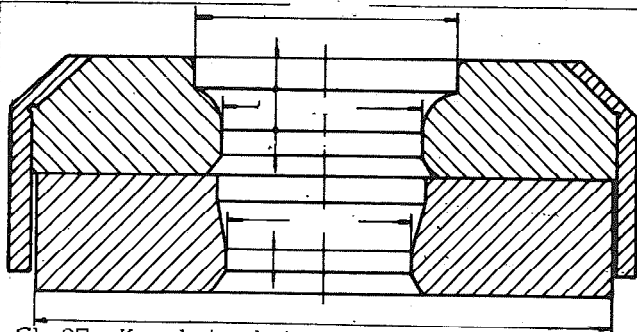


Sl.03. Pregled faza izvlačenja čaure

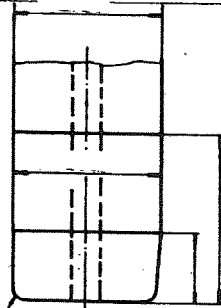


Sl.04. Presek alata za izvlačenje

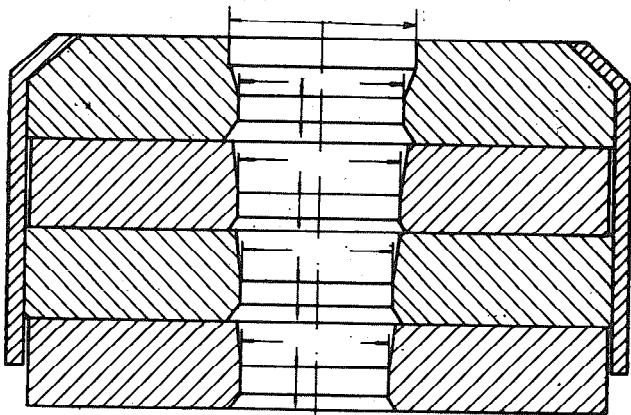
Crteži prstenova za izvlačenje i izvlačača, sa funkcionalnim merama, kojima je izvlačena čaura dati su na sledećim slikama (5-10)



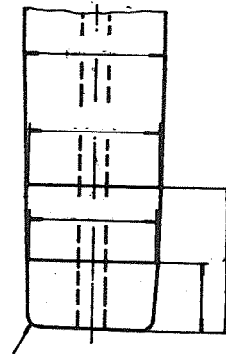
Sl. 05. Komplet alata za savijanje i prvu fazu izvlačenja (kombin. prsten sa traktix krivom za savijanje i prsten za izvlač. i drugi prsten za izvlačenje)



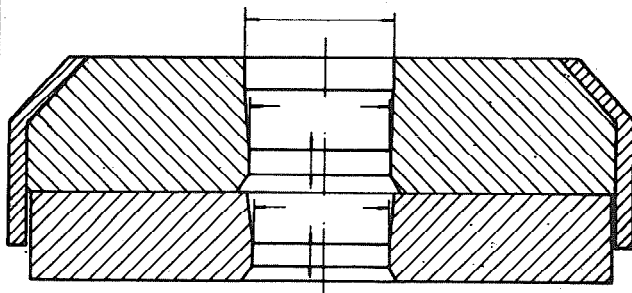
Sl. 06. Oblik i mere izvlačača za savijanje i prvu fazu izvlačenja (faza A)



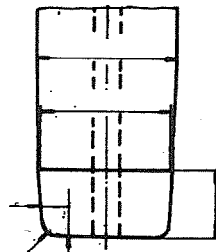
Sl. 07. Komplet prstenova za drugu fazu izvlačenja (faza B)



Sl. 08. Oblik i mere izvlačača za drugu fazu izvlačenja (B)

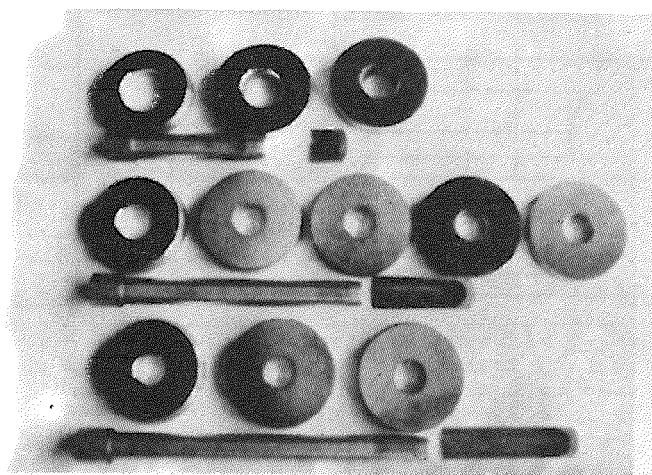


Sl. 09. Komplet prstenova za izvlačenje za završnu fazu izvlačenja (C)



Sl. 10. Mere izvlačača za završno izvlačenje.

Na sl.11. data je fotografija alata za izvlačenje i izradaka.



SL.11. Slika alata za izvlačenje i izradaka po fazama A,B i C

TEHNOLOSKI PROCES PROIZVODNJE ČAURE

Radi prostora i preglednosti daje se tabelarno kratak opis procesa proizvodnje mesinganih čaura za faze rada koje se vrše obradom plastičnim deformisanjem (savijanje, duboko izvlačenje, gnječenje i sužavanje) sa pratećom površinskom pripremom i termičkom obradom. Operacije bušenja otvora i rezanje kanala na čauri nisu stavljene u tabelu jer su tipične operacije obrade rezanjem.

DEFORMACIJE I SILE IZVLAČENJA

Logaritamske deformacije i sile savijanja i izvlačenja su izračunate po obrascima prema [1]. Navode se samo obrasci za proračun sila i deformacija, a rezultati se, prostora radi, daju tabelarno. Obrasci za proračun deformacija:

-za savijanje $\varepsilon_z = \varepsilon_t = \log(d_{sa} / D_0)$; $\varepsilon_3 = \varepsilon_t = \log(s_{sa} / s_0)$;

-za izvlačenje $\varepsilon_2 = \varepsilon_t = \log(d_{n-1} / d_n)$; $\varepsilon_3 = \varepsilon_r = \log(s_{n-1} / s_n)$;

-za oba procesa $\varepsilon_1 = \varepsilon_z = -(\varepsilon_t + \varepsilon_r)$; $\nu = \frac{2\varepsilon_2 - \varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}$; $\nu = \frac{3\varepsilon_2}{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}$.

Prema izračunatom ν iz tabela se određuje β' , a za izabrano β'

izračunavamo $\varepsilon_t = \frac{\varepsilon_1 - \varepsilon_3}{\beta'}$ te iz dijagrama $\varepsilon_t - \sigma_M$ biramo σ_M .

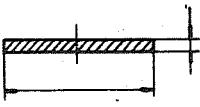
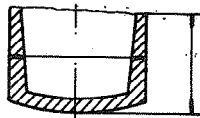
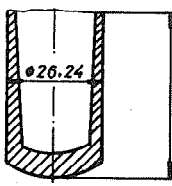
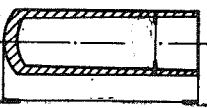
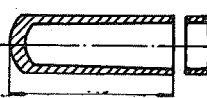
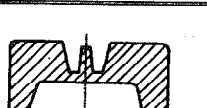

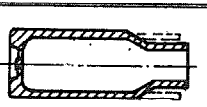
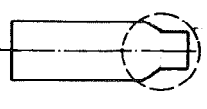

Prema određenoj geometriji alata odnosno izradaka i naponu σ_M , izračunavamo deformacione sile procesa savijanja i izvlačenja.

$$F_{12} = \frac{1,15 A_0 \sigma_M}{A_0 - 1} \left[1 - \left(\frac{F_{n-1}}{F_n} \right)^{A_0 - 1} \right] F_n \text{ [daN]}.$$

Gornje vrednosti su :

ε_t , ε_1 , ε_r i ε_z - efektivna i komponentne logaritamske deform.

TEHNOLOSKI POSTUPAK IZRADE

Red. br.	Naziv operacije	Skica izradka (polupr.)	Alat ili sredstvo	Mašina
01.	Žarenje priprema na 580°C 1,5 h		Meš. konc. kis "Gelbrun" Rastvor ind. deterdženta	Peć za žarenje
	Površ. prip. prip 5-10 sec			Namenske kade za površ. prip
	Umašćivanje priprema			Kade za umaš. i kont. na SP8
02.	Savijanje i I izvlač. čančeta		Komplet alat	Peć za žarenje
	Žarenje čančeta na 580°C 1,5 h			Namenske kade za površ. prip
03.	Površ. prip. čan 5-10 sec		Rastvor ind. deterdženta Komplet alat	Peć za žarenje
	Podmazivanje čančeta i hlad.			Kontinualno na presi SP8
	II izvlačenje čaure			Peć za žarenje
04.	Žarenje čaure na 580°C 1,5 h		Rastvor ind. deterdženta Komplet alat	Namenske kade za površ. prip
	Površ. prip. čaur 5-10 sec			Kontinualno na presi SP8
05.	Podmazivanje čaura i hlad. al		Komplet alat	Peć za žarenje
	III (završno) izvlačenje čaur			Peć za žarenje
06.	Odsecanje na potrebnu meru		Rezni alat	Strug SBM "Herlan"
07.	I i II oblikov. dna čaure (kapisliiranje)		Deformacioni alati za utiskivanje	Presma
08.	Indukciono žarenje vrha čaure		Deformacioni alat za sužavanje	Namenska mašina za indukciono žarenje
09.	Sužavanje čaure na meru $\varnothing 23$ mm		Deformacioni alat za sužavanje	Hidraulička presa tipa "Jeni"
09.	Otpuštanje vrha čaure			Namenska mašina za otpuštanje

ν_ϵ - koeficijent vida naponskog stanja

ϵ - efektivni napon u dN/mm^2

F_n^M - površine priprema i preseka čaura po fazama u mm^2

Pregled izračunatih vrednosti

Faza	ϵ_1	ϵ_2 (-)	ϵ_3 (-)	ϵ_i	ν_ϵ (-)	β'	ϵ_M $\frac{\text{dN}}{\text{mm}^2}$	F_{sa} mm^2	F_o mm^2	F_{iz} KN	
A	Sa.	0,760	0,542	0,218	0,900	0,85	1,08	85	1175	470	500
	I	0,797	0,462	0,335	0,900	0,89	1,04	95	329	132	170
	II	0,524	0,090	0,434	0,840	0,27	1,14	82	295	118	160
									Σ		830
B	III	0,470	0,050	0,420	0,370	0,17	1,14	58	207	83	700
	IV	0,266	0,055	0,211	0,422	0,35	1,13	53	196	79	600
	V	0,262	0,017	0,245	0,439	0,10	1,15	52	193	77	570
	VI	0,322	0,054	0,268	0,521	0,27	1,13	55	190	76	600
									Σ		2470
C	VII	0,274	0,012	0,262	0,465	0,08	1,15	56	180	72	580
	VIII								177	71	550
									Σ		1130

Kao što je iz tabele vidljivo maksimalna potrebna sila izvlačenja iznosi 2470 KN u drugoj fazi (B) procesa. Na osnovu izračunate sile vrše se dalje proračuni deformacionog rada i izbor prese za za proces dubokog izvlačenja. U našem primeru presa SP8 - "Herlan" ima dovoljnu silu i hod za izvlačenje premetne mesingane čaure.

M. Mitrić

BEISPIEL TIEFZIEHENS DER MESSINGHULSE

Zusammenfassung

Für die Erzeugung von Hülisen ist das Umformverfahren primär: Abstreckziehen mit obligatorischen Zwischenphasenglühen und Flächenyorbereitung von Rohteilen als auch Phase der plastischen Formänderung des Hülisenbodens und Verengerung der Hülise. In dieser Arbeit wurde die kurze Übersicht des Definierens gegeben von Formen und Dimensionen von Ziehwerkzeug mit Rücksicht auf die hochverlangende dimensionale Hülisenqualität und Formänderungsvermögen von Messing, von Deformationen und Bieg- und Ziehdeformationskraft.

LITERATURA

- 1 B. C. Свешников, Прогрессивнаја технологија холодној штамповки ЛЕНИЗДАТ 1974.
- 2 М. В. Сторожев и Е. А. Попов, Теорија обработки металлов давлением, МАШГИЗ, Москва 1957.
- 3 V. Vujović, Tehnologija plastičnosti u mašinstvu Ideo, NS 1992.
- 4 B. Musafia, Obrada metala plastičnom deformacijom, SA 1972.
- 5 S. Zivanović, Obrada metala plastičnom deformacijom, BL 1977.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Mitrić

PRILOG ISTRAŽIVANJU PROCESA SUŽAVANJA JEDNODELNIH ALUMINIJUMSKIH AEROSOL DOZA

R e z i m e

Proizvodnja jednodelnih aluminijumskih aerosol doza je veoma kompleksna i osetljiva, počev od prve faze protusmernog hladnog istiskivanja aluminijumskih priprema pa preko tzv. hemijsko-litografske faze prerade odnosno unutrašnjeg i spoljašnjeg lakiranja, štampanja, prelakiranja te pečenja boja i lakova do završne faze oblikovanja kupole i dna doze. Proces sužavanja kupole, doze uz fazu hladnog istiskivanja, je najsloženiji. U radu se daje teorijsko-eksperimentalna analiza faktora procesa, te eksperimentalni način merenja površinskih deformacija.

UVOD

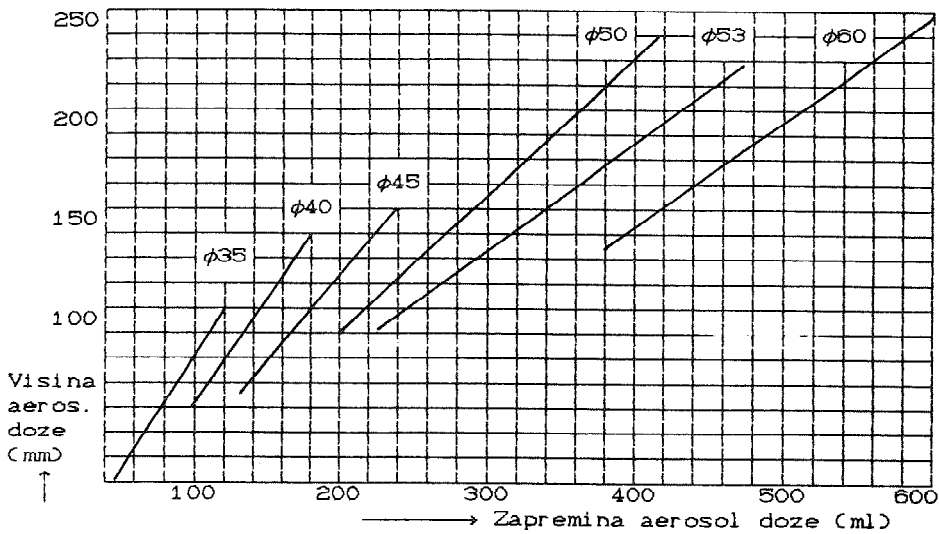
Aluminijumске aerosol doze predstavljaju visokofinalni proizvod masovnog tipa, koji ima veoma široku primenu za pakovanja proizvoda u kozmetičkoj, farmaceutskoj i hemijskoj industriji kao i u industrijama koje proizvode sredstva za zaštitu bilja, pesticide, kozmetiku za domaćinstva, boje i lakove.

Aerosol doze su standardizovane po prečniku, a po visini odnosno zapremini proizvode se prema zahtevima za količinu upakovanog sadržaja. Na sl.1 dat je dijagram za izbor određene visine doze i standardnog prečnika doze na osnovu potrebne zapremine doze. Što se tiče veličina osnovnih mera, spoljašnjeg prečnika, kao i debljina zida i dna doza, tu u evropskim razmerama postoje vrlo neujednačeni kriterijumi. Višegodišnjim iskustvom u proizvodnji kao i stalnim merenjima i statističkim praćenjem dobijeni su optimalni parametri za prečnike, debljine zida i dna, uz uslove:

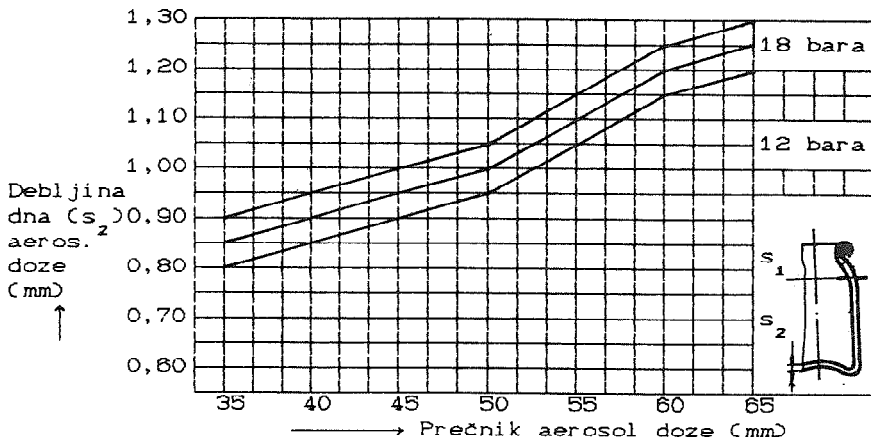
- besprekoran kvalitet doze tj zaštite upakovanog sadržaja sa stanovišta izdržljivosti na potreban radni pritisak doze kao i odgovarajuću mehaničku otpornost na udare i sl.,
- minimalnog utroška aluminijuma kao strateškog materijala, uz istovremeno sniženje cene koštanja i
- maksimalnu trajnost alata za istiskivanje, što takođe donosi tehnoekonomske efekte.

Na sl.2. dat je dijagram za određivanje optimalne debljine dna u funkciji potrebnog radnog pritiska i prečnika aerosol doze. U tabeli 1. date su vrednosti za spoljašnji prečnik (CD) i debljinu zida doze (s_1).

Mr. Milovan Mitrić, dipl. maš. inž., "Aluminka"-Šipovo



Sl.01. Dijagram za određivanje zapremine aerosol doze u funkciji prečnika i visine aerosol doze



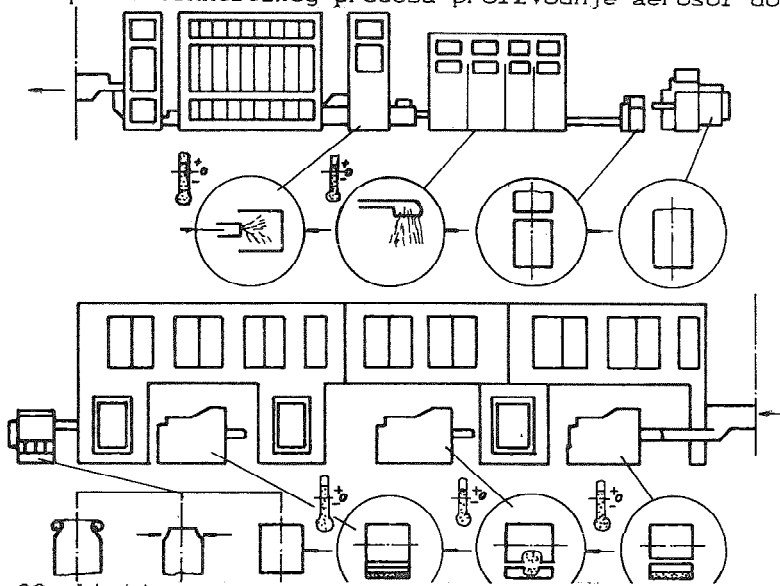
Sl.02. Dijagram za određivanje debljine dna u zavisnosti od prečnika i radnog pritiska aerosol doze

Tabela 1.

Aerosol doza (mm)	Prečnik doze D (mm)+0,04	Debljina zida doze $s_1 + 0,03$
φ 35	34,85	0,37
φ 40	39,85	0,39
φ 45	44,85	0,42
φ 50	49,85	0,44
φ 53	52,85	0,45
φ 55	54,85	0,46
φ 60	59,85	0,49

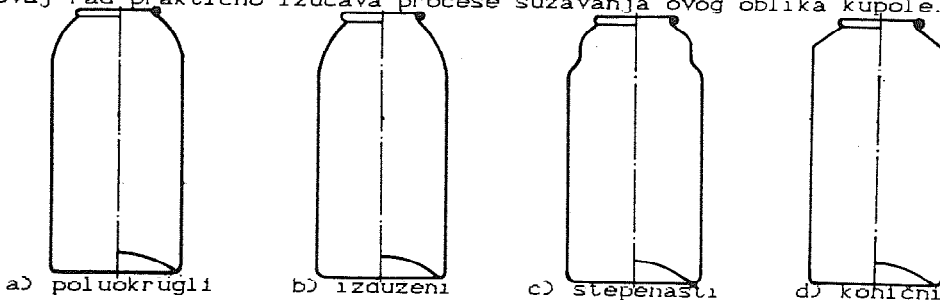
PROIZVODNJA AEROSOL DOZA

S obzirom da je široj stručnoj javnosti ova proizvodnja, zbog svoje specifičnosti, nepoznata daje se šematski prgled linije za proizvodnju aerosol doza sa pripadajućim fazama rada (sl.3), kao i kraćim opisom tehnološkog procesa proizvodnje aerosol doza.



Sl.03. Linija za proizvodnju aerosol doza tipa "Herlan" sa šematskim prikazom faza tehnološkog procesa

Proces proizvodnje aerosol doza se odvija kontinualno: hladno istiskivanje aluminijuma → odsecanje na potrebnu dužinu → pranje, sušenje → unutrašnje lakiranje, pečenje unutrašnjeg laka → spoljašnje lakiranje, pečenje spoljašnjeg laka → stampanje, pečenje, grafičkih boja → prelakiranje, pečenje prelaka → konificiranje. Pod konificiranjem se podrazumeva operacija oblikovanja kupole doze, tehnologijom sužavanja. Posle operacije sužavanja vrši se rolovanje ruba doze. Oblici kupola mogu biti različiti, kao što se vidi na sl.4., što je uslovljeno: vrstom sadržaja, mašinama za punjenje, tradicijom i sl. Međutim, najčešće se proizvode za skoro sva vrsta punjenja doze sa normalnom sferičnom kupolom. Ovaj rad praktično izučava procese sužavanja ovog oblika kupole.



Sl.04. Oblici kupola aerosol doza

SUZAVANJE KUPOLE AEROSOL DOZA

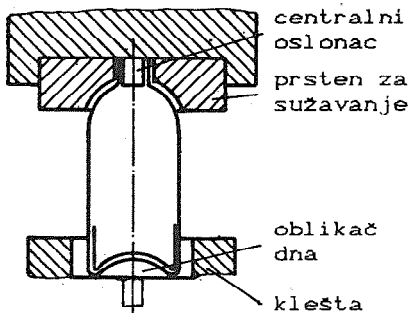
Aerosola je proizvod visoke klase tačnosti i estetskog izgleda. Radi toga su i uslovi, koji moraju biti zadovoljeni u pripremi i izvođenju procesa sužavanja, vrlo strogi. U procesu sužavanja kupole doze ne sme doći do:

- boranja kupole kao ni vidljivih prelaza na kupoli usled višefaznog sužavanja,
- oštećenja ni pucanja i ljuštenja lakova,
- do nejednakog zadebljanja zida kupole izvan tolerisanih vrednosti potrebnih za uspešnu sledeću fazu-rolovanje.

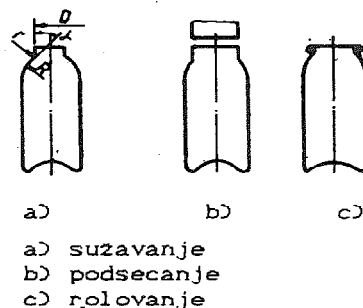
Za ispunjenje navedenih uslova neophodno je obezbediti:

- u pre datim tolerancijama tačnosti (T1) debljinu zida doze (s1)
- alate za sve faze sužavanja; dimenzionisane i izradene u visokoj klasi tačnosti (kaljeni, brušeni i polirani na visok sjaj)
- besprekorno tačnu presu za obavljanje procesa sužavanja.

Sužavanje doza se izvodi na hidrauličkoj vertikalnoj presi tipa "Jeni" sa okretnim radnim stolom opremljenim kleštima za nošenje doza i izbijačima-oblikačima dna doza. Alati za sužavanje kupole pričvršćuju se na ploču pritiskivača prese po krugu i rasporedu koji je saosan sa okretnim stolom i kleštima. Na sl.05. dat je šematski presek alata za sužavanje, a na sl.06. faze sužavnja.



Sl. 05. Presek alata za sužavanje



Sl. 06. Faze sužavanja (uz T2)

Na osnovu navedenih ograničenja, literaturnih podataka i iskustva konstruisani su i izradeni alati za sužavanje za sve standardne prečnike doza (T1), uz odgovarajući proračun faktora procesa (T2). Zbog ograničenja prostora rada, prezentirani su samo najčešće korišteni standardni prečnici doza ($\phi 40$, $\phi 50$ i $\phi 60$ mm). Pored kompletnog proračuna datog u T2, rađenog po [1], izračunate su i komponente kao i efektivne deformacije i naponi koje su poredene sa eksperimentalno utvrđenim. Eksperimentalno dobijeni rezultati su u potpunoj saglasnosti sa teorijskim.

Vrednosti iz tabele 2. su dobijene po [1] i [2] i imaju značenje: -D (mm); d (mm); r (mm); R (mm); s (mm); α (°) - sa slike sl. 05. Obrasci za proračun veličina za tabelu 2. prema [1] i [2] su:

$$s = s \cdot \sqrt{(D/d)} \text{ (mm)}; \quad \alpha = -\frac{a}{Rr} + \frac{r}{R} \text{ (}^\circ\text{)} - a = 5,1; Rr = 27,5; \text{ Za Al-K} \epsilon r = \frac{K_0 + K_1}{2};$$

$$\epsilon_1 = \epsilon_\theta = -K \epsilon r = 9,5 \text{ (dN/mm}^2\text{)}; \quad \epsilon_2 = \epsilon_\rho = -\frac{K \epsilon r}{2} (1 + \mu \text{ctg} \alpha) (1 - \frac{R}{r}) (1 + \frac{R}{r})$$

$$\epsilon_H = \epsilon_\rho = -\frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\epsilon_2 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2} \text{ (dN/mm}^2\text{)}; \quad m = D/d; \phi_3 = \ln(s/s');$$

Tabela 2.

F a k.	Faze sužavanja									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
l	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
D	36,05	32,55	29,45	27,60	26,55					
	45,50	41,50	37,80	34,55	31,55	29,25	26,85			
	55,20	51,00	47,00	43,40	40,15	37,15	34,40	31,90	29,50	27,50
d	36,63	32,11	28,99	27,12	26,06					
	45,01	40,99	37,27	34,00	30,98	28,66	26,24			
	54,63	50,41	46,39	42,77	39,50	36,48	33,71	31,19	28,77	26,75
R	12	10	7	5	2					
	18	14	12	10	7	5	3			
	22	20	18	16	14	12	10	8	6	3
r	18,03	16,28	14,73	13,80	13,28					
	22,51	20,50	18,64	17,00	15,50	14,33	13,12			
	27,32	25,21	23,20	21,39	19,75	18,24	16,86	15,60	14,39	13,38
s	0,42	0,44	0,46	0,48	0,49					
	0,49	0,51	0,53	0,55	0,57	0,59	0,61			
	0,57	0,59	0,61	0,63	0,65	0,67	0,69	0,71	0,73	0,75
α	24	33	40	44	46					
	23	32	38	43	47	50	52			
	22	30	37	42	46	49	52	55	57	59
m	0,900	0,900	0,900	0,937	0,961					
	0,912	0,912	0,910	0,914	0,913	0,927	0,918			
	0,922	0,923	0,921	0,923	0,925	0,925	0,925	0,927	0,924	0,932
ρ	0,847	1,400	1,070	0,687	0,220					
	1,066	1,005	0,996	0,927	0,945	0,786	0,884			
	0,975	0,895	0,890	0,853	0,824	0,817	0,804	0,785	0,811	0,730
e	9,105	8,884	9,015	9,175	9,392					
	9,01	9,01	9,04	9,07	9,06	9,13	9,08			
	9,05	9,08	9,08	9,10	9,10	9,10	9,12	9,13	9,19	9,15
ω	195	192	193,4	195,8	198,6					
	194	196	195	194	194	195	190			
	194	195	195	195	195	195	195,5	195,5	198	195,7
φ _a	0,048	0,047	0,043	0,043	0,021					
	0,042	0,040	0,038	0,037	0,036	0,034	0,033			
	0,036	0,034	0,033	0,032	0,031	0,03	0,028	0,027	0,027	0,027
φ ₁	0,074	0,116	0,117	0,067	0,020					
	0,093	0,094	0,095	0,092	0,093	0,078	0,088			
	0,082	0,080	0,083	0,081	0,079	0,079	0,079	0,078	0,080	0,073
φ _i	0,072	0,102	0,103	0,065	0,024					
	0,083	0,083	0,084	0,081	0,081	0,070	0,077			
	0,073	0,071	0,073	0,069	0,069	0,068	0,069	0,067	0,069	0,063
c ₁	1,023	1,025	1,026	1,017	1,010					
	1,022	1,024	1,024	1,023	1,020	1,022				
	1,021	1,020	1,021	1,020	1,020	1,020	1,020	1,019	1,020	1,018
c ₂	0,436	0,438	0,445	0,555	0,720					
	0,460	0,459	0,456	0,465	0,463	0,510	0,479			
	0,490	0,496	0,488	0,495	0,500	0,502	0,505	0,511	0,502	0,531
c ₃	37,1	34,2	31,1	29,0	27,2					
	46,3	43,1	39,8	36,7	33,2	30,9	27,4			
	56,2	53,1	50,0	46,9	43,8	40,6	37,6	34,6	31,5	28,2

Sledi nastavak tabele T2 na sledecoj strani.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
F _c	50,5	47,0	42,1	31,2	24,8					
	61,2	56,0	51,5	46,2	42,4	35,6	35,0			
	69,4	63,4	59,5	54,2	49,5	45,8	42,3	38,8	36,6	32,2
F _s	10,9	13,3	18,8	26,7	65,4					
	13,9	16,0	18,6	22,2	30,8	43,0	47,5			
	16,6	18,5	20,7	23,3	26,4	30,4	35,8	43,7	56,0	105,8
F _u	61,4	60,2	60,9	57,9	90,2					
	75,1	72,1	70,2	68,4	73,3	78,7	82,6			
	85,9	81,9	80,2	77,5	76,0	76,3	78,0	82,4	92,7	138,0

$$\cos \omega_6 = \frac{(G_1 - G_2) + (G_2 - G_3)}{2GH}; \omega_6 (^{\circ}); \phi_1 = \ln \frac{R}{r} - (D/d); \phi_2 = \sqrt{\frac{2}{3}} \sqrt{\phi_1^2 + \phi_3^2}$$

$$c_1 = \frac{1}{2} (1 + D/d); c_2 = \mu \sqrt{\frac{4R_1}{D-d}} + \frac{S}{4R_1}; c_3 = d + r_M (1 - \cos \alpha); F_u = F_c + F_s;$$

$$F_c = \pi \cdot D \cdot K_{sr} \cdot (1 - d/D) \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot (dND); F_s = 1,82 K' \cdot \frac{S^2}{r_M} \cdot c_3 \cdot (dND).$$

Ukupna deformaciona sila prese za obavljanje procesa sužavanja, je prost zbir sila dobijenih proračunom po svim fazama sužavanja pomnožena sa dva, jer se vrši istovremeni proces sužavanja na dve doze i iznosi za dozu - $\phi 40$ - 860 (dND)
 - $\phi 50$ - 1040 (dND)
 - $\phi 60$ - 1740 (dND).

Na sl.07. dat izgled centralnog oslonca alata za sužavanje sa merama (tabela 3.), po profilima doza, korištenih u eksperimentu, a na sl.08. oblik prstena za sužavanje sa funkcionalnim merama (tab.4). Inače alatima se, uz povremena poliranja koja su nužna zbog skidanja naslaga lakova i aluminijuma, ovako dimenzionisanim postiže i do sto miliona prolaza. Date mere alata su dobijene nizom eksperimentalnih provera, merenjem deformacija i napona pomoću nanesenih koordinatnih mernih mreža sa krugovima prečnika $\phi 5$ mm na deformacionu zonu sužavanja tj na kupolu doze. Deo uspešno oblikovanih uzoraka, po fazama sužavanja uključujući i fazu podrezivanja i rolovanja, prikazan je na sl.09.

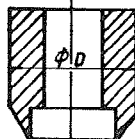


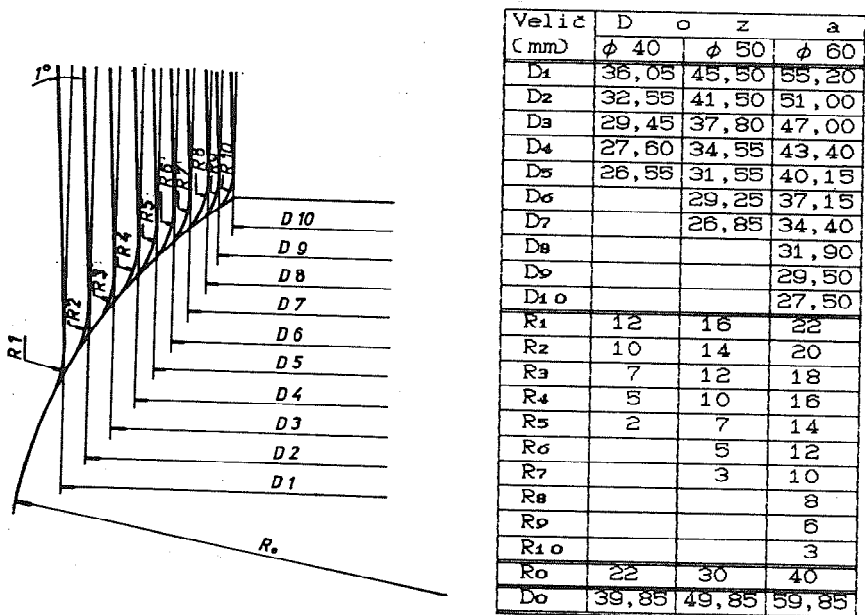
Tabela 3.

	Faza sužavanja									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
D	35,05	31,50	28,30	26,30	25,25					
mm	44,15	40,20	36,50	33,20	30,15	27,80	25,30			
	53,90	49,65	45,60	41,90	38,55	35,45	32,60	30,00	27,50	25,40

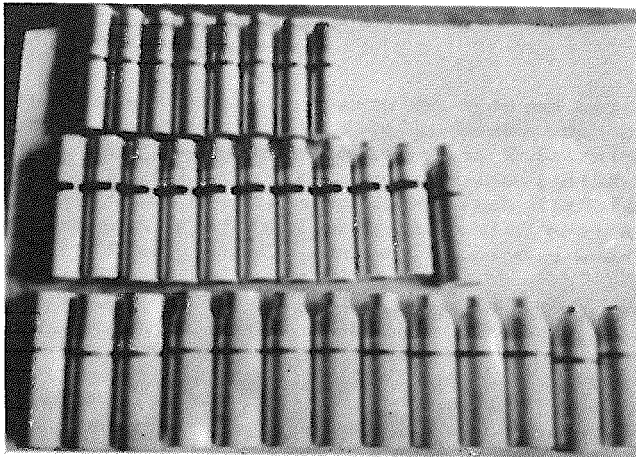
Sl.07. Oblik i funkcionalna mera centralnog oslonca alata

EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Pre izvođenja eksperimenta, na zonu sužavanja doze-kupolu nanešene su koordinatne merne mreže. Merne mreže su nanešene ofset tehnikom na mašini za stampanje, na kojoj se inače doze stampaju i u redovnoj proizvodnji, sa za ovaj eksperiment posebno urađenim klišeima. Koordinatna merma mrežu čine krugovi prečnika $\phi 5$ mm.



Sl.08. Profil prstena za sužavanje kupole doze (tabelarni prikaz)



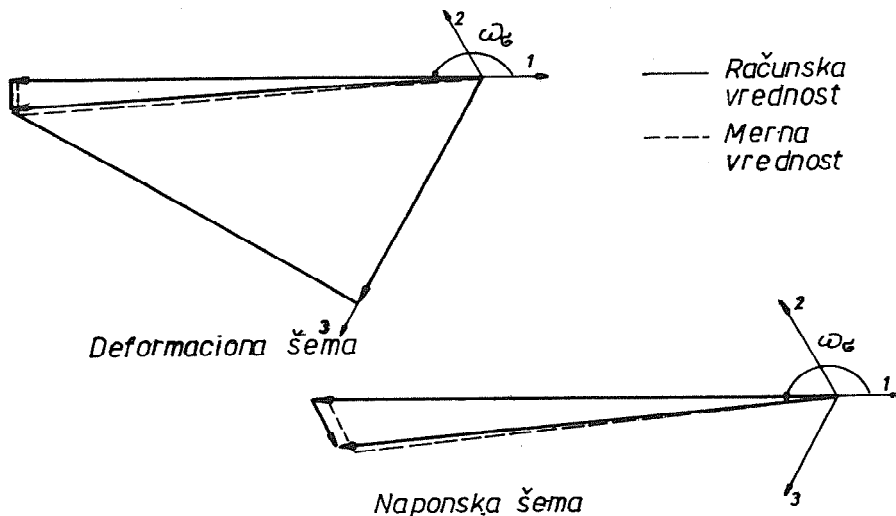
Sl.09. Deo uspešno oblikovanih doza

Doze sa nanešenom mernom mrežom na kupoli, oblikovane su po fazama alatima za sužavanje na hidrauličkoj presi tipa "Jeni". Deformacijom kupole, naravno deformisala se i merna mreža. Krugovi su primili oblik elipse. Merenjem, pomoću lupe, osa elipsi posle svake faze sužavanja lako se prema 3 izračunaju logaritamske deformacije po obrascima:



$$\phi_1 = \ln(d_1/d_0) \text{ i } \phi_2 = \ln(d_2/d_0).$$

Na osnovu tako dobijanih rezultata, te merenjem zadebljana zida suženih doza, vršene su korekcije mera alata za sužavanje do dobijanja optimalnih vrednosti predstavljanih na slikama 7. i 8. Uvažavajući predviđeni prostor za obim rada, deo rezultata merenja zgodno je predstaviti u kosougloznom koordinatnom sistemu sl.10.



Sl.10. Naponi i deformacije pri procesu sužavanja

ZAKLJUČAK

Eksperimentalno merenje deformacija, pomoću mernih mreža na način opisan u radu veoma je efikasno i pouzdano. Metoda se uspešno može koristiti i pri rešavanju drugih sličnih problema. Analizom teorijskih i eksperimentalnih rezultata i primenom teorijskih i praktičnih dostignuća tehnologije plastičnosti, te uvažavajući granične uslove za nivo kvaliteta doze, dobila se optimalna varijanta procesa sužavanja aluminijumskih aerosol doza.

BEITRAGE ZUR FORSCHUNG DES VERENGUNGSPROZESSES DER ALUMINIUMAEROSOL DOSEN

Die Produktion der einteiligen Aluminiumaerosoldosen ist sehr umfassend und empfindlich, von der ersten Phase des gegenrichtigen kalten Ausstosen von Aluminiummustern, über sog. chemisch-litographische Phase, der Verarbeitung bzw. Innen- und Aussenlackieren, Drucken, Überlackieren und Basken von Farben und Lacken, bis zur Endphase der Kuppel- und Dosegrundgestaltung. Der Prozess der Kuppelverengerung, ist neben der Kaltausstossenphase, der umfassendste. In der Arbeit wird die theoretisch-experimentale Analyse der Prozessfaktoren und experimentale Messenart von Oberflächen-deformationen gegeben.

LITERATURA

- [1] М. В. Сторожев и Е. А. Попов, Теорија обработки металлов давлением, МАШГИЗ, Москва 1957.
- [2] B. Musafia, Obrada metala plastičnom deformacijom, SA 1972.
- [3] V. Vujović, Tehnologija plastičnosti u mašinstvu Ideo, NS 1992
- [4] S. Zivanović, Obrada metala plastičnom deformacijom, BL 1977.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Mitrić
M. Sljivić

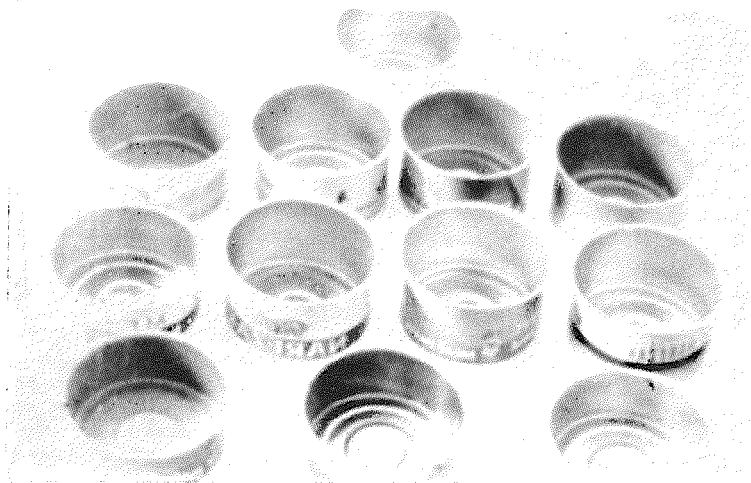
ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA KONTAKTNOG TRENJA KOD DUBOKOG IZVLAČENJA ALUMINIJUMSKIH I BELIH LIMOVA

Re z i m e

U radu se daje postupak određivanja koeficijenta kontaktnog trenja kod procesa dubokog izvlačenja tankih aluminijskih i belih limova. Merenjem sile izvlačenja, procesa dubokog izvlačenja bez primene držača lima ($F_{dr}=0$), kao i pogodnom transformacijom izraza za silu izvlačenja došlo se do vrednosti koeficijenta kontaktnog trenja za različito korištena sredstva za podmazivanje.

UVOD

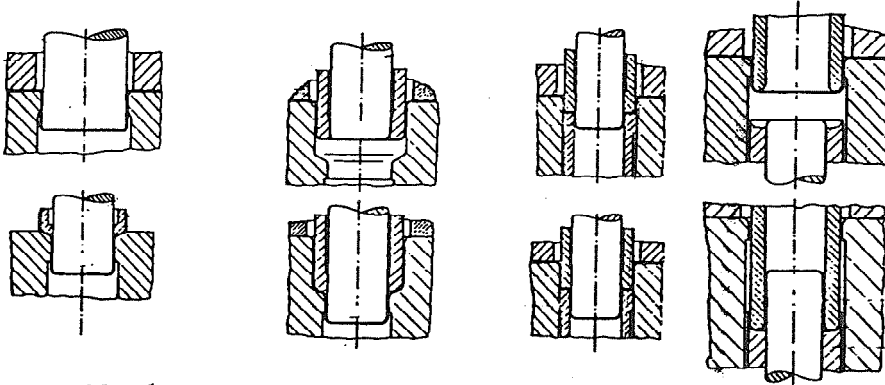
Reč je o merenju koeficijenta kontaktnog trenja pri procesu dubokog izvlačenja tankih aluminijskih limova i traka kao i tzv belih limova, koji se koriste za izradu limenki za prehrambenu industriju: klaničku (sl. 1), riblju, industriju voća i povrća i sl. Naravno da su oblici limenki različiti: okrugli (sl. 1), elipsasti, pravougaoni i mandolina u cilindričnim i koničnim izvedbama.



Sl. 01. Limenke iz aluminijskog i belog lima

Mr. Milovan Mitrić, dipl. maš. inž., "Aluminka"-Sipovo
Dr. Milan Sljivić, V. prof., Mašinski fakultet Banja Luka

U zavisnosti od tehnološkog nivoa i tipa presa za izvlačenje te potrebnog graničnog stepena preoblikovanja (gr₀) i kvaliteta alu i belih limova razvijeni su i primenjuju se različiti vidovi po stupaka dubokog izvlačenja kao što je predstavljeno na sl.2.



Sl.02. Sematski prikaz postupaka dubokog izvlačenja tankih aluminijumskih i belih limova

U radu je vršeno istraživanje, primenom konvencionalnog modela.

MATERIJALI ZA IZRADU LIMENKI

Za izradu limenki koriste se aluminijumski i beli limovi. Zbog niza povoljnijih osobina aluminijumu se daje prednost a sa zbog cene ravnopravno je zastupljen i beli lim.

Aluminijumski limovi

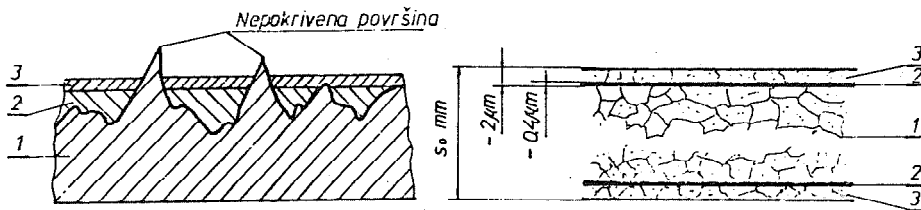
Opšta karakteristika aluminijumskih limova je da su legure na bazi Mg i Mn uz eventualni dodatak Cr, Si i Cu te drugih elemenata u sadržaju do 0,5%. Reč je uglavnom o sledećim legurama: AlMg_{2,5}; AlMg₃; AlMg₁Mn₁; AlMn_{0,5}Mg_{0,5}; AlMn_{0,6}; AlFeSi i sl. Pored hemijskog sastava i stanje legure je limitirajući faktor za stepen preoblikovanja. Al-limovi se proizvode i isporučuju u polutvrdom (H14 i H24) i tvrdom (H28, H18, H19) stanju.

Al-limovi se radi zaštite od korozije hemijski tretiraju-hromatizuju i lakiraju lakovima na bazi epoksi-fenolnih smola. Masa nanosa lakova je 3-5 gr/m² za spoljašnu stranu i 5-7 gr/m² laka za unutrašnju stranu lima. Al-limovi za ovu namenu moraju biti A klase, tj bez perforacija, pukotina, ljuski, mehurica, strani uključaka, brazdi, deformacija, proizvoda korozije, jer i zaštita lakovima nije, s obzirom na debljinu laka, nije totalna tako da redovno ostaje određen broj nepokrivenih mesta tzv špiceva. Izbor legure, stanje kvaliteta i debljine lima zavisan je od: oblika, mera, namene i uslova dubokog izvlačenja limenki.

Beli limovi

Beli limovi su definisani kao hladnovaljani limovi od niskougljeničnog čelika (Č0147 i Č0148) čije su obe strane presvučene kalajem koji je nanet elektrolitičkim putem. Kalaj štiti čelik od korozije te istovremeno daje limu povoljnu površinu pogodnu za lakiranje i litografiju. Nanos mase kalaja kreće se od 2,8-11,2 gr/m² lima i u funkciji je potrebnog stepena zaštite upakovanog sadržaja. Norme masa nanosa lakova nešto su veće nego za aluminijumske limove. I kod belih limova ostaje određen broj nepokrivenih mesta tj špiceva (sl.3). Presek belog lima dat je na

sl.4. Kvalitet belog lima je određen kvalitetom čelične osnove i načinom čarjenja i izražava se u temperima koji predstavljaju kompleksnu vezu međusobno zavisnih mehaničkih, tehnoloških kao i strukturnih osobina. Za duboka izvlačenja primenjuju se limovi od 46-58 HR 30 T, tj limovi T50 i T52.



Sl.03. Presek jednostrano lakiranog belog lima
1. Čelična osnova
2. Kalajna prevlaka
3. Prevlaka laka

Sl.04. Presek belog lima
1. Čelična osnova
2. Legura FeSn2
3. Slobodni kalaj

KONTAKTNO TRENJE-NAČINI I SREDSTVA ZA PODMAZIVANJE LIMOVA

Spoljašnje trenje koje se javlja u procesu dubokog izvlačenja limova igra veoma značajnu ulogu na veličinu sile izvlačenja i stepen preoblikovanja. Pored velikog uticaja kvaliteta i čistoće kontaktnih površina, kvalitet i količina sredstva za podmazivanje lokacija mesta nanošenja kao i način nanošenja ima presudan uticaj na silu izvlačenja i stepen preoblikovanja.

U procesima dubokog izvlačenja tankih al-limova i belih limova primenjuju se sledeći načini podmazivanja:

1. direktnim putem: spricanjem ili namakanjem ulja ili emulzije,
2. indirektno: prethodnim podmazivanjem lima tzv parafinisanjem i
3. Dodavanjem sredstava u lak u fazi lakiranja lima.

Koji će od načina biti primenjen zavisi pre svega od raspoložive opreme i vrste sredstva, kao i potrebnih efekata podmazivanja.

Najčešće je u primeni direktno podmazivanje spricanjem.

Kao sredstva za podmazivanje u industrijskoj praksi za ove namene koriste se ulja na bazi: parafina, vazelina i lana te lakodisparljiva sredstva medicinski benzin i slične emulzije.

Iz kratko opisanog značaja uticaja ternja u procesima dubokog izvlačenja opisanih tankih limova i traka a radi utvrđivanja nominalne vrednosti koeficijenta kontaktnog trenja bitnog za teorijske proračune prišlo se eksperimentalnom određivanju istog.

EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE KOEF. KONTAKTNOG TRENJA

Analizirajući izraz za proračun sile izvlačenja 1 ,

$$F_{iz} = \pi \cdot d_s \cdot s_o \left[\left(1,1 K_{sr} \ln \frac{D}{d_s} + \frac{2\mu F_{dr}}{\pi d_s s_o} \right) \cdot e^{\frac{\mu \pi}{2}} + K_{sr} \frac{s_o}{2 r_p + s_o} \right] \quad (1)$$

došlo se do zaključka da je jednačina (1) rešiva po μ ako se za silu držanja (F_{dr}) stavi vrednost 0, tj ako se proces odvija bez upotrebe držača lima ($F_{dr}=0$). Na taj način izbegnuto je složeno i neprecizno rešavanje kvadratne jednačine po μ . Rešavajući jedna-

činu (1) po μ , dobijamo jednačinu (2) za izračunavanje koefic. kontaktnog trenja μ .

$$\mu = \frac{2}{\pi} \cdot \ln \left[\frac{\frac{F_{iz}}{d_o \cdot \pi \cdot s_o} - \frac{s_o}{K_{sr} \cdot 2 \cdot r_p + s_o}}{K_{sr} \cdot 1,1 \cdot \ln \frac{D}{d_s}} \right] \quad (2)$$

gde su: F_{iz} - sila izvlačenja

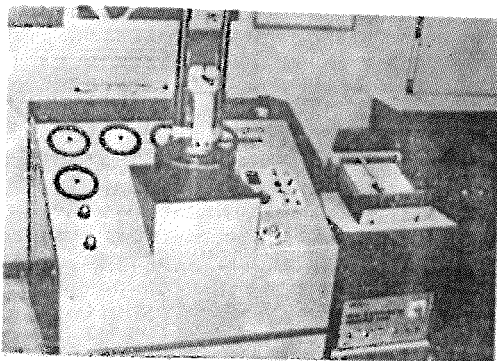
K_{sr} - srednji deformacioni otpor lima

s_o - debljina lima

d_o, D, d_s i r_p - geometrijske vrednosti (vidi sl.7)

Merenje sile izvlačenja

Izvlačenja uzoraka lima vršeno je na univerzalnoj mašini tipa "Eriksen"-model 142 čiji je izgled prikazan na sl.5 sa alatom prečnika izvlačenja $d_o = 33$ mm čiji je presek dat na sl.6. Na Eriksen uređaju je vršeno i direktno očitavanje sile izvlačenja



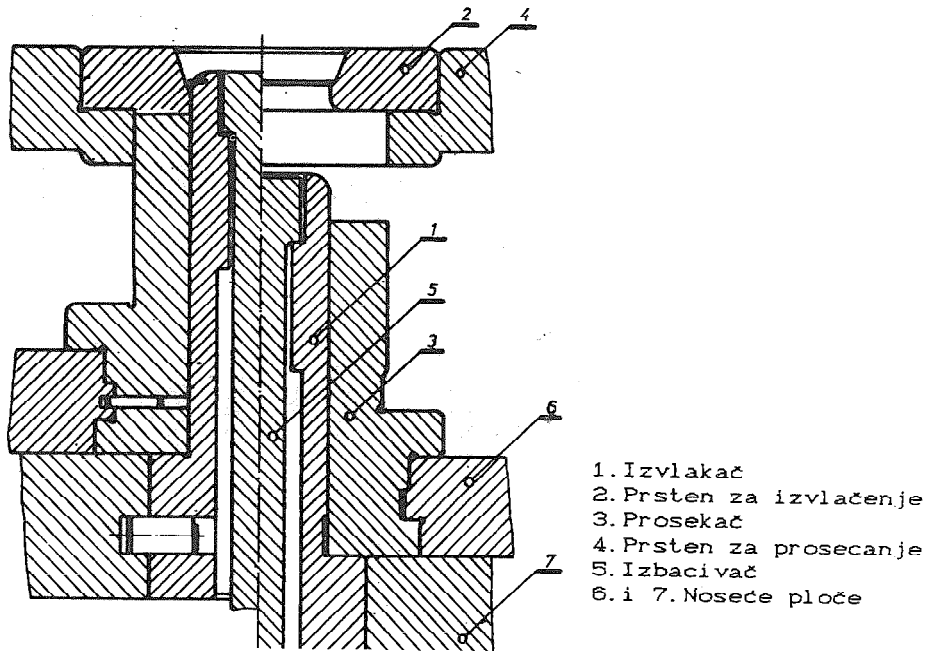
Sl.05. Univerzalna mašina za ispitivanje "Eriksen"-model 142

Uslovi izvlačenja

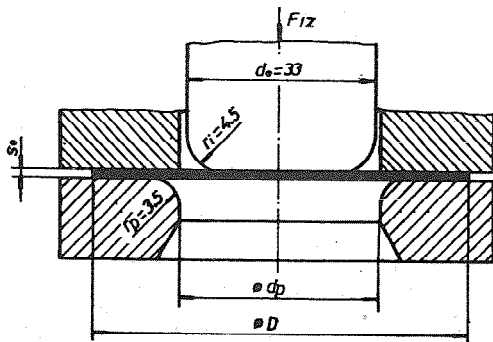
Izvlačenje je vršeno prema uslovima datim na sl.7 sa dve vrste lima i tri različita sredstva za podmazivanje. Za stepene preoblikovanja uzete su dovoljno sigurne veličine za odabrani lim. Aluminijski lim uzet je iz redovne proizvodnje, a lim je domaćeg proizvođača Valjaonice aluminijuma Sevojno. Reč je o limu iz legure AlMg2,5Cr polutvrdog stanja (H24), hemijski pripremljenom i obostrano lakiranom odgovarajućim lakovima.

Beli lim je takođe uzet iz redovne proizvodnje. Proizveden je u "Zorka-Beli limovi" Sabac. Kvalitet lima je E1T2, izrađen iz Č.0148, obostrano lakiran epoksifenolnim lakovima. Izabrani limovi imaju odlična mehaničko-tehnološka i strukturna svojstva.

Podmazivanje je vršeno ručno sa dva sredstva za podmazivanje : parafinskim uljem iz redovne proizvodnje i mašću. Međutim i lak na limu se može posmatrati, uslovno rečeno, kao sredstvo za podmazivanje jer je velika razlika u kliznim svojstvima između lakiranog i nelakiranog lima. Podmazivanje mašću vršeno je iz razloga približnog rezultata i efekata kao i parafinisanje. Za stepene preoblikovanja uzete su dve vrednosti $\beta = 1,94$ i $2,08$ odnosno prečnici pripremača iznosili su $D = 64$ i 68 mm. Geometrija alata čiji je izgled dat na sl.7 nije menjana. Ranije je rečeno pri izvlačenju nije korišćen držač lima ($F_{dr} = 0$).



Sl. 06. Presek alata za duboko izvlačenje na Eriksen uređaju

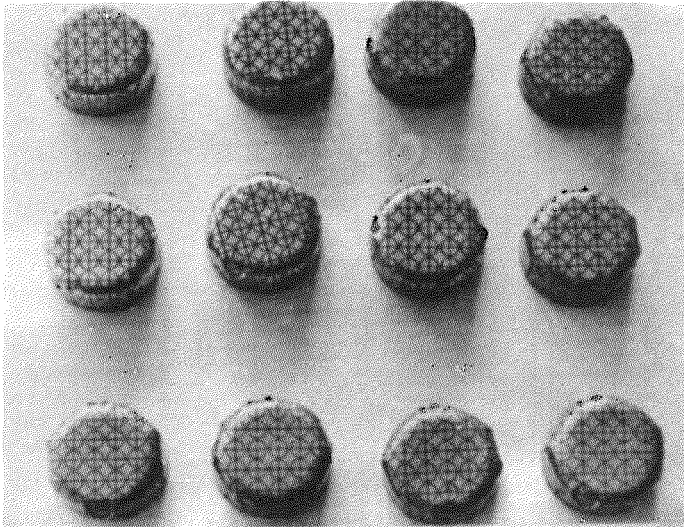


	M A T E R I J A L	
	AlMg2,5Cr	Beli lim
s ₀	0,27	0,22
d _p	33,60	33,50
d _s	33,27	33,22

Sl. 07. Geometrijske veličine alata za izvlačenje i debljine lima. Iz eksperimenta deo rezultata merenja i proračun koeficijenta kontaktnog trenja po jednačini 2 daje se u tabeli 1.

Tabela 1.

Materij.	Sred. za podmaz.	D mm	Fiz daN			Koeff. kont. tr. μ			$\bar{\mu}$	μ
			1	2	3	1	2	3		
AlMg ₂ , 5Cr	Mast	64	555	555	555	0,039	0,039	0,039	0,04	0,04
		68	615	615	610	0,042	0,042	0,037	0,04	
	Parafin ulje	64	570	575	575	0,057	0,063	0,063	0,06	0,06
		68	630	635	630	0,059	0,063	0,059	0,06	
	Bez podmaz.	64	595	590	590	0,080	0,080	0,080	0,08	0,08
		68	655	650	650	0,084	0,079	0,079	0,08	
Beli lim	Mast	64	665	670	670	0,036	0,042	0,042	0,04	0,04
		68	750	745	750	0,042	0,038	0,042	0,04	
	Parafin ulje	64	695	690	690	0,065	0,060	0,060	0,06	0,06
		68	770	770	770	0,059	0,059	0,059	0,06	
	Bez podmaz.	64	710	710	710	0,079	0,079	0,079	0,08	0,08
		68	800	795	795	0,084	0,080	0,080	0,08	



Sl. 08. Deo uzoraka al i belog lima iz eksperimenta

Može se zaključiti da se izmereni koeficijenti trenja kreću od 0,04 do 0,08 i najmanji su sa podmazivanjem mašću, što je sasvim logično. Sa sigurnošću se može preporučiti, pri korišćenju para finskih, lanenih i vazelinskih ulja te sličnih emulzija i lako isparljivih tečnosti, u proračunima srednja vrednost koeficijenta kontaktnog trenja $\mu = 0,06$.

BESTIMMEN VON REIBZAHLE BEI TIEFZIEHEN VON ALU UND WEISSBLECH Z u s a m m e n f a s s u n g

In der Arbeit wird das Verfahren der Reibzahlbestimmung beim Tiefziehenprozess von Aluminium und Weissblechen gegeben.

Durch die Messung der Kraft beim blechhalterlosen Tiefziehen ($F_{ar}=0$) und adäquate Transformation des Ausdrucks für die Ziehkraft sind wir zu den Reibzahlwerten für verschiedene Schmiermittel gekommen.

LITERATURA

- 1 M. Mitrić, Magistarski rad, Mašinski fakultet, BL 1993.
- 2 V. Vujović, Tehnologija plastičnosti u mašinstvu Ideo, NS 1992

*M. Plančak, V. Vujović, D. Vilotić**

NOVI POSTUPCI HLADNOG ISTISKIVANJA

Rezime

Trenutni razvoj tehnologije hladnog istiskivanja okarakterisan je, izmedju ostalog, intenzivnim istraživanjima novih vidova ove tehnologije. Pored već klasičnih, osvojen je ili je u fazi osvajanja jedan broj novih vidova ove tehnologije, što otvara nove mogućnosti za njenu primenu.

U ovom radu prikazan je deo širih istraživanja u okviru kojih su istraživana dva nova postupka hladnog istiskivanja: radijalno istiskivanje i suprotno-smerno istiskivanje kvadratnih poprečnih preseka.

1. UVOD

Tehnologija hladnog istiskivanja pruža, u određenim uslovima, niz prednosti u poređenju sa konkurentnim tehnologijama: smanjenje utroška materijala, visoka tačnost delova, povišene mehaničke osobine obradka u odnosu na pripremak, kratko vreme izrade i dr.

Evidentan je intenzivan dalji razvoj ove tehnologije. Ovaj razvoj se odvija u nekoliko pravaca od kojih su najznačajniji:

- povećanje tačnosti obradka razvojem tzv. "net shape forming" koncepta
- povećanje tačnosti i postojanosti alata za istiskivanje (CAD/CAM, novi materijali...)
- proširenje primene ove tehnologije na veći broj različitih materijala kao i povećanje kompleksnosti geometrijskih oblika obradaka.

U literaturi su najčešće, kada je reč o hladnom istiskivanju, obrađeni "klasični" slučajevi: istosmerno i suprotnosmerno istiskivanje kružnih preseka. Može se reći da za ove procese postoje zadovoljavajuće teoretske i praktične podloge koje

**) Dr Miroslav Plančak vanr. prof., dr Vlado Vujović red. prof. dr Dragiša Vilotić vanr. prof., Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića Valtera 2*

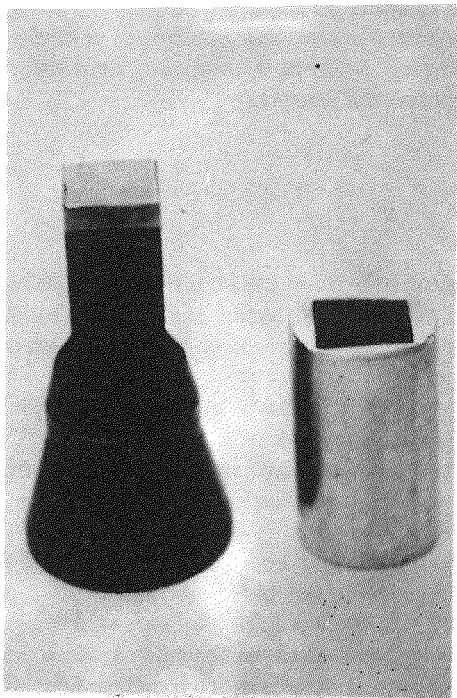
omogućavaju njihovu uspešnu primenu. U novije vreme uočljivi su napori da se primena ove tehnologije proširi pa su tako razvijeni ili su u fazi razvoja novi vidovi istiskivanja: radijalno istiskivanje, orbitalno istiskivanje, istiskivanje aksijalno nesimetričnih preseka, istiskivanje zupčanika i dr.

U ovom radu prezentiran je jedan deo širih istraživanja dva nekonvencionalna procesa istiskivanja: suprotno-smerno istiskivanje četvrtastih preseka i radijalno istiskivanje. Istraživanja su provedena u Laboratoriji za Tehnologiju Plastičnosti na Fakultetu Tehničkih Nauka u Novom Sadu.

2. ISTISKIVANJE OTVORA ČETVRTASTOG PRESEKA

Suprotnosmerno istiskivanje otvora četvrtastog preseka koristi se za izradu elemenata alata, metalne galanterije, elemenata u mašingradnji i dr. Osnovna prednost dobijanja ovakvih delova istiskivanjem je velika ušteda materijala, brzo vreme izrade i poboljšanje mehaničkih osobina obradka. Eksperimentalna istraživanja izvršena su sa materijalom Č 1221 čija je kriva efektivnog napona

određena u klasičnom Rastegajev testu i ima oblik: $\sigma_e = 660 \cdot \varphi^{0,23}$ [MPa]



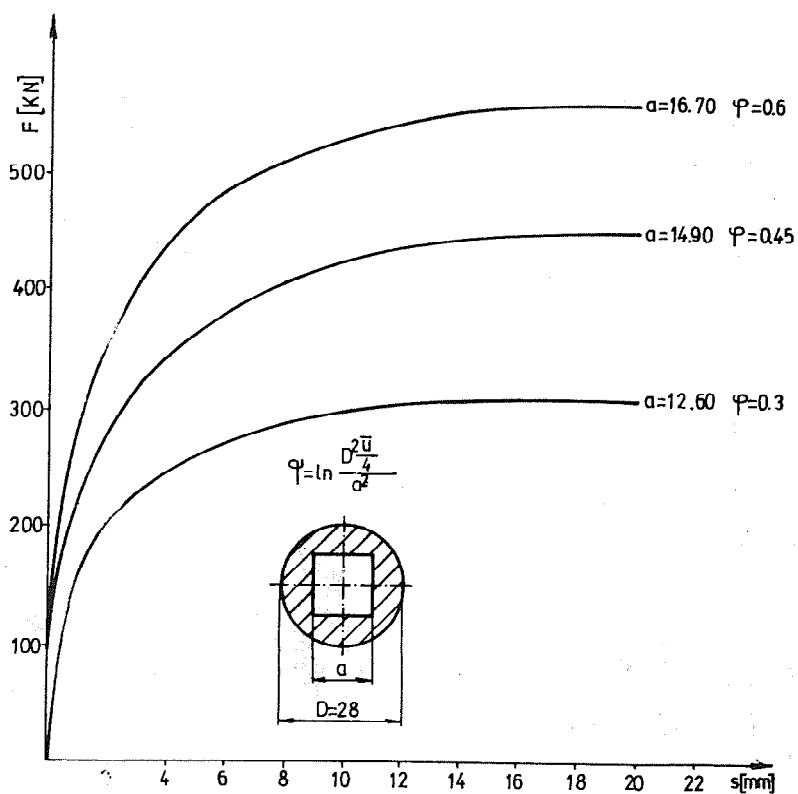
Sl.1. Žig i obradak sa kvadratnim presekom

Podaci o eksperimentu:

- dimenzije priprema : $\phi 28 \times 28$ mm
- strenica preseka radnog dela žiga: $a=12,60$ mm, $14,90$ mm i $16,70$ mm (tri nivoa),
- podmazivanje: mašinsko ulje,
- alat: specijalno konstruisan i izrađen,
- mašina: hidraulična presa od 6300 kN,
- brzina istiskivanja: 5mm/sec.

Obradak i žig sa kojim je taj obradak dobijen prikazani su na slici 1.

Tok deformacione sile za vreme procesa bio je registrovan pomoću instrumenta koji je integralni deo mašine. Na sl. 2 prikazan je tok sile za tri različite veličine deformacije tj. tri različita žiga.



Sl. 2 Tok deformacione sile

3. RADIJALNO ISTISKIVANJE

Po definiciji, radijalno istiskivanje je postupak kod kojeg materijal u toku procesa istiskivanja teče normalno u odnosu na pravac kretanja alata. Ovako široko definisan proces obuhvata više pod-varijanti. Detaljna klasifikacija postupaka radijalnog istiskivanja data je u /3/.

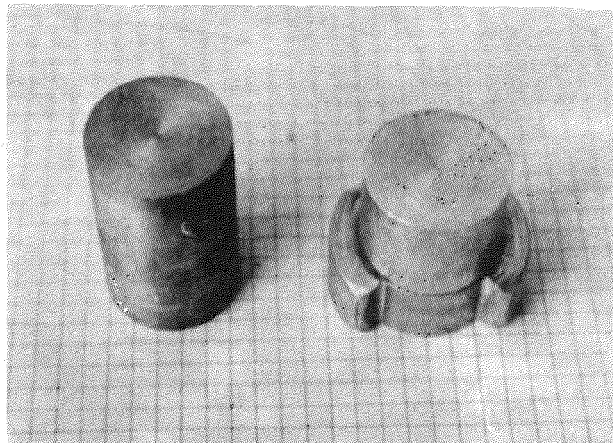
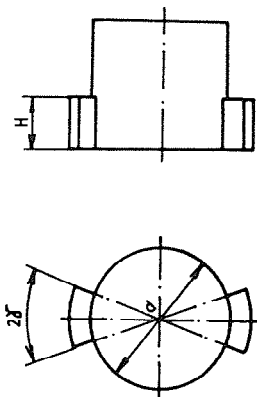
U ovom radu prikazan je proces radijalnog istiskivanja kod kojeg se iz cilindričnog pripremk dobija deo sa dva bočna segmenta pod uglom (sl.3). Teoretska istraživanja procesa izvršena su metodom gornje granice /1/. Polazeći od osnovnog principa ove metode dobijen je izraz za veličinu deformacione sile i srednjeg pritiska na žig.

$$L < L_1 + L_2 + L_3 = \frac{2\sigma_e}{\sqrt{3}} \int_V \sqrt{1/2 \epsilon_{ij} \epsilon_{ij}} dV + \int_{A_s} \tau_s (dv) dA_s + \int_{A_R} \tau_R (dv) dA_R \quad (1)$$

gde je:

- ϵ_{ij} - brzina deformacije,
- σ_e - efektivni napon,
- τ_R - napon usled trenja,
- L_1 - snaga čistog deformisanja,
- L_2 - snaga koja se troši na diskontinuitetima,
- L_3 - snaga koja se troši na spoljnje trenje

- τ_s - smičući napon između pojedinih zona zapremine,
- A_s - površina diskontinuiteta,
- A_R - površine spoljnjeg trenja,
- V - brzina kretanja alata
- A - površina čela žiga



Sl. 3 Radijalno istiskivanje, pripremk i obradak

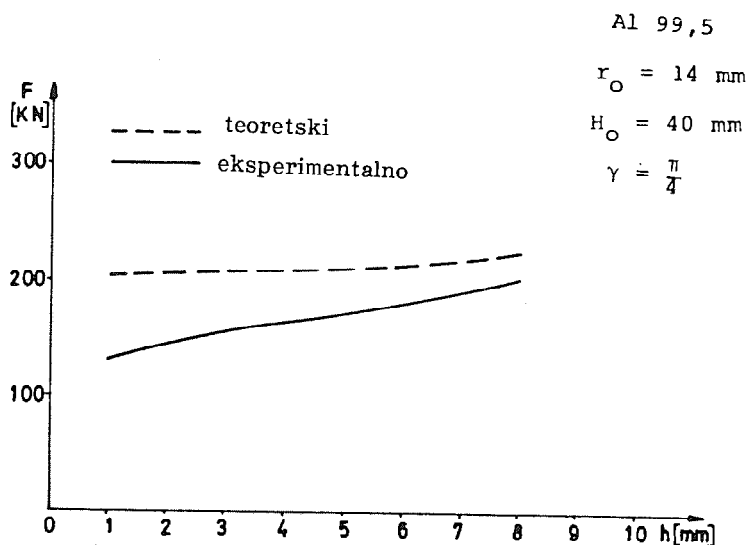
Pre toga, ukupna zapremina tela podeljena je u posebne zone za koje su definisana polja brzina.

U eksperimentalnom delu rada ispitan je aluminijum ($\sigma_e = 160 \cdot \varphi^{0,11}$ [MPa]).

Podaci o eksperimentu:

- dimenzije priprema : $\phi 28 \times 28$ mm
- ugao segmenta $\gamma = \pi/4$
- visina segmenta : $H = 16$ mm
- podmazivanje: mašinsko ulje
- alat: specijalno konstruisan i izradjen
- mašina:hidraulična presa od 6300 kN
- brzina: 2mm/sec

Na sl.4 prikazan je tok sile dobijen eksperimentalno i računski (gornja granica).



Sl.4. Tok sile kod radialnog istiskivanja

4. ZAKLJUČAK

Jedan od dominantnih pravaca razvoja hladnog istiskivanja jeste istraživanje novih vidova ove tehnologije, čime se proširuje domen njene primene.

U Laboratoriji za tehnologiju plastičnosti na FTN-u u Novom Sadu vršena su obimna teoretsko-eksperimentalna istraživanja nekonvencionalnih vidova istiskivanja. Jedan deo rezultata koji su tom prilikom dobijeni prezentiran je u ovom radu.

Suprotno-smerno hladno istiskivanje cilindričnih obradaka sa kvadratnim otvorom eksperimentalno je istraživano. Pokazalo se da je tok sile sličan onom koji se pojavljuje kod klasičnog suprotno-smernog istiskivanja cilindričnih otvora (naravno, sa korespondirajućim veličinama deformacije).

Radijalno istiskivanje obradaka sa dva bočna segmenta istraživano je teoretski i eksperimentalno. Teoretski rezultati za silu su za 10% - 20% veći (zavisi od stadijuma procesa) od eksperimentalno dobijenih, što je i razumljivo obzirom na primenjenu teoretsku metodu (gornja granica).

5. LITERATURA

- /1/ Plančak M., Osman F., Bramley A.: NON-CONVENTIONAL COLD EXTRUSION, Journal of Material Processing Technology, Vol.34 (1992), PP 465-472, Elsevier Amsterdam - Oxford - New York - Tokyo.
- /2/ Plančak M., Vujović V., Vilotić D.: COLD EXTRUSION WITH NON-CIRCULAR PUNCH CROSS SECTION, Proceedings of the XI th International Conference on Production Research, Hefei, Anhui, China, 1991.
- /3/ Lange K.: COLD FORGING TODAY AND TOMORROW, Wire 35 (1985)5, PP 219 -226.

M. Plančak, V. Vujović, D. Vilotić

SOME NEW ACHIEVEMENTS IN COLD EXTRUSION

Summary

Research conducted for the cold backward extrusion with a non-circular punch cross section and the radial extrusion of specimen with segments is presented in this paper. The load-stroke characteristic in extrusion with a non-circular punch cross section has been obtained experimentally. In radial extrusion the load calculated by the Upper Bound method has been compared to the one obtained experimentally. A relatively good agreement between theory (Upper Bound) and experiment has been achieved. Special toolings have been designed and manufactured for these investigations.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

B. Rančić, V. Stoilković¹

**FAZE PRI OBLIKOVANJU OSNO-NESIMETRIČNIH DELOVA
OD LIMA NESTIŠLJIVIM FLUIDOM**

Re z i m e

U ovom radu je data analiza faza pri oblikovanju osno-nesimetričnih delova od lima nestišljivim fluidom po II klasi postupaka. Analizirana su dva slučaja: oblikovanje bez korišćenja pridrživača i oblikovanje sa korišćenjem pridrživača lima. Eksperimentalna istraživanja, sprovedena u ovom radu, potvrdila su teorijske navode o fazama oblikovanja, tj. zakonima promene radijusa na dnu dela i visine dela.

Analiza faza oblikovanja omogućava analizu naponskog i deformacionog stanja i određivanje osnovnog parametra pri oblikovanju osno-nesimetričnih delova nestišljivim fluidom po II klasi postupaka - pritiska u nestišljivom fluidu.

1. UVOD

Oblik gotovog dela pri klasičnom oblikovanju osno-nesimetričnih delova, pravougaonog i kvadratnog poprečnog preseka, definisan je oblikom čvstog izvlakača, a visina dela - dubinom prodiranja izvlakača u otvor prstena za izvlačenje.

Pri oblikovanju nestišljivim fluidom po II klasi postupaka, dejstvo čvrstog izvlakača je zamenjeno dejstvom nestišljivog fluida. Zbog toga, radijus na dnu dela ne odgovara više radijusu izvlakača, već zavisi od veličine otpora u pojedinim oblastima otvora prstena za izvlačenje. Ni visina dela nije konstantna u istom aksijalnom preseku, tako da je proces oblikovanja nestišljivim fluidom po II klasi postupaka složeniji u odnosu na klasično oblikovanje.

Da bi mogla da se izvrši analiza naponskog i deformacionog stanja, odnosno, da bi mogao da se odredi osnovni parametar procesa oblikovanja nestišljivim fluidom po II klasi postupaka - pritisak u nestišljivom fluidu, neophodno je poznavanje faza oblikovanja.

2. OBLIKOVANJE OSNO-NESIMETRIČNIH DELOVA PO II KLASI POSTUPAKA

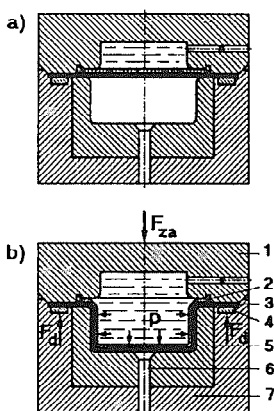
Proces oblikovanja osno-nesimetričnog dela po II klasi postupaka, kada je nosilac deformacione sile nestišljiv fluid, a nosilac oblika čvrst kalup, prikazan je na slici 1.

¹ Dr Bojan Rančić, docent Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14
Dr Vojislav Stoilković, red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu, Beogradska 14

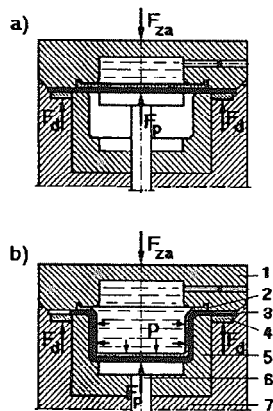
Pripremak od lima postavlja se na prsten za izvlačenje (5), koji je smešten u kućištu alata (7). Pod dejstvom pritiska u nestišljivom fluidu, preko zaštitne membrane (2), koja služi za zaptivanje radnog prostora, vrši se oblikovanje dela (3). Pritisak u nestišljivom fluidu izaziva napone istežanja (dvoosno razvlačenje) u materijalu dela, tako da pri relativno malim stepenima deformacije dolazi do razaranja u centralnoj zoni dna dela, pa ne mogu da se dobiju delovi znatnije visine.

Da bi se postigle veće visine, pri izradi malih i srednjih delova (dimenzija poprečnog preseka do 500 mm) koristi se rešenje sa pridržavanjem dna elementa, koje je razvijeno na Katedri za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu, [1], [2], [3], [4], [5], slika 2.

Pre početka oblikovanja (sl. 2, a), pridržiivač (6) se dovodi u dodir s limom. Kada je pritisak u nestišljivom fluidu p dovoljan da savlada silu pridržavanja F_p , otpočinje proces oblikovanja. Za razliku od oblikovanja bez pridržiivača lima, sada je dno obratka u stalnom dodiru s pridržiivačem, sve do završetka procesa (sl. 2, b), čime se sprečava pojava velikih napona istežanja u dnu i omogućuje izrada delova zadovoljavajuće visine. Silu pridržavanja F_p obezbeđuje hidraulični cilindar, čime se omogućava tačno regulisanje sile F_p . I u ovom slučaju se pojava nabora na vencu dela sprečava držačem lima (4).



slika 1



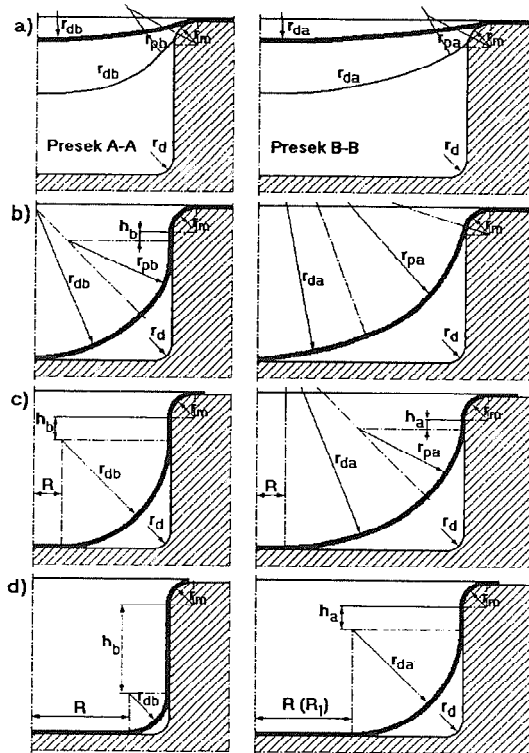
slika2

3.1. Faze pri oblikovanju bez pridržiivača

Uvedena je pretpostavka da se i na dužoj (presek A-A) i na kraćoj strani (presek B-B) profil omotača u aksijalnom preseku pri oblikovanju menja sa dvostrukim radijusom krivine, slika 3.

Jedino na samom početku oblikovanja profil omotača dela u oba aksijalna preseka: i po sredini duže bočne strane (poprečni aksijalni presek, tj. presek A-A, sl.3,a - levo) i po sredini kraće bočne strane (uzdužni aksijalni presek, tj. presek B-B, sl.3,b - desno) ima jednostruke krivine, radijusa r_{db} i r_{da} . Indeksi a i b ukazuju da se radijus r_{db} javlja na dužoj strani dela (dužine b), tj. da se radijus r_{da} javlja na kraćoj strani dela (dužine a). Dakle, radijusi sa indeksom b, javljaju se u preseku A-A i obrnuto, radijusi sa indeksom a, javljaju se u preseku B-B. Već pri manjem povećanju pritiska u nestišljivom fluidu, dolazi

do pojave dvostruke krivine u oba posmatrana preseka profila omotača (tanka linija na sl.3,a), tj. do pojave prelaznih radijusa r_{pb} i r_{pa} .



slika 3

Daljim povećanjem pritiska u nestišljivom fluidu dolazi do izraženijeg uvlačenja lima u otvor kalupa (prstena za izvlačenje), pri čemu se radijusi r_{db} i r_{da} smanjuju, a prelazni radijusi r_{pb} i r_{pa} povećavaju. U zavisnosti od odnosa duže prema kraćoj strani dela pravougaonog poprečnog preseka $c = b/a$, u ovoj fazi deformisanja može da dođe i do pojave vertikalnog pravolinijskog zida omotača, visine h , na dužoj strani dela, dok se na kraćoj strani dela još uvek ne javlja (sl.3,b), a može da dođe do pojave vertikalnog zida omotača u oba posmatrana preseka. Bez obzira, da li do pojave vertikalnog zida omotača dolazi samo na dužoj, ili na obe pravolinijske strane, ova, 1. faza procesa, završava se u trenutku, kada dno dela dodirne dno kalupa, (sl.3,b).

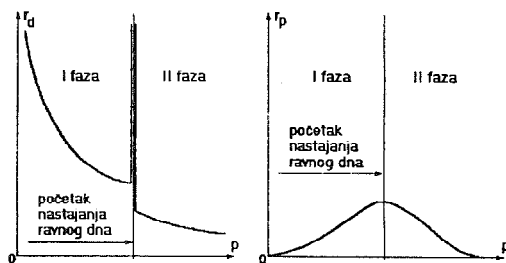
U trenutku dodira dna dela i dna kalupa počinje nastajanje ravnog dna dela, čiji radijus krivine teži beskonačnoj vrednosti. Od tog trenutka počinje 2. faza procesa oblikovanja, koja se odlikuje time, da se radijusi na prelazu sa dna dela r_{db} i r_{da} i radijusi na prelazu sa ravnog zida omotača r_{pb} i r_{pa} sve više smanjuju sa porastom pritiska u nestišljivom fluidu. Zavisno od dimenzija poprečnog preseka dela, može da dođe i do slučaja da je u poprečnom aksijalnom preseku $r_{pb} = 0$, dok u uzdužnom aksijalnom preseku radijus na prelazu sa ravnog zida omotača r postoji, (sl.3,c). Dalje povećanje pritiska uslovljava povećanje visine ravnog zida omotača u oba aksijalna preseka (h_b i h_a) i nestajanje prelaznog radijusa r_{pa} , tako

da se na završetku 2. faze oblikovanja, deo odlikuje ravnim dnom, radijusima prelaza dna u omotač dela r_{db} i r_{da} i ravnim zidovima omotača, visina h_b i h_a , (sl.3,d).

Dakle, zakoni promene profila omotača su isti u oba posmatrana aksijalna preseka, s tim, da se uočava određeno kašnjenje na kraćoj strani dela, što se objašnjava većim otporima uticanja materijala u otvor kalupa na kraćoj strani.

Ako se posmatra i presek po simetrali ugla, zakon promene oblika profila omotača ostaje isti, samo što se javlja kašnjenje i u odnosu na kraću stranu dela, jer su otpori tečenju materijala najveći u uglu dela. Dakle, biće $h_b > h_a > h_c$, odnosno $r_{db} < r_{da} < r_{dc}$.

Na osnovu izloženog, sledi da se faze oblikovanja nesimetričnog dela nestišljivim fluidom, a bez korišćenja pridržiavača, mogu da opišu i razgraniče na osnovu promene radijusa na dnu dela r_d i prelaznog radijusa r_p . (sl. 4).



slika 4

Radijus na dnu dela se, počevši od beskonačne vrednosti, koja se javlja na pripremu, smanjuje u 1. fazi oblikovanja do neke konačne vrednosti, koja se javlja u trenutku dodira dna dela i dna kalupa, kada se završava 1. faza oblikovanja. U tom trenutku, radijus na dnu dela r_d se, praktično, deli na dva dela. Na ravnom dnu dostiže beskonačnu vrednost, a na prelazu sa ravnog dna neku vrednost, koja je manja od vrednosti, koja se javila neposredno pre dodirivanja dna kalupa. Ova vrednost se, u 2. fazi oblikovanja, kontinualno smanjuje sa porastom pritiska u nestišljivom fluidu, sve do završetka procesa oblikovanja.

Prelazni radijus r_p u 1. fazi oblikovanja raste od nule do maksimalne vrednosti na kraju 1., da bi u 2. fazi kontinualno opao do nule vrednosti, koja se javlja pre završetka procesa oblikovanja.

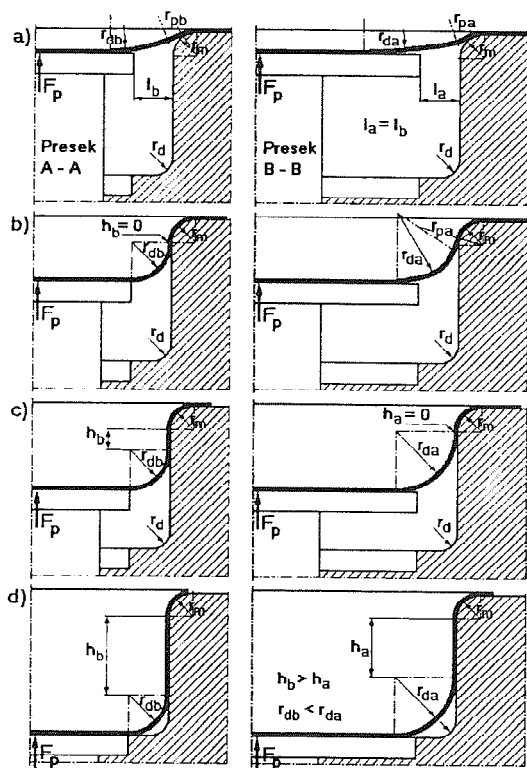
3.2. Faze pri oblikovanju sa pridržiavačem

U slučaju, kada se primenjuje pridržiavač lima (sl.5), proces oblikovanja odvija se drugačije. Od početka procesa deformisanja ostvaruje se dodir lima i pridržiavača, tako da još na početku procesa nastaje ravno dno.

Uočava se, da nema promene radijusa krivine na dnu dela u odnosu na pripremak ($p \rightarrow \infty$), pa pri oblikovanju s pridržiavačem otpada prva faza pri oblikovanju bez pridržiavača, (sl. 5,a). Prelaz iz ravnog dna u venac dela, odlikuje se dvostrukom krivinom: radijusi r_{db} i r_{pb} u poprečnom, odnosno r_{da} i r_{pa} u uzdužnom aksijalnom preseku.

Pri dobro podečenoj vrednosti sile pridržavanja F_p , sa porastom pritiska u nestišljivom fluidu, profil omotača, vrlo brzo posle početka procesa, dobija oblik, koji je prikazan na slici 5,b. U preseku A-A, javlja se neposredan prelaz zaobljenja kalupa, radijusa

r_{1m} , u zaobljenje na dnu dela, radijusa $r_{db} = 1$. U preseku B-B omotač dela, još uvek, ima dvostruku krivinu, jer su otpori uticanju materijala na kraćoj strani otvora kalupa veći.



slika 5

Dalji porast pritiska, (sl.5.c), uslovljava da se i u preseku B-B javlja jednostruka krivina, radijusa r_{da} , dok se radijus krivine r_{db} u preseku A-A skoro i nije promenio u odnosu na veličinu, koja se javila u trenutku nastanka neposrednog prelaza radijusa r_{1m} u radijus r_{db} . U ovom trenutku, visina ravnog zida dela na dužoj strani otvora kalupa ima vrednost h_b , a na kraćoj strani $h_a = 0$. Isto važi i za oblast ugla, kod koje se javlja kašnjenje u odnosu na kraću, a tim pre i u odnosu na dužu stranu otvora kalupa.

Dalji porast pritiska u fluidu usloviće povećanje visina ravnog zida omotača i na dužoj (h_b) i na kraćoj (h_a) strani dela, sve dok se pridrživač ne zaustavi u ležištu na dnu kalupa, pri čemu je $h_b > h_a$, (sl. 5.d). Odgovarajući radijusi na dnu r_{db} i r_{da} ostali su skoro isti, tj. neznatno su se smanjili u odnosu na trenutke nastajanja ($h_b = 0$, sl. 5.b, tj. $h_a = 0$, sl. 5.c). Ovo se objašnjava time, da se pritisak, potreban za smanjenje već nastalog radijusa na dnu, povećava srazmerno recipročnoj vrednosti kvadrata smanjenja radijusa, pa je, za malo smanjenje radijusa na dnu, potreban veliki porast pritiska.

4. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

U okviru eksperimentalnih istraživanja, izvršena je i provera teorijskih navoda o fazama oblikovanja, tj. izvršeno je oblikovanje delova bez korišćenja pridrživača, pri čemu se pritisak u nestišljivom fluidu p_i postepeno povećavao od nulte do vrednosti potrebne za potpuno oblikovanje.

U cilju izučavanja faza procesa oblikovani su delova od čeličnog lima Č.0147.P5.m, pravougaonog poprečnog preseka ($c = b/a = 120 \text{ mm}/80 \text{ mm} = 1.5$; $r_{ug} = 12.5 \text{ mm}$; $r_m = 7.0 \text{ mm}$; $s = 1.0 \text{ mm}$).

Konačna visina delova pri pritisku potrebnom za potpuno oblikovanje bila je $h = 30 \text{ mm}$, dok je visina delova pri nižim pritiscima odgovarala veličini pritiska u nestišljivom fluidu. Merenje veličina prelaznog radijusa r_p , radijusa na dnu r_d i visine na boku h^* (bez radijusa zaobljenja) vršeno je u tri karakteristična preseka.

Dobijene konture oblikovanih delova u odgovarajućim uzdužnim presecima i naznačene izmerene vrednosti prelaznog radijusa r_p , radijusa na dnu r_d i visine na boku dela h^* , a za probe 124, 125, 126, 127, 128 i 114, prikazani su na sl. 6. Na levoj strani slike 6, prikazane su i vrednosti pritiska u nestišljivom fluidu p_i , pritiska držača lima p_d i sile pridržavanja F_p , pri kojima su oblikovani prikazani delovi.

Na osnovu izmerenih vrednosti, nacrtani su dijagrami promene radijusa u funkciji pritiska u nestišljivom fluidu. Dijagrami promene radijusa na dnu r_d i prelaznog radijusa r_p , prikazani su na slici 7.

Sa slika se uočava da je do dodira dna dela i dna kalupa (trenutka koji razdvaja prvu i drugu fazu oblikovanja) dolazilo pri vrednostima pritiska u nestišljivom fluidu od 7.8-8.3 MPa.

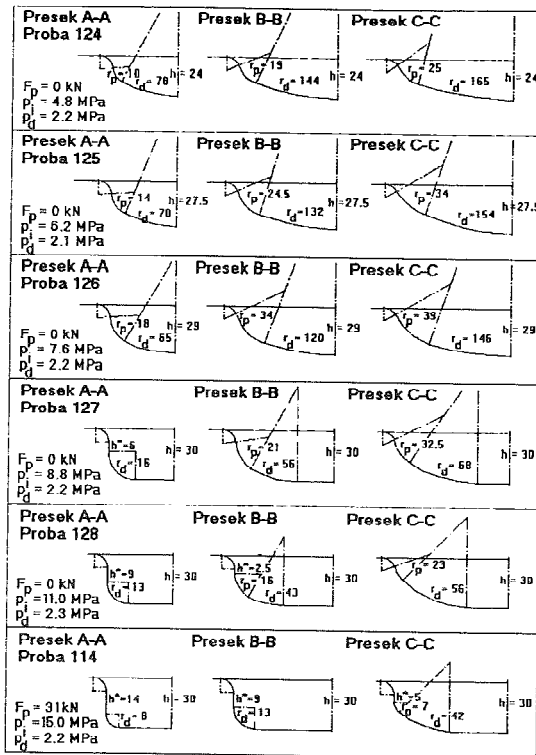
Prelazni radijus r_p se, u svim posmatranim presecima, povećavao od nule do maksimalne vrednosti, koja se javljala u trenutku dodira dna dela i kalupa, da bi zatim opadao sa porastom pritiska. Do istog zaključka se dolazi i posmatranjem promene radijusa na dnu dela r_d , jer, pri istim vrednostima pritiska u nestišljivom fluidu važi nejednakost $r_{db} < r_{da} < r_{dc}$, kako u prvoj, tako i u drugoj fazi oblikovanja. Uočava se i karakteristično smanjenje veličine radijusa na dnu dela u trenutku dodira dna dela i dna kalupa, koje nastaje zbog nastajanja ravnog dna dela.

Sa smanjenjem radijusa na dnu dela, povećava se visina na boku dela h^* , tako da se promena visine neće posebno diskutovati, jer predstavljaju prirodnu posledica dijagrama na slikama 6 i 7.

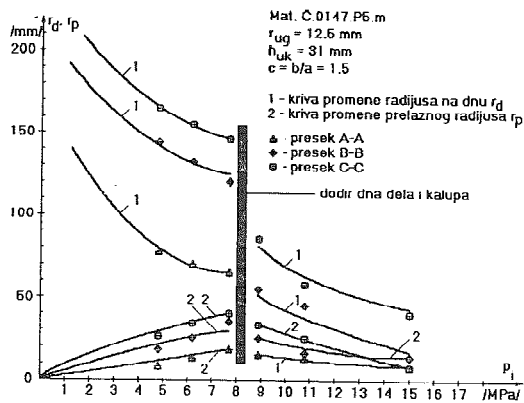
5. ZAKLJUČAK

Eksperimentalna istraživanja, ostvarena u okviru ovog rada, potvrdila su uvedene teorijske pretpostavke o fazama pri oblikovanju osno-nesimetričnih delova, pravougaonog i kvadratnog poprečnog preseka, nestišljivim fluidom po II klasi postupaka, tj. potvrdila su činjenicu da dolazi do kašnjenja deformisanja u oblasti ugla i na kraćoj strani dela u odnosu na dužu stranu dela.

Zbog toga se, pri analizi ukupne sile oblikovanja, odnosno, pri analizi pritiska u nestišljivom fluidu, potrebnog za oblikovanje osno-nesimetričnog dela pravougaonog poprečnog preseka, može da usvoji, da je deformisanje (savijanje) na dužoj strani dela završeno, pre nego što se javi maksimalna sila oblikovanja u uglu (duboko izvlačenje) i na kraćoj strani dela (kombinacija dubokog izvlačenja i savijanja).



slika 6



slika 7

Dakle, pri analizi maksimalne sile oblikovanja može da se zanemari udeo savijanja na dužoj strani dela, pravougaonog poprečnog preseka.

6. LITERATURA

- (1) Stoilković, V., Naponsko i deformaciono stanje pri izradi elemenata dubokim izvlačenjem nestišljivim fluidom i identifikacija uticajnih parametara sa uspostavljanjem njihovih korelacionih odnosa, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Niš, 1977.
- (2) Stoilković, V., Analyse zylindrischer Elemente beim Tiefziehen mit Wirkmedien, Bander Bleche Rohre, 3, 1985., 73-77.
- (3) Stoilković, V., Cad-Cap-Systeme zum Tiefziehen von Blechteilen, Bander Bleche Rohre, 3, 1990., 50-54.
- (4) Rančić, B., Stoilković, V., Izvlačenje kutijastih delova nestišljivim fluidom, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, zbornik radova, knjiga I, Novi Sad, 1992., 121-130.
- (5) Rančić, B., Naponsko i deformaciono stanje pri izvlačenju osno nesimetričnih delova od lima nestišljivim fluidom sa određivanjem parametara procesa, doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Univerzitet u Nišu, Niš, 1993.

B. Rančić, V. Stoilković

FORMING PHASES OF THE AXIALLY-UNSYMMETRIC CUPS FLUID FORMING PROCESS

Summary

This paper analyzes the forming phases of the axially-unsymmetric cups fluid forming process according to the second class proceedings. Two cases are analyzed: forming with and without the cup bottom holder.

The conducted experimental research certified the theoretical suppositions about the forming phases, that is the laws by which the cup bottom radius and the cup height change. The forming phases analysis enables the stress-strain status analysis as well as the determination of the main parameter of the axially-unsymmetric cups fluid forming process according to the second class proceedings - the incompressible fluid pressure.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

N. Sredić, S. Zmić, G. Globočki**

ODREĐIVANJE POTREBNOG BROJA ŽARNIH BAZA SIMULACIJOM PROCESA ŽARENJA HLADNOVALJANE TRAKE

Rezime

U radu je dat primjer određivanja minimalnog broja potrebnih žarnih baza za definisani proizvodni proces.

Korištenje simulacije pokazalo se pogodnim za određivanje minimalnog broja jedinica opreme, kao i za određivanje kritičnog broja jedinica opreme kod koga dolazi do stvaranja velikih redova čekanja i zagušenja sistema.

1. UVOD

U radu se daje primjer određivanja potrebnog broja žarnih baza simulacijom procesa žarenja hladnovaljanih traka. Radi donošenja investicionih odluka proračunavan je potreban broj žarnih baza za žarenje određene količine hladnovaljane trake. Prethodnim istraživanjima na osnovu prosječne produktivnosti ocijenjeno je da bi zahtjevani kapacitet zadovoljio broj od 16 baza, pri čemu nisu uzete u obzir neravnomjernosti pristizanja materijala na žarenje koje su evidentne u razmatranom procesu proizvodnje.

2. TEHNOLOŠKI PROCES PROIZVODNJE HLADNOVALJANE TRAKE

Tehnološki proces proizvodnje hladnovaljane trake se sastoji iz sledećih operacija

- Luženje
- Valjanje
- Rasjecanje
- Žarenje
- Dresiranje
- Uzdužno rezanje
- Poprečno rezanje
- Pakovanje

** Nedeljko Sredić, dipl. inž., asistent, Dr Slavko Zmić, dipl.inž, docent, Gordana Globočki-Lakić, dipl. inž. asistent Mašinski fakultet Banja Luka Bul. vojvode Stepe Stepanovića 63A.

Neposredno poslije hladne deformacije niskouglenični čelik se ne može upotrebiti za obradu prosjecanjem i presovanjem zbog velike tvrdoće i zatezne čvrstoće. Žarenjem se smanjuje tvrdoća materijala, povećava istežanje, formira optimalna struktura, zadrži ili poboljša stanje površine hladnovaljane trake. Tehnološki proces žarenja HVT se odvija na sledeći način.

Na žarnu bazu slažu se koturovi na koje se zatim stavi zaštitno zvono. Nakon toga se postavlja peć, uključuje ventilacioni sistem za isplahivanje unutrašnjosti zaštitnog zvona inertnim gasom radi odstranjivanja kiseonika. Zagrijavanje se vrši na temperaturi ispod linije AG1 (570 do 720 ° C, zavisno od namjene trake)⁽¹⁾. Nakon zagrijavanja vrši se progrijavanje u trajanju 5 do 20 sati (zavisno od namjene trake). Hlađenje se vrši korištenjem rashladnog zvona koje se postavlja nakon skidanja peći. Pod rashladnim zvonom se traka hladi do temperature 110 do 120 ° C. Kad su koturovi ohlađeni do 110° C vrši se skidanje zvona za hlađenje, zaštitnog zvona i skidanje koturova sa žarne baze.

3. DEFINISANJE MODELA SIMULACIJE

Simulacija je tehnika oponašanja neke situacije ili sistema pomoću druge analogne situacije, modela ili uređaja⁽²⁾. Cilj simulacije je dobijanje potrebnih informacija o ponašanju sistema na pogodniji način. Simulacija se praktično odvija kroz izračunavanje promjena karakteristika sistema u vremenu koristeći relacije iz matamatičko - logičkog modela sistema⁽³⁾.

U ovom radu za izvođenje simulacije korišten je simulacioni jezik opšte namjene GPSS (General Purpose Simulation System). GPSS je razvijen u IBM, a novije varijante su GPSS V, GPSSIH kao i verzija prilagođena za PC koja je i korištena u ovom radu.

Simulacioni model je definisan na osnovu stvarnih elemenata proizvodnog procesa proizvodnje HVT. Godišnja proizvodnja iznosi 105.000 Mp trake od čega se žari 84,2% trake tj. 88.410 Mp trake godišnje. Prosječna dnevna proizvodnja na valjačkom stanu tj. na liniji koja prethodi žarenju iznosi 287,7 Mp sa varijancom 37,9 Mp⁽⁴⁾. Od ove proizvodnje se žari prosječno 242,4 Mp dnevno sa varijancom 31,9 Mp.

Iz liste podataka za težine šarži izračunata je prosječna težina šarže i iznosi 49,84 Mp. Pristizanje šarži na žarenje se odvija po normalnoj distribuciji, a razmak između dva šaržiranja iznosi 4,93 sata sa varijancom 0,65 sati. Pošto je u ovom radu kod simulacije terminska jedinica minuta razmak između dva šaržiranja je 296 minuta sa varijancom 39 minuta. Postrojenje za žarenje se sastoji iz 24 žarne baze, 8 žarnih peći, 14 rashladnih zvona

i 24 zaštitna zvana. Oprema je projektovana i izvedena tako da je nesmetano omogućeno odvijanje žarenja na 24 baze istovremeno.

Simulacioni model žarenja je definisan tako da će nakon generiranja pristizanja šarže biti šaržirana prva slobodna žarna baza sa najnižim rednim brojem. Na ovaj način se može lako steći uvid u broj zauzetih baza. Nakon šaržiranja počinje teći proces žarenja. Kad je šarža ožarena i skinuta sa baze, baza dobija status slobodne i može se ponovo šaržirati dolazećim šaržama ili šaržama na čekanju.

Obradom podataka za dvogodišnju proizvodnju dobijena je regresijska funkcija za izračunavanje trajanja žarenja:

$$T=1322,46+78,24*X1-193,8*X2, \text{ gdje je}$$

T → trajanje žarenja [min]

X1 → težina šarže [Mp]

X2 → debljina trake [mm].

Obradom podataka dobijene su i liste podataka za distribuciju debljina i težina šarži.

Distribucija debljina šarži

Debljina [mm]	Učešće	Kumulativno
0,30 do 0,52	0,132	0,132
0,53 do 0,83	0,160	0,292
0,84 do 1,32	0,267	0,559
1,33 do 1,90	0,134	0,693
1,91 do 2,68	0,169	0,862
2,69 do 3,21	0,082	0,946
3,22 do 5,00	0,052	1,000

Distribucija težina šarži

Težina [Mp]	Učešće	Kumulativno
20 do 30	0,049	0,049
30 do 40	0,288	0,337
40 do 50	0,161	0,498
50 do 60	0,201	0,699
60 do 70	0,229	0,928
70 do 78	0,072	1,000

Ukupan kapacitet je 24 baze. Odlučeno je da se prvo simulira rad sa 24 baze i nakon toga nastavi sa smanjivanjem kapaciteta za po jednu bazu i prati promjena iskorištenja kapaciteta baza i prati dužina trajanja ukupnog ciklusa žarenja. Simulacija bi se prekinula nakon što dođe do stvaranja velikih redova čekanja i zagušenja sistema.

LINE BLOCK

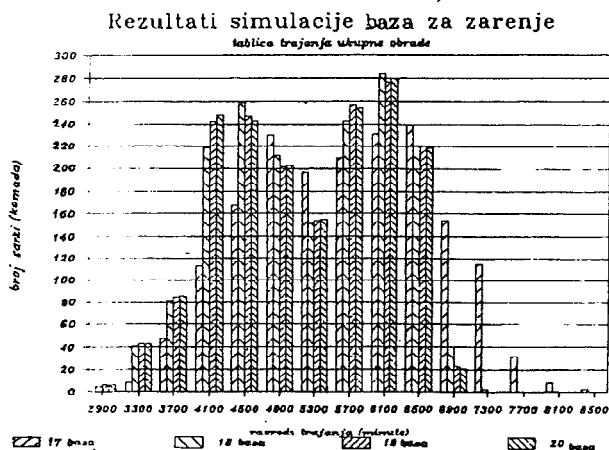
```
1 #####
2 * SIMULACIJA BAZA ZA ZARENJE
3 #####
4 ULAZ EQU 1
5 TEZ EQU 2
6 DEB EQU 3
7 VRIJ EQU 1
8 DOLAZ EQU 2
9 TRAJE EQU 1
10 BAZA EQU 1
11 SKLAD EQU 1
12 #####
13 SIMULATE
14 #####
15 * ULAZNI PODACI
16 ULAZ FUNCTION RN#1,C25 ;NORMALNA DISTRIBUCIJA
17 0.0,-5./0.00003,-4./0.00135,-3./0.00621,-2.5/0.02275,-2.
18 .06681,-1.5/0.11507,-1.2/0.15866,-1./0.21186,-.8/0.27425,-.6
19 .34458,-.4/0.42074,-.2/0.50007,0.57926,-2/0.65542,.4/0.72575,.6
20 .78914,.8/0.84134,1./0.88493,1.2/0.93319,1.5/0.97725,2.
21 .99379,2.5/0.99865,3./0.99997,4./1.0,5.0
22 DEB FUNCTION RN#2,C8 ;LISTA PODATAKA DEBLJINE TRAKE
23 0.0,0.3/0.132,0.52/0.292,0.83/0.559,1.32/0.693,1.9
24 0.862,2.68/0.946,3.21/1.00,5
25 TEZ FUNCTION RN#3,C7 ;LISTA PODATAKA TEZINA SARZI
26 0.0,20/0.049,30/0.337,40/0.498,50/0.699,60/0.928,70
27 1.0,78
28 STORAGE S#BAZA,24 ;KAPACITET JE 24 BAZA
29 TRAJE TABLE M#1,2900,400,200;TABELA TRAJANJA OBRADJE
30 * REGRESIJSKA FUNKCIJA TRAJANJA OBRADJE (MINUTE)
31 VRIJ VARIABLE 1322.46+(78.24*FN#TEZ)-(193.8*FN#DEB)
32 * TRAJANJE ZARENJA (MINUTE)
33 DOLAZ VARIABLE 296+(139*FN#ULAZ)
34 #####
35 1 GENERATE V#DOLAZ ;GENERIRANJE DOLAZAKA SARZI U SISTEM
36 2 QUEJE SKLAD ;AKO JE BAZAZAUZETA, SARZA CEKA NA
37 * ZARENJE (OBRADU)
38 3 ENTER BAZA ;BAZAJE SLOBODNA, POCINJE ZARENJE
39 4 DEPART SKLAD ;TERMINIRANO CEKANJE
40 5 ADVANCE V#VRIJ ;ZARENJE TRAJE PREMA SLUCAJNO IZGE-
41 * MERIRANOJ VRIJEDNOSTI VARIJABLE VRIJ
42 6 LEAVE BAZA ;ZARENJE JE GOTOVO
43 7 TABULATE TRAJE ;TABELIRANJE UKUPNOG VREMENA OBRADJE U
44 * SISTEMU (CEKANJE U REDU + ZARENJE)
45 8 TERMINATE ;TERMINIRANJE SARZE KAO TRANSAKCIJE
46 #####
47 9 GENERATE 525000 ;SIMULIRANO VRIJEHE JE 525000 MINUTA
48 * ILI GODINA DANA (8750 SATI)
49 10 TERMINATE 1 ;VREMENSKA JEDINICA SIMULACIJE JE MINUTA
50 #####
51 START 1 ;POCINJE SIMULACIJA
52 END
```

4 REZULTATI SIMULACIJE

Analizom rezultata simulacije uočeno je da je kapacitet od 24 baze prevelik u odnosu na zahtjevanu proizvodnju. Smanjivanjem kapaciteta sa 24 na 23,22,21,20, i 19 baza nije dolazilo do značajnijih odstupanja u odnosu na prosječno vrijeme trajanja obrade. Kod simulacije sa kapacitetom od 18 i 17 baza u odnosu na simulaciju sa 24 baze došlo je do sledećih promjena:

- prosječno opterćenje kapaciteta je poraslo sa 0,70 na 0,93 odnosno 0,98,
- maksimalni broj šarži na čekanju porastao je sa 1 na 3 odnosno 7 , a prosječan broj šarži na čekanju sa 0 na 0,14 odnosno 1,71,
- broj šarži koje su bez čekanja išle na žarenje pao je sa 1774 na 1415 , odnosno 363, tj. sa 100% na 79,76%, odnosno 20,46% ,
- zbog pojave čekanja prosječno vrijeme obrade je poraslo sa 4989,4 na 5030,0 odnosno 5487,4 minute.

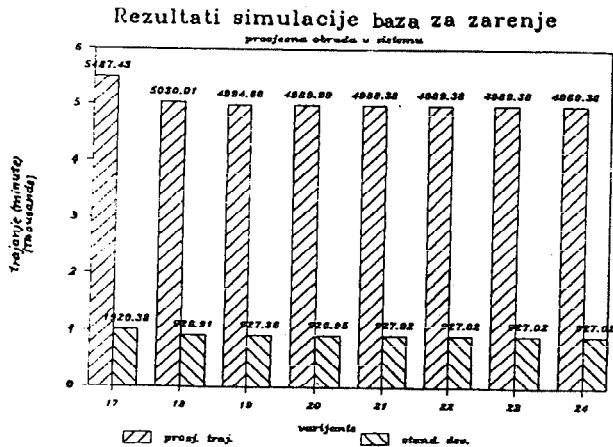
Pri simulaciji sa kapacitetom od 16 baza došlo je do prekida simulacije nakon isteka 478.873 minute od predviđenih 525.000 minuta. Uzrok prekida simulacije je stvaranje velikih redova čekanja na ulazu u sistem tj. zagušenje sistema. Iz ovog možemo zaključiti da je 16 baza nedovoljno za realizaciju tražene proizvodnje.



Sl. 1.

Na sl.1. data je distribucija ukupnog vremena trajanja obrade za simulacije sa 20,19,18 i 17 baza gdje je uočljivo pomjeranje vrijednosti ukupnog vremena trajanja obrade udesno (prema većim vrijednostima) pri smanjenju broja baza u simulaciji.

Na sl.2. dat je pregled prosječnih vremena trajanja obrade u sistemu, iz koga je vidljivo da do produženja trajanja obrade u sistemu nastaje tek nakon smanjenja kapaciteta u simulaciji na 18 odnosno 17 baza. Ovo povećanje iznosi kod simulacije sa 18 baza 0,7% , a kod simulacije sa 17 baza oko 10%. Čekanje na žarenje u prosjeku 8 sati je tolerantno u realnom procesu proizvodnje te se može smatrati da je 17 baza dovoljno za traženu proizvodnju.



Sl. 2.

5. ZAKLJUČAK

Korištenje simulacije za analizu procesa žarenja pokazalo se pogodnim kod ocjene donje granice broja jedinica opreme u zavisnosti od formiranja prevelikih radova čekanja. Ocjena donje granice na osnovu analize prosječne dužine trajanja obrade u sistemu i prosječne težine šarže je davala niže vrijednosti minimalnog broja jedinica opreme. Simulacijom je dokazano da bi pri tako izračunatom minimalnom broju jedinica opreme došlo do zagušenja sistema.

6. LITERATURA

- (1) Ivanović I., Hladnovaljani lim, Naučna knjiga, Beograd, 1985.
- (2) Carrie A., Simulation of Manyfacturing Systems, John Wiley & Sons, 1988.
- (3) Šormaz D., Simulacija i ekspertni sistemi – alati za projektovanje i upravljanje efektivnih proizvodnih sistema, Efektivni proizvodni sistemi, Dubrovnik, 1988.
- (4) Taboršak D., Šakić N., Oluić Č., Operativno istraživanje u organizaciji proizvodnje, Inženjerski biro, Zagreb, 1980.

DETERMINATION OF THE NECESSARY NUMBER OF HEATING BASES BY COLD-ROLLING STRIP HEATING SIMULATION

Summary

The paper gives an example of determining a minimum number of heating bases for a defined production process. Simulation proved to be useful for determining a minimum number of equipment units, as well as for determining the critical number of equipment units which caused long waiting rows and system choking.

M. Stefanović*

ZNAČAJ TRIBOLOŠKIH USLOVA PRI NEPROPORCIONALNOM DEFORMISANJU TANKIH LIMOVA

Rezime

U radu su prikazani rezultati istraživanja uticaja tribo-uslova i istorije deformisanja na graničnu deformabilnost tankih limova, namenjenih obradi dubokim izvlačenjem. Navedeni su rezultati za dvofazno oblikovanje, uz primenu graničnih režima podmazivanja u zoni kontakta alata i lima. Tribo-uslovi na kompleksan način utiču na polje graničnih deformacija, pri čemu su karakteristični pokazatelji lokalne i integralne deformacione analize: distribucija deformacija, najveće dubine pri razaranju, trajektorija deformacija, položaj u dijagramu granične deformabilnosti i sl.

1. UVOD

Pri projektovanju tehnologija procesa obrade metala deformisanjem, posebno u slučaju obrade dubokim izvlačenjem, od izuzetne važnosti je poznavanje granične deformabilnosti, koja se može definisati kao sposobnost za ostvarivanje maksimalnih deformacija u zadatim obradnim uslovima (naponsko-deformaciona šema, brzina, temperatura, tribo-uslovi i sl.). Granična deformabilnost je jedan od elemenata granične obradivosti, koja obuhvata i pojavu razaranja, nastajanje nestabilnosti (nabori, lokalizacija, defleksione pojave i sl.), dostizanje granične otpornosti alata i sl. [1].

Pri izvlačenju delova nepravilne geometrije od lima, od praktičnog je interesa poznavanje vrednosti deformacija u pojedinim presecima-zonama, ili čitavim oblastima komada. Upoređenjem ostvarenih vrednosti sa onima iz dijagrama granične deformabilnosti (DGD), može se doneti zaključak o stepenu kritičnosti izvučenog dela. Pri tome, s obzirom na statistički karakter pojave nestabilnosti, kriva granične deformabilnosti odražava određeni nivo verovatnoće razaranja.

Na položaj i oblik DGD, koji se određuje eksperimentalno, utiču brojni faktori, od kojih su najvažniji: vrsta materijala sa osnovnim pokazateljima ("r" i "n" - faktor), debljina lima, brzina deformacije, eksperimentalna metodologija

*Milentije Stefanović, vanr. profesor, Mašinski fakultet u Kragujevcu, ul. Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac.

kriterijum za nastanak lokalizacije i veličina merne baze (prečnik kruga merne mreže). O značaju triboloških uslova i istoriji deformisanja (zadovoljenju uslova proporcionalnosti), detaljnije će se govoriti u ovom radu.

Granični iznosi deformacija u velikoj meri zavise ne samo od naponskog stanja, već i od istorije deformisanja - trajektorije tačaka koje se za odgovarajuća merna polja unose u DGD za svaki trenutak izvlačenja. Strogo posmatrano, može se koristiti onaj DGD koji je određen na način koji odgovara uslovima pri stvarnom izvlačenju. Pri višefaznom oblikovanju, ukoliko dolazi do izmene glavnih pravaca deformacija, narušavaju se uslovi proporcionalnog deformisanja. To znači da nije zadovoljen uslov:

$$m = \frac{\sigma_2}{\sigma_1} = \frac{2\varphi_2 + \varphi_1}{2\varphi_1 + \varphi_2} = \text{const, odnosno } t = \frac{\varphi_2}{\varphi_1} = \text{const,}$$

gde su σ_1 i σ_2 , odnosno φ_1 i φ_2 , naponi i deformacije u glavnim pravcima 1 i 2, a m koeficijent naponskog odnosa.

Pod pretpostavkom da postoje dve faze u izvlačenju, i da se svaka od njih odvija u uslovima proporcionalnog naprezanja, istorija deformisanja se može opisati na sledeći način:

$$\varphi_2 = \begin{cases} t^I \varphi_1; \varphi_1 \leq \varphi_1^I \\ t^I \varphi_1^I + t^{II} (\varphi_1 - \varphi_1^I); \varphi_1 > \varphi_1^I \end{cases} \quad (1)$$

gde su:

t^I - koeficijent pravca u prvoj fazi,

t^{II} - koeficijent pravca u drugoj fazi,

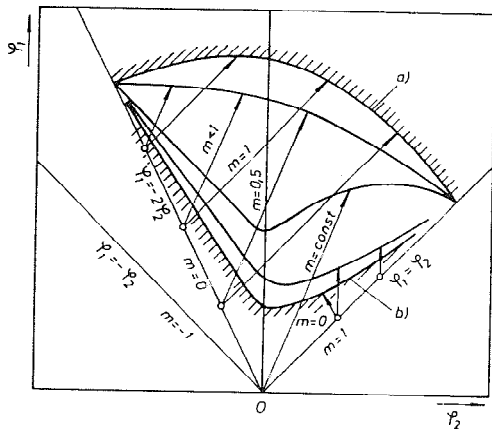
φ_1^I - najveći stepen deformacije u prvoj fazi.

Potpuni opis istorije deformisanja može se izraziti preko koeficijenta t za prvu i drugu fazu i stepena deformacije φ_1 u prvoj fazi, u obliku $(t^I; t^{II}; \varphi_1^I)$.

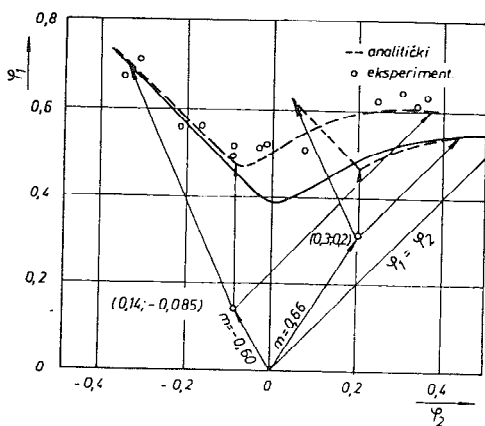
2. UTICAJ TRIBO-USLOVA I ISTORIJE DEFORMISANJA PRI ODREĐIVANJU DGD

Najpovoljniji oblik istorije deformisanja, s obzirom na realizaciju maksimalnih glavnih deformacija, dat je oblikom $(-0,5; 1; \varphi_1^I)$, što odgovara oznaci "a" na sl. 1 (podrazumeva se jednoosno zatezanje u prvoj i dvoosno zatezanje u drugoj fazi). Pri trajektoriji $(1; 0; \varphi_1^I)$ dobijaju se znatno niži iznosi graničnih deformacija, prema oznaci "b" [3].

S obzirom da se za svaku kombinaciju višefaznog izvlačenja i definisanja DGD mora realizovati složen eksperiment, u radu [4] je predložena metoda korekcije položaja i oblika osnovnog oblika DGD, prema realizovanoj istoriji deformisanja. Slaganje eksperimentalnih rezultata sa teorijskim modelom je zadovoljavajuće, sl. 2.



Sl. 1 Uticaj istorije deformisanja na DGD



Sl. 2 Korekcija osnovnog oblika DGD

položaj kompletne krive granične deformabilnosti, već na položaj tačaka po jedinstvenoj krivoj. U oblasti negativnih deformacija φ_2 situacija je složenija, s obzirom da se zona razaranja pomera po glavnom preseku komada u zavisnosti od karakteristika materijala i tribo-uslova.

Pri izučavanju uticaja tribo-uslova na granične odnose u uslovima neproporcionalnog deformisanja, realizovana je dvofazna trajektorija i to: u prvoj fazi jednoosno zatezanje do vrednosti $\varphi_1^1=0,138$ i $\varphi_2^1=-0,083$. Odabrani stepen deformacija, odnosno vrednost t_1 , leži između pravca čistog smicanja ($\varphi_1=-\varphi_2$) i pravca čistog zatezanja ($\varphi_1=2\varphi_2$). Potpuni opis istorije deformisanja, dat je izrazom:

Prvi DGD dobijeni su na osnovu proizvodnih ispitivanja, pri korišćenju različitih materijala, geometrije otpresaka, kontaktnih uslova i sl. U istraživanjima koja je vršio autor [5] pokazano je da tačke koje odgovaraju različitim kontaktnim uslovima leže na istoj krivoj granične deformabilnosti (saglasno sa [6]). Na sl. 3 prikazan je DGD dobijen pri korišćenju različitih maziva, sa opštom shemom uticaja trenja na položaj tačaka u DGD.

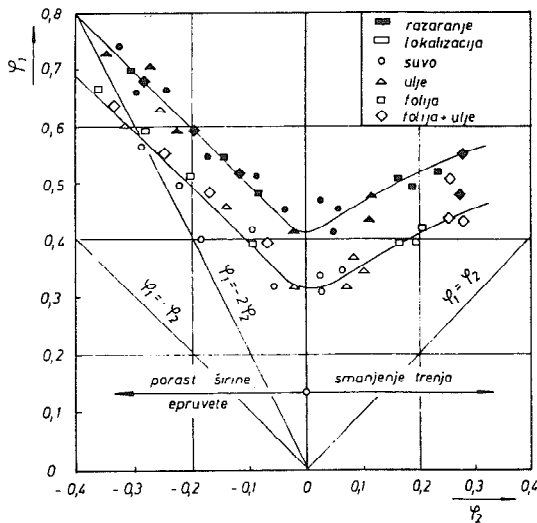
Pri izvlačenju na klasičan način (čvrsti su izvlačač i matrica), najveće deformacije u oblasti $\varphi_2 > 0$ ostvaruju se pri korišćenju nestandardnih maziva: teflona, polietilena, gume i sl. Manjem trenju odgovara postizanje većih stepena deformacije u oba glavna pravca. S obzirom da je do momenta nastanka lokalizacije trajektorija deformisanja približno linearna, osnovni uticaj podmazivanja se iskazuje preko ostvarene deformacije φ_2 ; najveća deformacija φ_1 nastaje u uslovima lokalizacije, pri $\Delta\varphi_2 \approx 0$.

Prema iznetom tumačenju, tribo-uslovi ne utiču na

položaj tačaka po jedinstvenoj krivoj. U oblasti negativnih deformacija φ_2 situacija je složenija, s obzirom da se zona razaranja pomera po glavnom preseku komada u zavisnosti od karakteristika materijala i tribo-uslova.

Pri izučavanju uticaja tribo-uslova na granične odnose u uslovima neproporcionalnog deformisanja, realizovana je dvofazna trajektorija i to: u prvoj fazi jednoosno zatezanje do vrednosti $\varphi_1^1=0,138$ i $\varphi_2^1=-0,083$. Odabrani stepen deformacija, odnosno vrednost t_1 , leži između pravca čistog smicanja ($\varphi_1=-\varphi_2$) i pravca čistog zatezanja ($\varphi_1=2\varphi_2$). Potpuni opis istorije deformisanja, dat je izrazom:

$$\varphi_2 = \begin{cases} -0,6\varphi_1; \varphi_1 \leq 0,138 \\ -0,083 + t_2(\varphi_1 - 0,138); \varphi_1 > 0,138 \end{cases} \quad (2)$$



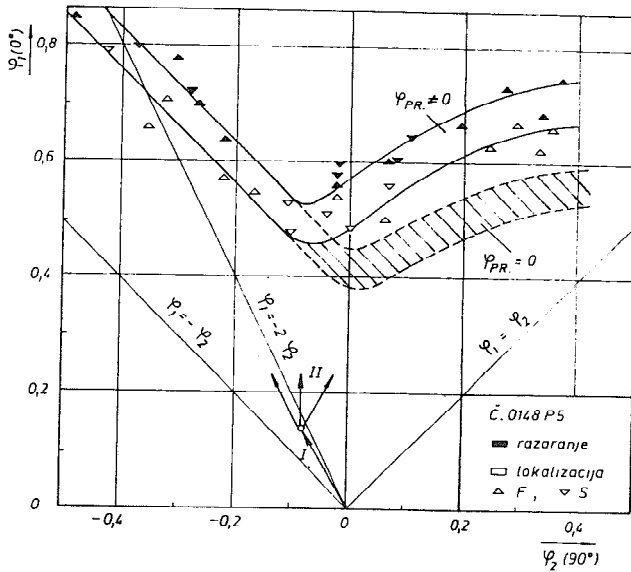
Sl. 3 DGD dobijen pri različitim kontaktnim uslovima

Pri istim kontaktnim uslovima, ostvaruju se veće sile deformisanja kod prethodno zategnutih limova, uz smanjenje dubina pri razaranju. Takođe, ostvaruju se visoke vrednosti glavnih deformacija pri razaranju, a suštinski se menja i karakter razaranja. Smanjenjem trenja, pukotina se pomera u centar komada, a raspodela deformacija je slična onoj pri hidrauličnom izvlačenju, sl. 5. Oznaka F odnosi se na podmazivanje folijom polietilena, a S na tehnički suve kontaktne površine.

Ukoliko se raspodele deformacija predstave u sistemu glavnih deformacija φ_1 - φ_2 , dobiće se tzv. konstitutivni dijagrami, koji na očigledan način pokazuju vezu distribucija i graničnih mogućnosti oblikovanja, sl. 6. Oblik krivih je kod prethodno deformisanih epruveta značajno promenjen; s obzirom da se razaranje odigrava u centru epruvete, odsustvuje karakteristična petlja distribucije. U slučaju dvofaznog izvlačenja izraženiji je uticaj trenja; razlike ostvarenih dubina pri razaranju sa na približno istom nivou, ali su ostvarene distribucije i deformacije veoma različite.

Dobijeni rezultati su pokazani na sl. 4. Kriva granične deformabilnosti za dvofazno oblikovanje leži iznad krive za proporcionalno deformisanje. Najveća razlika se ostvaruje u području većih vrednosti deformacije φ_2 . Povećanjem trenja, pomera se oblast razaranja ka pravcu $m=0,5$, tj. ka ravanskoj deformaciji.

Za potpunije praćenje istorije deformisanja neophodno je izvršiti više uzastopnih izvlačenja, pri čemu se prate karakteristike distribucija glavnih deformacija.

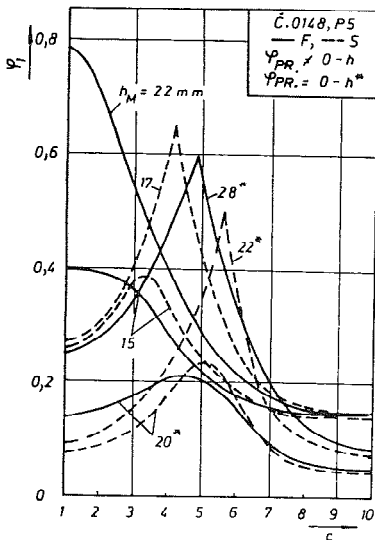


Sl. 4 DGD dobijen pri $m = \text{const}$ (-0,6; t^{II} ; 0,138)

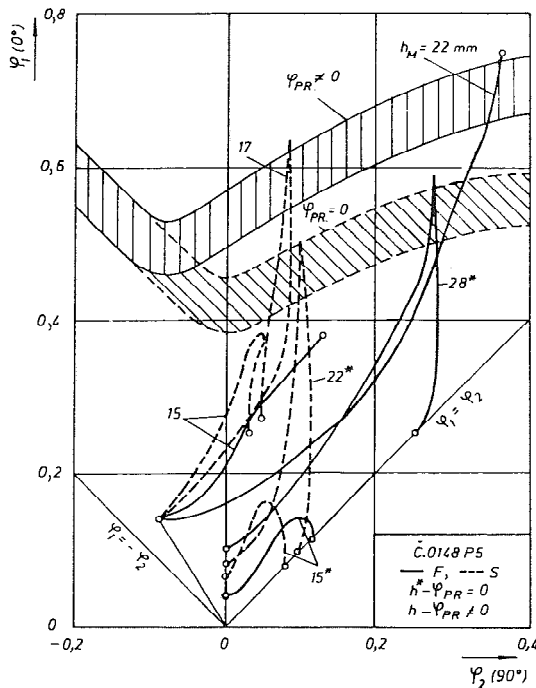
3. ZAKLJUČAK

Pri višefaznom izvlačenju, prema opisanim trajektorijama, ostvaruju se veći iznosi deformacija od onih pri proporcionalnom deformisanju, ali su dubine znatno manje. Izmenom istorije deformisanja može se ostvariti veći iznos lokalnih deformacija, ali na račun smanjenja sposobnosti oblikovanja čitavog komada. Pogodnosti koje pruža opisana trajektorija deformacija se mogu koristiti samo ako to dozvoljava integralna analiza (posmatra se kompletan komad).

Registrovana povećana osetljivost prema tribo-uslovima, pruža mogućnosti za potpuniju ocenu uticaja faktora kojima se opisuju kontaktne uslovi (npr. za ocenu maziva za izvlačenje).



Sl. 5 Uporedni prikaz distribucija deformacija



Sl. 6 Usporedni konstitutivni dijagrami

and Deformation Path on Stretch-Formability of Sheet Metal, 2nd Int. Conf. of Plast., Stuttgart, 1987, 437-444.

[5] Stefanović, M., Istraživanje uticaja kontaktnog trenja i parametara obradivosti na graničnu deformabilnost limova za duboko izvlačenje, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1978.

[6] Kleemola, H., Kumulainen, J., Fanta-Eskola, A., Factors influencing to FLD of Sheet Metals, Mem. Sci. Rev. Met., 1980, 77, No3, 403-412.

M. Stefanović

THE IMPORTANCE OF TRIBOLOGICAL CONDITIONS IN NON PROPORTIONAL FORMING OF THIN SHEETS

Summary

The paper presents the results of investigations of tribo-conditions and straining history influences on limiting deformability of thin sheets intended for deep drawing. Results are given for two-phase forming, with application of limiting lubrication regimes in the tool and thin sheet contact zone. The tribo-conditions affect the field of limiting strains in a complex way, with the following characteristic indicators of both local and integral strain analyses: deformation distribution, largest depths at failure, strain trajectory, position on the limiting deformability diagram, etc.

4. LITERATURA

[1] Devedžić, B., Kriterijumi dostizanja granične obradivosti metala plastičnim deformisanjem, Tehnika, Mašinstvo, No9, 1985, 1333-1343.

[2] Stefanović, M., Ocena deformabilnosti limova u uslovima neproporcionalnog deformisanja, XIX SRMJ, Bor, Zbornik radova, 353-359.

[3] H.Ishigaki, Deformation Analysis of Large Sized Panels in the Press Shop, Sheet Met. Foming, Symp., Warren, 1977.

[4] Devedžić, B., Stefanović, M., Effects of Friction

М.Шљивић

РАДНЕ И ГРАНИЧНЕ НАПОНСКЕ ПОВРШИНЕ У ПРОЦЕСУ ИСТОСМЈЕРНОГ ИСТИСКИВАЊА ЧЕЛИКА

Резиме

У раду се истражују технолошке могућности процеса истосмјерног истискивања челика С4320 преко радних и граничних напонских површина. Пројектовани дијаграм радних и граничних напонских површина приказује одручје усијечног и неусијечног истискивања.

1. УВОД

За разматрање процеса истосмјерног истискивања челика у хладном стању, који је као прва операција процентуално највише заступљен у технологији запреминског обликовања, око 60-70 %, уводе се напонске површине, као геометријске изражајности унутрашње структуре чврстог тијела. С обзиром на повољно напонско стање које влада у зони деформисања, све три напонске компоненте имају исти негативни предзнак, постоје реалне могућности прераде челичних материјала са врло великим степеном деформације. Истраживање граничних могућности процеса, с обзиром на дејство утицајних фактора, приказиваће се путем повезивања напонског стања са геометријским факторима процеса преко радних и граничних напонских површина. Истраживања су базирана на реалним условима истискивања челика С.4320, са циљем да се постигне максимално остварљиви степен деформације, како би се утврдила стабилност технолошког процеса.

2. РЕЗУЛТАТИ ЕКСПЕРИМЕНТА

За истраживање су изабрани припремци димензија $d_0 = 28 \text{ mm}$ и $b_0 = 35 \text{ mm}$ из челика С.4320, меко жарепог структурног стања. Одабрани су следећи најутицајнији фактори на процес истосмјерног истискивања :

- логаритамски степен деформације ϕ , на три нивоа:
 $\phi_1 = \ln d_0^2/d_1^2 = 0,883$, $\phi_2 = 1,386$ и $\phi_3 = 2,226$.
- облик алата: угао матрице 2α , на пет нивоа:
 $2\alpha = 40^\circ, 50^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ$ и
- стање контактних површина преко коефицијента трења μ , на два нивоа:
 $\mu = 0,1$ и $\mu = 0,11$.

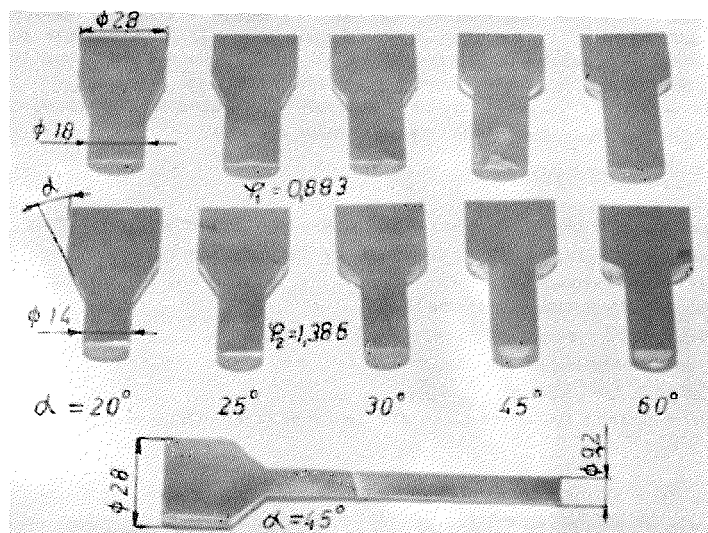
Примјењен је потпуни факторски план експеримента са три понављања. Експерименти су изведени на преси KOMATSU - MAYPPES од 6300 kN, која је била опремљена

са мјерном дозом, повезаном са појачивачем и писачем на коме је регистрована сила истискивања. У табели 1 дате су вриједности добивене експериментом и прорачуном.

Угао матр. α	Степен деформ. φ	Коеф. трења μ	Ефект. напон σ_e [N/mm ²]	Сила (ср.вр. за 3 мј.) F [kN]	Гл. норм. напон σ_1 [N/mm ²]	Ср. норм. напон σ_m [N/mm ²]
20°	0,883	0,1	855	628	-1019,9	-1589,9
		0,11		636	-1032,8	-1602,8
	1,386	0,1	942	1118,3	-1816,2	-2444,2
		0,11		1139,3	-1850,3	-2478,3
25°	0,883	0,1	855	589,6	-957,6	-1527,6
		0,11		592,3	-962	-1532
	1,386	0,1	942	1016	-1650	-2278
		0,11		1029,6	-1672,2	-2300,2
30°	0,883	0,1	855	559,4	-908,4	-1478,4
		0,11		575	-934,3	-1504,2
	1,386	0,1	942	954	-1548	-2176
		0,11		967,3	-1571	-2199
45°	0,883	0,1	855	530	-860,7	-1430,7
		0,11		535,3	-869,4	-1439,4
	1,386	0,1	942	880	-1429,1	-2057
		0,11		922	-1417,3	-2125,3
	2,226	0,11	1092	1774	-2881	-3609
60°	0,883	0,1	855	591	-959,8	-1529,8
		0,11		592,3	-961,9	-1534,9
	1,386	0,1	942	1017	-1651,6	-2279,6
		0,11		1021,3	-1658,7	-2286,7

Табела 1. Вриједности добивене експериментом и прорачуном

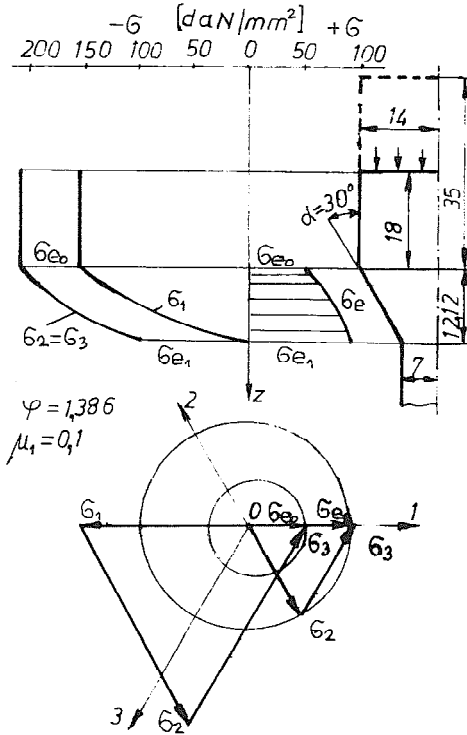
На слици 1 приказани су узорци добивени у експерименту истискивања у хладном стању.



Сл.1 Узорци добивени у експерименту истискивања

3. РАДНЕ И ГРАНИЧНЕ НАПОНСКЕ ПОВРШИНЕ

Распоред напонских интензитета у правоуглом и косоуглом координатном систему за вриједност степена деформације $\varphi = 1,386$, угао матрице $\alpha = 30^\circ$ и коефицијент контактнoг трења $\mu = 0,1$ дат је на слици 2.



Сл.2. Распоред напонских интензитета у правоуглом и косоуглом координатном систему

Намошење вриједности напова у косоуглом координатном систему иде тако да је смјер намошења сагласан његовом предзнаку и усклађен са одговарајућим смјером осе, а прво се наноси напон σ_1 , а онда се надовезују напони σ_2 и σ_3 . Овдје се види погодност косоуглог координатног система за представљање напонских компоненти, јер је код процеса истосмјерног истискивања довољно познавати само главни нормални напон у правцу осе истискивања, док се остала два могу добити из дијаграма.

При одређивању радних и граничних напонских површина, као индикатора технолошких могућности извођења процеса, пошло се од напонског стања у систему напонских свежњева $\sigma_e - \sigma_m$, гдје су:

σ_e - ефективни напон и
 σ_m - средњи нормални напон.

Ефективни напон за разматрани челик С.4320 утврђен је експериментом сабијања цилиндричних узорака и за вариране степене деформације дат је у табели 1.

За добијање средњег нормалног напона пошло се од математичке дефиниције овог напона, тј.:

$$\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / 3 \dots \dots (1)$$

Уводећи услов пластичног течења за троосно напонско стање:

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \dots \dots \dots (2)$$

а пошто се ради о истискивању пуних осносиметричних профила то су напони $\sigma_2 = \sigma_3$, па једначина (2) добија облик:

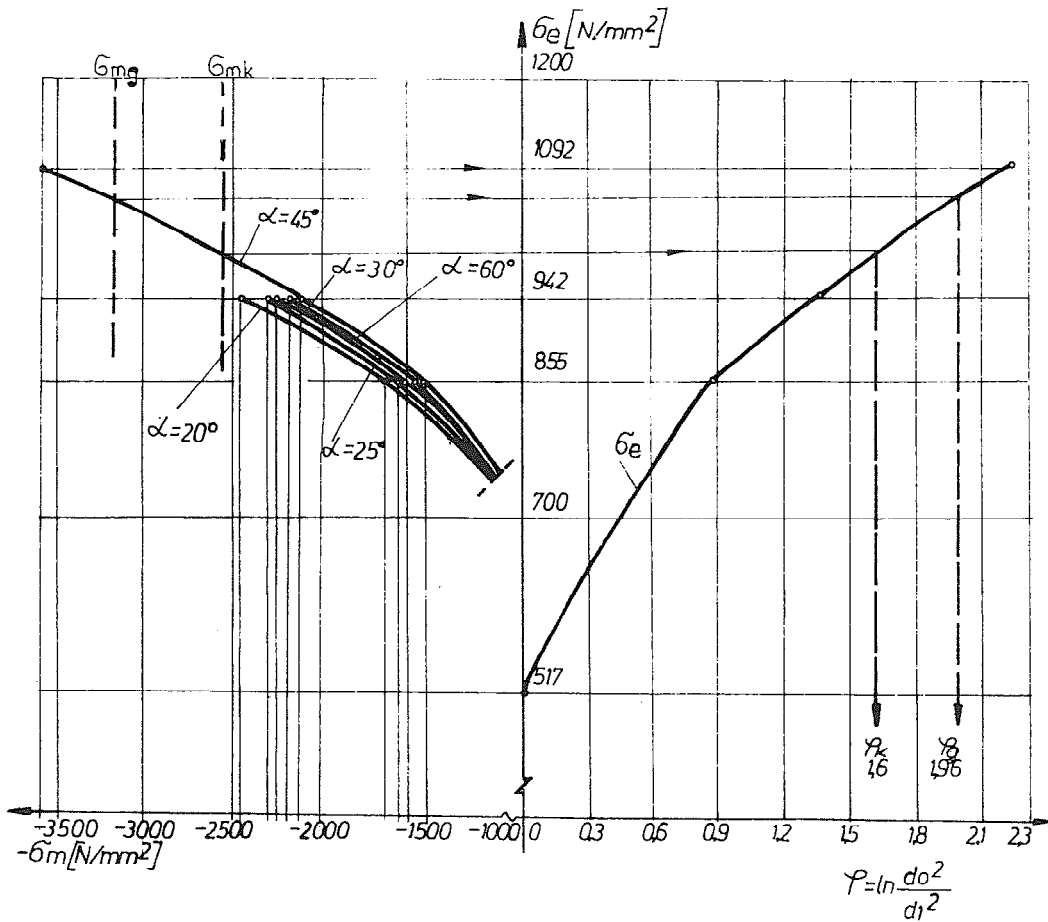
$$\sigma_e = \sigma_1 - \sigma_3 \quad \text{----} \quad \sigma_3 = \sigma_1 - \sigma_e \dots \dots \dots (3)$$

Нормални средњи напон је:

$$\begin{aligned} \sigma_m &= (\sigma_1 + 2\sigma_3) / 3 = [\sigma_1 + 2(\sigma_1 - \sigma_e)] / 3 = (3\sigma_1 - 2\sigma_e) / 3 \\ \sigma_m &= \sigma_1 - 2/3 \sigma_e \dots \dots \dots (4) \end{aligned}$$

Уврштавањем вриједности за σ_1 и σ_e у једначину (4), добивене су вриједности средњег

нормалног напона, табела 1, које су пројектоване у систему напонских свежњева $\sigma_e - \sigma_m$ за свих пет углова матрице, приказано на лијевој страни на дијаграму, слика 3.



Сл.3. Радне и граничне напонске површине на дијаграму стабилности процеса истосмјерног истискивања челика

Експерименти су показали да је процес лимитиран издржљивошћу алата, а не степеном деформабилности материјала.

Ако се вриједности за критични (допуштени) и гранични напон, које су износиле $\sigma_{1k} = -2000 \text{ N/mm}^2$ и $\sigma_{1g} = -2500 \text{ N/mm}^2$, унесу у једначину (4), добиће се вриједности критичног, граничног и средњег нормалног напона као границе радних и граничних напонских површина. То су: $\sigma_{mk} = -2628 \text{ N/mm}^2$ и

$\sigma_{mg} = -3228 \text{ N/mm}^2$, док је за

$\varphi = 0$, $\sigma_m = -344.6 \text{ N/mm}^2$.

Добивене вриједности за критични и гранични средњи нормални напон пројектоване су на дијаграму напонских свежњева, приказано на слици 3. Граничне напонске површине представљају границу на којој долази до губитка стабилности процеса.

Десна страна од линије σ_{mk} , односно σ_{mg} представља радне напонске површине. У том дијапазону могуће је успјешно изводити процес истосмјерног истискивања челика. Лијево од цртане линије σ_{mg} процес истискивања није могуће изводити. На овом дијелу долази до разарања алата.

Путем напонских површина долази се и до података о критичном и граничном степену деформације, као једном од најважнијих података за пројектанте технолошког процеса. За истискивани челик С.4320 критични степен деформације је $\varphi_k = 1,6$, док је гранични степен деформације $\varphi_g = 1,96$, слика 3.

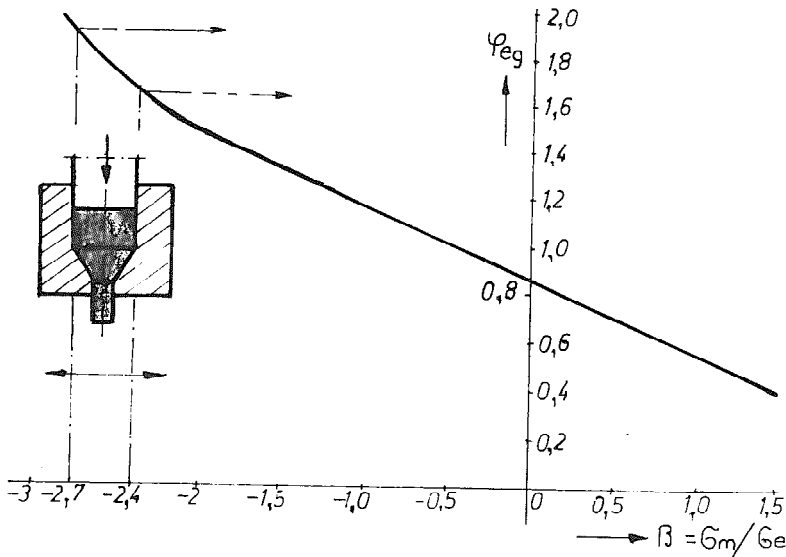
У циљу компарације резултата добивених методом радних и граничних напонских површина извршено је поређење са кривом граничне деформабилности (КГД). Код одређивања КГД пошло се од напонског индекса деформабилности [1,2]

$$\beta = \frac{I_1}{\sqrt{3}I_2} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3}{\sqrt{\frac{1}{2}[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2]}} = \frac{\sigma_m}{\sigma_e} \quad \dots\dots\dots (5)$$

при чему је :

- I_1 - прва скаларна инваријанта тензора напона, чија трећина представља средњи хидростатички притисак,
- I_2 - друга скаларна инваријанта девијатора напона која одређује ефективни напон σ_e .

Добивени резултати су представљени на дијаграму, слика 4.



Сл.4. Крива граничне деформабилности дефинисана напонским индексом β

Пројектована КГД, слика 4, је у сагласности са дијаграмом радних и граничних напонских површина, слика 3, и потврђује да предложена метода радних и граничних напонских површина у циљу дефинисања стабилности процеса истосмјерног истискивања челика има оправдање.

4. ЗАКЉУЧАК

Радним и граничним напонским површинама, слика 3, које су омеђене са средњим нормалним напонам, критичним $\sigma_{mk} = -2628 \text{ N/mm}^2$ и граничним $\sigma_{mg} = -3228 \text{ N/mm}^2$, представљена је стабилност процеса истосмјерног истискивања челика $\check{C}.4320$. Процес хладног истискивања челика, према овој предложеној методи, могуће је успјешно изводити до степена деформације $\Phi_k = 1,6$ (допуштена вриједност) односно граничне вриједности $\Phi_g = 1,96$.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Lange, K., *Lerbuch der Umformtechnik*, Band 1.2, Springer-Verlag, Berlin, 1974.
- [2] Вујовић, В., *Деформабилност*, монографија, Институт за производно машинство, Н.Сад, 1992.
- [3] Шљивић, М., *Истраживање стабилности процеса истосмјерног истискивања челика*, БИАМ'88, Загреб, 1988, 203-205
- [4] Šljivić, M., *Bestimmen des optimalen Matrizen-Öffnungswinkels beim Vorwärts-Kaltfließpressen von Stahl*, Werkstatt und Betrieb 123, Carl Hanser Verlag, München, 1990, 391-393.

M.Šljivić

ARBEITS UND GRENZSPANNUNGSFLÄCHEN BEIM VORWÄRTS-KALTFLIESSPRESSEN VON STAHL

Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurde der technologischen Vermögen beim Vorwärts-Kaltfließpressen von Stahl $\check{C}.4320$ über Arbeits und Grenzspannungsflächen erforscht. Das Schaubild von Arbeits und Grenzspannungsflächen wurde ein Bereich beim Vorwärts-Kaltfließpressen von "gut" und "Versagen" dargestellt.

Т. Тодић *

СЕЛЕКЦИЈА И ИЗБОР УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА НА ВЕК ТРАЈАЊА АЛАТА ЗА ПРОСЕЦАЊЕ И ПРОБИЈАЊЕ

Резиме

При конструкцији, изради и експлоатацији алата поред осталог значајан је и период између два оштрена алата. Велики је број фактора који утичу на величину периода исправног рада алата. У овом раду разматра се начин селекције и рангирања утицајних фактора на век трајања алата.

1. УВОД

Познавање проблематике деформационог раздвајања у циљу израде одговарајућих алата је веома значајно питање како са техничког тако и са економског аспекта. Алати за обраду раздвајањем (просецање и пробијање) најзначајнији су и најраспрострањени, чија је ефикасност изражена кроз квалитет израдка, продуктивност и трајност алата.

Под квалитетом комада овде се првенствено мисли пре свега на квалитет просечене површине, закривљеност комада и појаву повијене ивице где сви заједно имају пресудни утицај на оцену квалитета комада.

У циљу истраживања проблема квалитета просечене површине и века трајања алата пре свега се мора извршити идентификација свих утицајних фактора на процес просецања и пробијања као и оцена утицајности појединих фактора.

2. УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ

Сви утицајни фактори могу се поделити на факторе спољашње и унутрашње структуре. У факторе спољашње структуре спадају сви фактори чија се својства дају описати геометријом, док фактори унутрашње структуре сачињавају фактори који се описују разним физикалним наукама.

Према напред учињеној дефиницији у факторе спољашње структуре спадају сви фактори чија се својства могу описати геометријом а факторе унутрашње структуре својства материјала, обрадка и резних делова алата.

Досадашња искуства и истраживања указују да је велики број ових фактора који утичу на процес формирања просечене површине као и на век трајања резних елемената алата.

* Др Томислав Тодић в.проф
Машински факултет у Приштини

Ради лакшег проучавања наведених фактора спољашње и унутрашње структуре извршена је подела на унутрашње-факторе машине, алата, предмета обраде и технолошких параметара обраде. Досадашња искуства указују на сложеност проблема утицајних фактора на век трајања алата. Избор фактора ради провере сигнификантности из широке лепезе утицајних фактора извршен је на основу досадашњих сазнања о степену утицаја на век трајања алата.

Свестраном анализом напред побројаних фактора као најутицајнији на процес деформационог раздвајања су:

- величина зазора између резних елемената w
- брзина деформационог раздвајања v
- тврдоћа резних елемената алата T
- висина врата контуре у плочи за просецање L

Друга група утицајних фактора као што су утицајни фактори машине, предмета обраде и алата узети су као гранични услови из разлога што се испитивања спроводе на одређеној машини, са одређеним материјалом обраде и посебно конструисаним и урађеном алату за ову намену.

Надаље у овом раду пратиће се временска и количинска постојаност алата, и то мерењем висине повијене ивице на обрадкы, собзиром да се појава увећане повијене ивице сматра да је алат затупљен када се престаје са производним процесом и приступа оштрењу резних елемената.

3. ПЛАН ЕКСПЕРИМЕНАТА

Напред је наведен значај и суштина замишљених експеримената али је једно-времено постављен и проблем великих материјалних и финансиских средстава за испитивање уз варирање сваког утицајног фактора појединачно. Ако би се дакле радило класичним методама експериментисања, истраживања би била дуготрајна и веома скупа, јер се планирање експеримената базира на експерименталним плановима једнофакторне анализе. Овакви експерименти су бројни дуготрајни и јако скупи. Поред тога експериментима овакве врсте немогуће је да се утврде степен и интеракције поменутих фактора.

У циљу ефикаснијег начина рада уз драстично смањење трошкова целокупних експеримената коришћена је математичка метода теорије експеримената позната под називом Бокс - Вилсон-ов метод.

На основу захтеваних услова вишефакторне анализе може се констатовати да се одабрани фактори (зазор између резних елемената, тврдоће резних елемената, брзина деформационог раздвајања материјала и висина врата контуре за просецање на резној плочи) могу узети као такви те да су им одређена три нивоа варирања (табела 1)

Табела 1

Нивои варирања		Кодовна ознака	Ф а к т о р и			
			w	v	T	L
			/мм/	/мм/сек/	/HRC/	/мм/
Горњи		+1	0.3	214	62	6
Средњи		0	0.18	121	58	4
Доњи		-1	0.06	28	54	2
Интервал			0.12	93	4	2

За средње нивое фактора узети су параметри који се обично користе у пракси док су доњи и горњи нивои формиран тако да задовоље услов

$$X_{SR} = \frac{X_{\min} - X_{\max}}{2}$$

Собзиром да усвојени број утицајних фактора ($k=4$) примена Бокс - Вилсоновог метода - ортогоналних планова двонивојског типа, предвиђа број експерименталних тачака

$$N = 2^k = 16$$

Међутим, иако ови планови вишефакторне анализе садрже релативно мали број експерименталних тачака у односу на једнофакторне планове, ипак број потребних експеримената није мали и цео испитивани процес био би и даље скуп и дуготрајан. У циљу смањења броја експерименталних тачака а самим тим и снижења трошкова истраживања, искоришћен је концепт парцијалних ортогоналних планова или парцијалних реплика растављањем потпуног плана 2^k на паран број блокова ($n = 2$). Коришћењем парцијалних вишефакторних ортогоналних планова првог реда број потребних експеримената смањује се на

$$N = \frac{1}{n} \cdot 2^k = 2^{k-1} = 2^{4-1} = 8$$

За овакав случај постоје више начина формирања полуреплика. Према 3,4 / најповољнија полуреплика је она која даје такве оцене ефеката којима се основни ефекти одвојено оцењују од ефеката узајамног дејства првог реда. На основу потпуног плана експеримената долази се до главне полуреплике 2^{4-1} и одговарајуће план матрице са три понављања у централној тачки плана. Према томе тип полуреплике је $2^{k-1} + n_0$ (табела 2).

Формирана план матрица мора да испуњава одређене услове и то: да нема међусобно истоветних колона и да нема таквих колона које помножене скаларно са било којом другом колоном дају колоне истих знакова (плус или минус).

Табела 2

Кодови		Улаз не				међу			Изразни	резултати
Експеримент		вел.				дејс.				
ред. број	Структур. експерим.	x1	x2	x3	x4	x1x2	x1x3	x2x3	H	P
		w	v	T	L	wv	wT	vT	/мм/	/мм/
1	П1,М1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	0.25	1.05
2	П2,М2	+1	-1	-1	+1	-1	+1	-1	0.175	0.55
9	П2,М3	+1	+1	-1	-1	+1	-1	-1	0.22	0.5
3	П3,М3	-1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	0.25	1.3
4	П4,М1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	+1	0.12	0.4
5	П1,М4	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	0.17	1.2
8	П3,М2	-1	+1	-1	+1	-1	-1	+1	0.17	1.2
10	П4,М4	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	0.165	0.5

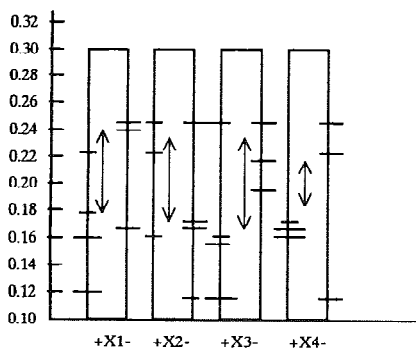
3. СЕЛЕКЦИЈА УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА

При анализи значајности утицајних фактора битно је утврдити степен утицаја појединих фактора на сам процес или систем. Селекциони планови примењу-

ју се у стадијуму претходног испитивања процеса а са циљем да се из скупа улазних фактора издвоје и рангирају утицајни фактори. Елиминисањем несигнификантних фактора смањује се број експеримената а тиме, време и трошкови испитивања.

На основу састављене план матрице извршени су експерименти и мерења излазних величина. План матрице и резултати за селекцију и рангирање приказани су у табели 2.

Дијаграм дисперзије конструисан је на основу резултата експеримената и приказане план матрице(сл. 1)



Сл. 1

На основу резултата испитивања из плана матрице и дијаграма дисперзије одређен је положај медиана за оба нивоа сваког фактора и приказани у табели 3.

Табела 3

Медиане	Ф а к т о р и			
	X1	X2	X3	X4
Горњи ниво +	0.17	0.2337	0.1762	0.2025
Доњи ниво -	0.2425	0.1787	0.2362	0.21
Разлика	-0.0725	0.055	-0.06	-0.0075

Сада је потребно утврдити да ли су сви фактори сигнификантни (да ли испољавају утицај на излазну величину).

Овај поступак започиње се анализом разлике медиана на оба нивоа сваког фактора. Што је разлика медиана већа, то је и дејство(ефекат) сваког фактора веће на излазну величину процеса, у овом случају на висину повијене ивице просечног комада а што у суштини одражава затупљеност резних ивица алата.

Са дијаграма сл.1 вредношћу разлике медиана истичу се фактори X_1, X_2, X_3 . У првој фази ове анализе издвајају се фактори X_1 и X_3 као сигнификантни. Ефекат фактора одређује се на основу израза

$$B_i = \frac{H1+H3+H5+Hn}{m} - \frac{H2+H4+H6+Hn-1}{m} \quad \text{где је}$$

m - број величина за (h) за посматрани фактор истог знака (+ или -), у овом случају $m = 2$

На основу горњег израза може се написати да је

$$B_1 = \frac{H_1+H_3}{2} - \frac{H_2+H_4}{2} = -0.0725; \quad B_3 = \frac{H_1+H_2}{2} - \frac{H_3+H_4}{2} = -0.06$$

Значајност издвојених фактора X_1 и X_3 и ефекта B_1 и B_3 проверава се помоћу t - критеријума.

После завршеног првог циклуса селекције утицајних фактора у коме су издвојена два фактора X_1 и X_3 , може се започети наредни циклус ради издвајања нових фактора чије би дејство на карактеристику било такође сигнификантно. У том циљу врши се кориговање резултата мерења (H) из табеле 2 како би се омогућило издвајање нових сигнификантних фактора. Поступак кориговања се изводи на тај начин што се свим резултатима мерења (H) на нивоу ($+X_1$) односно ($+X_3$) дода вредност израчунатог ефекта фактора (X_1) са супротним знаком. У нашем случају та вредност је (+0,0725), односно (+0,06).

На кориговане резултате (H_1') табела 4 примењује се индетигична процедура као у првом случају по којој су издвојени фактори (X_1) и (X_3). Ефекти издвојених фактора износе

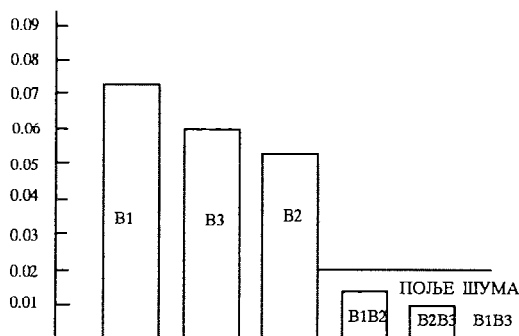
$$B_2 = 0.055 \text{ и } B_{1,2} = -0.01$$

Након другог циклуса селекције утицајних фактора може се констатовати да утицајни фактори w , T и v су сигнификантни. Фактор висине врата плоче за просецање је несигнификантан као и узајамна дејства (wv), (wT) и (vT) те се исти могу надаље искључити при даљој анализи а број експеримената смањити.

Табела 4

Редни број експеримен.	Резултати H_1	Кориговани H_1'
1	0.25	0.31
2	0.175	0.2475
9	0.22	0.2925
3	0.25	0.25
4	0.12	0.2525
5	0.17	0.23
8	0.30	0.30
10	0.165	0.2975

На основу исказаних резултата може се конструисати и дијаграм ефеката (рангирани резултати ефекта фактора) приказан на слици 2.



Сл. 2

4. ЗАКЉУЧАК

На основи добијених резултата показано је, да је зазор између резних елемената у алату најутицајнији на промену висине повијене ивице а тиме и на век трајања алата. Следећи параметар по степену утицаја на излазну величину (век трајања) је тврдоћа резних елемената. Нешто мање значајан утицај има брзина раздвајања. Остли фактори као и међусобна дејства испољавају знатно мањи утицај на век трајања алата. Користећи резултате мерења као и математичке показатеље може се извући закључак да је у циљу повећања издржљивости алата потребно применити кроз процес пројектовања процеса и алата веће зазоре, тврдоће и мање брзине просецања.

5. ЛИТЕРАТУРА

- /1/ Н.К. Фотев Високостојкије штампи, Машиностроение, Москва, 1965
- /2/ Поповић П. "Прилог разматрању проблема века алата за просецање и пробијање", Обрада деформисањем у машинству, бр.2, Нови Сад, 1976
- /3/ Станић Ј. Математичке основе техноекономске оптимизације обрадних процеса, Машински факултет, Београд 1976
- /4/ Станић Ј. Метод инжењерских мерења, Машински факултет Београд 1981

Т. Тодић

SELECTION AND CHOICE OF INFLUENTIAL FACTORS ON LIFE OF TOOLS FOR CUTTING AND PUNCHING

At designing, construction and exploitation of tools among other things it is also significant the period between two tool sharpening. There are numerous factors that affects the duration of period of tool correct operations. The way of selection and ranking of the influential factors that affects the tool life is considered in this paper.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

V. Vasiljević*
H. Stefanović**

**JEDAN PRISTUP FIZIČKOM MODELIRANJU TOPLE OBRADE DELOVA
NEPRAVILNE GEOMETRIJE**

Rezime

U radu se izlaže postupak fizičkog modeliranja sabijanja kocke, kao najjednostavnijeg 3D problema plastičnog deformisanja materijala. Simulacija procesa je izvedena korišćenjem višebojnog plastelinskog modela kocke sa prostornom koordinatnom mrežom. Na osnovu eksperimentalno dobijenog polja pomeranja određeno je polje deformacija i efektivnog napona po celoj zapremini modela, korišćenjem softverskog paketa PAK, koji je razvijen u laboratoriji za inženjerski softver na Mašinskom fakultetu u Kragujevcu.

1. UVOD

Razvoj obrade metala deformisanjem i povećanje kvantiteta i kvaliteta proizvoda dobijenih ovom obradom stvaraju uslove za istovremene promene u metodama za analizu i usavršavanje ovih procesa. Upravo, simulacija procesa obrade deformisanjem korišćenjem modelnih (nemetalnih) materijala, kao što su plastelin, vosak, parafin, glina itd. predstavlja jednu od novih metoda analize procesa u daljem periodu. Prednost korišćenja ovakvih materijala za ispitivanja leži u činjenici da u njima nastaju naponi približno tri reda veličine manji od napona u metalima. Najčešće primenjivani modelni materijal je plastelin zahvaljujući sledećim njegovim osobinama:

- 1) Plastelini se lako nabavljaju, imaju malu cenu koštanja i neotrovni su;
- 2) Deformisanje plastelina na sobnoj temperaturi zahteva malu silu, pa time i jednostavniju opremu sa manjim opsegom merenja;
- 3) Višebojni modeli omogućuju proučavanje tečenja materijala po celoj zapremini;
- 4) Plastelin na sobnoj temperaturi ima slične statičke i dinamičke osobine sa čelikom na temperaturi kovanja, pa je moguće, uz poštovanje zakona sličnosti, odrediti napone u realnom materijalu na osnovu napona u plastelinskim modelima.

Eksperimenti modeliranja sa plastelinom kao modelnim materijalom početi su pre 50 godina u Engleskoj. Japanci ga takodje koriste u svojim laboratorijama za modeliranje već oko 40 godina /2/, /3/. Wanheim i njegovi saradnici, u poslednjih deset godina, u svojim istraživanjima koriste se pomenutom metodom /4/. Ipak, analiza deformisanja u pravom 3D deformisanju, posebno kada je u pitanju određivanje napona, još uvek nije zadovoljavajuća.

Eksperimentalna tehnika određivanja polja pomeranja a potom i deformacionih i naponskih polja, koja će biti pokazana u radu, sastoji se u pravljenju uzorka od višebojnog plastelina, njegovom deformisanju, sečenju na tanke slojeve i merenju značajnih koordinata prostorne mreže modela. Na osnovu

* Mr Vesna Vasiljević, asistent, Mašinski fakultet u Kragujevcu

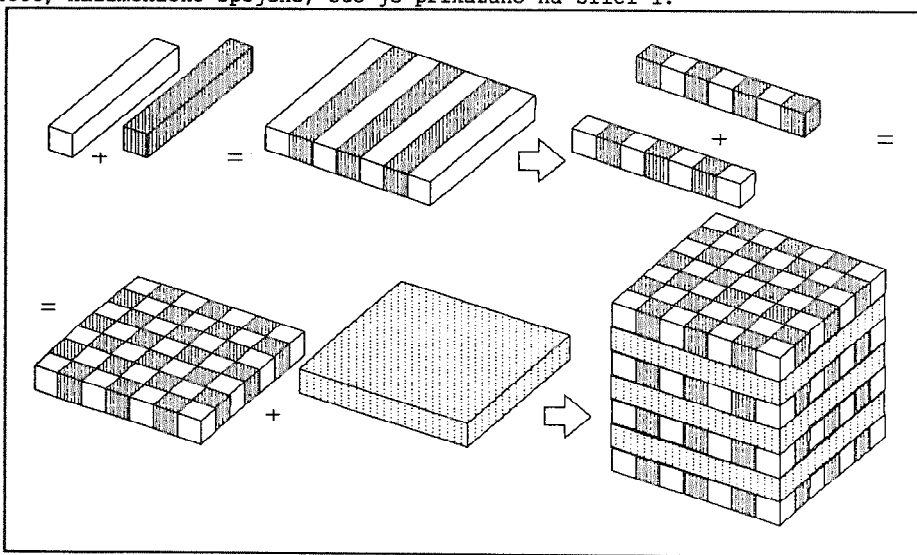
** Dr Milentije Stefanović, vanr.prof, Mašinski fakultet u Kragujevcu

eksperimentalno dobijenog polja pomeranja, po celoj zapremini modela, deformaciona i naponska polja odredjena su korišćenjem softverskog paketa PAK.

2. IZRADA PLASTELINSKOG MODELA I DEFORMISANJE

Za izradu modela korišćen je komercijalni plastelin "Karboplast" firme "Karbon", koji u originalnom pakovanju ima osam vrsta boja plastelina, fabrički oblikovan u prizmatične komade dimenzija 80X20X8mm.

Osnova za praviljenje modela kocke stranice 42mm je prizmatični komad dimenzija 6X6X42mm, kvadratnog poprečnog preseka, od plastelina u dve boje. Kada se spremi dovoljan broj prizmatičnih komada, pristupa se njihovom spajanju, menjajući naizmenično boju plastelina. Spajanje komada se izvodi blagim zagrevanjem površina dva komada, na toploj struji vazduha ili na glatkoj zagrejanj metalnoj površini, tako da se nakon toga dobije ploča dimenzija 42X42X6mm (v.sl.1). Za izradu plastelinske kocke potrebno je napraviti četiri takve ploče. Od pripremljenih ploča isecaju se prizmatični komadi dimenzija 42X6X6mm, i to u pravcu normalnom na granične površine prethodno spojenih komada ploče. Na taj način dobijaju se prizmatični komadi koji se sastoje iz malih kocki dimenzija 6X6X6mm u dve boje, naizmenično spojenih, kao što je prikazano na slici 1. Isecanje komada se izvodi ili na alatu, specijalno napravljenom za sečenje plastelina sa žicom, ili nekim priručnim reznim alatom. Spremljeni komadi se spajaju tako da se dobije "šahirana" ploča dimenzija 42X42X6mm, koja se sastoji iz kocki dimenzija 6X6X6mm, u dve boje (v.sl.1). Pre sklapanja modela potrebno je još napraviti jednobojne ploče (od neke treće boje plastelina) dimenzija 42X42 X6mm. Sklapanje modela se izvodi tako da se prvo spaja jedna "šahirana" i jedna jednobojna ploča, i to blagim zagrevanjem površina koje se spajaju, i tako naizmenično. Cela kocka se sastoji iz četiri "šahirane" i tri jednobojne ploče, naizmenično spojene, što je prikazano na slici 1.

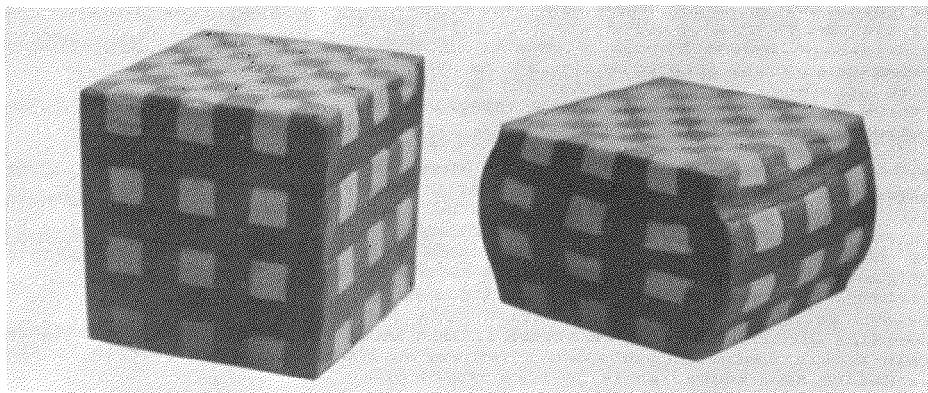


Slika 1. - Postupak dobijanja plastelinskog modela kocke /1/

Uvako pripremljen model potrebno je, zbog boljeg spajanja kontaktnih raznobojnih površina malih kocki, zagrevati u pećnici na temperaturi 50°C oko 120min. Pre zagrevanja poželjno je, radi kompaktnosti modela i obezbeđenja prvobitnog oblika, uviti ga u celofansku foliju. Model se može deformisati tek nakon 24h od zagrevanja, u cilju stabilizacije njegovih osobina.

Sabijanje plastelinskog modela izvedeno je izmedju ravnih paralelnih ploča alata pri brzini deformisanja 5mm/min i na temperaturi T=20°C. Da bi se pri simulaciji ostvarili slični uslovi na kontaktnim površinama alata i materijala kao u stvarnom kovanju, površine alata i modela posipane su tankim slojem praha talka, čime je ostvarena približno vrednost koeficijenta trenja 0,4, što odgovara toploj obradi čelika /2/.

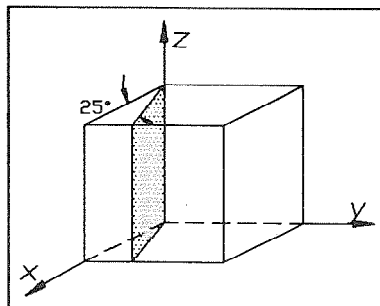
Izgled modela kocke pre i posle deformisanja dat je na slici 2.



Slika 2. - Izgled modela kocke u nedeformisanoj i deformisanoj konfiguraciji /1/

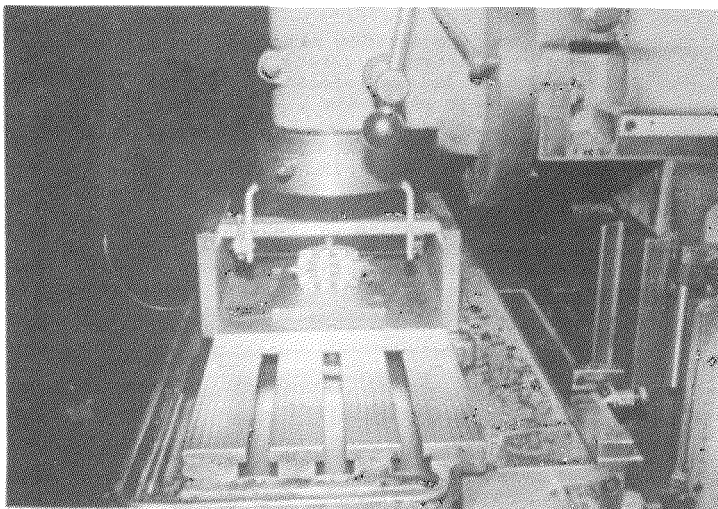
3. ODREĐJIVANJE KOORDINATA ČVORNIH TAČAKA

Da bi se odredile koordinate svih čvornih tačaka mreže, koje su rasporedjene po celoj zapremini modela, primenjena je metodologija koju je predložio T.Wanheim /4/. Cela kocka isečena je na slojeve debljine 2mm, koji su pod uglom 25° u odnosu na xz-ravan, kao što je prikazano na slici 3. Sečenje plastelina se izvodi na alatu specijalno napravljenom za te potrebe u laboratoriji MFK. Pomenuti alat se montira na sto glodalice, gde se obezbedjuje precizno vodjenje tanke čelične žice, debljine 0,3mm, kojom se seče plastelin (v.sl.4).



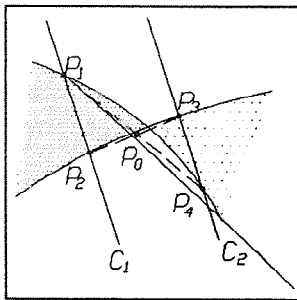
Slika 3. - Ravan rezanja u koordinatnom sistemu modela /5/

Svaki isečeni sloj se fotografiše, radi merenja koordinata, ili snima video kamerom, u slučaju primene računarske akvizicije podataka. Autor rada nije imao tu mogućnost, tako da su koordinate



Slika 4. - Alat za sečenje plastelina /1/

merene direktno sa isečenog sloja. Na slici 5 prikazan je jedan od precečnih slojeva kocke. Najčešće čvorne tačke kocke leže unutar sloja, pa se njihove koordinate određuju uočavanjem promene kombinacija susednih boja elementarnih kocki i primenom linearne interpolacije. Ako se dva susedna reza označe sa C_1 i C_2 , a određuju se koordinate čvorne tačke P_0 koja leži unutar sloja, onda je potrebno uočiti granice promene boja plastelina, odnosno granice između elementarnih kocki, koje su na slici 67 označene sa P_1 do P_4 . Merenjem se utvrđuju koordinate pomenutih tačaka. U preseku linija P_1P_4 i P_2P_3 nalazi se linearnom interpolacijom položaj tačke P_0 i njene koordinate. Kada se odrede koordinate svih čvornih tačaka koje pripadaju određenom sloju u lokalnom koordinatnom sistemu, koji važi samo za taj sloj, potrebno je na osnovu položaja tog sloja u okviru cele kocke, odrediti globalne koordinate čvorne tačke u koordinatnom sistemu koji važi za celu kocku. Pomenutim postupkom određene su koordinate svih čvornih tačaka za deformisanu kocku, kojih je bilo ukupno 512.



Slika 5. - Određivanje čvornih tačaka [4/

4. ODREĐIVANJE DEFORMACIJA I NAPONA

Pomeranja u svim referentnim tačkama prostorne mreže, koje predstavljaju temena elementarnih raznobojnih kocki, određena su na osnovu jednačina:

$$u_k - x_k - x_{0k} \quad (1)$$

$$v_k - y_k - y_{0k} \quad (2)$$

$$w_k - z_k - z_{0k} \quad (3)$$

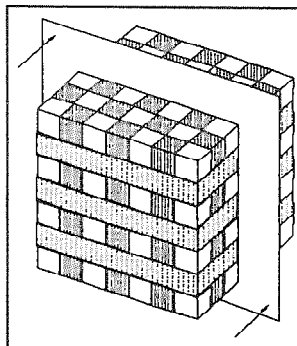
gde su $(x, y, z)_k$ - Dekartove koordinate k -te tačke u deformisanoj konfiguraciji a $(x, y, z)_{0k}$ - Dekartove koordinate k -te tačke u nedeformisanoj konfiguraciji. Za određivanje deformacija i napona korišćen je komercijalni softverski paket PAK, razvijen u Birou za inženjerski softver na Mašinskom fakultetu. Paket daje mogućnost određivanja distribucije deformacija i napona za elastično-plastične 2D i 3D probleme. Prvenstveno je namenjen za numeričku analizu metodom konačnih elemenata. Paket je korišćen za određivanje deformacionog i naponskog polja u deformisanom modelu na osnovu ekaperimentalno određenog polja pomeranja.

Za određivanje efektivnog napona korišćen je aproksimativni oblik krive ojačanja za plastelin:

$$\sigma_e = 0.055 + 0.0363 e_e^{0.3505}, \quad \text{MPa} \quad (4)$$

Prethodna jednačina je dobijena metodom najmanjih kvadrata na osnovu eksperimentalnih rezultata testa pritiskivanja (određivanje krivih ojačanja po ekstrapoacionoj metodi koju je predložio L.A.Šofman).

Grafički prikazi rezultata proračuna dobijeni su korišćenjem programa CAD, koji je takodje razvijen u Birou za inženjerski softver na Mašinskom fakultetu. Program CAD omogućuje dobijanje distribucije komponenata deformacija i napona, dobijenih proračunom preko PAK-a, prikazivanjem zona sa istim oblastima vrednosti parametara jednom određenom šrafurom, ili u vidu izolinija. Za model 10 (kocka) prikazani su rezultati u ravni, koja je naznačena na slici 6.



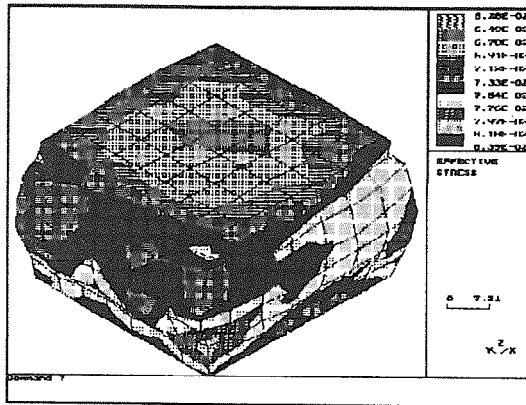
Slika 6. - Presečna ravan A-A za model kocku

5. ANALIZA EKSPERIMENTALNIH REZULTATA

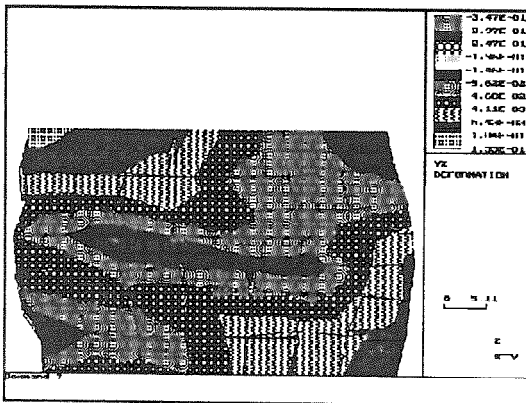
Grafički prikazi rezultata dati su na slikama 7,8,9,10,11 i 12. U donjem desnom uglu svakog od prikaza data je razmera i položaj koordinatnog sistema u odnosu na prikaz. U gornjem desnom uglu data je legenda oznaka i njihovih pripadajućih vrednosti.

Pre analize dobijenih rezultata, treba podsetiti, da su na osnovu koordinata čvornih tačaka dobijena pomeranja, a zatim komponente deformacije za svaki element mreže. Tačnost eksperimentalnog merenja koordinata čvornih tačaka zavisi pre svega od tačnosti izrade modela, od preciznosti isecanja tankih slojeva debljine 2mm na alatu za sečenje plastelina, od tačnosti određivanja položaja koordinatnog početka lokalnog koordinatnog sistema svakog preseka u odnosu na koordinatni sistem celog modela, kao i od interpolacionog određivanja položaja čvrne tačke koja se nalazi unutar isečenog sloja, što je najčešći slučaj. Na osnovu eksperimentalno dobijenih koordinata čvornih tačaka mreže, primenom softverskog paketa PAK, određeno je deformaciono-naponsko polje u modelu, bez ikakve korekcije i tzv. "peglanja" rezultata eksperimentalnog merenja. Ona bi se mogla izvršiti primenom odgovarajućeg softvera, koji bi na osnovu jednakosti zapremine nedeformisanog i deformisanog elementa mreže i vrednosti traženih parametara (deformacija, napon) u susednim elementima eventualno izvršio korekciju rezultata eksperimentalnog merenja. Na taj način dobile bi se nešto bolje raspodele, nego što je to ovde prikazano. Osim toga, model je sa početne visine 42mm sabijen na visinu 32mm, pri čemu je ostvarena ukupna relativna plastična deformacija $\epsilon = 23.8\%$. Pri toj vrednosti ukupne deformacije neke zone u modelu su veoma malo deformisane, tako da se može reći da je veći deo modela skoro homogeno deformisan. Pri većim iznosima ostvarene deformacije modela, dobile bi se po celoj zapremini veće deformacije, pa bi greške, nastale iz prethodno navedenih razloga, imale manji uticaj na konačni rezultat.

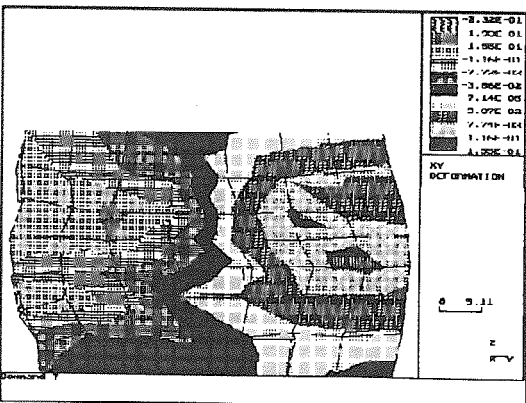
Na slici 7 dat je prostorni grafički prikaz deformisanog modela, kao i raspodela efektivnog napona i efektivne deformacije na spoljnim površinama, pri čemu su zone sa vrednostima navedenim u legendi, u desnom gornjem uglu prikaza, istaknute različitom šrafurom. Pošto efektivni napon direktno zavisi od efektivne plastične deformacije, na centralnom delu gornje i donje kontaktne površine dobijene su najmanje vrednosti efektivnog napona. Posmatrajući samo gornju kontaktnu površinu, naj-



Slika 7.- Distribucija efektivnog napona (MPa) i efektivne deformacije za model kocke /1/



Slika 8. - Distribucija plastične deformacije ϵ_{yz} u preseku A-A modela kocke /1/



Slika 9. - Distribucija plastične deformacije ϵ_{xy} preseku A-A modela kocke /1/

veće vrednosti efektivnog napona i efektivne deformacije dobijene su na njenim krajevima, u uglovima "kvadrata".

Najčešće se pri analizi prostornih problema dobijeni rezultati prikazuju u reprezentativnim presecima. Ovde je izabran vertikalni presek po sredini modela (A-A).

Distribucija tangencijalne plastične deformacije ϵ_{xy} ima dijagonalnu simetriju vredosti u preseku (v.sl.8), što je sasvim logično zbog postojanja trenja na kontaktnim površinama. Tako su vrednosti u gornjem levom i donjem desnom uglu pozitivne, a u gornjem desnom i donjem levom uglu preseka su negativne vrednosti ove komponente deformacije. Na istom udaljenju od dijagonale javljaju se približno iste brojne vrednosti deformacije.

Na slici 9, takodje je primetna simetrija vrednosti komponente plastične deformacije ϵ_{xy} , ali u odnosu vertikalnu osu simetrije preseka. Na levom delu polovine preseka pojavljuju se negativne vrednosti, a na desnom pozitivne, pri čemu su na istom udaljenju od ose simetrije preseka vrednosti slične.

Na isti način mogu se prikazati rezultati proračuna za bilo koji izabrani presek modela.

6. ZAKLJUČAK

Sabijanje plastelinskog modela kocke, izradjenog sa prostornom koordinatnom mrežom po celoj zapremini, predstavlja simulaciju najjednostavnijeg 3D plastičnog deformisanja materijala. Kada su u pitanju ovakve vrste obrade, gde se javlja složeno naponsko stanje tokom celog procesa plastičnog deformisanja, veoma je teško izvršiti analizu i doći do nekih uopštenih odnosa u vezi sa naponsko-deformacionim stanjem. Ako se fizičkim modeliranjem dodje do eksperimentalnog polja pomeranja po celoj zapremini plastelinskog modela, nije teško odrediti deformaciono polje u modelu. Ovde je to prikazano na modelu kocke, a sličan bi se postupak mogao primeniti i za bilo koju nepravilnu geometriju otkovka.

Rezultati koji se dobijaju ovakvim načinom analize procesa tople obrade metala deformisanjem, mogu se ugraditi u iskustvenu bazu znanja pri izradi programa, odnosno softvera, za automatski proračun i analizu procesa kovanja, konstrukciju alata i automatsko projektovanje tehnološkog postupka izrade.

7. LITERATURA

/1/ V.Vasiljević, Modeliranje procesa obrade deformisanjem u toplom stanju, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1993.

/2/ K.Chijiwa, Y.Hatamura, N.Hasegawa, Characteristics of Plasticine Used in the Simulation of Slab in Rolling and Continuous Casting, Trans. ISIJ, 1981, 21(3), 178-186.

/3/ R.L.Bodnar, D.C.Ronemus, D.C.Shah, Physical Modeling of Hot-Deformation Processes - Using Plasticine, Trans. of the ISS, J&SM, August 1986, 35-46.

/4/ T.Wanheim, C.Fischlein, Y.Yoshida, Strain Measurements in 3D-Simulation of Metal Forming Processes, Annals of the CIRP, Vol. 35/1/1986, 165-168.

V.Vasiljević,
M.Stefanović,

AN APPROACH TO PHYSICAL MODELLING OF HOT MACHINING OF IRREGULARLY SHAPED PARTS

Summary

The procedure for physical modelling of cube compression as the simplest 3D problem of plastic material deforming is presented in the paper. The simulation process was performed by applying the multi-colored plasticine cube model, with a three-dimensional coordinate mesh. Based on the experimentally obtained displacement field the deformation and effective stress fields over the whole volume of the model were determined, using the PAK software package, developed at the Engineering Software Laboratory at the Faculty of Mechanical Engineering in Kragujevac.

Vilotić D., Vujović V., Plančak M.*

ANALIZA UTICAJA GEOMETRIJE PRITISKIVAČA NA DISTRIBUCIJU KONTAKTNIH NAPONA PRI SABIJANJU VALJKA

Rezime

Sabijanje valjka predstavlja elementarnu operaciju deformisanja koja je prisutna u različitim procesima zapreminskog oblikovanja. Najjednostavniji način sabijanja valjka je sabijanje pomoću ravnih pritiskivača. Međutim, često se sabijanje, kao operacija predoblikovanja, izvodi i sa alatima konusnog i krivolinijskog oblika. Kontaktni naponi u tom slučaju bitno se razlikuju u odnosu na napone pri sabijanju valjka ravnim pločama, za koje postoji zadovoljavajuće teorijsko rešenje.

U ovom radu prikazana je analiza kontaktnih napona za slučaj sabijanja cilindra pritiskivačima konusno-konveksnog i konusno-konkavnog oblika uz upoređenje sa distribucijom napona pri sabijanju valjka ravnim pločama.

1. UVOD

Određivanje naponsko-deformacionog stanja u obradi deformisanjem, veoma je složen zadatak i rešava se primenom različitih metoda, koje se generalno mogu svrstati u tri grupe: teorijske, teorijsko-eksperimentalne i eksperimentalne metode.

Primena teorijskih metoda ograničena je na neke jednostavne procese i u nekim slučajevima kao rezultat njihove primene dobija se naponsko-deformaciono stanje po zapremini obratka. Detaljnije određivanje naponsko-deformacionog stanja omogućuju teorijsko-eksperimentalne i eksperimentalne metode.

U nedostatku detaljnijih podataka o naponsko-deformacionom stanju po zapremini obratka, korisno je poznavati njihov raspored na kontaktnoj površini, što je dovoljan uslov za određivanje osnovnih parametara procesa (deformaciona sila i deformacioni rad) i što omogućuje pravilan izbor mašina i konstrukciju alata.

Distribucija kontaktnih napona i njihov apsolutni iznos zavisi, pre svega, od vrste obrade, zatim od materijala obratka, kontaktnog trenja temperature i brzine

**) Dr Dragiša Vilotić vanr. prof., dr Vlado Vujović red. prof., dr Miroslav Plančak vanr. prof., Fakultet tehničkih nauka, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića - Valtera 2*

deformisanja i drugih faktora. U okviru određene tehnološke metode na distribuciju kontaktnih napona značajan uticaj, pored ostalih faktora, ima geometrija alata. Ilustracija ove teze prikazana je u nastavku rada kroz analizu procesa sabijanja valjka pritiskivačima različitog oblika.

Moguće varijante sabijanja valjka date su u tabeli 1, a rezultat su kombinacije tri osnovna oblika alata: ravnog, konusno-konveksnog i konusno-konkavnog. U ovom radu analizirani su procesi sabijanja koji su raspoređeni po dijagonali tabele.

Tabela 1

GORNJI ALAT	1	2	3
DONJI ALAT	1	2	3
f	1.1		
2	2.1	2.2	
3	3.1	3.2	3.3

Analiza naponskog stanja izvršena je rešavanjem približne jednačine ravnoteže, uz uvođenje određenih uprošćenja i pretpostavki:

- Izvodnice obratka ostaju prave tokom deformisanja;
- Deformacioni otpor je konstantan po zapremini obratka;
- Tangencijalni kontaktni napon definisan je relacijom: $\tau_k = \mu \cdot \sigma_n$

2. SABIJANJE VALJKA POMOĆU KONUSNO-KONVEKSNOG ALATA

Rezultati teorijsko-eksperimentalnog ispitivanja ovog postupka prikazani su u radu /1/.

Na osnovu sl. 1 može se napisati diferencijalna jednačina ravnoteže svih sila koje deluju u radijalnom pravcu:

$$\sigma_r \cdot r \cdot dh + d\sigma_r \cdot h \cdot r + \sigma_r \cdot h \cdot dr - 2\sigma_n \cdot (\operatorname{tg}\alpha - \mu) \cdot r \cdot dr - \sigma_t \cdot h \cdot dr = 0 \quad (1)$$

Uz pretpostavku da je $\sigma_t = \sigma_r$ i obzirom na jednačinu plastičnosti koja ima oblik:

$$\sigma_n - \sigma_r = K \quad d\sigma_n = d\sigma_r \quad (2)$$

i uključujući zavisnost geometrijskih veličina (h) i (r) prema sl. 1:

$$h = h_1 + 2r \cdot \operatorname{tg}\alpha \quad (3)$$

dobija se konačan oblik jednačine ravnoteže:

$$\frac{d\sigma_n}{K\operatorname{tg}\alpha - \mu\sigma_n} = \frac{2dr}{h_1 + 2r\operatorname{tg}\alpha} \quad (4)$$

čije je rešenje:

$$\sigma_n = \frac{K}{\mu} \left[\operatorname{tg}\alpha - (\operatorname{tg}\alpha - \mu) \left(\frac{h_1 + 2R\operatorname{tg}\alpha}{h_1 + 2r\operatorname{tg}\alpha} \right)^{\mu \cot \alpha} \right] \quad (5)$$

Ilustracija dobijenog rešenja data je na dijagramima (sl. 2) koji prikazuju promenu normalnog kontaktnog napona (σ_n) u radijalnom pravcu obratka, a u zavisnosti od ugla alata (α) i koeficijenta kontaktnog trenja (μ).

3. SABIJANJE VALJKA POMOĆU KONUSNO-KONKAVNIH ALATA

Detaljnija analiza ovog postupka sabijanja data je u radu /2/. Diferencijalna jednačina ravnoteže, s obzirom na sl. 3, ima oblik:

$$\sigma_r \cdot r \cdot dh + d\sigma_r \cdot h \cdot r + \sigma_r \cdot h \cdot dr + 2\sigma_n \cdot (\operatorname{tg}\alpha + \mu) \cdot r \cdot dr - \sigma_t \cdot h \cdot dr = 0 \quad (6)$$

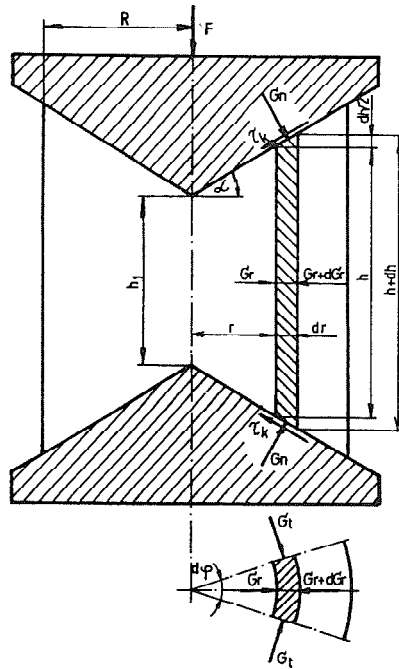
čijim se rešavanjem, na sličan način kao u prethodnom slučaju, dobija izraz za normalni kontaktni napon u sledećem obliku:

$$\sigma_n = \frac{K}{\mu} \left[(\operatorname{tg}\alpha + \mu) \left(\frac{h_1 - 2r \cdot \operatorname{tg}\alpha}{h_1 - 2R\operatorname{tg}\alpha} \right)^{\mu \cot \alpha} - \operatorname{tg}\alpha \right] \quad (7)$$

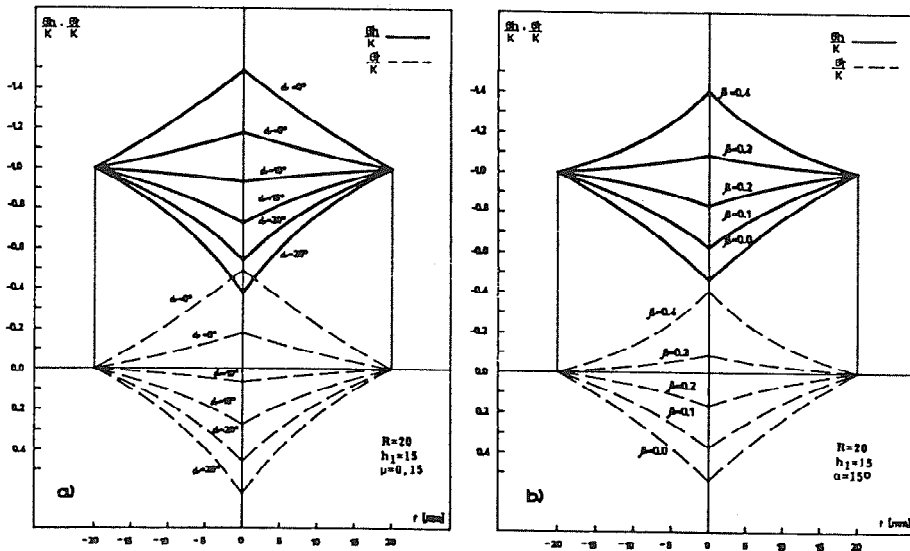
Na sl. 4 prikazana je distribucija normalnog kontaktnog napona (određena izrazom 7) u zavisnosti od radijusa obratka, ugla alata (α) i koeficijenta trenja (μ), za obradak sa trenutnim dimenzijama $h_1=30$ mm i $2R=40$ mm. Očigledno je da su kontaktni naponi kod ovog načina sabijanja znatno veći u odnosu na vrednosti napona kod sabijanja valjka konusno-konveksnim pritiskivačima.

Granični slučaj sabijanja valjka konusno-konveksnim, odnosno, konusno-konkavnim alatima nastaje pri vrednosti ugla $\alpha=0$ što predstavlja slučaj sabijanja valjka ravnim pločama. Nalaženjem granične vrednosti izraza (5), odnosno (7), dobija se poznati izraz za normalni napon kod sabijanja valjka ravnim pločama:

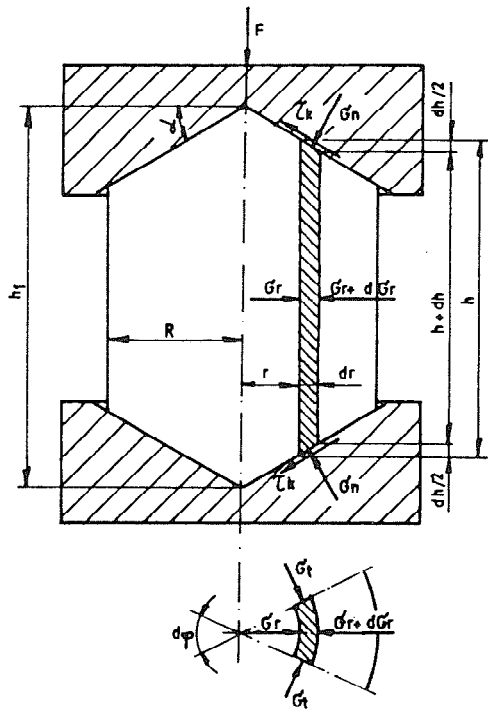
$$\sigma_{n(\alpha=0)} = K \cdot e^{\frac{2\mu}{h}(R-r)} \quad (8)$$



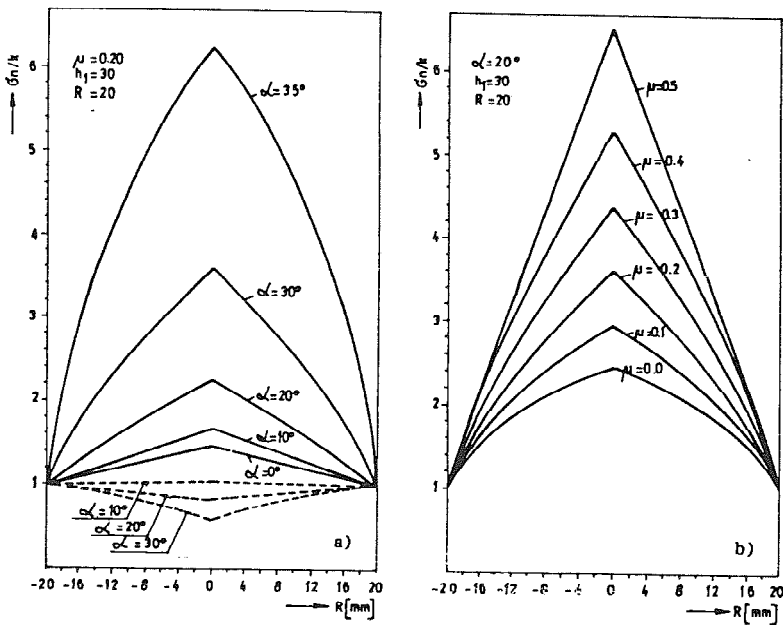
Sl. 1 Komponente napona pri sabijanju valjka konusno-konveksnim alatima /1/



Sl. 2 Distribucija kontaktnih napona pri sabijanju valjka konusno-konveksnim alatom
212



Sl. 3 Komponente napona pri sabijanju valjka konusno-konkavnim alatima /2/



Sl. 4 Distribucija kontaktnih napona pri sabijanju valjka konusno-konkavnim alatom

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata prikazanih na sl. 2a i 4a može se zaključiti da geometrija pritiskivača ima značajan uticaj na tok i apsolutni iznos kontaktnih napona. Osim toga, u istim uslovima redosled napona po veličini je sledeći: najviše vrednosti kontaktnih napona su prisutne kod sabijanja konusno-konkavnim alatima, zatim sledi sabijanje ravnim pločama, dok su najniže vrednosti napona prisutne pri sabijanju konusno-konveksnim alatima (isprekidane linije na sl. 4a). Zaključuje se, takođe, da koeficijent kontaktnog trenja značajno utiče na distribuciju kontaktnih napona.

5. LITERATURA

- /1/ Vilotić D., Vujović V., Plančak M.: *Analysis of Upsetting of Cylinder by Conical Dies*, *Journal of Technology of Plasticity*, Vol 17 (1992) No 1-2 PP 67-74, FTN, Novi Sad, 1992.
- /2/ Vilotić D., Vujović V., Plančak M.: *Determination of Contact Stress Distribution in Upsetting of Cylinder by Cone-Concave Dies*, rad prihvaćen za objavljivanje na Roman National Metalurgical Conference, koja se održava od 21-23 septembra 1994. godine u Bukureštu.
- /3/ Musafia B.: *Primjenjena teorija plastičnosti*, Mašinski fakultet Sarajevo, 1973.

Vilotić D., Vujović V., Plančak M.

ANALYSIS OF DIE GEOMETRY INFLUENCE ON CONTACT STRESS DISTRIBUTION AT UPSETTING OF CYLINDRICAL SPECIMEN

Summary

Upsetting of cylinder by flat dies is the basic operation which takes place in many bulk multy phase metal forming processes. However, the upsetting by the dies of different shapes, rather than flat one, is also present in the application of metal forming.

In the Laboratory for Technology of Plasticity - University of Novi Sad, a broader investigation has been carried out with the objective to determine the influence of billet and die geometry on stress state, process parameters and material formability. On this occasion some of the process have been investigated theoretically and experimentally. In this way six different upsetting models have been derived.

In this paper theoretical analysis of contact stress in upsetting of cylinder by cone-convex and cone-concave dies has been presented and compared with the solution of upsetting of cylinder by flat dies.

M. Vukčević*

SIMULACIJA PROCESA ZAPREMINSKOG DEFORMISANJA

Rezime

U radu je opisana primjena metode konačnih elemenata u procesima zapreminskog deformisanja. Date su osnovne teorijske postavke elasto-plastične i kruto-plastične formulacije MKE u obradi deformisanjem. Korišćenjem programske podrške elasto-plastične metode istraživan je slučaj sabijanja u kalupima u širokom rasponu deformisanja. Dobijeni su grafički prezentirani rezultati: deformaciona mreža, inkrementalna pomjeranja, generalizovani naponi i generalizovane deformacije.

1. UVOD

Za procese obrade deformisanjem, posebno zapreminskim deformisanjem, je karakterističan intezivan rast primjene kompjuterske tehnike (computer-aid design- CAD and manufacturing- CAM) sa značajnim trendom koji se odnosi na postupke simulacije [1,2]. Ovi postupci se baziraju na numeričkim metodama koje uzimaju u obzir fizičke uslove deformisanja metala u toku procesa. U tom cilju, sa razvojem kompjutera, posebno se razvio metod konačnih elemenata (MKE) kao osobito aplikativan metod za pomenute probleme.

Cilj primjene MKE u procesima zapreminskog deformisanja je predviđanje sile deformisanja kao i naponske i deformacione distribucije unutar deformacionog tijela i po njegovoj površini. Takodje, složen problem određivanja izmjene geometrije slobodne površine u toku deformisanja može biti relativno lako riješen. MKE se može prilagoditi na komplikovanu geometriju deformisanih uzoraka kao i na razne granične uslove.

2. O FORMULACIJAMA MKE

Postoji više metoda konačnih elemenata razvijenih za modeliranje problema plastičnog deformisanja. Tehnika rješavanja može biti različita, zavisno prije svega od izabranog modela materijala: najčešće elasto-plastičnog ili kruto-plastičnog [3,4].

* Dr Milan Vukčević, docent, Mašinski fakultet u Podgorici

Za znatan dio procesa obrade deformisanjem koji su praćeni velikim deformacijama elastični dio je veoma mali u odnosu na plastični. U tim slučajevima je opravdano koristiti kruto-plastični model i time zanemariti elastični dio u matematičkoj formulaciji. Ovakav kruto-plastični pristup ima osnovne prednosti u jednostavnoj formulaciji i ekonomiji kompjuterskog vremena [5,6,7]. Problem rješavanja sistema jednačina teorije plastičnosti može biti postavljen kao problem ispitivanja na ekstremum funkcionala Φ_1 :

$$\Phi_1 = \int_V \sigma_u \dot{\epsilon}_u dV + \lambda \int_V \dot{\epsilon}_{kk} dV - \int_S F_k v_k dS \quad (1)$$

gdje su: σ_u - intezitet napona; $\dot{\epsilon}_u$ - intezitet brzine deformacije; λ - Lagranžova konstanta; F_k, v_k - polje napona i brzina koje djeluju na granici tijela.

Moguć je i drugi sa gledišta numeričke realizacije povoljniji postupak: umjesto funkcionala Φ_1 može se razmatrati drugi funkcional:

$$\Phi_2 = \int_V \sigma_u \dot{\epsilon}_u dV + \frac{\xi}{2} \int_V \dot{\epsilon}_{kk}^2 dV - \int_S F_k v_k dS \quad (2)$$

u kojem je u odnosu na (1) izmijenjen srednji član. Ovaj član sadrži veliki pozitivni parametar ξ koji automatski obezbjeđuje izjednačavanje veličine $\dot{\epsilon}_{kk}^2$ sa nulom (penalty method, metod štrafa).

Da bi se numerički riješio problem potrebno je predloženi funkcional diskretno formulirati. U tom cilju npr. funkcional Φ_2 (2) može biti zapisan u vidu sume:

$$\Phi_2 = \sum_{m=1}^M [\pi_1^{(m)} + \pi_2^{(m)} - \pi_F^{(m)}] \quad (3)$$

gdje je M- broj konačnih elemenata. Odvojene komponente funkcionala su integrali sračunati za svaku zapreminu $V^{(m)}$ konačnih elemenata $m=1,2,\dots, M$ na koje je

razloženo tijelo: $V = \sum_{m=1}^M V^{(m)}$; $S^{(m)}$ označava površinu na koju djeluju površinske sile:

$$\pi_1^{(m)} = \int_{V^{(m)}} \sigma_u \dot{\epsilon}_u dV ; \quad \pi_2^{(m)} = \frac{\xi}{2} \int_{V^{(m)}} \dot{\epsilon}_{kk}^2 dV ; \quad \pi_F^{(m)} = \int_{S^{(m)}} F_k v_k dS \quad (4)$$

Za funkcional Φ_2 (3) za veličine Δv_α kao tražene promjenljive iteraciona procedura Njutn-Rafsona daje sljedeći sistem običnih algebarskih jednačina:

$$\sum_{m=1}^M \left\{ \frac{\partial^2}{\partial v_\alpha \partial v_\beta} (\pi_1^{(m)} + \pi_2^{(m)} - \pi_F^{(m)}) \right\}_{(n-1)} \Delta v_{\beta(n)} = - \sum_{m=1}^M \left\{ \frac{\partial}{\partial v_\alpha} (\pi_1^{(m)} + \pi_2^{(m)} - \pi_F^{(m)}) \right\}_{(n-1)} \quad (5)$$

koji se rješava nekim od standardnih numeričkih postupaka.

Elasto-plastična analiza primjenom MKE u obradi deformisanjem je prvi put uradjena od strane Marcala i Kinga [8]. Nakon toga, a pogotovo u posljednje vrijeme, uloženo je puno napora u cilju što boljeg prilagodjavanja elasto-plastične formulacije MKE problemima zapreminskog deformisanja.

Elasto-plastični model konačnih elemenata može biti formulisan u različitim oblicima, korišćenjem Ojlerove ili Lagranžove formulacije. U nekim slučajevima dobija se matrica krutosti u eksplisicnom obliku a u drugim inkrementalne izmjene parametara se računaju implicitno.

Dalje se daju teoretski osnovi implicitne konačno deformacione Lagranžove formulacije na osnovu koje je napravljen program EPFEP3 primjenom kojeg su dobijeni ilustrativni rezultati [9,10].

Neka je $\Delta f_{,i}$ i-ta Dekartova komponenta izmjene sile u I-tom čvoru posmatranog elementa u toku analiziranog inkrementa a $\Delta d_{,i}$ i-ta Dekartova komponenta odgovarajućeg pomjeranja čvora od njegovog referentnog položaja. Jednačine krutosti elementa mogu se napisati u obliku:

$$\Delta f_{,im} = \left(K_{,im,jn}^{(\varepsilon)} + K_{,im,jn}^{(\sigma)} + K_{,im,jn}^{(\phi)} \right) \Delta d_{,jn} \quad (6)$$

gdje je izvršeno sumiranje po svim čvorovima elementa i sve tri Dekartove komponente. Tri člana unutar zagrada se nazivaju respektivno: deformaciona matrica krutosti, korekciona matrica naponskog inkrementa i korekciona matrica konstantne zapremine.

Na osnovu minimizacije potencijalne energije u početku i na kraju inkrementa, matrica krutosti može biti prikazana u obliku:

$$K_{,im,jn} = \int B_{,ijm} D_{,ijkl} B_{,kljn} dV \quad (7)$$

gdje je integracija izvršena preko zapremine V elementa na početku inkrementa. Matrica $B_{,ijm}$ izražava inkrement linearizovane rotacione deformacije u tački unutar elementa preko vrijednosti inkrementalnih čvornih pomjeranja a $D_{,ijkl}$ je konstitutivna matrica elastično-plastičnog materijala.

Komponente napona unutar elementa mogu se mijenjati ne samo kao rezultat deformacije materijala, već i zbog izmjene u geometriji i orijentaciji elementa. Ovo dovodi do korekcionne matrice naponskog inkrementa koja može biti napisana u obliku:

$$K_{,im,jn}^{(\sigma)} = \int \left(N_{,i,l} \delta_{,mn} \sigma_{,ik} N_{,j,k} - 2B_{,ijlm} \delta_{,jl} \sigma_{,ik} B_{,kljn} \right) dV \quad (8)$$

gdje interpolaciona funkcija N_i određuje doprinos vrijednosti parametra u čvoru I, na vrijednost u proizvoljnoj tački unutar elementa, $\sigma_{,ij}$ je Košijev napon, $\delta_{,ij}$ je simbol Kronekera a zarez označava prostorni izvod.

Da bi se osiguralo da plastično deformisani element ima konstantnu zapreminu vrijednost Poasonovog odnosa u konstrukciji matrice krutosti se uzima bliska 0.5. Ovo dovodi do nametanja uslova nestišljivosti u svakoj tački takvih elemenata. U određenim okolnostima, može doći do predodređenosti deformacije. U cilju izbjegavanja tog problema zahtijeva se da samo ukupna zapremina elementa bude konstantna što rezultira korekcionom matricom:

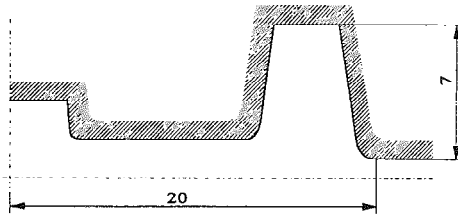
$$K_{,im,jn}^{(\phi)} = k \left(\frac{1}{V} \int B_{,iilm} dV \int B_{,jjjn} dV - \int B_{,iilm} B_{,jjjn} dV \right) \quad (9)$$

gdje je k- zapreminski modul materijala.

Zapreminski integrali u inkrementalnim matricama krutosti su sračunati Gausovim kvadraturama a globalna matrica krutosti je riješena metodom Gausove eliminacije.

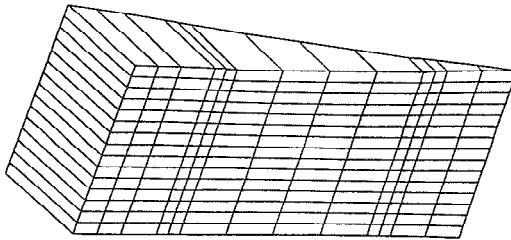
3. PRIMJENA

Razvijeni program, zasnovan na konačno-deformacionoj elasto-plastičnoj formulaciji, je iskorišćen za simulaciju osnosimetričnog zapreminskog deformisanja. Kalup je definisan preko kombinacije primitivnih površina kao što su: anulus, konus i torus. Oblik kalupa je prikazan na sl.1.



Sl.1.- Shematski izgled kalupa

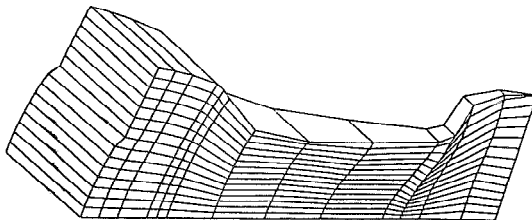
Zbog simetrije analizirana je četvrtina tijela. Korišćena je 3D analiza pa je mreža konačnih elemenata imala oblik prikazan na sl.2. Faktor trenja je određen sabijanjem prstena [11]. Kriva očvršćavanja koja daje vezu generalizovanih napona i generalizovanih deformacija dobijena je probom na pritisak.



Sl.2.- Inicijalna mreža konačnih elemenata

Korišćeni su sledeći ulazni parametri:

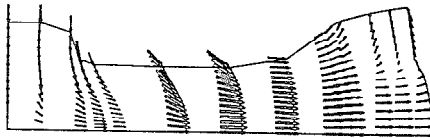
- Dimenzije priprema $\phi 33 \times 12$ mm.
- Kriva očvršćavanja materijala: $\bar{\sigma} = 5 + 13.181\bar{\epsilon} \text{ [kN/cm}^2\text{]}$.
- Faktor trenja $m=0.2$.
- Mreža konačnih elemenata je imala 195 elemenata i 448 čvorova.
- Deformacioni korak je bio 0.2 mm.



Sl.3.- Mreža konačnih elemenata poslije 50% deformacije

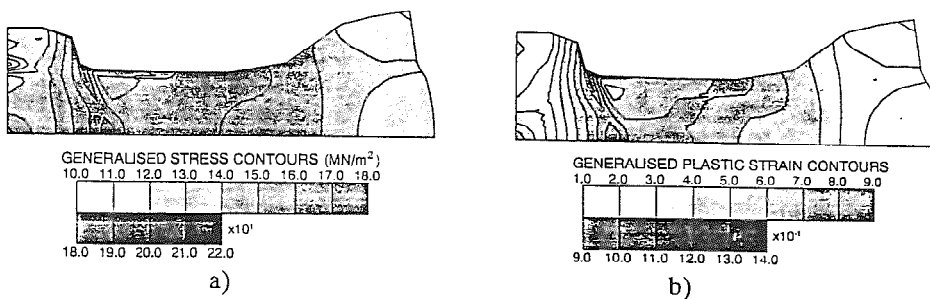
Korišćeni softver je omogućavao grafičku prezentaciju dobijenih rezultata. Rezultati su dobijeni po koracima u širokom rasponu deformisanja. Na sl.3. je dat trodimenzionalni izgled deformisane mreže poslije 50% redukcije inicijalne visine.

Grafički je moguće, na osnovu vrijednosti sračunatih u čvorovima, prikazati intezitete i pravce kretanja djelića materijala po fazama deformisanja. Sl.4. se odnosi na deformaciju od 50%.



Sl.4.- Vektori inkrementalnih pomjeranja

Sl.5. pokazuje karakteristične naponske i deformacione pokazatelje (konture generalizovanih napona i deformacija) u uočenom koraku deformisanja.



Sl.5.- Generalizovane konture: a) naponi; b) deformacije

4. ZAKLJUČCI

Za simulaciju procesa zapreminskog deformisanja koji su praćeni visokim deformacijama mogu da se koriste elasto-plastična i kruto-plastična formulacija metode konačnih elemenata. Mada je opravdano korišćenje kruto-plastične MKE, koju karakteriše zanemarivanje elastičnog dijela deformacije, pogodnom modifikacijom elasto-plastične formulacije mogu se dobiti dobri rezultati. Na osnovu implicitne konačno-deformacione elasto-plastične formulacije napravljen je program za neposrednu simulaciju procesa zapreminskog deformisanja.

Rezultati (deformisana mreža, inkrementalna pomjeranja, karakteristične naponske i deformacione konture) za razmatrani slučaj zapreminskog deformisanja su dobijeni u širokom rasponu deformisanja. Primjena za pojedine procese zahtijeva uključivanje niza specifičnosti vezanih prije svega za karakteristike materijala i uslove na granici.

U najvećem broju slučajeva potpunu simulaciju je moguće ostvariti korišćenjem tehnike ponovnog uspostavljanja mreže jer kod geometrijski složenih izradaka inicijalni

konačni elementi gube svoja svojstva, poslije određene deformacije. Takav, relativno kompleksan pristup, pogotovo u početnim fazama istraživanja, iziskuje i eksperimentalnu provjeru.

5. LITERATURA

- [1] Walters, J., Application of FEM in forging: An industry perspective, *J. of Mat. Proc. Tech.*, 27, Elsevier, 1991.
- [2] Duggirala, R., Badawy, A., FEM Approach to Forging Proces Design, *J. Mater. Shaping Technol.*, Springer-Verlag, New York Inc., N2, 1988.
- [3] Mahrenholtz, O., Diferent finite element approaches to large plastic deformation, *Comp. Meth. in Appl. Mech. and Eng.*, N 33, 1987.
- [4] Mahrenholtz, O., Dung, N.L., On finite element methods in metal working, *Steel research*, N 3, 1986.
- [5] Kobayashi, S., Oh, S., Altan, T., *Metal Forming and Finite-Element Method*, Oxford University Press, New York, 1989.
- [6] Dvorkin, N.E., Petocz, E.G., On the modelling of 2D metal forming processes using the flow formulation and the pseudoconcentrations technique, *Int. Conf. Num. Meth. in Eng.*, Barcelona, 1992.
- [7] Kalajdžić, M., Metod konačnih elemenata u analizi obrade plastičnim deformisanjem, 24. Savjetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, 1992.
- [8] Marcal, P.V., King, I.P., Elastic-plastic analysis of two-dimensional stress systems by the FEM, *Int. J. Mech. Sci.*, N 31, 1967.
- [9] Rowe, G.W., Sturgess, C.E.N., Hartley, P., Pillinger, I., *Finite-element plasticity and metalforming analysis*, Cambridge University Press, Cambridge, 1991.
- [10] Hartley, P., Pillinger, I., Sturgess, C.E.N., *Numerical Modelling of Material Deformation Processes*, Springer-Verlag, London, 1992.
- [11] Pillinger, I., Hartley, P., Sturgess, C.E.N., Modelling of Frictional Tool Surface in Finite-element Metalforming Analysis, *Modelling of Metal Forming: Proc. of the Eur. Coolog.*, Sophia Antipolis, 1988.

M. Vukčević

METAL FORGING PROCESSES SIMULATION

Summary

The paper describes an application of the finite elements method in metal forging analysis. Foundations for the elastic-plastic and rigid-plastic formulation FEM are also given. Examples of die forging for a wide range of deformations, using the elastic-plastic software support, were investigated. The following graphically illustrated results were obtained: incremental displacements, generalized stresses and generalized strains.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

I. Belić

POVEĆANJE KVALITETA OBRADE DEPOLARIZACIJOM LASERSKOG ZRAKA

Rezime

Interakcija laserskog zračenja sa materijalima određuje način primene ove tehnologije u obradi materijala kao i kvalitet izvedene operacije. Jedan od mnogih efekata koji se moraju proučiti je polarizacija laserskog zračenja koja može da naruši profil obrade paralelnost zidova i efikasnost (brzinu).

1. UVOD

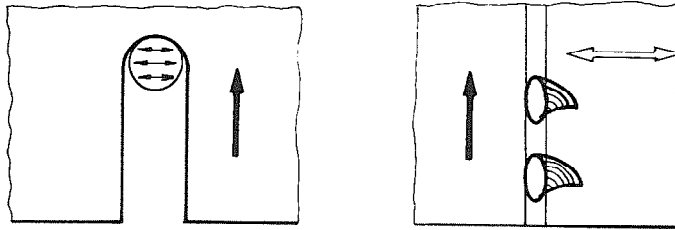
Laserski zrak onakav kakav izlazi iz lasera je polarizovan kao i svaki elektromagnetski talas. Oscilovanje je transferzalno sa promenljivom ravni oscilovanja -polarizacije. Na ovo utiče vrsta aktivnog medijuma, način pobude, optički rezonator... Problem se usložnjava postojanjem razvodnog sistema i optike sa sfernim reflektujućim površinama. Ravan polarizacije može biti upravna (vertikalna) i paralelna (horizontalna) sa radnim stolom, a u opštem slučaju proizvoljno orijentisana. Ako se polarizovan zrak usmeri i fokusira ka obratku, stvarni efekat je drugačiji od željenog.

2. NEŽELJENI EFEKTI

Fokusirani laserski zrak pada na radni predmet i njegova površina zaustavlja zrak pod nekim uglom (koso) zavisno od brzine pomeranja i stepena odnošenja materijala. Apsorpcija i refleksija zavise od orijentacije polarizacije. Ako je materijal osetljiv na polarizaciju u različitim ravnima, tada dolazi do narušavanja kvaliteta obrade.

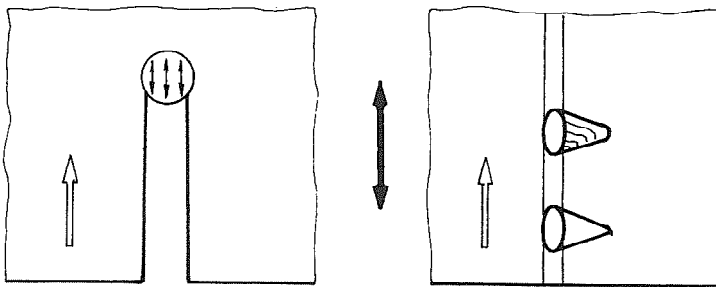
Kada je ravan polarizacije poprečna na pravac pomeranja pri sečenju, apsorpcija se smanjuje, a refleksija povećava. Vektor delovanja laserskog snopa je više orijentisan prema bočnim stranama, a manje prema napadnoj površini reza. To ima za posledicu povećanje širine reza, narušavanje hrapavosti i smanjenje brzine sečenja (slika 1.a.). Kod zarezivanja (scribe) keramike, smanjena apsorpcija i povećana refleksija na prednjem zidu znatan deo energije vraća u nazad. Zbog toga je presek deformisan kukasto (slika 1.b.).

dr Ilija Belić, Prof., VIŠA MAŠINSKA TEHNIČKA ŠKOLA
Nade Dimić br. 4. 11080 Zemun



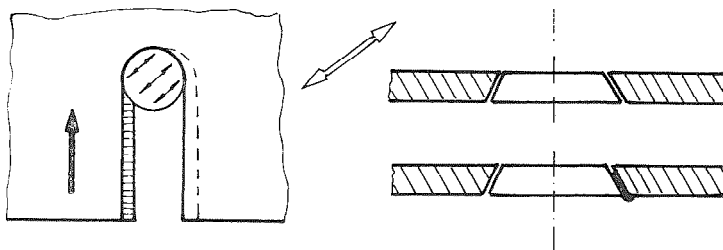
Slika 1. Uticaj polarizacije upravno orijentisane na pravac izvodjenja operacije
 a) sečenje metala
 b) zarezivanje i graviranje keramike

Ako je zrak polarizovan paralelno prema pravcu pomeranja, vektor elektromagnetnog zračenja je skoro normalan na radnu površinu. Tada je refleksija mala, a apsorpcija velika. Rez je uži sa ravnim ivicama i upravnim bočnim stranama. Rupe su dublje, pravilnog preseka - simetrične. Brzina obrade je povećana (slika 2.).



Slika 2. Uticaj polarizacije linearno orijentisane na pravac obrade
 a) sečenje metala
 b) zarezivanje i graviranje keramike

Treća mogućnost je kosa polarizacija, kada je ugao između upravnog i linearnog. Tada je sa jedne strane reza apsorpcija maksimalna, a sa druge minimalna. Energija se na strani niže apsorpcije reflektuje i uslovljava potsecanje suprotne strane. Ako se seku kružne ili zatvorene konture ili graviraju i zarezuju složeni oblici, može doći do otežanog odvodjenja materijala koji biva zarobljen, prilepljen ili čak i stopljen (slika 3.).



Slika 3. Uticaj polarizacije u kosoj ravni prema pravcu obrade materijala

Jednostavna fizička interpretacija sastoji se u sledećem. Laserski zrak - elektromagnetni talas određene frekvencije izaziva oscilacije slobodnih elektrona na površini tretiranog materijala. Elektroni osciluju sa istom frekvencijom i izazivaju odgovarajuće poremećaje na kristalnoj rešetki metala ili atomsko/molekularnom rasporedu nemetala, što u krajnjem ima za posledicu odnošenje materijala. U graničnim slučajevima poprečnog oscilovanja (poprečne polarizacije) tok materijala je prema bokovima, a podužnog oscilovanja (podužne polarizacije) tok materijala je u nazad, sa efektima koji su već navedeni.

3. NAČIN OTKLANJANJA ŠTETNOG UTICAJA

U realnim proizvodnim zadacima ne postoji razgraničenje na poprečnu i podužnu obradu tim pre što kod izrade složenih kontura dolazi do stalne promene pravca. Upoređujući, na primer, rez proizvodnje forme, njegove karakteristike i kvalitet će se znatno razlikovati na poprečnim i podužnim deonicama (jer je polarizovani laserski zrak drugačije orijentisan prema obratku), a takodje i na onim delovima koji su izloženi kosom polarizovanom zraku.

Standardna tehnika rešavanja problema polarizacije laserskog zraka podrazumeva korišćenje jednostavnih elemenata za linearnu polarizaciju. U osnovi tog pristupa je depolarizaciona optika koja u jednom prelamanju vrši korekciju tako što se u odnosu na upadni laserski zrak postavlja pod uglom od 45° u odnosu na horizontalnu, odnosno vertikalnu ravan, a u zavisnosti od osnovne ravni polarizacije laserskog zraka. U posebnim slučajevima pribegava se jednovremenom zakošenju u odnosu na obe osnovne ravni. Polarizaciona karakteristika optike je najčešće sa uglom kašnjenja od 45° ili 90° . Ukoliko je optički put složeniji (realno je tako) na izlazu je slika toliko složena da se ni ne pokušava njena analiza. Kvalitet obrade je donekle popravljen, a apsorpcija na svakom depolarizatoru i optičkom elementu je znatno oborila snagu.

Drugi pristup je korišćenje CdS propustljivih kružno polarizacionih kristala. U odnosu na prethodne daje povoljniju depolarizacionu sliku. Nedostatak je u visokoj ceni, lomljivosti i neupotrebljivosti kod srednjih i visokih snaga CO_2 zračenja.

Grupa autora firme Coherent kroz svoj patent nudi za sada najbolje rešenje problema polarizacije laserskog zraka. Suština je u izradi višeslojnog reflektora. Gornji slojevi su

propustljivi, a zadnji je 100% reflektujući (srebro). Ukupan broj slojeva je 17. Izradjeni su od različitih materijala i sa različitim debljinom i to tako da svaki sloj ima polarizaciono kašnjenje između 4 i 6°. Depolarizacija se odigrava na svakom sloju i to kako pri ulasku zraka i prolasku kroz sve slojeve do srebra, tako i u nazad, pri povratnom kretanju kroz slojeve. Ukupna reflektivnost optike koja se za talasnu dužinu 10,6 μm kretala oko 98,5 %, povoljnim izborom vrste i debljine slojeva povećana je na čak 99,9 %. Ovako depolarizovani laserski zrak anulira razlike koje zavise od relativnog pravca pomeranja, a sam depolarizator je primeljav za visoke snage laserskog zračenja. Kružni depolarizator koji je istovremeno i lasersko ogledalo ima široki ugao upadnog zračenja od 0 do 75° tako da nije osetljiv na mesto i način montaže. Za najbolje rezultate proizvođač ipak daje preporuku o položaju i zakošenju.

Kod visoko reflektujućih materijala (Al,Cu) značaj polarizacije je posebno izražen. Ravanska polarizacija treba da je tako orijentisana da obezbedjuje maksimalnu apsorpciju, a to je u suprotnosti sa obradom različitih kontura za koje je pogodna kružna polarizacija. Optimalni izbor načina polarizacije u takvim slučajevima treba da je podržan odgovarajućim izborom ostalih parametara režima. Primera radi, moguće je izabrati tzv. hyperpulse zrak koji predstavlja vrlo visoku srednju snagu u kontinualnom režimu kome je na vrhu pridodat vrlo snažan impuls.

4.ZAKLJUČAK

Razvoj proizvodnih odnosa uslovljava postavljanje sve viših zahteva pred tehnološki proces. Jasno je da se i u oblasti primene lasera ide sve dalje i dalje; kako u pogledu osvajanja novih mesta primene tako i u dizanju kvaliteta i ekonomičnosti na viši nivo.

Kod laserskog sečenja metalnih i nemetalnih obradaka važno je obezbediti paralelnost strana reza, ujednačenost hrapavosti površine po dubini i stalnost širine reza duž cele konture. Izrada složenih formi istakla je problem uticaja polarizacije laserskog zraka.

Bez obzira na veoma skromnu zastupljenost lasera u našoj privredi, njihova primena ipak postoji i to baš u oblastima gde se zahteva veća preciznost i viši kvalitet. Nevolja je što osposobljenost operatera za rad sa uređajem nije i dovoljna za adekvatnu primenu laserske tehnologije. Radi toga je potrebno maksimalno koristiti postojeća iskustva i znanja. U konkretnom slučaju, mnogima uticaj polarizacije laserskog zraka nije poznat, a on postoji i značajan je jer se korekcijom ili izborom pravilne polarizacije:

- postiže ujednačenost širine reza,
- utiče na paralelnost obradjenih strana,
- smanjuje šljaka i do 40%,
- smanjuje zona proširenog toplotnog delovanja,
- povećava brzinu obrade, ali i
- smanjuje debljina obratka za oko 10%.

Navedeni metodi depolarizacije laserskog zračenja sprovode se u cilju povećanja kvaliteta obradjene površine i povećanja tačnosti oblika konture. Ovo je u suprotnosti sa visokom ekonomičnošću, ali i nova osobina

cirkularnog depolarizatora da može da radi i na visokim snagama laserskog zračenja, daje mogućnost zadovoljavanja svih zahteva, što isto može da se kaže i za one metode depolarizacije koje zahtevaju uskladjivanje ostalih parametara režima laserske obrade.

5.LITERATURA

1. B. E. Perilloux and D. G. Fisher, POLARIZATION PRESERVING REFLECTOR AND METHOD, US Patent Application S/N 86/754023, filed by Coherent Inc. Inc.
2. B. E. Perilloux, ALIGNMENT CONSIDERATIONS OF THIN-FILM REFLECTION PHASE RETARDES TO ACHIEVE OPTIMUM POLARIZATION (CIRCULAR) FOR CO LASER APPLICATIONS, SPIE's O-E/LASE'88. Los Angeles, Cal. Jan.10-17, 1988. 988.

INCREASING THE PROCESSING QUALITY BY LASER BEAM DEPOLARIZATION

Summary

The interaction of laser radiation with materials determines the application of material processing as well as the quality of performed operation. One of many effects that are to be studied is the laser radiation polarization that could disturb the processed profile, the wall parallelism and efficiency (velocity).

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

P. Dakić*

ANALIZA PROCESA OBRADE KOMPOZITNIH MATERIJALA LASEROM

Rezime

U radu je data detaljna analiza procesa obrade kompozitnih materijala laserom. Analizirana su tri osnovna tipa obrade i to: izrada žljeba, rezanje materijala do potpunog odsijecanja i bušenje. Za sve tri tipa obrade, postavljeni su matematički modeli koji su kasnije upoređeni sa eksperimentalnim rezultatima.

1. UVOD

Zahtjevi u pogledu veće pouzdanosti i dužeg vijeka trajanja proizvoda nametnuli su potrebu za razvojem novih materijala kao što su: kompoziti, tvrdi metali, keramika i sl.. Konvencionalnim postupcima se ovi materijali vrlo teško obrađuju, a obzirom na njihov karakter i mehaničke osobine, ali se zato veoma dobro obrađuju sa laserom. Obrada laserom je beskontaktna proces (jer nema alata (alat je laserski snop)), pa samim tim nema ni trošenja alata, nema sila rezanja kao ni mehaničkih udara i oštećenja. Inače, sam proces je vrlo brz u pripremi jer nema alatne problematike koja kod konvencionalnih postupaka obrade predstavlja vrlo veliku troškovnu stavku. Obrada materijala laserom sa jednim laserskim snopom se vrlo uspješno koristi kod jednodimenzionalne obrade (bušenje) i dvodimenzionalne obrade (sječenje, izrada žljeba, zavarivanje), dok se trodimenzionalna obrada materijala sa jednim laserskim snopom vrlo teško postiže. Razvoj laserske obrade sa dva laserska snopa olakšao je postupak trodimenzionalne obrade (obrada ravnih površina, obrada cilindričnih površina, izrada navoja i sl.). Sam koncept trodimenzionalne obrade sa dva laserska snopa baziran je tako da svaki laserski snop pravi žljeb na radnoj površini kroz jedan ili više prolaza. Kada se dva laserska snopa presijecaju, tada je količina skinutog materijala mnogo veća nego u slučaju kada se obrada vrši sa jednim laserskim snopom, gdje se skinuti materijal otklanja bilo topljenjem bilo isparavanjem. Mada se u osnovi u obradi materijala laserom sa dva laserska snopa mogu koristiti zakonitosti izrade žljeba sa jednim laserskim snopom, ne smije se kod razmatranja navedenog procesa zaboraviti međusobni uticaji jednog laserskog snopa na drugi.

* Dr Pantelija Dakić, red. prof., Vojnotehničke akademije Bgd.

2. USLOVI IZVOĐENJA EKSPERIMENTATA I PRIPREMA PROGRAMA

Istraživanja u pogledu analize procesa obrade kompozitnih materijala laserom obavljena su u **Laboratory for Manufacturing and Productivity M. I. T. Cambridge, SAD**, kao dio projekta "Optimizacija procesa obrade materijala laserom".

Pri izvođenju eksperimenata korišćen je CO₂ laser sa sledećim karakteristikama:

- Izlazna snaga: 1500 W (2 x 750);
- Odgovarajući gas: CO₂ = 1,2% sa potrošnjom 1,7 l/h; N₂ = 14,8% sa potrošnjom 21 l/h; He = 8,4% sa potrošnjom 119 l/h i pritiska 8 bara max. i 7 bara min.
- Potrošnja vode 57 - 76 l/min temperature 15°C;
- Laserska glava: dužine 2,5 m; širine 0,52 m i visine 0,55 m.
- Fokusna tačka lasera je prečnika 0,178 mm, koja je kasnije bila generisana pomoću računskih metoda.

Ekperimenti su izvedeni na kompozitnim materijalima: grafit i vinilester sa sledećim karakteristikama:

	ρ (g/cm ³)	C_p (J/kgK)	k (w/m-k)	α (m ² /s)	T_v (C)	L_v (J/g)
grafit	1,85	710	50	3,807E-5	3300	43000
vinilester	1,25	1200	0,2	1,333E-7	500	1000

gdje je: ρ - specifična težina materijala; C_p - specifična toplota materijala; k - koeficijent toplotne provodljivosti; T_v - temperatura isparavanja; L_v - latentna toplota.

3. IZVOĐENJE EKSPERIMENTATA I ANALIZA PROCESA

Pri analizi procesa obrade kompozitnih materijala laserom vršena su tri osnovna tipa obrade i to:

- izrada žljeba,
- rezanje sa potpunim odsijecanjem,
- i bušenje.

U svim ovim slučajevima laserski snop je udarao na radnu površinu predmeta obrade uvodeći energiju u erozioni front raspoređujući je na toplotu koja se utroši na topljenje i isparavanje materijala i na energiju utrošenu kroz transfer toplote.

3.1. Analiza procesa izrade žljeba laserom

Pri analizi procesa izrade žljeba laserom pošlo se od nekoliko pretpostavki:

- toplotna svojstva kompozitnih materijala korišćena su kao prosječne vrijednosti,
- otklanjanje materijala vrši se u dva oblika kroz isparavanje (topljenje) i odnošenje sa mlazom gasa,
- provodljivost u radnom predmetu normalna je na površinu žljeba i može se napisati izraz za raspodjelu temperature:

$$T = T_s \left(1 - \frac{n}{\delta}\right)^2 \quad (1)$$

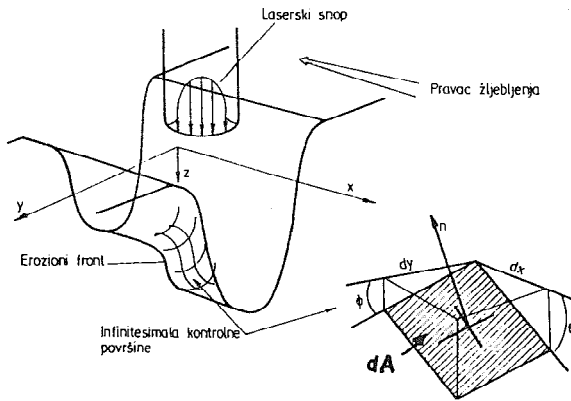
- laserski snop ima Gausov intenzitet raspodjele:

$$J(x,y) = \frac{a P}{\pi R^2} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{R^2}\right] \quad (2)$$

Ukupna energija laserskog snopa koja udara na površinu predmeta obrade raspoređuje se na:

$$E_b(x,y) = E_c(x,y)dA + E_v(x,y)dx dy \quad (3)$$

gdje je: E_b - energija laserskog snopa; E_c - energija koja se utroši na transfer toplote; i E_v - energija koja se utroši na topljenje i isparavanje materijala.



Sl. 1. Izrada žljeba laserskim snopom

Ukupna energija laserskog snopa u tački (u,v) od centra snopa data je izrazom:

$$E_b(x,y) = \int_{-\infty}^u J(x,y) \frac{dV}{V} = \int_{-\infty}^u \frac{a P}{\pi R^2 V} \exp\left[-\frac{x^2 + y^2}{R^2}\right] dx \quad (4)$$

Utrošena energija transferom toplote može se napisati u obliku:

$$E_c(x,y) = \int_0^{\infty} \rho C_p (T - T_{\alpha}) dn \quad (5)$$

Distribucija temperature unutar radnog predmeta postignuta toplotnim transferom može se napisati u sledećem obliku:

$$\nabla^2 T + \frac{V}{\alpha} \nabla T = \frac{1}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial t}; \quad \frac{\partial^2 T}{\partial n^2} + \frac{V}{\alpha} \frac{\partial T}{\partial x} = 0 \quad (6)$$

Koristeći matematičke metode i sl. 1 (uz uvažavanje graničnih uslova), transfer toplote se dobija pomoću sledećeg obrasca:

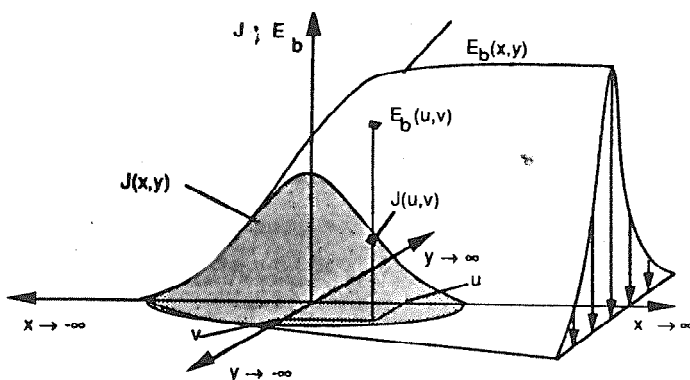
$$E_c(x,y) = \frac{k(u,v)}{V} (T_v - T_{\alpha}) \frac{(1 + \operatorname{tg}^2 \theta + \operatorname{tg}^2 \Phi)^{1/2}}{\operatorname{tg} \theta} \quad (7)$$

Energija koja se utroši na isparavanje i topljenje materijala ima oblik:

$$E_v(u, v) = \rho [L + C_p(T_v + T_\infty)] s(u, v) \quad (8)$$

Ako se u jednačinu (3) uvrste vrijednosti jednačina (4), (7) i (8) dobija se jednačina koja glasi:

$$\left[\int_{-\infty}^u \frac{a P}{\pi R^2 V} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{R^2}\right) dx \right] dx dy = \rho (L + C_p(T_v - T_\infty)) s(u, v) + \frac{k(u, v)}{V} (T_v - T_\infty) \left[\frac{(1 + \tan^2 \theta + \tan^2 \phi)^{1/2}}{\tan \theta} \right] dA \quad (9)$$



Sl. 2. Intenzitet laserskog snopa i distribucija energije

Dubina žljeba na mjestu (u, v) od centra laserskog snopa dobija se iz jednačine (9) i glasi:

$$s(u, v) = \frac{\int_{-\infty}^u \frac{a P}{\pi R^2 V} \exp\left(-\frac{x^2 + y^2}{R^2}\right) dx - \frac{k(u, v)}{V} (T_v - T_\infty) \left[\frac{(1 + \tan^2 \theta + \tan^2 \phi)^{1/2}}{\tan \theta} \right]}{\rho (L + C_p(T_v - T_\infty))} \quad (10)$$

3.2. Analiza procesa rezanja do potpunog razdvajanja

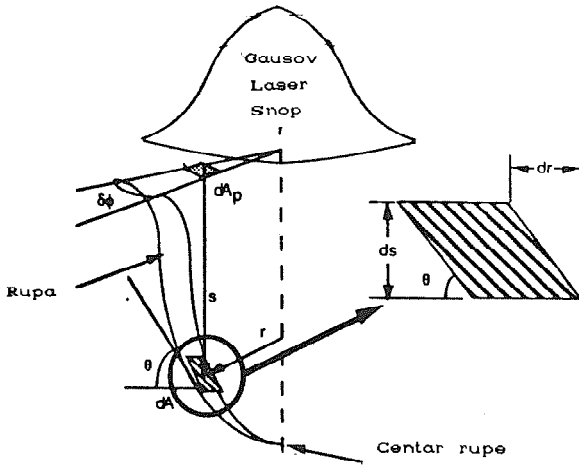
Detaljna analiza rezanja kompozitnih materijala do potpunog razdvajanja pomoću lasera u ovom radu neće biti izvršena zbog ograničenosti broja stranica koje rad treba da ima. Međutim, ovaj tip obrade materijala sličan je izradi žljeba pa u suštini sve jednačine date ranije sa zanemarljivim odstupanjima mogu se adekvatno koristiti. Razlika postoji jedino u tome što nema vođenja toplote u z - pravcu nego samo u x i y pravcu.

3.3. Analiza procesa bušenja

Kod bušenja kompozitnih materijala laserom, energija laserskog snopa isto kao i kod prethodnih procesa obrade, troši se na topljenje i isparavanje materijala kao i transfer toplote. Na sl. 3 dat je prikaz bušenja kompozitnih materijala laserom. Mala

elementarna površina dA na rastojanju r od centra laserskog snopa može se projektovati na vertikalnu i horizontalnu ravan:

$$dA = [CdA_p^2 + (r ds d\phi)^2]^{1/2} = (1 + tg^2 \phi)^{1/2} dA_p \quad (11)$$



Sl. 3. Bušenje laserskim snopom

$$E_b(r, t) dA_p = E_v(r, t) dA_p + E_c(r, t) dA_p \quad (12)$$

Kako laserski snop ima Gausov intenzitet distribucije to se može napisati:

$$J(r) = \frac{a P}{\pi R^2} \exp\left(-\frac{r^2}{R^2}\right) \quad (13)$$

Ukupna energija snopa može se napisati pomoću obrasca:

$$E_b(r, t) = \int_{\tau=0}^{\tau=t} J(r) d\tau = \frac{a P t}{\pi R^2} \exp\left(-\frac{r^2}{R^2}\right) \quad (14)$$

Energija utrošena na topljenje i isparavanje materijala E_v , kao i energija utrošena kroz transfer toplote E_c , uz određene termodinamičke i matematičke operacije imaju sledeće izraze:

$$E_v(r, t) = \rho (L + C_p (T_v - T_\infty)) s(r, t) \quad (15)$$

$$E_c(r, t) = \frac{k}{V_e} (T_v - T_\infty) = \frac{k (T_v - T_\infty)}{\frac{ds(r, t)}{dt} \cos \phi} \quad (16)$$

Uvrštavajući jed. (14; 15 i 16) u jednačinu (12) dobija se dubina bušenja laserskim snopom pomoću sledećeg izraza:

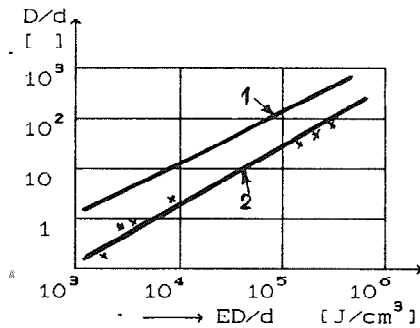
$$s(r, t) = \frac{\frac{a P t}{\pi R^2} \exp\left(-\frac{r^2}{R^2}\right) - \frac{k (T_v - T_\infty) (1 + tg^2 \theta)^{1/2}}{\left(\frac{ds(r, t)}{dt}\right)_{t=t} \cos \theta}}{\rho (C_p (T_v - T_\infty))} \quad (17)$$

4. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

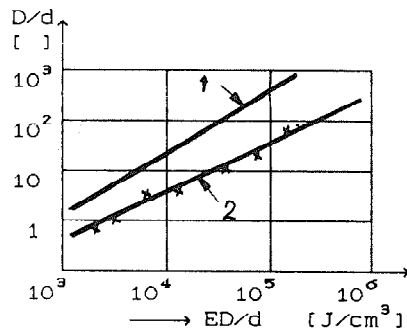
Ekspirenti su izvedeni na kompozitnim materijalima (grafit 50 % vinilester 50%) sa nivoima snage laserskog snopa od 100 W, 200 W i 500 W. Za sve nivoe snage korišćena je ista brzina prolaza laserskog snopa $V = 1 \text{ cm/s}$. Obrada je vršena u odnosu na vlakna materijala u aksijalnom i radijalnom pravcu. Nakon izvedenih eksperimenata izvršena su mjerenja dubine prodiranja laserskog snopa, te rezultati prikazani na narednim slikama. Gustina energije laserskog snopa može se odrediti pomoću izraza:

$$E D = \frac{P \lambda}{V d} \quad (18)$$

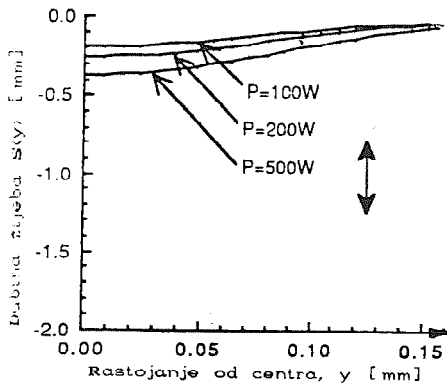
gdje je: $E D$ - gustina energije; P - snaga lasera; λ - broj prolaza; d - prečnik laserskog snopa; V - brzina kretanja laserskog snopa to su onda i izračunate vrijednosti $E D/d$ i D/d i prikazane na sl. 4 i 5. Na istim slikama data je i usporedba eksperimentalnih i računskih podataka izrade žljeba kako za obradu aksijalno tako i za obradu radijalno pravcima vlakana materijala.



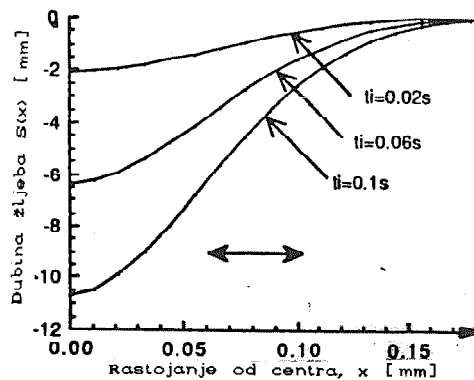
Sl.4. Upoređenje račun. (1) i eksperiment. (2) podat. izrade žljeba (aksijal.)



Sl.5. Upoređenje račun. (1) i eksperiment. (2) podat. izrade žljeba (radijal.)

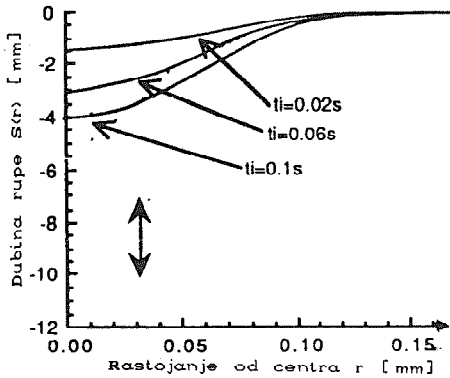


Sl.6. Izrada žljeba aksijalno na vlakna materijala

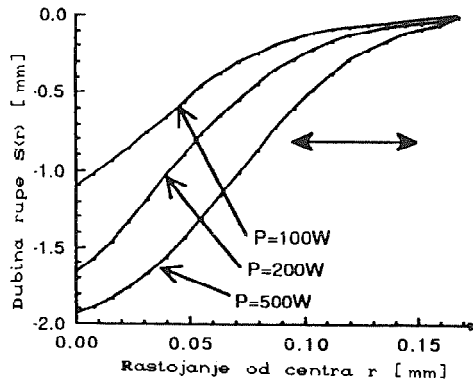


Sl.7. Izrada žljeba radijalno na vlakna materijala

Na sl. 6 dat je prikaz dubine žljeba urađena aksijalno na vlakna materijala, a na sl. 7 takode dubina žljeba urađena radijalno na vlakna materijala. To isto dato je na sl.8 i 9, samo za proces bušenja.



Sl.8. Bušenje laserskim snopom aksijalno na vlakna mater.



Sl.9. Bušenje laserskim snopom radijalno na vlakna mat.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izvršene analize procesa obrade kompozitnih materijala laserom, te eksperimentalno dobijenih podataka i nadenih matematičkih modela mogao bi se izvući sledeći zaključak:

- Obrada kompozitnih materijala laserom ne predstavlja neku naročitu teškoću što potvrđuju i eksperimentom dobijeni rezultati prikazani na slikama: 4; 5; 6; 7; 8 i 9.
- Bezdimenzionalna veličina D/d (odnos dubine prodora laserskog snopa i promjera laserskog snopa) u funkciji ED/d (odnos gustine energije i promjera laserskog snopa) za kompozitne materijale, prikazana na slikama 4 i 5 pokazuje prilično dobro poklapanje sa izračunatim rezultatima. Poklapanja su nešto lošija kada se vrši obrada laserskim snopom aksijalno na vlakna materijala.
- Postoji znatna razlika u dubini prodora laserskog snopa zavisno od toga dali se obrada vrši aksijalno ili radijalno na vlakna materijala. To potvrđuje i eksperimentalno dobijeni podaci prikazani na slikama: 6; 7; 8 i 9.

Bez obzira na odstupanja koja postoje između eksperimentalnih i računskih podataka može se sa sigurnošću tvrditi da se sa laserom mogu vrlo uspješno obradivati kompozitni materijali.

6. LITERATURA

- [1] Chryssolouris, G., Theoretical Aspects of Laser Machine Tool, ASME Winter Annals Meeting Proceedings, PED 20. 1986, 177 - 190.

- [2] Chrissolouris, G., Scheng, P., Choi, C., Investigation of Laser grooving for Composite Materials, Annals of CIRP, 1988, 161 - 164.
- [3] Schuocker, D., Cutting, Industrial Laser, Handbook, 1988, 87 - 107.
- [4] Modest, M., Heat Conduction in a Moving Semi-Infinite Solide Subjected to Pulsed Laser Iradiation, ASME Journal of Heat Transfer, 1108, 1986, 597 - 601.
- [5] Konig, V., Provisional list of Terms for Laser Beam Cutting, CIRP, Cooperative Work, 1987, 537 - 548.
- [6] Fleret, J., Ward, B., Circular and Non-circular Nozzle Exitsfor Supersonic Gas Jet Assist in CO₂ Laser Cutting, Proc. 3rd Intl. Conf. of Laser in Mfg (LIM 3), Paris, 1986.
- [7] Chrissolouris, G., Choi, V., Theoretical Aspects of Laser Grooving, Proceedings 14th Conference on Production Research and Technology, 1987, 323 - 331.
- [8] Dakić, P., Laser Groovig Composite Materials, Research Papers, M.I.T. Cambridge, 1991.
- [9] Dakić, P., Izrada žljeba laserskim snopom, Naučno - tehnički pregled, Beograd, Vol. 42, 1992, 2, 13 - 18.
- [10] Dakić, P., Laser Cutting Grafite Materials, Work Papers, M.I.T. 1990.
- [11] Dakić, P. Trodimenzionalna obrada materijala laserom, Naučno - tehnički pregled, Beograd, Vol. 42, 1992, 1, 18 - 23.
- [12] Dakić, P., Obrada teško obradljivih materijala laserom, Medunarodni skup teške mašingradnje, Kruševac, 1993.

P. Dakić

ANALYSIS OF LASER BEAM MACHINING PROCESS FOR COMPOSITE MATERIALS

Summary

A detailed analysis of the laser beam machining processes for composite materials is given in this paper. Three basic types of machining operations were analyzed: grooving, cutting and drilling. Mathematical models for all operations were set up and compared to the experimental results.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

S. Đurić, Lj.Đorđević, M.Milojević *

NEKA ISKUSTVA U PRIMENI PLATINIRANIH LIMOVA ZA IZRADU ZAVARENIH KONSTRUKCIJA

REZIME

Sve stožiji zahtevi probirljivog svetskog tržišta da se dobije što jeftiniji, kvalitetniji i funkcionalniji proizvod, nalažu primenu savremenih, kvalitetnih materijala uz nižu cenu koštanja proizvoda.

Jedan od novijih postupaka oplemenjivanja površina materijala, je postupak dobijanja platiniranih materijala zavarivanjem eksplozijom.

Ovu tehnologiju osvojila je XI "Miloje Zakić" iz Kruševca. Ovakvo dobijen platinirani lim ima poboljšane mehaničke, fizičke, hemijske i tehnološke osobine u odnosu na klasičen materijale uz znatno nižu cenu koštanja.

U radu su dati prvi rezultati i iskustva u primeni ovih materijala za izradu zavarenih konstrukcija u DD IMK "14. oktobar" u Kruševcu.

1. UVOD

Savremeni uslovi privredivanja sve češće se postavljaju zahtevi za uvođenjem novih tehnoloških postupaka i novih materijala koji omogućavaju racionalizaciju konstrukcionih rešenja, tehnologičnije i ekonomičnije konstrukcije uz povišenje funkcionalnih zahteva.

Priemna materijala koji poseduju visoku čvrstoću, uz istovremeno visoku korozionu i erozionu postojanost, otvaraju široke mogućnosti za usavršavanje tehnoloških procesa, kao i povišenje kvaliteta proizvoda u mašingradnji, metalurgiji, atomskoj energetici i u drugim oblastima tehnike.

Sve ove zahteve zadovoljavaju materijali, najčešće su u pitanju limovi, poznati pod nazivom platinirani limovi.

Pod platiniranim limovima podrazumevaju se limovi koji se sastoje od dve vrste materijala. Debljina platiniranog sloja obično se kreće u granicama od 10-20% ukupne debljine materijala. Kao osnovni materijal najčešće se koristi kotlovski lim ili lim od konstrukcionih čelika. Platinirani sloj obično čini lim od nerđajućih čelika ili nekog od obojenih materijala.

Plakiranje je postupak prevlačenja jednog metalnog lima drugim metalom sa jedne strane ili obe strane. Zavisno od primenjenog postupka dobijaju se različite karakteristike plakiranih limova.

* Sava Đurić, dipl.ing. Dr Ljubodrag Đorđević, dipl.ing. Milun Milojević, maš. teh.

Istraživački institut za građevinske mašine 37000 Kruševac,
Ul. 14. oktobra br. 2.

Najčešće se koriste sledeći postupci i metode plakiranja:

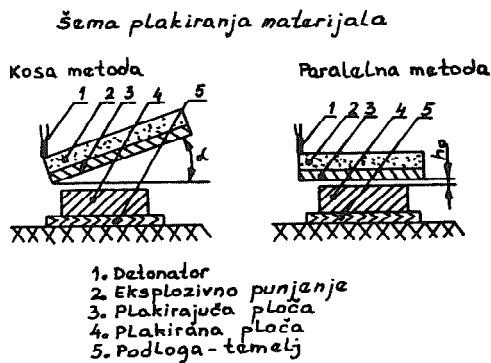
- Plakiranje sa tečnim slojem metala na čvrsti osnovni materijal,
- Plakiranje čvrstog osnovnog metala navarivanjem sa jedne ili obe strane,
- Plakiranje elektrohemijskim postupcima,
- Plakiranje sinterovanjem,
- Plakiranje eksplozivom.

2. PLAKIRANJE EKSPLOZIVOM

Najčešće primenjivan postupak za dobijanje platiniranih limova je postupak platiniranja eksplozivom.

Dobijanje spojeva uz pomoć zavarivanja eksplozivom postiže se na račun sudara metala pri njihovom kretanju usled produkata detonacije eksplozivnih supstanci. Pri ovom kontaktni slojevi spojenih metala dovode se na rastojanje na kome dolazi do međusobnog dejstva među atomskih sila različitih materijala usled čega nastaje nerazdvojiva veza ili dvoplatni, platinirani lim. Kontaktna zona metala ima po pravilu talasast oblik.

Na slici 1. data je principijelna šema jedne od mogućnosti plakiranja materijala eksplozivom.



Slika 1.

Zavarivanje eksplozivom svrsishodno je primenjivati za spajanje tenkih metala i legura, koji se konvencionalnim postupcima teško ili uopšte nemogu dobiti. Tehnologije plakiranja limova eksplozivom osvojila je ekipa stručnjaka HI "Miloje Zakić" iz Kruševca, a u Istraživačkom institutu za građevinske mašine DD IMK "14. oktobar" iz Kruševca istražile su tehnološke mogućnosti primene ovih materijala za izradu različitih vrsta zavarenih konstrukcija pre svega sudova, spremnika i rezervoara za agresivne fluide. U cilju izrade jednog ovakvog spremnika za agresivne fluide pristupilo se osvajanju tehnologije prerade platiniranih limova. Ovi spremnici su do sada izrađivani od nerđajućih čelika čija je cena dosta visoka. U ovom radu su izloženi neki od rezultati ispitivanja i osvajanja tehnologije izrade spremnika od platiniranih limova.

3. ISPITIVANJE MEHANIČKIH I METALURSKIH OSOBINA PLATINIRANIH LIMOVA

U tehničkoj laboratoriji DD IMK "14. oktobar" u Kruševcu izvršena su ispitivanja po tri dostavljena uzorka platiniranih limova, na kojima su kasnije vršene tehnološke probe.

Kao osnovni materijal korišćen je konstrukcioni čelik č.0361, debljine 3 mm, koji je plakiran nerđajućim čelikom č.4572 debljine 0,5 mm.

Ultrazvukom je ispitana homogenost platiniranog lima i konstantovana je homogenost i kvalitetno izvođenje platiniranja po čitavoj površini.

Zatezna čvrstoća platiniranih limova uvećala se u granicama od $R_m = 495-530$ N/mm². Lom je inicijalno nastupao u osnovnom materijalu. Sve epruvete su izdržale savijanje za ugao $\alpha = 180^\circ$, bez obzira da li se zatezna zona nalazila u osnovnom materijalu ili platinirajućem materijalu.

Mikrotvrdoća se kretala od 120 HB u osnovnom materijalu do 290 HB u platinirajućem sloju.

Primećena je neznatna promena mikrostrukture u zoni spajanja materijala.

4. ISPITIVANJE TEHNOLOŠKIH OSOBINA

U cilju osvajanja tehnologije izrade zavarenih spremnika ispitivane su tehnološke osobine platiniranih limova i to za operacije koje će se primenjivati pri izradi spremnika.

a. Sečenje platiniranih limova uspešno se može izvoditi:

- Mašinskim makazama,
- Plazma postupkom i
- Laserom

b. Plastična deformacija platiniranih limova se može uspešno izvoditi:

- Savijanjem,
- Rolovanjem,
- Valjanjem,
- Izvlačenjem i
- Probijanjem

c. Mašinska obrada platiniranih limova se uspešno može izvoditi svim metodama mehaničke obrade (obrade rezanja).

d. Zavarivanje platiniranih limova može se uspešno izvoditi praktično svim postupcima elektroličnim zavarivanjem.

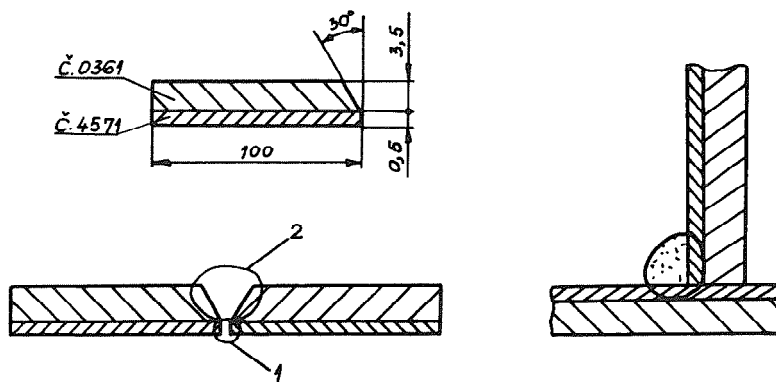
5. ISPITIVANJE ZAVARENOG SPOJA OD PLATINIRANOG LIMA

Zavareni spoj od platiniranog lima izrađen je primenom dva postupka elektroslučnog zavarivanja:

a. Ručnog elektroslučnog zavarivanja uz primenu obložene elektrode INOX 18/8/6 prečnika $\varnothing 2,5$ mm i struji zavarivanja $I=60-80A$.

b. Elektroslučnog zavarivanja u zaštiti gasa primenom žičane elektrode MIG 20/9/7 Ti prečnika $\varnothing 1,2$ mm u zaštiti mešavine gasa 20% CO₂ + 80%Ar sa strujom zavarivanja oko 220A.

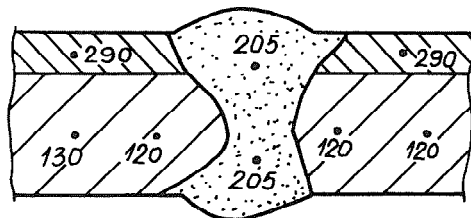
Priprema za zavarivanje i redosled zavarivanja prikazan je na slici 2.



Slika 2

Laboratorijska ispitivanja zavarenih sučeonih šavova dala su sledeće rezultate:

- Zatezna čvrstoća zavarenih spojeva kretala se u granicama $R_m = 525-530 \text{ N/mm}^2$, lom je nastajao u osnovnom materijalu,
- Savijanjem i sa lica i sa korena šava dostignut je ugao savijanja $\alpha = 180^\circ$
- Promena tvrdoće po preseku zavarenih sučeonih pojava data su na sl.3.



Slika 3.

- Mikroskopska metalurška ispitivanja dala su sledeće ocene:
 - * Mikrostruktura osnovnog materijala Č.0361: finoizrnasti austenit
 - * Mikrostruktura plakirajućeg materijala Č.4572: austenit
 - * Mikrostruktura zvara: finoizrnasti austenit
 - * Mikrostruktura ZUT-a: neznatno pogrubljenje zrna ferita u osnovnom materijalu
- Ultrazvučnim ispitivanjem ustanovljena je homogenost zavarenih spojeva.

- Ispitivanja otpornosti na koroziju u slanoj komori pokazala su da su platinirane površine limova i zavareni spojevi otporni na koroziju.

6. ZAKLJUČAK

Platinirani limovi imaju specifične mehaničke, hemijske i tehnološke osobine koje im omogućavaju primenu u specifičnim savremenim konstrukcijama. Takođe, njihove tehnološke osobine u pogledu mogućnosti izrade zavarenih konstrukcija su veoma dobre. Cena izvedenih konstrukcija na ovaj način je i do tri puta niža od cene istih konstrukcija urađenih do nerđajućih čelika.

7. LITERATURA

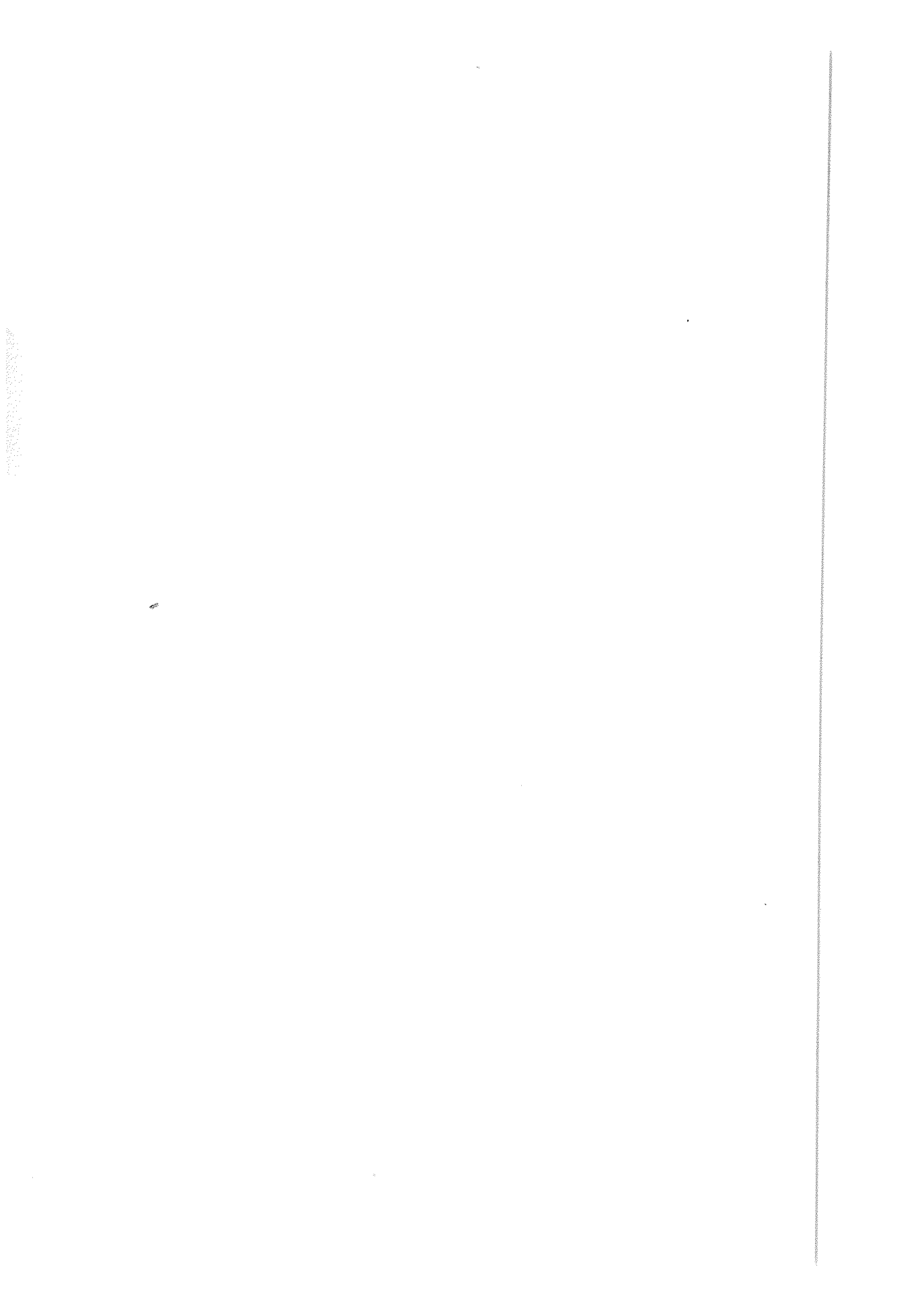
1. V. Stoiljković, Obrada materijala eksplozivom, plakiranje metala, izvlačenje eksplozivom, Tehnička informacija, Mašinski fakultet Niš, Niš, 1985, 1-25
2. M. Živčić, Zavarivanje i srodni postupci, Društvo za tehniku zavarivanja Hrvatske, Zagreb, 1980, III-32, VI-13 i VI-14.
3. Grupa autora, Zavarivanje i rezanje metala energijom eksplozije, Naučno-tehnička informacija Institut elektrozavarivanja "Pahon" Kijev, Ukrajina, 1989, 2-10.
4. Izveštaji Tehničke laboratorije DD IMK "14. oktobar" Kruševac,
5. Tehničko tehnološka dokumentacija DD IMK "14. oktobar" Kruševac.

S. Đurić, Lj. Đorđević, M. Milojević

ERFAHRUNGEN IN DER ANWENDUNG VON SCHICHTBLECHEN FÜR DIE ALSARBEITUNG VON SCHWEISKONSTRUKTIONEN

ZUSAMMENFASSUNG

Immer strengere Anforderungen des wählerischen Weltmarktes und Bestrebungen i einen biligeren und funktionellen Productt zu schaffen, setzen die Anwendung der modernen und qualitativen Werkstoffen voraus mit niedrigeren Produktkosten. Eins der neueren Vergutungsverfahren an Werkstuckoberflächen ist das Verfahren der Schichtmaterialgewinnung mit Explosionsschweisverfahren. Diese Technologie wird in der Ehemischen Industrie "Miloje Zakić" aus Kruševac angewandt. Die auf diese Weise gewonnene Schichtbleche hat vergutete mechanische, fysische, chemische und Technologische Eigenschaften in Vergleich mit den klasischen Werkstoffen mit reduzierten Preiskosten. Die Arbeit befasst sich mit ersten Ergebnissen und Erfahrungen in der Anwendung von diesen Werkstoffen für die Schweiskonstruktionsfertigung bei der AG "14. oktobar" in Kruševac.



K.Gerić, S.Sedmak, A.Sedmak

ANALIZA HETEROGENOSTI STRUKTURE I MEHANIČKIH OSOBINA ZAVARENIH SPOJEVA MIKROLEGIRANIH ČELIKA

Rezime

Tendencija smanjenja poprečnog preseka elemenata konstrukcije uslovljava korišćenje čelika povišene čvrstoće. Razvoj novih vrsta mikrolegiranih čelika i postupaka prerade (termomehanička obrada, kaljenje i otpuštanje) je praćeno problemom njihove zavarljivosti, koji se pre svega ogledaju u pojavi prsline, heterogenosti strukture zone uticaja toplote i u odnosu čvrstoće metala šava i osnovnog metala. Da bi se ocenila otpornost zavarenog spoja analizirana su kritična područja zone uticaja toplote određivanjem J integrala pomoću epruveta sa prslinom i merena širina konačne zone razvlačenja.

1.UVOD

Primena mikrolegiranih čelika visoke čvrstoće omogućuje smanjenje mase konstrukcije, ali je razvoj novih vrsta ovih čelika koji se dobijaju različitim postupcima prerade (termomehanička obrada, kaljenje i otpuštanje) praćen problemom zavarljivosti.

Pri zavarivanju čelika NIOMOL 490 dolazi do promene osobina u zoni uticaja toplote (ZUT) i metalu šava, i može doći do smanjenja žilavosti i povećanja prelazne temperature. Problem je kako pronaći vrednost žilavosti u kritičnom području zavara. Uopšteno prihvaćenim postupcima kao što je ispitivanje žilavosti po Šarpiju, sa zarezima na različitim rastojanjima u zoni uticaja toplote, nisu dobijeni dovoljno pouzdani

Gerić mr Katarina, asistent na Fakultetu tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Vladimira P. Valtera 2, Novi Sad, **Sedmak dr Stojan**, red.prof., Tehnološko-metalurški fakultet, Karnegijeva 4, Beograd, **Sedmak dr Aleksandar**, docent, Mašinski fakultet, 27.marta 17, Beograd

rezultati [1]. Imajući u vidu heterogenost strukture i mehaničkih osobina u zavarcnom spoju očekuje se rasipanje rezultata žilavosti [2]. Ovo je posledica velikog radijusa zaobljenja V zareza koji je koncentrador napona, u poređenju sa veličinom ZUT. Širina ZUT zavisi od parametara režima zavarivanja i može se precizno definisati .

Određivanje kritičnog položaja u ZUT je od značaja za dobijanje osobina zavarenog spoja , ali problem je kako da se definiše područje ZUT sa minimalnom žilavosti. Spomenuto rasipanje rezultata ukazuje na nemogućnost korišćenja metode Šarpi za preciznu analizu. Mnogo bolji rezultati se dobijaju sa uzorcima koji imaju zamornu prslinu smeštenu u kritično područje ZUT. Uzorak sa zamornom prslinom omogućava određivanje J integrala kao mere žilavosti loma i određivanje širine konačne zone razvlačenja kao pokazatelje otpornosti na rast prsline.

2.MATERIJAL

Ispitivan je kaljeni i otpušteni , niskougljenični čelik visoke čvrstoće mikrolegiran, niobijumom i molibdenom, isporučen u obliku ploče, debljine 30 mm. Hemijski sastav čelika daje se u Tabeli 1. a mehaničke osobine u Tabeli 2.

Tabela 1. Hemijski sastav osnovnog metala (tež.%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Nb	Cr	Ni	Mo
0.06	0.32	1.01	0.014	0.004	0.3	0.06	0.17	0.15	0.23

Tabela 2. Mehaničke osobine

Granica tečenja, MPa	Zatezna čvrstoća, MPa	Izduženje, %
490	611	27

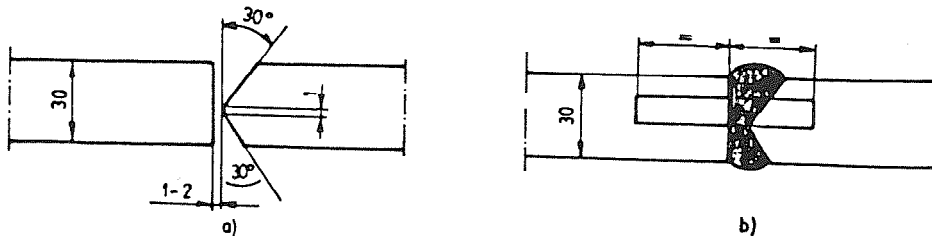
3.USLOVI ZAVARIVANJA I UZORCI

Zavareni spoj sa K pripremom, je rađen ručno elektroručno, sa obloženom elektrodom, prečnika 3,25 mm. Struja zavarivanja je iznosila 120A, napon 25V, brzina zavarivanja 4 mm/s, sa unosom toplote oko 7 kJ/cm.

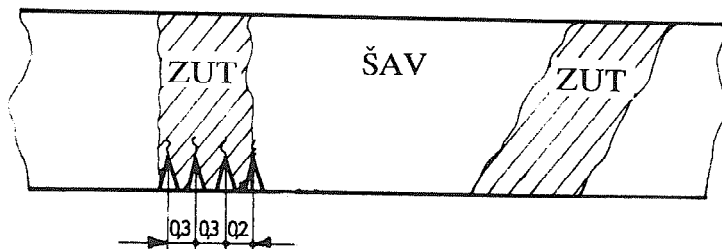
Uzorci su isecani iz zavarenog spoja sa K zavarom sl. 1. Uzorci su Šarpi sa V zarezom i zamornom prslinom. Zarez je smešten na liniji stapanja i na rastojanju 0,2; 0,5 i 0,8 mm od linije stapanja (sl. 2.)

4.ISPITIVANJE

Ispitivanje je izvršeno prema standardu ASTM E813 [3] za određivanje J integrala koristeći metod merenja elastične podatljivosti jednog uzorka. Ispitivanje na niskim temperaturama je izvršeno u komori sa petrol etrom i tečnim azotom koji su tako



Sl. 1 a.) Način pripreme zavarenog spoja i b.) položaj uzorka



Sl.2 Položaj zarez u zavarenom spoju

pomešani da hlade na -60°C . Uzorak je delimično uronjen u tečnost za hlađenje, a na gornjoj strani postavljen uređaj za merenje otvaranja prsline (COD merač).

Prelomna površina je ispitivana na svim prelomljenim uzorcima pomoću skening elektronskog mikroskopa. Za merenje širine konačne zone razvlačenja uzorci su nagnuti za ugao od oko 45° u odnosu na upadni snop. Da bi se dobila prosečna konačna zona razvlačenja napravljeno je po celom frontu zarez a veći broj fotografija, a na njima mereno ukupno oko 70 mesta.

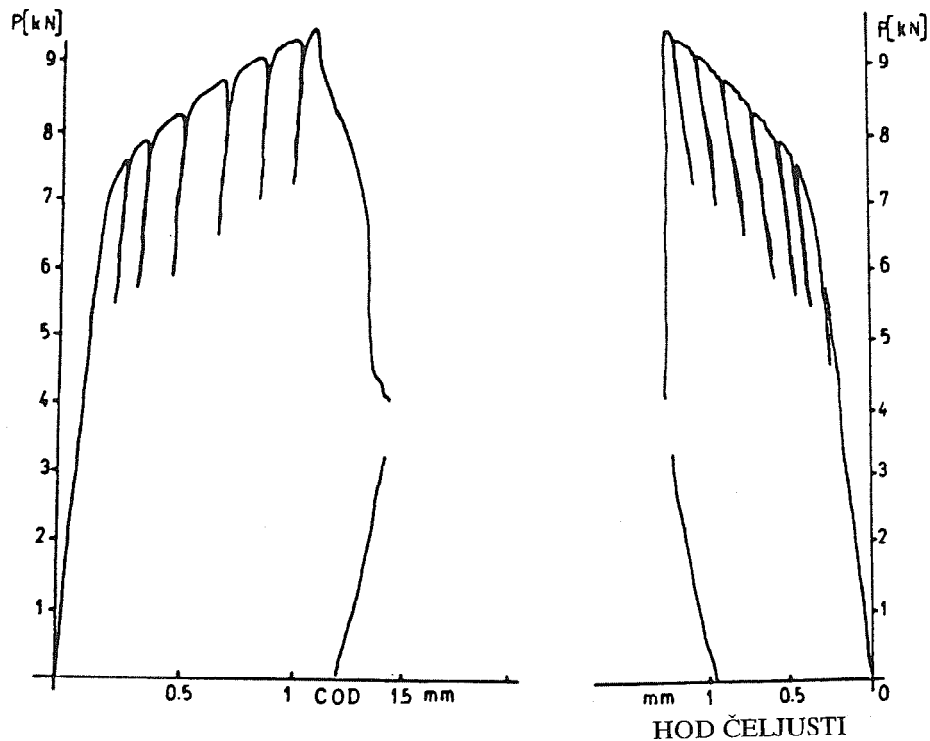
5.REZULTATI

Dobijen dijagram sila-otvaranje prsline i sila-hod čeljusti za uzorke ispitivane na -60°C prikazan je na sl. 3. Površina ispod dijagrama predstavlja energiju koja odgovara vrednosti J integrala, a razlike u nagibima krivih rasterećenja odgovara inkrementu rasta prsline. Vrednost J integrala se izračunava za maksimum sile prema izrazu :

$$J = \frac{2 A_{PL}}{B b_j} \quad (1)$$

gde je A_{PL} (mm^2) površina ispod dijagrama sila-COD, B (mm) je debljina uzorka, a b_j (mm) stvarni ligament (razlika širine uzorka i prsline).

Ovako dobijene vrednosti J integrala za maksimalnu silu i prosečna širina konačne zone razvlačenja daje se u Tabeli 3. Tipična mikrofotografija dobijena na skening elektronskom mikroskopu na kojoj je merena zona razvlačenja data je na sl. 3.



Sl. 2. Tipičan dijagram a.) sila- otvaranje prsline i b.) sila- hod čeljusti

Tabela 3. Vrednosti J integrala i širina zone razvlačenja

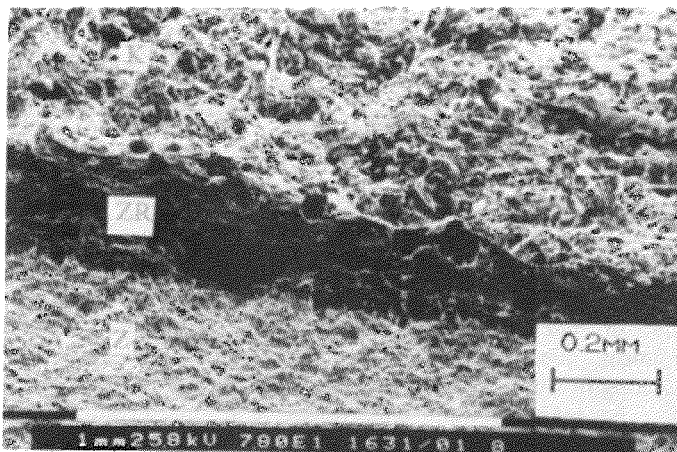
Redni broj uzorka	1	2	3	4
Rastojanje vrha prsline od linije stapanja, mm	0	0.2	0.5	0.8
J-integral, kJ/m ²	704	605	318	239
Širina zone razvlačenja, mm	0,47	0,44	0,23	0,12

6. DISKUSIJA I ZAKLJUČCI

Svi ispitivani uzorci su se krto lomili i uočeno je smanjenje žilavosti. Relativno velika otpornost na rast prsline koja je definisana vrednošću J integrala i širina konačne zone razvlačenja dobija se na liniji stapanja, a ove vrednosti se smanjuju idući dalje od linije stapanja ka osnovnom metalu. Povezanost između vrednosti J

integrala na maksimumu opterećenja i širina konačne zone razvlačenja je očigledna iz Tabele 3, manjoj vrednosti J integrala odgovara manja širina zone razvlačenja.

Da bi se objasnile ovi rezultati u pogledu na otpornost materijala prema rastu prslina neophodno je razmotriti osobine materijala na liniji stapanja. Linija stapa



Sl. 3. SEM mikrografija sa vidljivom zonom razvlačenja (Z-Zamorna prslina, ZR -zona razvlačenja i K -krti lom.)

nja se nalazi između metala šava koji je očvrstnuo u toku zavarivanja i ZUT gde se metal nije topio ali je podvrgnut zagrevanju i usled toga menja svoje mehaničke osobine. Moguće je da se smenjuju područja povećane krtosti i žilavosti u okolini linije stapanja na veoma malim rastojanjima, tako da prslina može da napreduje i kroz krto i kroz žilavo područje, pri čemu se dobijaju različiti rezultati za žilavost loma. Razlika u mikrostrukturi i mehaničkim osobinama duž ZUT, od linije stapanja do osnovnog metala je posledica različitih temperatura koje se dostižu u određenim mestima u ZUT u toku procesa zavarivanja. Širina ZUT od oko 2 mm odgovara padu temperature od tačke topljenja do 500 °C, i sadrži tipične mikrostrukture, tako da su različite vrednosti J integrala proračunate za maksimalno opterećenje verovatno posledica mikrostrukturne heterogenosti.

7.LITERATURA

- [1] Chen J.H., Jan C.: Fracture Behavior of C-Mn Steel Multipass MMA Weld Metals at - 60 C in Charpy V Testing, Materials Science Technology , vol. 4., 1988, pp 732-39
- [2] Kuzmanovic S., at al: Godišnji izvčstaj za 1990/91 za projekt YU-USA "Fracture Mechanics of Weldments", "Energoinvest", Sarajevo, 1991
- [3] ASTM E 813 ,Standard Test Method for J_{Ic} , A Measure of Fracture Toughness, ASTM Standards Book, 1993

K.Gerić, S.Sedmak, A. Sedmak

**THE ANALYSIS OF HETEROGENEITY OF STRUCTURE AND
MECHANICAL PROPERTIES OF MICRO ALLOY STEEL
WELDMENT**

Summary

The requirements for reduced cross-section of structural elements can be fulfilled by the application of weldable high strength steels. The development of new kinds of micro alloy steel and treatment procedures (thermomechanical treatment, quenching and tempering) is followed by weldability problems, reflecting in crack occurrence, heat affected zone heterogeneity and matching effect. For the evaluation of crack resistance of welded joints, critical regions in heat affected zone are analyzed by J integral evaluation and final stretch zone width measurement.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

R. Ćirić^{*}, R. M. Ječmenica^{**},

TEHNO-EKONOMSKA ANALIZA UŠTEDA ALATNOG MATERIJALA PRI PROIZVODNJI ZAVOJNIH BURGIJA TEHNOLOGIJOM ZAVARIVANJA

Re z i m e

U procesima proizvodnje zavojnih burgija danas su u primeni različite tehnologije. Najzastupljenije su tri tehnologije: Glodanjem, Brušenjem i Valjanjem. Koja će tehnologija biti primenjena uglavnom zavisi od vrste brzoreznih čelika koji su trenutno u optičaju i ekonomskih ograničenja koja postavljaju kupci alata. Upoređivanjem kvaliteta i cena zavojnih burgija dobijenih po ovim trima tehnologijama, uočavaju se znatne razlike. U ovom radu analiziraćemo samo uticaj tehnologije zavarivanja, koja se može pojaviti u nekim slučajevima proizvodnje zavojnih burgija, na tehnološko-ekonomske pokazatelje opravdanosti njene primene.

1.0 UVOD

Tehnologija izrade reznih alata, zavarivanjem trenjem (ZT), u Fabrici reznog alata u Čačku, gde je i proizvedena prva mašina za (ZT), stara je preko tri decenije. Toliko je otprilike stara i primena ove tehnologije u domaćoj proizvodnji reznih alata. Ovom tehnologijom moguće je, zavisno od vrste alata i postupka njegove izrade, uštedeti znatne količine brzoreznih čelika, zameniti ih sa čelicima za poboljšanje koji su i do 15 puta jeftinijih od brzoreznih. Ovaj pokazatelj je posebno interesantan ako se ima u vidu da se samo u FRA godišnje proizvede preko 60.000.000 komada reznih alata i utroši preko 5.000 tona uvoznog i deficitarnog brzoreznog čelika.

Bez obzira na relativno dugu tradiciju u primeni ovih tehnologija u uslovima domaće proizvodnje reznih alata, može se konstatovati da ona još nije u zadovoljavajućoj meri zastupljena, pogotovu kod kraćih reznih alata, specijalnih alata, alata manjih dimenzija i alata kod kojih se rezni deo formira toplom plastičnom deformacijom.

Neke od ovih vrsta alata proizvode se masovno i dugoročno. Treba ovom prilikom naglasiti, respektujući napred iznete činjenice, da zbog složenijeg oblika ovih vrsta alata, sve manjeg rastojanja zavarenog spoja od reznog dela alata, izrade ove vrste alata na visokoproduktivnim i specijalizovanim

^{*}) dr Ratimir M. Ječmenica, vanr. prof., Tehnički fakultet, Čačak,

^{**}) Mr Radovan Ćirić, FRA, Čačak,

mašinama, primene novih vrsta osnovnih materijala i stalnog trenda pooštravanja zahteva u pogledu uštede materijala i kvaliteta alata, sve je izraženija potreba za **OPTIMIZACIJOM** tehnologije zavarivanja trenjem (ZT).

Zavarivanje trenjem je moguće primeniti za zavarivanje danas velikog broja korišćenih materijala ne samo u proizvodnji reznih alata već i šire. Primena ove tehnologije u uslovima domaće proizvodnje znatno zaostaje u odnosu na svetske trendove. Iako je akcenat ovog rada na teho-ekonomskim aspektima opravdanosti primene ove tehnologije kod proizvodnje zavojnih burgija, neke napomene vezane za kvalitet alata dobijenih zavarivanjem trenjem moramo naglasiti. Naime, u teorijskoj analizi ponašanja osnovnih materijala (OM), brzoreznog čelika Č.7680 i ugljeničnog čelika za poboljšanje Č.1730 pri zavarivanju trenjem potrebno je poći od opšte prihvaćenih stavova o ponašanju ovih materijala pri termičkoj obradi i plastičnoj deformaciji sa zaključnim definisanjem njihovog ponašanja pri zavarivanju trenjem. Kako pojava pukotina (prslina) i krtog loma neposredno uz spoj na delu od Č.7680 predstavlja najčešću i najtežu grešku, to je neophodna i veoma detaljna analiza uzroka ovih pojava kao i njihova eliminacija ili pak svodenje na minimalno moguće razmere.

Dalje, pitanje kriterijuma izbora optimalnih režima zavarivanja trenjem brzoreznih čelika sa čelicima za poboljšanje, pa i Č.7680 sa Č.1730, je i danas veoma aktuelno. Zbog mogućnosti bržeg dobijanja pouzdanih informacija, upotrebljivih u proizvodnji reznih alata, ispitivanja metodama sa i bez razaranja se uglavnom izvode na uzorcima u zavarenom stanju i posle žarenja. Među korišćenim metodama metalografska ispitivanja imaju veoma značajnu težinu. Raspoloživi literaturni i drugi pokazatelji o metalografskoj karakterizaciji trenjem zavarenih spojeva ovih čelika su nesistemati-zovani, nedovoljni i nepouzdati, pa ovo iziskuje potrebu za definisanjem oblika grešaka koje se mogu pratiti metalografskim postupcima i određivanjem kriterijuma za metalografsko ispitivanje.

Merenje termičkog ciklusa i analiza karaktera plastične deformacije Č.7680 i Č.1730 u oblasti zavarenog spoja pružaju mogućnosti za regulaciju procesa još u toku zavarivanja trenjem i određivanje veze ovih veličina sa parametrima procesa i osobinama zavarenog spoja. Oblik termičkog ciklusa utiče na osobine zone uticaja toplote i sklonost Č.7680 ka pojavi pukotina (prslina). Karakter tečenja materijala utiče na istiskivanje napoželjnih faza iz spoja, kao i na raspored i oblik karbidne faze. Proučavanje ovih uticaja omogućilo bi potpuniju i korektniju kontrolu procesa zavarivanja trenjem.

Topla plastična deformacija metala pri proizvodnji reznih alata omogućava postizanje značajne uštede na troškovima brzoreznih čelika i povećanja proizvodnosti. Potrebno je ustanoviti uticaj iste na osobine zavarenog spoja kao i ispitati mogućnosti izrade reznih alata sa zavarenim spojem na spiralnom-zavojnom delu toplom plastičnom deformacijom.

2.0 OSNOVNE KARAKTERISTIKE ZAVARIVANJA TRENJEM

Zavarivanje trenjem je postupak zavarivanja pritiskom pri kome se spoj ostvaruje plastičnom deformacijom trenjem zagrejanih dodirnih površina osnovnih materijala. Zagrevanje pri ovoj vrsti varenja vrši se preobraženom mehaničkom energijom, od snage potrebne da bi se savladao torzioni moment sila trenja, u toplotnu energiju. Po svojoj prirodi zagrevanje trenjem je neravnomerno po popreku pa se u ovim operacijama mora posvetiti znatna pažnja ovome problemu.

Najjednostavniji slučaj zavarivanja trenjem je čeono zavarivanje okruglih delova punog ili prstenastog poprečnog preseka, ali se u principu mogu variti i profili znatno složenijih preseka. U procesu zavarivanja obično se okreće jedan deo, moguće je i oba ali je to ređe, pri čemu u toku procesa

obrtnja na njih deluju aksijalne sile istih pravaca a suprotnih smerova, (vidi sliku 3).

U odnosu na druge postupke zavarivanja, ovaj postupak ima niz prednosti pored ostalog i zbog odsustva tečne faze i zagrevanja samo malog dela zapremine zavarivanih delova.

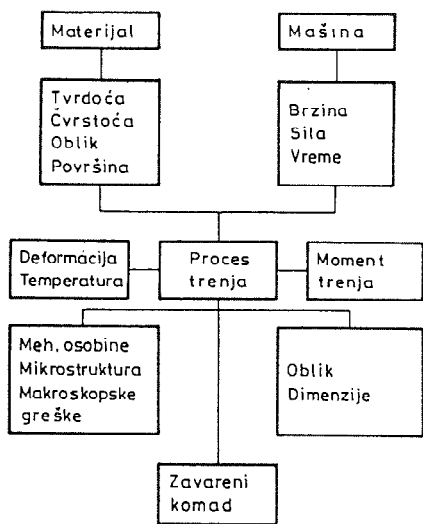
Zavarivanjem trenjem, u principu, može se obaviti u nekoliko varijanti:

-Zavarivanje sa kontinualnim pogonom, gde se toplotna energija generise u zoni trenja obrtanjem jednog ili pak oba zavarivana dela, posle čega se obrtnje prekida a delovi izlažu delovanju aksijalnih sila sučeljavanja. Osnovni parametri procesa su :Obimna brzina V zavarivanih komada, pritisak trenja P_t , vreme trenje T_t , pritisak sabijanja P_s i vreme sabijanja T_s .

- Inerciono zavarivanje, gde se rotirajući delovi mašine sa uzorkom pre početka trenja ubrzaju do nekog kritičnog broja obrtaja i u toku trenja predaju energiju zavarivanim delovima. Osnovni parametri pri ovoj vrsti varenja su: početni broj obrtaja n , masa rotirajućih delova M , pritisak sabijanja P_s i vreme delovanja pritiska saabijanja T_s .

-Kombinovano zavarivanje trenjem predstavlja kombinaciju prethodna dva zavarivanja i može se izvesti u niz varijanti. Osnovni parametri ovog procesa su: broj obrtaja n , pritisak trenja P_t , vreme trenja T_t , vreme kočenja T_k , pritisak sabijanja P_s i vreme sabijanja T_s .

Regulacija procesa zavarivanja trenjem obavlja se preko parametara vezanih za performanse mašine, osobina materijala koji se zavaruju, promenljivih veličina koje prate ovaj proces i kontrolom zavarenih spojeva vide ti sledeću shemu:



Sl.1 Shematski prikaz utijanih parametara na proces zavarivanja trenjem

Brojne vrednosti navedenih parametara uglavnom i najvećim procentom zavise od prirode osnovnih materijala, oblika i kvaliteta površina po kojima se vrši spajanje delova i na kraju od tehničkih karakteristika uradaja na kome se navedeno zavarivanje vrši.

Obimna brzina V , izražava se preko brojeva obrtaja zavarivanih premeta i treba da se kreće u granicama:

$$V = \pi d n = (1, 2 - 6, 0) \times 10^4 \text{ (o/min)} \dots \dots \dots (1)$$

gde je :

- d [mm] srednji prečnik zavarivanih delova,
- n [ob/min] broj obrtaja zavarivanih delova

U slučaju zavarivanja ugljeničnih i legiranih čelika, što je upravo slučaj pri proizvodnji reznih alata, ova vrednost treba da je oko 3×10^4 ob/min.

Aksijalna brzina V_a , treba da se kreće u granicama 1,5 do 2 [m/s].

Pritisak trenja P_t treba da se kreće u granicama od 10 do 200 [N/mm²].

Vreme trenja, koje je pored pritiska trenja jedan od veoma uticajnih parametara na kvalitet zavarenih spojeva u kome se generiše veoma velika količina toplote, kreće se u granicama 1 do 50 [sek],

Vreme sabijanja T_s , obično iznosi 2 do 3 [sek] mada je kod zavarivanja konstruktivnih čelika sa legiranim alatnim čelicima sa velikim sadržajem ugljenika, wolframa, molibdena i kobalata ovo vreme nešto duže,

Toplotna energija Q , generisana u procesu trenja, računa se na osnovu sledećeg empirijskog obrasca:

$$Q = \frac{2 \cdot p \cdot n \cdot d \cdot \pi \cdot t}{1281.60} \dots \dots \dots (2)$$

gde je:

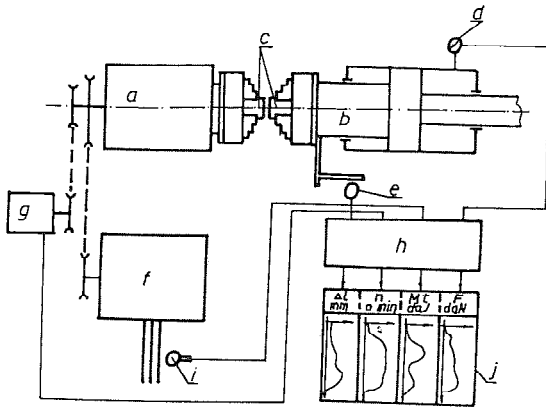
- p [N/mm²] srednji aksijalni pritisak,
- n [b/min] broj obrtaja varenih elemenata,
- d [mm] srednji prečnik varenih elemenata,
- μ koeficijent trenja,
- t [s] vreme trajanja procesa varenja

Da podvučemo još jednom, zavarivanje trenjem spada u grupu zavarivanja pod pritiskom pri čemu su osnovni materijali, materijali koji se spajaju, u čvrstom stanju. Metali koji su dovoljno plastični, kao naprimer što su Al, Cu, Si, . . . , zavaruju se na hladno, dok se kod drugih materijala plastičnost veštački povećava zagrevanjem kontaktnih površina na temperaturu koja je niža od temperatura topljenja. Mehanička energija se delimično transformiše u toplotnu, što uzrokuje smanjenje energetske gubitaka, a pored toga energija je lokalizovana na uske zone odnosno površine koje se spajaju.

2.1 OBRADNI SISTEM I TEHNOLOŠKI PROCES ZAVARIVANJA TRENJEM

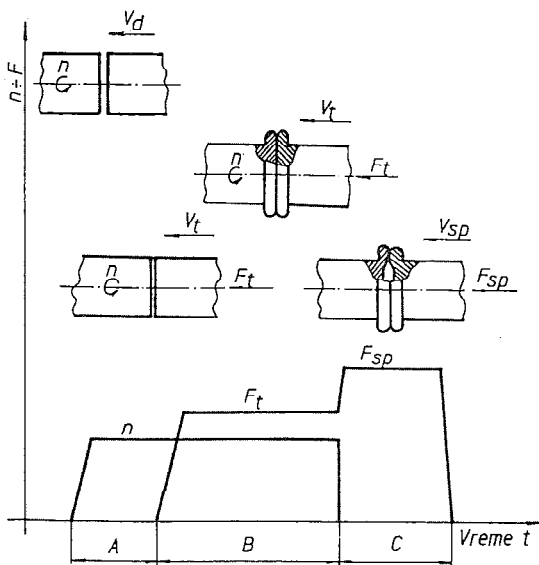
Na slici 2. prikazan je jedan obradni sistem za zavarivanje trenjem, koji nećemo posebno komentarisati.

Elementi koji se zavaruju postavljaju se u čeljusti obradnog sistema. Jedan od elemenata počinje da se okreće dok se drugi aksijalnom silom F_t pritiska uz njega. Zbog sila trenja čela elemenata se brzo zagreju do stanja plastičnosti. Posle vremena trenja T_t , obrtanje se zaustavlja i dodatnom silom F_{sp} , u toku vremena sabijanja T_p , elementi se čvrsto spoje. Tok tehnološkog procesa zavarivanja sa parametrima koji ga definišu prikazan je na shemi broj 3.



Sl.2 Shema jednog obradnog sistema za zavarivanje trenjem gde je:

- a- pogonski mehanizam
- b- suport
- c- radni komadi
- d- manometar
- e- davač pomeranja
- f- elektromotor
- g- obrtomer
- h- most za uravnoteženje
- i- davač momenta,
- j- višekanalni pisač



Sl.3 Shema toka tehnološkog procesa zavarivanja trenjem

3.0 TEHNO - EKONOMSKA ANALIZA PRIMENE VARENJA TRENJEM

Tabela 2.1

Zavojna burgija sa cilindričnom drškom $\emptyset 10 \times 133/87$ (mm) JUS K.D3.020 (DIN 338)								
Tehnologija izrade								
Valjana			Glodana			Brušena		
iz cela	varena		iz cela	varena		iz cela	varena	
Stanje pripremljena								
Brušen			Valjan			Brušen		
Materijal pripremljena								
Č.7680	Č.7680	Č.1730	Č.7680	Č.7680	Č.1730	Č.7680	Č.7680	Č.1730
Dimenzije pripremljena (mm)								
$\emptyset 10,2 \times 97$	$\emptyset 10,5 \times 46$	$\emptyset 10,5 \times 52$	$\emptyset 12 \times 140$	$\emptyset 13 \times 96$	$\emptyset 13 \times 52$	$\emptyset 10,2 \times 137$	$\emptyset 10,5 \times 93$	$\emptyset 10,5 \times 52$
Težina pripremljena (gr)								
68	35	39	137	100	60	98	64	39

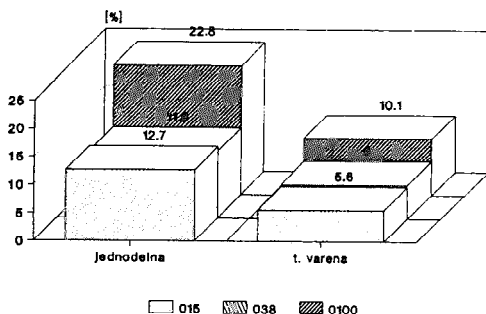
Tabela 2.2

Zavojna burgija sa cilindričnom drškom $\emptyset 15 \times 169/114$ (mm) JUS K.D3.020 (DIN 338)								
Tehnologija izrade								
Valjana			Glodana			Brušena		
iz cela	varena		iz cela	varena		iz cela	varena	
Stanje pripremljena								
Brušen			Valjan			Brušen		
Materijal pripremljena								
Č.7680	Č.7680	Č.1730	Č.7680	Č.7680	Č.1730	Č.7680	Č.7680	Č.1730
Dimenzije pripremljena (mm)								
$\emptyset 15,3 \times 114$	$\emptyset 15,6 \times 53$	$\emptyset 15,6 \times 62$	$\emptyset 17 \times 177$	$\emptyset 18 \times 124$	$\emptyset 18 \times 62$	$\emptyset 15,3 \times 174$	$\emptyset 15,6 \times 121$	$\emptyset 15,6 \times 62$
Težina pripremljena (gr)								
182	85	106	347	137	248	277	182	106

Tabela 2.3

Zavojna burgija sa cilindričnom drškom $\emptyset 20 \times 205/140$ (mm) JUS K.D3.020 (DIN 338)								
Tehnologija izrade								
Valjana			Glodana			Brušena		
iz cela	varena		iz cela	varena		iz cela	varena	
Stanje pripremljena								
Brušen			Valjan			Brušen		
Materijal pripremljena								
Č.7680	Č.7680	Č.1730	Č.7680	Č.7680	Č.1730	Č.7680	Č.7680	Č.1730
Dimenzije pripremljena (mm)								
$\emptyset 20,3 \times 145$	$\emptyset 20,6 \times 72$	$\emptyset 20,6 \times 74$	$\emptyset 23 \times 213$	$\emptyset 24 \times 151$	$\emptyset 24 \times 74$	$\emptyset 20,3 \times 210$	$\emptyset 20,6 \times 148$	$\emptyset 20,6 \times 74$
Težina pripremljena (gr)								
404	209	215	700	289	537	585	385	215

TROSKOVI MATERIJALA U CENI ALATA burgle



4.0 ZAKLJUČAK

- Proces spajanja metala korišćenjem toplote nastale trenjem je znatno ekonomičniji od ostalih procesa zavarivanja,

-Zavarivanje trenjem se obavlja sa relativno malim utroscima električne energije, vreme zagrevanja je veoma kratko, retko prelazi 40 sek po zahvatu,

-Mehanička i druga svojstva zavarenih spojeva ne razlikuju se od svojstava osnovnih materijala,

-Proces spajanja se izvodi sa malim tehnološkim dodacima za mehaničku obradu, što je veoma bitan pokazatelj imajući u vidu da se kod proizvodnje reznih alata radi o masovnoj ili veliko-serijskoj proizvodnji,

-Mašine za varenje trenjem ne zahtevaju visokokvalifikovanu radnu snagu, a priprema i eksploatacija ovih obradnih sistema su relativno proste

Ako se respektuju svi napred izneti pokazatelji i napomene učinjene u vezi sa brzoreznim čelicima kao generalni zaključak može se izvesti da se ovoj tehnologiji proizvodnje reznih alata mora posvetiti znatno veća pažnja kako u pogledu širenja spektra njene primene tako i rada na razvoju i daljem unapređenju iste. Tehno-ekonomski pokazatelji, koji su ovde samo naznačeni, to nedvosmisleno potvrđuju.

5.0 LITERATURA

- [1] Vilj V.I.: Svarka metalov treniem, Mašinstroenie, Moskva, 1970.
- [2] A. N. Dobrovidov: K voprosu o vibore optimaljnih režimov svarki treniem bistorežučej stali RGMS, SP 3/1975.
- [3] Ćirić R.: Prilog analizi osobina trenjem zavarenih spojeva Č.7680 sa Č.1730, Mag. rad, TMF, Beograd, 1986.
- [4] Ječmenica R.: Tribološke karakteristike zavojnih burgija dobijenih različiti tehnologijama izrade, Mag. rad, Maš. Fak. KG, 1980.
- [5] Ječmenica R.: Prilog razvoju modela za tehno-ekonomske analize efektivnosti proizvodnih sistema mašinogradnje, Doktorska disertacija, TF, Čačak, 1986.
- [6] Drobñjak V.: Toplotne pojave pri brušenju spiralnih burgija iz punog, Doktorska disertacija, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana, 1984.

R. Ćirić, R. M. Ječmenica,

**TECHNO-ECONOMIC ANALYSIS FOR JUSTIFYING THE
APPLICATION OF WELDING FRICTION TECHNOLOGY IN SPIRAL
DRILLS PRODUCTION**

Summary

Different technologies are applied in spiral drills production today. The most widely used are the following three technologies: Milling, Grinding and Rolling. Which one is to be applied depends, to a great extent, on the type of available high speed steels and economic limitations imposed by the customers. Comparing the quality and prices of spiral drills obtained by these three technologies, considerable differences are observed. We shall analyze only the effect of the welding technology, applied only in some cases of spiral drills production, on the techno-economic indicators of its justified application.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

R. M. Ječmenica*, M. Milošević**, B. Nedić***

NEKI TEHNO-EKONOMSKI POKAZATELJI OPRAVDANOSTI PRIMENE TEHNOLOGIJE ELEKTRO-EROZIONE OBRADU U MAŠINOGRAĐNJI

R e z i m e

Elektro-eroziona obrada spada u grupu nekonvencionalnih postupaka obrade. Nalazi sve širu primenu kako u mašingradnji tako i šire.

U ovom radu prikazaćemo neke tehno-ekonomske pokazatelje koji opravdavaju primenu ove tehnologije u oblasti mašingradnje sa posebnim osvrtom na proizvodnju alata za obradu deformisanjem i livenjem pod pritiskom obojenih metala i plastičnih masa.

Eksperimentalni podaci koje smo ovde koristili uzeti su iz realnih proizvodnih uslova jugoslovenskih proizvođača alata.

1.0 U V O D

Elektro-eroziona obrada materijala (Electric Discharge Machining-EDM) spada u grupu najrasprostranjenijih vidova nekonvencionalnih postupaka obrade. Zasniva se na principu iskorišćenja energije električnog pražnjenja u međuprostoru, koji je popunjen dielektrikom, između Elektrode-alati Elektrode - radni predmet.

Pri odgovarajućem rastojanju elektroda-alat i elektroda-radni predmet, kreću se granicama 0,005-0,5mm, uspostavlja se luk ili varnica-iskra. Pojava luka ili varnice dovodi do jonizacije radne tečnosti-dielektrikuma, formiranja polja pražnjenja (jonizujućeg stuba), topljenja i isparavanja čestica materijala predmeta obrade, pod dejstvom električne struje visoke gustine, koja protiče kroz jonizujući stub u vrlo kratkom vremenskom periodu, nekoliko μ s.

*) dr Ratomir M. Ječmenica, vanr. profesor, Tehnički fakultet, Čačak,

**) Milovan Milošević, dipl. ing. maš., FRA, Čačak,

***) Mr. Bogdan Nedić, dipl. maš. ing., asistent, Maš. fak. Kragujevac,

Prekidom strujnog kola, nastaje i prekid pražnjenja, odnosno, prekida jonizujućeg stuba, izbacivanja rastopljenog materijala i njegovog odnošenja iz zone obrade. Hlađenje rastopljenog materijala i odnošenje iz zone obrade vrši se posredstvom dielektrikuma koji stalno cirkuliše. Naizmeničnim impulsnim pražnjenjem vrši se razaranje materijala, prodiranje elektrode-alata u osnovni materijal i formira se profil koji odgovara profilu elektrode-alata. Dakle, pojava kratkotrajne varnice u međuprostoru-zazoru između elektroda, stvara se koncentrisana toplota na lokalizovanoj površini koja topi obradak koji delimično isparava a delimično odlazi sa dielektrikumom. Na ovaj način se električna energija, koju generira posebni generator, transformisala u toplotnu energiju.

Oдноšenje materijala jednom iskrom manifestuje se u određenoj tački površine obeju elektroda u obliku kratera. Kako je kod ove vrste obrade jasno izražen polaritet elektroda, to se materijal intenzivnije odnosi sa elektrode obratka.

Proces generiranja varnica je kontinualan, ali uvek u drugoj tački, gde je u datom trenutku zazor najmanji, sa velikom brzinom napredovanja po površini elektroda. Ako varničenje traje dovoljno dugo, cela površina na elektrodama postaje pokrivena sa kraterima koji su po pravilu ravnomerno raspoređeni.

Kako se tokom procesa erozije zazor povećava, to se pri postizanju kritičnog rastojanja proces varničenja prekida odnosno, sam proces erodiranja se zaustavlja. Iz ovih razloga je neophodno obezbediti da elektroda-alat ima stalno kretanje prema elektrodi-radni predmet kako bi se optimalni zazor zadržao konstantnim.

Mi danas, na osnovu principa razaranja materijala, procesa koji se odigravaju između elektrode-alat i elektroda-radni predmet, načinu formiranja električnog pražnjenja i vremenu trajanja impulsa razlikujemo: Elektro-lučnu i Elektro-varničnu eroziju.

Kod elektro-lučne erozije višak materijala odstranjuje se periodičnim stacionarnim pražnjenjem. Mehaničkim oscilovanjem, primicanjem i odmicanjem alata, dolazi do uspostavljanja i gašenja električnog luka, periodičnog razaranja materijala i njegovog uklanjanja iz zone obrade. Dovodjenjem vode, kroz elektrodu, rastopljeni materijal se naglo hladi i odvaja od osnovnog materijala, pod dejstvom dinamičkih sila nastalih pri naglom hlađenju materijala. Ovakav postupak elektro erozije se uglavnom primenjuje u remontnim pogonima i tamo gde se ne traže visoka tačnost i kvalitet obrađene površine.

Kod elektrovarnične erozije višak materijala se otklanja serijom nestacionarnih i kvazistacionarnih pražnjenja u dielektrikum. Dejstvom električne iskre dolazi do topljenja i isparavanja materijala, koji se pri prekidu pražnjenja naglo ohladi. Ovu vrstu elektro-erozije karakterišu veoma kratko vreme trajanja impulsa (do $1\mu s$), i relativno veliki odnos perioda i vremena trajanja impulsa ($1/\tau=10$). Pražnjenje, obično, obuhvata površinu $0.05-1\text{ mm}^2$, na dubini $0.005-0.5\text{ mm}$. Izvodi se strujom, koja u stubu pražnjenja dostiže gustinu i do 10000 A/mm^2 , dok se delovi elektroda zagreju i do 12000°C .

Elektroimpulsna obrada razlikuje se od elektrovarnične karakteristikama električnog impulsa, vremenom njegovog trajanja ($100-1000\ \mu s$) i odnosom perioda i vremena trajanja impulsa ($1/\tau=1-10$). Električni impuls se formira preko nezavisnog generatora koji daje jednopolarne impulse odgovarajuće frekvencije, naprimer 400 Hz . Karakterišu je veća brzina uklanjanja materijala, manja potrošnja električne energije, duži vek trajanja alata i nešto niža proizvodnost u operacijama završne obrade. Iz ovih razloga, elektroimpulsna obrada, pri nižim vrednostima napona, naprimer $25-30\text{ V}$, većim vrednostima jačine električne struje $50-500\text{ A}$ i nižim i srednjim vrednostima frekvencije impulsnih generatora, $400-3000\text{ Hz}$, najčešće se koristi pri gruboj obradi, odnosno gde je potrebno izvršiti skidanje

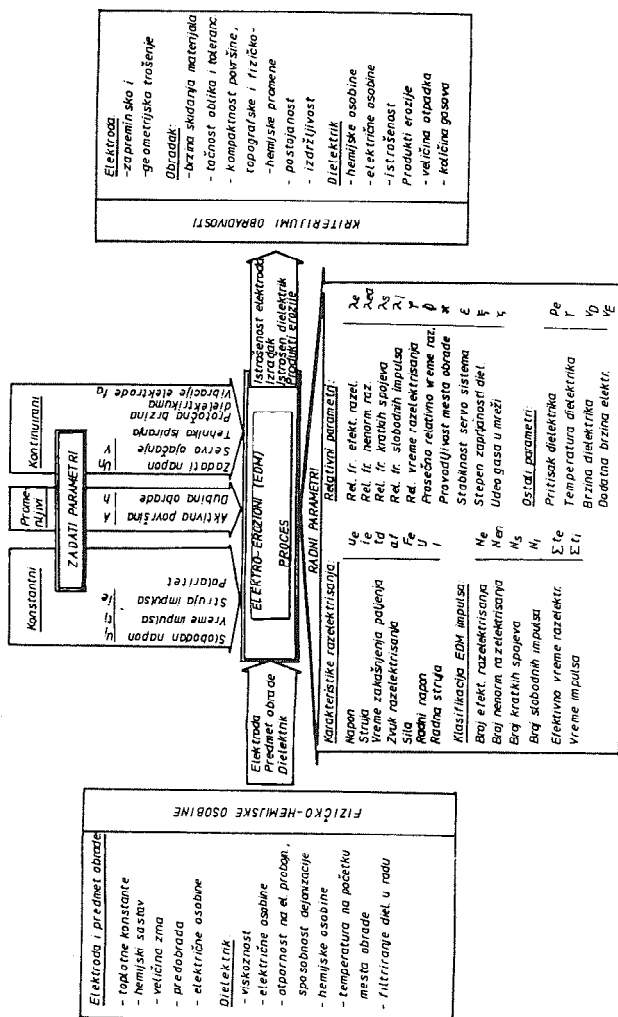
velike količine materijala ne respektujući kvalitet obrađene površine.

U praksi se, iz napred navedenih razloga, obično koriste kombinacije dveju metoda, prethodna-elektroimpulsna i završna-elektrovarnična obrada, čime se postiže i velika proizvodnost i zahtevana tačnost i kvalitet obrađene površine.

2.0 OSNOVNE KARAKTERISTIKE ELEKTRO-EROZIONOG PROCESA

2.1. Parametri procesa elektro-erozione obrade

Na sledećoj blok šemi prikazani su svi relevantni parametri kojima su definisani uslovi odvijanja elektro-erozionih procesa.



Sl.1. Ulazni i izlazni parametri EDM procesa

3.0 TEHNO - EKONOMSKI POKAZATELJI EDM PROCESA

Od tehno-ekonomskih pokazatelja EDM procesa ovde ćemo analizirati:

- Produktivnost procesa (Q),
- Postojanost alata-elektrode (T),
- Hrapavost obrađene površine (H),
- Tačnost obrade (W) i
- Troškovi obrade (C)

Produktivnost elektro-erozione obrade definisana je količinom erodiranog materijala u jedinici vremena: gr, mm³/sek., i definiše se relacijom:

$$Q_s = V_s \cdot t_f = K_p (W_i - W_j) = K_p \cdot W_i \cdot t_f \quad [\text{mm}^3/\text{min}] \dots \dots \dots (1)$$

ili izrazom:

$$Q_s = K_p \cdot P_e = K_p \cdot U_p \cdot I_p \cdot \tau \quad [\text{mm}^3/\text{min}] \dots \dots \dots (2)$$

gde je:

- V_s , zapremina materijala koja se odstrani od radnog predmeta u toku trajanja jednog impulsa,
- K_p (mm³/ws), koeficijent proporcionalnosti, koji uzima u obzir uticaj vrste materijala elektroda i ostalih parametara koji definišu uslove EDM obrade,
- W_j (Ws), energija jonizacije-energija koja se utroši na stvaranje zujućeg stuba,

Produktivnost uglavnom zavisi od: vrste materijala radnog predmeta, parametara električnog impulsa, materijala alata i njegovih dimenzija, vrste i osnovnih karakteristika dielektrikuma, intenziteta i postupka ispiranja radnog prostora, brzine podešavanja radnog zazora isl.

Habanje alata definiše se odnosom zapremine erodiranog materijala sa alata i zapremine erodiranog materijala sa radnog predmeta:

$$h_v = 100 \cdot V_a / V_p \quad [\%] \dots \dots \dots (3)$$

gde je:

- V_a [%], zapremina erodiranog materijala sa elektrode-alata,
- V_p [%], zapremina erodiranog materijala sa elektrode-radni predmet,

Hrapavost obrađene površine definisana je visinom neravnina na površinama radnog predmeta kako na čeonim tako i bočnim površinama. Na čeonim površinama ona je obično za 20-40% veća od hrapavosti na bočnim površinama, pa se ocena kvaliteta obrađene površine korektnije obavlja ako se analizira hrapavost čeonih površina. Treba ovde posebno podvući da se oblik mikroneravnina dobijenih elektroerozionom obradom znatno razlikuje od istih dobijenih konvencionalnim postupcima obrade. Vrednosti parametara hrapavosti mogu se prikazati jednim od sledećih matematičkih modela:

$$R_a = C_R \cdot W_i^p \quad [\mu\text{m}] \dots \dots \dots (4)$$

$$R_z = K_R \cdot U^{2/3} \cdot C^{2/3} \quad [\mu\text{m}] \dots \dots \dots (5)$$

$$R_z = K_R U_p^{0,5} \cdot C^{0,31-0,36} \quad [\%] \dots \dots \dots (6)$$

$$R_z = C_v \cdot V_s^x \quad [\mu\text{m}] \dots \dots \dots (7)$$

gde su: C_R, K_R, C_v, p, x , konstante i eksponenti u analitičkim izrazima zavisnosti vrednosti parametara obrade i parametara hrapavosti.

Tačnost obrade zavisna je od mnoštva raznih faktora vezanih za mašinu, tačnost izrade alata, toplotnih dilatacija alata i radnog predmeta, habanje alata, tačnost pozicioniranja alata, promene nastale procesom obrade itsl.

Ukupna greška elektro-erozione obrade može se izraziti sledećim modelom:

$$W = \sqrt{W_m^2 + W_0^2 + W_a^2 + W_h^2 + W_{pt}^2 + W_{pr}^2} \quad [\mu m] \dots \dots \dots (8)$$

gde je:

- W_m , greška nastala kao posledica nesavršene konstrukcije erozimata,
- W_0 , greška usled toplotnih dilatacija materijala alata i radnog predmeta
- W_a , greška izrade alata,
- W_h , greška usled habanja alata,
- W_{pt} , greška postavljanja alata,
- W_{pr} , greške procesa obrade

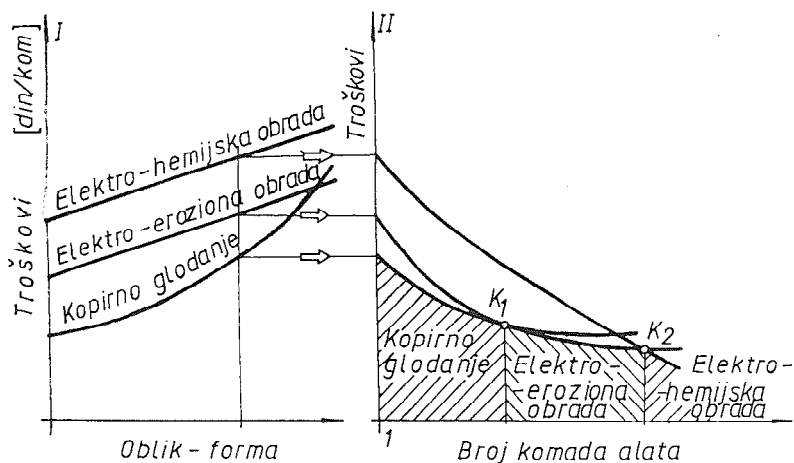
Troškovi elektro-erozione obrade su takode jedan od veoma opredeljujućih parametara pri opredeljenju za elektro-erozionu obradu, u uslovima mogućnosti primene različitih tehnologija obrade.

4.0 PRIKAZ REZULTATA TEHNO-EKONOMSKIH ANALIZA

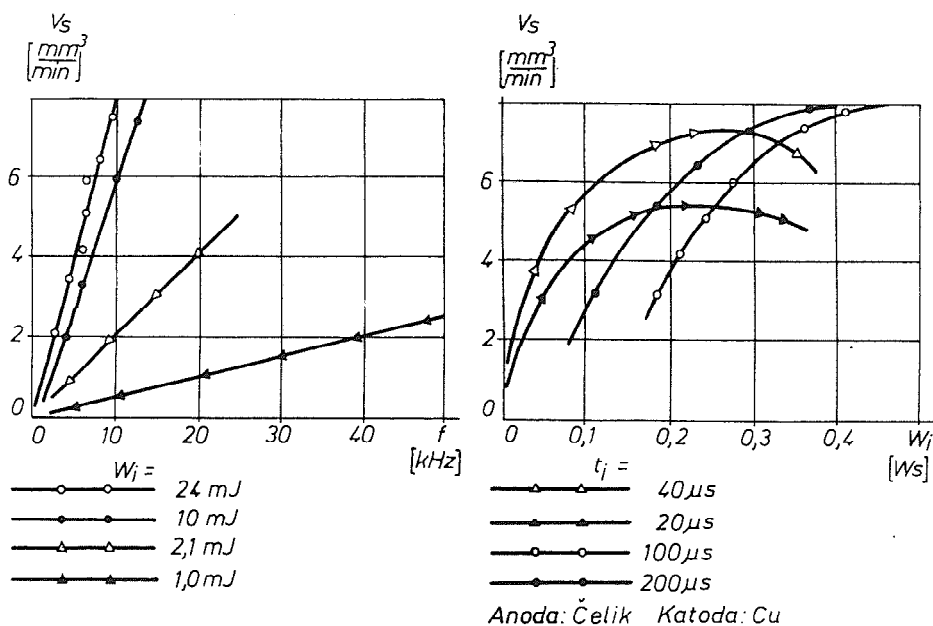
4.1. Odnosi troškova i ukupnog vremena izrade

Tabela 1.

Red. broj	Naziv radnog predmeta	Konvencionalna obrada		Elektroerozionna obrada	
		Vreme obr. [čas]	Trošk. obr. [din]	Vreme obr. [čas]	Trošk. obr. [din]
1	Noseća ploča alata	132,90	92,30	27,30	22,60
2.	Vodeća ploča alata	133,20	92,20	27,40	22,50
3.	Rezna ploča alata	134,20	93,10	27,90	23,00
4.	Prosekači-Patrice	63,20	26,70	80,50	53,50
5.	Sastavljanje alata	116,60	17,50	2,00	1,50
U K U P N O		580,00	321,80	165,00	123,10



Sl.2 Odnosi:Oblik-konture-Troškovi-Vrsta obrade



Sl.3 Uticaj energije i frekvencije na proizvodnost

5.0 ZAKLJUČAK

Ovde su prikazani samo delimično rezultati temeljitih istraživanja na polju optimizacije parametara elektro-eroziona obrade. Može se konstatovati da ova vrsta obrade danas postaje nezamenljiva u pojedinim segmentima mašingradnje. Svi tehno-ekonomski pokazatelji ukazuju da je i tehno-ekonomski u prednosti u odnosu na neke klasične obrade. Posebno se ovo odnosi na proizvodnju alata za obradu deformisanjem, livenjem plastčnih i obojenih metala i u masovnoj proizvodnji za neke "sporedne" operacije, naprimer obaranje ivica, skidanje pucne itsl. Ograničavajući faktori masovnije primene elektro-eroziona obrade zasada su u veoma visokim cenama erozizata što treba da bude predmet narednih istraživanja u cilju razvoja domaćeg obradnog sistema za ovu vrstu obrade.

6.0 LITERATURA

- [1] Lazić M., Nekonvencionalni postupci obrade, Naučna knjiga, Beograd, 1990.,
- [2] Perić A., Obrada metala odnošenjem, Svjetlost, Sarajevo, 1987.,
- [3] Milikić D., Uvođenje elektroerozivne obrade u savremenu praksu, FTN, Novi Sad, Institut za proizvodno mašinstvo, 1985.,
- [4] Milikić D., Elektroerozivna obrada na mašinama sa žičanom elektrodom i njena primena u savremenoj praksi, Savez alatničara Beograd, 1984.,
- [5] Tomić M., Evolucija postupka izrade alata od konvencionalnog do lasera, XI Sovetovanje za proizvodstveno mašinstvo, Ohrid, 1977.,
- [6] Ječmenica R., Razvoj i osvajanje proizvodnje obradnih sistema za elektro-erozionu obradu, Naučno-istraživački projekat, Čačak, 1987.-1990.,

R. M. Ječmenica, M. Milošević, B. Nedić

**SOME TECHNO-ECONOMIC INDICATORS FOR JUSTIFYING THE
APPLICATION OF ELECTRO-EROSIVE PROCESSING
TECHNOLOGY IN MACHINE BUILDING**

Summary

Electro-erosive processing belongs to a group of non conventional processing procedures. It is being excessively applied in machine building and other fields. Some techno-economic indicators justifying or non-justifying the application of this technology in machine building will be given in this paper. Data used for the analysis have been taken from real production conditions of Yugoslav tool manufacturers.

M. Komnenić, M. Dumović*

ODREDJIVANJE PROJEKTNO-TEHNOLOŠKIH PARAMETARA KOD ZAVARENIH CJEVOVODA VELIKOG PREČNIKA

Rezime

U radu je prikazan postupak određivanja osnovnih projektno-tehnoških parametara kod zavarenih čeličnih cjevovoda velikog prečnika. Uzimajući u obzir prednosti i ograničenja metode za identifikaciju stanja materijala kod komponenti cjevovoda prikazani su rezultati metalurško-hemijske analize. Na osnovu toga prikazan je postupak određivanja optimalnih uslova zavarivanja i utvrđivanja sklonosti šava ka naprslinama.

1. UVOD

Projektovanje i proizvodnja zavarenih čeličnih cjevovoda velikog prečnika predstavlja u mehaničko-metalurškom smislu veoma kompleksan problem. S jedne strane projektovanje se zasniva na složenom višeosnom naponskom stanju membranskog tipa, a sa druge strane mora biti analiziran i uzet u obzir veliki broj uticajnih faktora kod određivanja optimalnih proizvodnih uslova, pogotovu u postupku zavarivanja.

Otuda je došao podsticaj da se u daljem prikaže praktično orjentisani i na konkretnom problemu primjenjeni postupak određivanja projektinih i tehnoloških parametara za napojni cjevovod hidroenergetskog postrojenja.

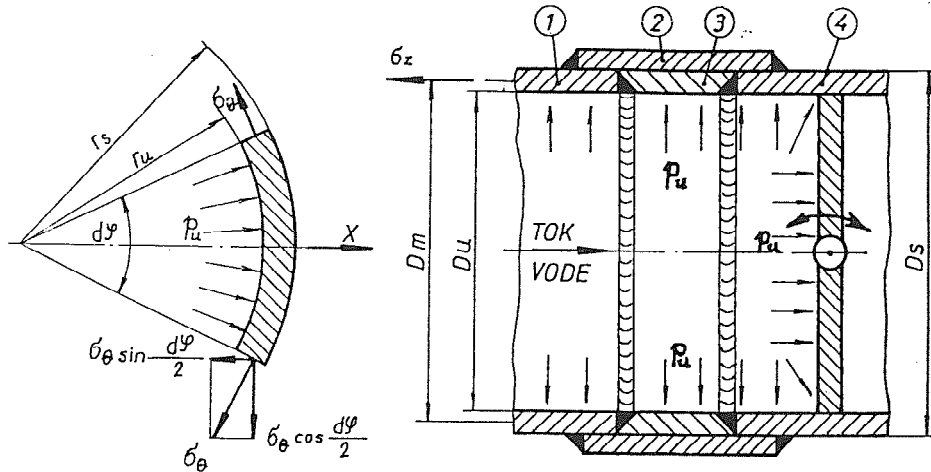
2. OSNOVNI PRORAČUN NAPONSKOG STANJA I DIMENZIONISANJE

Proračun napona i dimenzionisanje cjevovoda na sl. 1 teku prema AD-preporukama [1] ukoliko je ispunjen uslov:

$$\frac{D_s}{D_u} \leq 1.2 \quad (2.1)$$

* Dr Milosav Komnenić, docent, Mašinski fakultet, Cetinjski put bb, 81000 Podgorica
Milo Dumović, dipl.inž. H.I. "R.Dakić", Cetinjski put bb, 81000 Podgorica

gdje su: D_s - spoljašnji, a D_u - unutrašnji prečnik cjevovoda. Shema napona bazira se na membranskim naponima uzimajući u obzir višeosnost naponskog stanja.



Sl.1. Raspored napona na segmentu cjevovoda

Meridijanski napon na segmentu cilindričnog cjevovoda, sl.1 i 2 dobija se po obrascu:

$$\sigma_{\theta} = \frac{p_u r_u}{r_s - r_u} = \frac{p_u \cdot D_u}{2s} \quad (2.2)$$

gdje su: p_u - unutrašnji nadpritisak, a $s = r_s - r_u$ je debljine stjenke cjevovoda.

Napon (2.2) je normalni napon u pravcu šava $\sigma_{||}$ za kružni šav, a za uzdužni šav ovo je normalni napon σ_{\perp} poprečno na njegov pravac.

Aksijalni napon prema sl.1. dobija se po obrascu:

$$\sigma_z = \frac{p_u D_u^2}{4s(D_u + s)} \quad (2.3)$$

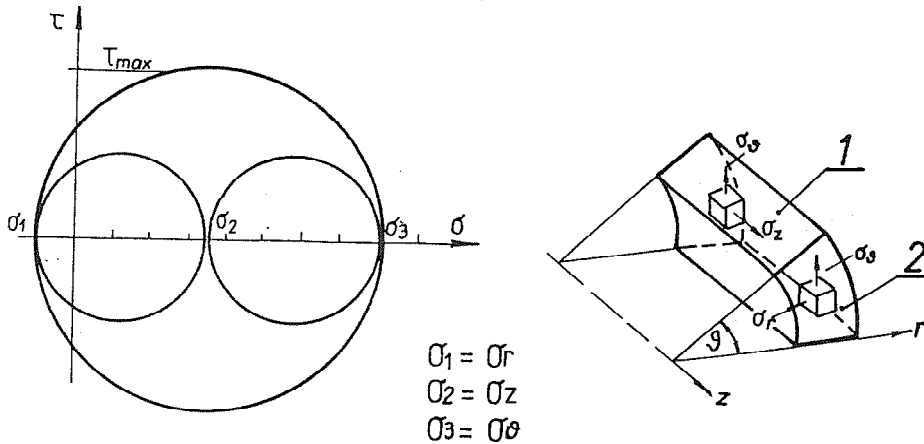
Ova vrijednost napona za kružni šav predstavlja normalni napon poprečno na pravac kružnog šava σ_{\perp} , a za uzdužni šav normalni napon uzduž šava $\sigma_{||}$. Srednji radijalni napon zavisi od odnosa r_s / r_u i od unutrašnjeg nadpritiska p_u pa se računa po obrascu:

$$\sigma_{r,m} = \frac{p_u}{\frac{r_s}{r_u} + 1} \quad (2.4)$$

Za tankostijene cjevovode napon $\sigma_{r,m}$ se konačno označava kao σ_r i računa se po obrascu [2]:

$$\sigma_r = -\frac{p_u}{2} \quad (2.5)$$

Pomoću glavnih napona σ_θ , σ_z i σ_r može se proračunati i nacrtati Mohr-ov krug napona, sl.2.



Sl.2. Mohr-ov naponski krug i shema napona

Prema hipotezi najvećeg smičućeg napona iz Mohr-ovog naponskog kruga najveći smičući napon $\sigma_3 - \sigma_1 = \sigma_{ekv.}$ ne smije prekoračiti dozvoljeni napon odnosno granicu razvlačenja σ_v , tj.:

$$\sigma_{ekv.} = \sigma_3 - \sigma_1 \leq \sigma_v \quad (2.6)$$

Za dozvoljeni napon σ_v se prema [1] uvode faktor vrijednosti čvrstoće K i koeficijent sigurnosti S . Osim toga mora se uzeti u obzir koeficijent slabljenja ν . Ako se prema sl.2 uzme $\sigma_3 = \sigma_\theta$ i $\sigma_1 = \sigma_r$ kao i odnos $D_u = D_s - 2s$ to se nakon smjene ovoga u jednačinu (2.6) i uzimanja u obzir navedenih vrijednosti za K , S i ν dobija proračunska formula za cilindrični omotač kao:

$$s = \frac{p_u \cdot D_s}{2 \frac{K}{S} \nu + p_u} \quad (2.7)$$

Konačni obrazac za proračun cilindričnog cjevovoda sa $p_u = p$ glasi:

$$s = \frac{p \cdot D_s}{2 \frac{K}{S} \nu + p} + C_1 + C_2 \quad (2.8)$$

gdje su: C_1 -faktor neravnomjernosti debljine lima za feritne čelike i C_2 -faktor kompenzacije habanja koji se ne uzima u obzir za debljine lima $s_s \geq 30$ mm.

Na osnovu eksperimenata je poznato da je za čvrstoću nekog zavarenog šava mjerodavan normalni napon koji djeluje upravno na šav. Za neki uzdužni šav ovo je po tangenti usmjereni normalni napon σ_θ , a za kružni šav to je normalni napon σ_z koji djeluje paralelno sa osom cjevovoda i približno je upola manji od tangencijalnog napona

σ_θ [5]. Radi toga se u praksi prema [1] koristi faktor slabljenja $\nu < 1$ samo ako cjevovod ima uzdužni šav.

Primjer: Za napojni cjevovod hidroelektranc prema sl.1 sa $D_u = 3400\text{mm}$ (čemu prema projektu odgovara $D_s = D_u + 2s = 3400 + 2 \cdot 24 = 3448\text{mm}$) potrebno je provjeriti debljinu stijenke s osnovnog cjevovoda i izvršiti analizu naponskog stanja u zavarenim šavovima prstena 3 koji povezuje njegov uzvodni dio 1 i nizvodni dio 4. Unutrašnji pritisak vode je $p = 18\text{bar}$, a proračunska temperatura $t \approx 20^\circ\text{C}$. Materijal osnovnog uzvodnog 1 i nizvodnog 4 dijela cjevovoda prema [6] je čelik ASt52 po DIN 17135 odnosno DIN 1626 kojemu približno odgovara Č0561 po JUS standardima. Isti materijal upotrebljen je za međuprsten 3 kao i za obujmicu 2. Karakteristika čvrstoće za materijal ASt52 po DIN 1626 je $K_{20^\circ\text{C}} = 350\text{N/mm}^2$. Za koeficijent sigurnosti u datim pogonskim uslovima preporučuje se $S = 1,5$ dok koeficijent oslabljenja u slučaju postojanja uzdužnog šava prema [1] ima vrijednost $\nu = 0,85$. Faktor neravnomjernosti debljine lima za dati materijal dobija se prema [1] kao $C_1 = 0,5\text{mm}$, dok faktor kompenzacije usled habanja iznosi $C_2 = 1\text{mm}$. Potrebna debljina lima cjevovoda s u području šava prema jed. (2.8) iznosi:

$$s = \frac{p \cdot D_s}{2 \frac{K}{S} \nu + p} + C_1 + C_2 = \frac{3448\text{mm} \cdot 1,8\text{Nmm}^{-2}}{2 \frac{350}{1,5} \text{Nmm}^{-2} \cdot 0,85 + 1,8\text{Nmm}^{-2}} + 0,5\text{mm} + 1\text{mm} = 17,1\text{mm}$$

U projektu usvojena debljina lima $s = 24\text{mm}$ je veća od minimalno potrebne $s = 17,1\text{mm}$.

Prema sl.1 i 2 odnosno jedn. (2.2), (2.3) i (2.4) dobijaju se sledeće vrijednosti napona:

- srednji radijalni napon σ_r je:

$$\sigma_1 = \sigma_r = -\frac{p_u}{\frac{r_s}{r_u} + 1} = -\frac{1,8\text{Nmm}^{-2}}{\frac{1724}{1700} + 1} = -0,894\text{Nmm}^{-2}$$

- aksijalni napon σ_z iznosi:

$$\sigma_2 = \sigma_z = \frac{p_u \cdot D_i^2}{4s(D_u + s)} = \frac{1,8\text{Nmm}^{-2} \cdot (3400)^2 \text{mm}^2}{4 \cdot 24\text{mm}(3400 + 24)\text{mm}} = 63,30\text{Nmm}^{-2}$$

- meridijanski napon σ_θ iznosi:

$$\sigma_3 = \sigma_\theta = \frac{p_u \cdot D_u}{2s} = \frac{1,8\text{Nmm}^{-2} \cdot 3400\text{mm}}{2 \cdot 24\text{mm}} = 127,50\text{Nmm}^{-2}$$

Ekvivalentni napon prema jed. (2.6) dobija se kao:

$$\sigma_{\text{ekv}} = \sigma_3 - \sigma_1 = 127,50\text{Nmm}^{-2} - (-0,894)\text{Nmm}^{-2} = 128,39\text{Nmm}^{-2}$$

Obzirom da je $\sigma_{\text{ekv}} = 128,39\text{Nmm}^{-2} \ll K_{20^\circ\text{C}} = 350\text{Nmm}^{-2}$ za materijal ASt52 po DIN 17135 (odn. Č0561 po JUS-standardu) to je cjevovod ispravno dimenzionisan po

uslovom da šavovi obuhvataju svu debljinu (cio poprečni presjek) stjenke cjevovoda.

3. METALURŠKA ANALIZA I OPTIMALNI USLOVI ZAVARIVANJA

Na osnovu laboratorijskih ispitivanja [7] utvrđeni su hemijski sastav i mehaničke osobine za čelične limove komponenti cjevovoda prema slici 1. Za ekvivalentni čelik Č0561 koji po JUS-standardima odgovara materijalu komponenti cjevovoda u tabeli 1 je dat njegov hemijski sastav, a u tabeli 2 mikrofotografije struktura u zavisnosti od brzina kontinuiranog hlađenja.

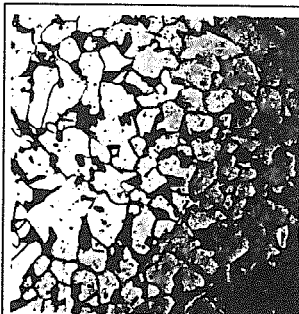
Legirani elementi	C	S _i	M _n	P	S	C _r	M _o	V	A ₁	C _u
težinski %	0.18	0.45	1.30	0.012	0.011	0.31	-	-	-	-

Tabela 1. Hemijski sastav komponenti cjevovoda (Č 0561)

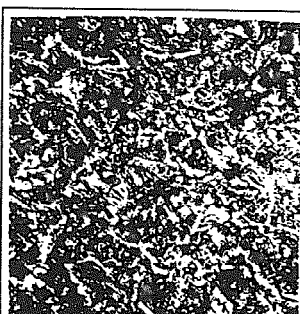
Mikrostrukturne komponente	Mikrofotografija br.	Brzina hlađenja (vrijeme t _{8/5})	Tvrdoća HV	Termičko stanje	Komponenta cjevovoda
Ferit 85% Perit 15 %	1	780min	145	Meko žareno	4
Ferit 84% Perit 16%	2	410min	165	Normalizovano	1; 2
Medjufazna struk.32% Martenzit 60% Ferit 8%	3	9.3s	320	Kaljeno (zona uticaja toplote vara)	3



Mikrofotografija br. 1
Uveć. 500X, nagr. Nitalom



Mikrofotografija br. 2
Uveć. 500X, nagr. Nitalom



Mikrofotografija br. 3
Uveć. 500X, nagr. Nitalom

Tabela 2. Mikrostrukture čelika Č0561 koje se dobijaju u zavisnosti od brzine hlađenja (dijagram KH Č0561) a definišu struktorno stanje cjevovoda prikazanog na slici 1.

Optimalni režim i uslovi zavarivanja, a posebno temperatura predgrijavanja, određuju se pomoću ekvivalentnog sadržaja ugljenika C_{ekv} koji glasi, [3,4]:

$$C_{\text{ekv}} = C + \frac{M_n}{6} + \frac{C_r + M_n + V}{5} + \frac{N_i + C_u}{15} + \frac{S_i}{24} \quad (3.1)$$

Za dobijeni $C_{\text{ekv}}=0.475$ i primijenjenu debljinu lima $s=24\text{mm}$ sa J-oblikom šava prema JUS.C.T3.030 u MAG postupku elektrolučnog zavarivanja preporučuju se, zavisno od debljine elektrode, sledeće temperature predgrijavanja [4]:

Debljina elektrode [mm]	3.25	4	5	6
temperatura predgrijavanja [°C]	250	150	100	0

Tabela 3. Preporučene temperature predgrijavanja zavisno od debljine elektrode

Kvalitativna analiza procesa strukturne transformacije i provjera temperature predgrijavanja u praksi je moguća pomoću dijagrama kontinuiranog hladjenja za zavarivani čelik [3,4].

U novije vrijeme razvijeni su posebni dijagrami kontinuiranog hladjenja pri zavarivanju koji uzimaju u obzir specifičnosti procesa hladjenja u zoni uticaja toplote (ZUT) kod zavarenog šava [8].

Odredjivanje sklonosti zavarenog šava ka naprslinama i sa tim u vezi minimalne temperature predgrijavanja efikasno se vrši pomoću proširenog C-ekvivalenta, tzv. P_c -parametra [3,4]:

$$P_c = C + \frac{V}{10} + \frac{M_o}{15} + \frac{M_n + C_u + C_r}{20} + \frac{S_i}{30} + \frac{N_i}{60} + 5B + \frac{H}{60} + \frac{s}{600} \quad (3.2)$$

gdje su: H - sadržaj vodonika u zavarenom šavu (1 do $5\text{cm}^3/100\text{g}$),
s - debljina lima u mm.

Na osnovu P_c - parametra koji u datom primjeru iznosi $P_c = 0,395$ prema [3] se dobija da zavareni šav neće biti sklon ka naprslinama ukoliko se postigne minimalna temperatura predgrijavanja $T_0 \approx 150^\circ\text{C}$.

4. ZAKLJUČAK

Postupak odredjivanja projektno-tehnoloških parametara kod čeličnih cjevovoda velikog prečnika treba da sadrži sledeće radne korake:

- dimenzionisanje odnosno provjera usvojene debljine tjenke cjevovoda na osnovu membranskog naponskog stanja koje nastaje u pogonskim uslovima.
- metalurška analiza primijenjenog materijala koja obuhvata; hemijski sastav, mehaničke osobine i metalografiju dobijenih struktura.
- odredjivanje optimlanih uslova zavarivanja, a posebno temperature predgrijavanja kao i provjera iste po nekoj od alternativnih metoda.
- ispitivanje sklonosti zavarenog šava ka pojavi naprslina i eventualne korekcije parametara procesa zavarivanja.

Ako se navedeni parametri pokažu neprihvatljivim ili sumnjivim onda se moraju mijenjati uslovi hladjenja šava izmjenom dovoda energije, promijeniti konstruktivni oblik šava ili upotrebiti neki čelik bolje zavarljivosti.

5. LITERATURA

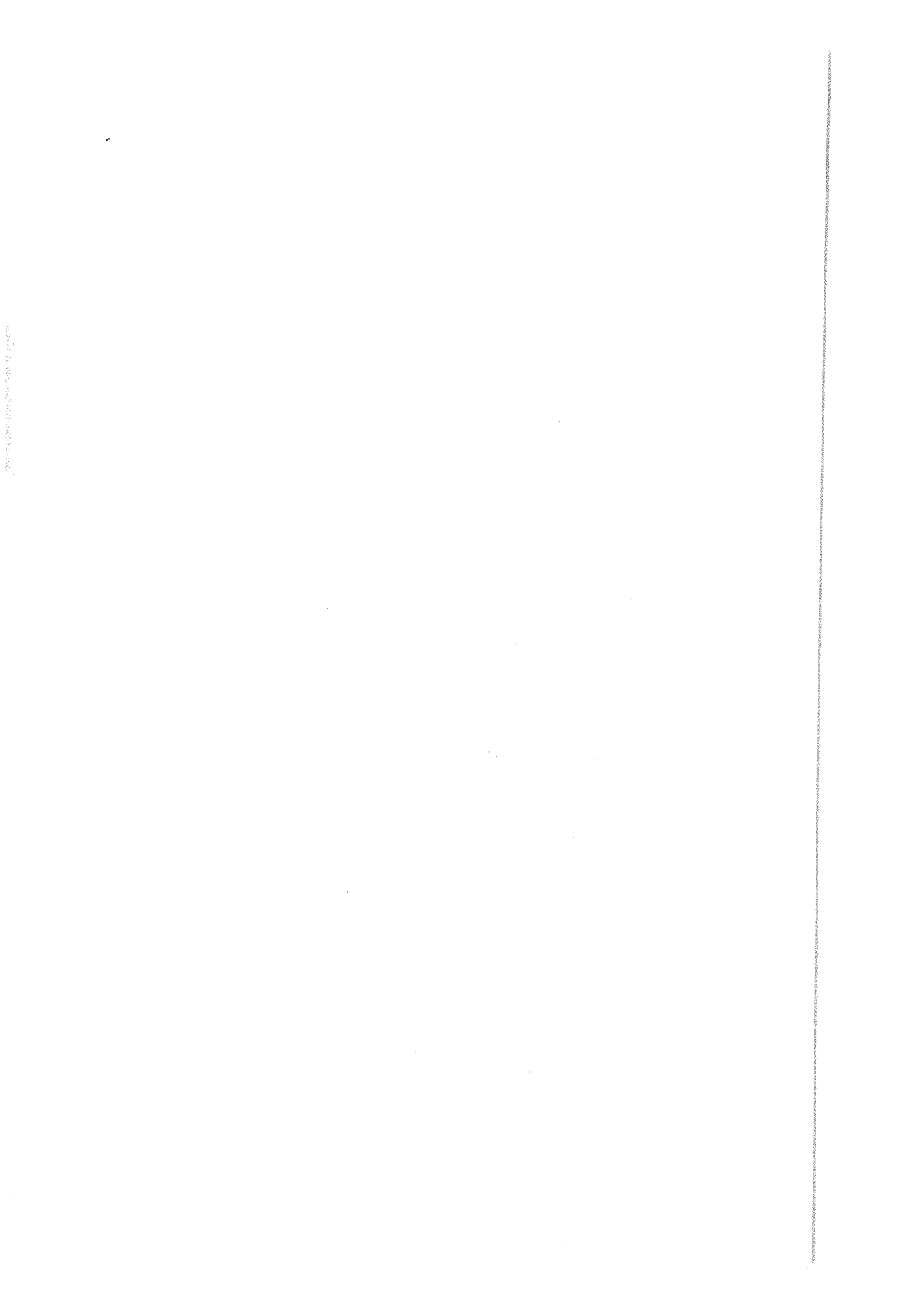
- [1] AD - Merkblätter. Taschenbuch-Ausgabe. 14.Aufl.Herausgeber TUV Essen, 1990.
- [2] Ruge, J.: Handbuch der Schweisstechnik. Band IV. Springer-Verlag, Berlin u.a, 1988.
- [3] Ruge, J.: Handbuch der Schweisstechnik. Band I. Springer-Verlag, Berlin u.a, 1980.
- [4] Petersen, C.: Stahlbau, Vieweg-Verlag. Braunschweig/Wiesbaden, 1988.
- [5] Schwaigerer, S.: Festigkeitsberechnung im Dampfkessel- Behälter- und Rohrleitungsbau. 4.Aufl. Springer-Verlag, Berlin u.a, 1990.
- [6] Uputstva za tlačnu probu cjevovoda. Metalna-Maribor, Maribor, 1973.
- [7] Izvještaj o ispitivanju cjevovoda HE-Piva Plužine. H.I."R.Dakić", Podgorica, 1992.
- [8] Seyfahrt, P.:Kuscher, G.: Atlas Schweiss-ZTU-Schaubilder. Deutscher Verlag für Schweisstechnik. Dusseldorf, 1983.

M. Komnenić, M. Dumović

ERMITTLUNG DER ENTWURF-FERTIGUNGSTECHNISCHEN PARAMETER BEI GESCHWEISSTEN ROHRLEITUNGEN GROSSEN DURCHMESSERS

Zusammenfassung

In diesem Artikel wurde eine Vorgehensweise zur Ermittlung der grundlegenden entwurf-fertigungstechnischen Parameter bei geschweissten Stahlrohrleitungen grossen Durchmessers dargestellt. Unter Berücksichtigung der Vorteile aber auch Beschränkungen von Methoden zur Identifikation des Materialzustandes bei Rohrleitungsbestandteilen wurden die Ergebnisse metallkundlich-chemischer Analyse gegeben. Auf diesem Grunde wurde ein Verfahren zur Ermittlung der optimalen Schweißbedingungen sowie Neigung zur Nahtbildung präsentiert und erörtert.



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Radovanović, Lj. Janković, D. Lazarević*

UTICAJNI FAKTORI NA KVALITET LASERSKOG SEČENJA

REZIME

Poznavanje procesa obrade metala laserom, i njene zavisnosti od razuĉitih parametara obrade, omogućava da se dobije traŹeni kvalitet obrade i postigne odgovarajuća proizvodnost. Iz tih razloga vrše se istraŹivanja u oblasti laserskog seĉenja koja imaju za cilj da se ustanove i uspostave zakonitosti izmeĉju kvaliteta obrade i uticajnih faktora procesa obrade. Strategija tih istraŹivanja je da se izgradi baza znanja i baza podataka u tehnološkom procesoru za upravljanje procesom laserskog seĉenja sa ciljem da se izvrši operacija seĉenja u optimalnom reŹimskom podruĉju gde je kriterijum optimizacije dobijanje traŹenog kvaliteta obrade. Glavni problem kod svih tih istraŹivanja je veliki broj faktora koji utiĉu na kvalitet obrade. Cilj ovog rada je da sistematizuje sve uticajne faktore na kvalitet obrade i prikaŹe uticaj najvaŹnijih.

1. UVOD

Nema oblasti u obradi metala koja je napredovala tako brzo kao što je lasersko seĉenje. Lasersko seĉenje je zasnovano na primeni visoko koncentrisane svetlosne energije, dobijene stimulisanim zraĉenjem, za obradu materijala topljenjem ili isparavanjem. Procesi laserskog seĉenja dovode do punog izraŹaja termiĉke efekte (zagrevanje, topljenje, isparavanje), koji nastaju dejstvom snopa laserskih zraka na površinu radnog predmeta, sa ciljem da se od radnog predmeta dobije gotov proizvod. Da bi se razumelo šta snop laserskih zraka ĉini poešnim za seĉenje lima treba uoĉiti specifiĉne karakteristike laserskog zraĉenja. Laser proizvodi koherentan kolimatorski svetlosni snop laserskih zraka velikog intenziteta energije koga karakteriše pravost i mala disperzija. U interakciji sa radnim predmetom, ako je

* Mr Miroslav Radovanović, asistent, dr Ljubomir Janković, van. prof.,
dr Dragoljub Lazarević, docent, Mašinski fakultet, Niš, Beogradska 14

ova energija veća od sposobnosti materijala obratka da reflektuje, prenese ili raspe ovu energiju, dolazi do apsorpcije svetlosne energije i njenog pretvaranja u toplotnu, odnosno do porasta temperature na ozračenom mestu. Pri znatnom porastu temperature dolazi do pojave lokalnog topljenja ili isparavanja materijala, što zavisi od intenziteta generisane toplote, odnosno do stvaranja otvora u obratku. Pomeranjem snopa laserskih zraka ili obratka nastaje proces laserskog sečenja. Snop laserskih zraka, fokusiran na radni prečnik $0,15 \pm 0,2 \text{ mm}$, postao je univerzalni alat koji praktično može da seče gotovo sve materijale. Za razliku od konvencionalnog alata on je bez "oblika" te se ne mora specijalno naručivati za proizvodnju i ne nameće troškove vezane za skladištenje, oštrenje i podešavanje. Mogućnost upravljanja i manipulacije čini snop laserskih zraka idealno pogodnim za obradu pri čemu laser može biti integrisan u veće tehnološke sisteme. Laseru se dodaju: optički sistem za prenos i fokusiranje zraka, koordinatni radni sto, upravljački sistem i senzorski sistem što sve čini lasersku mašinu. Kvalitetnije laserske mašine za sečenje lima vrše interaktivnu regulaciju laserske snage i promenu brzine rezanja tako da obradni sistem zadržava konstantnim gustinu snage u jedinici vremena i pri tome ne utiče na kvalitet i tačnost obrade. Za višenamensko procesiranje laserske mašine koriste NC ili CNC upravljačke uređaje. Laserske mašine pored toplote dobijene fokusiranjem snopa laserskih zraka koriste i pomoćni (radni) gas koji ima zadatak da odstrani istopljeni materijal iz zone sečenja, da zaštiti sočiva od isparenja i pomogne u procesu sagorevanja.

Jedna od najvećih primena lasera u metaloprerađivačkoj industriji je precizno sečenje limova CO_2 laserom. CO_2 laseri se po svom učinku svrstavaju u sami vrh laserske tehnike. Imaju koeficijent korisnog dejstva do 20% i zračenje talasne dužine $10,6 \mu\text{m}$ koje apsorbuje veliki broj materijala. Koriste se za sečenje svih vrsta metala (ugljenični čelici, nerđajući čelici, legirani čelici, aluminijum, bakar, mesing, titan itd.) i nemetala (plastične mase, guma, koža, tekstil, drvo, karton, papir, azbest, keramika, grafit itd.)

2. KVALITET OBRADE

Kod sečenja metalnih limova značajan kriterijum je kvalitet obrade. Kvalitet obrade kod laserskog sečenja određen je tačnošću oblika i dimenzija i kvalitetom reza. Tačnost oblika i dimenzija radnog predmeta određena je karakteristikama koordinatnog radnog stola (tačnost pozicioniranja) kao i kvalitetom upravljačke jedinice u slučaju NC ili CNC laserske mašine za sečenje lima. Kvalitet reza odnosi se na širinu reza, oblik reza, ravnost reza, kvalitet površine reza, pojavu i veličinu šljake i konturne greške. Kvalitet površine reza sadrži ocenu tačnosti površine i ocenu hrapavosti uključujući tu i deformacioni sloj. Kao referenca može da posluži da je po kvalitetu laserski rez između reza testerom i reza elektroerozionom obradom.

Širina reza je bitna karakteristika procesa laserskog sečenja koja mu obezbeđuje prednost u odnosu na druge postupke sečenja limova. Veličina širine reza kod metala je mala, kreće se $0,1 \pm 0,3 \text{ mm}$ pri sečenju čeličnih limova, pri čemu se širina reza povećava sa povećanjem debljine lima. Pojava rastopljene ivice na gornjoj (ulaznoj) i donjoj (izlaznoj) strani reza otežava dobijanje tačnih mernih vrednosti. Pošto se idealan radijus ivice reza retko oblikuje potrebno je merene vrednosti prilagoditi.

Oblik reza. Sečenje materijala fokusiranim snopom laserskih zraka karakteriše pojava suženja reza. Veličina ovog suženja zavisi od više faktora, prvenstveno od žižne daljine sočiva za fokusiranje i defokusacije ali i od osobina materijala obratka i polarizacije laserskih zraka.

Ravnost reza je jedan od parametara koji određuju kvalitet reza. Da li će rez biti prav ili kos zavisi od više faktora, jedan od njih je i polarizacija laserskih zraka. Za kvantitativno određivanje ravnosti reza koristi se tolerancija nagiba reza u.

Hrapavost površine reza. Vizuelnim posmatranjem površine reza kod laserskog sečenja uočavaju se dve zone: gornja, u području ulazne strane zraka, koja je jedna fino obradjena površina pravilnih žljebova na međusobnom rastojanju $0,1+0,2\text{mm}$, i donja zona, u području izlazne strane zraka, kod koje je površina reza grublja, sa žljebovima nastalim usled odnošenja rastopine i šljake iz zone reza. Iz tog razloga određeno je da se hrapavost površine meri na rastojanju jedne trećine debljine lima od gornje ivice reza. Za kvantitativno određivanje kvaliteta površine reza koriste se poznati parametri za hrapavost, srednja visina neravnina R_a i srednje aritmetičko odstupanje profila R_m .

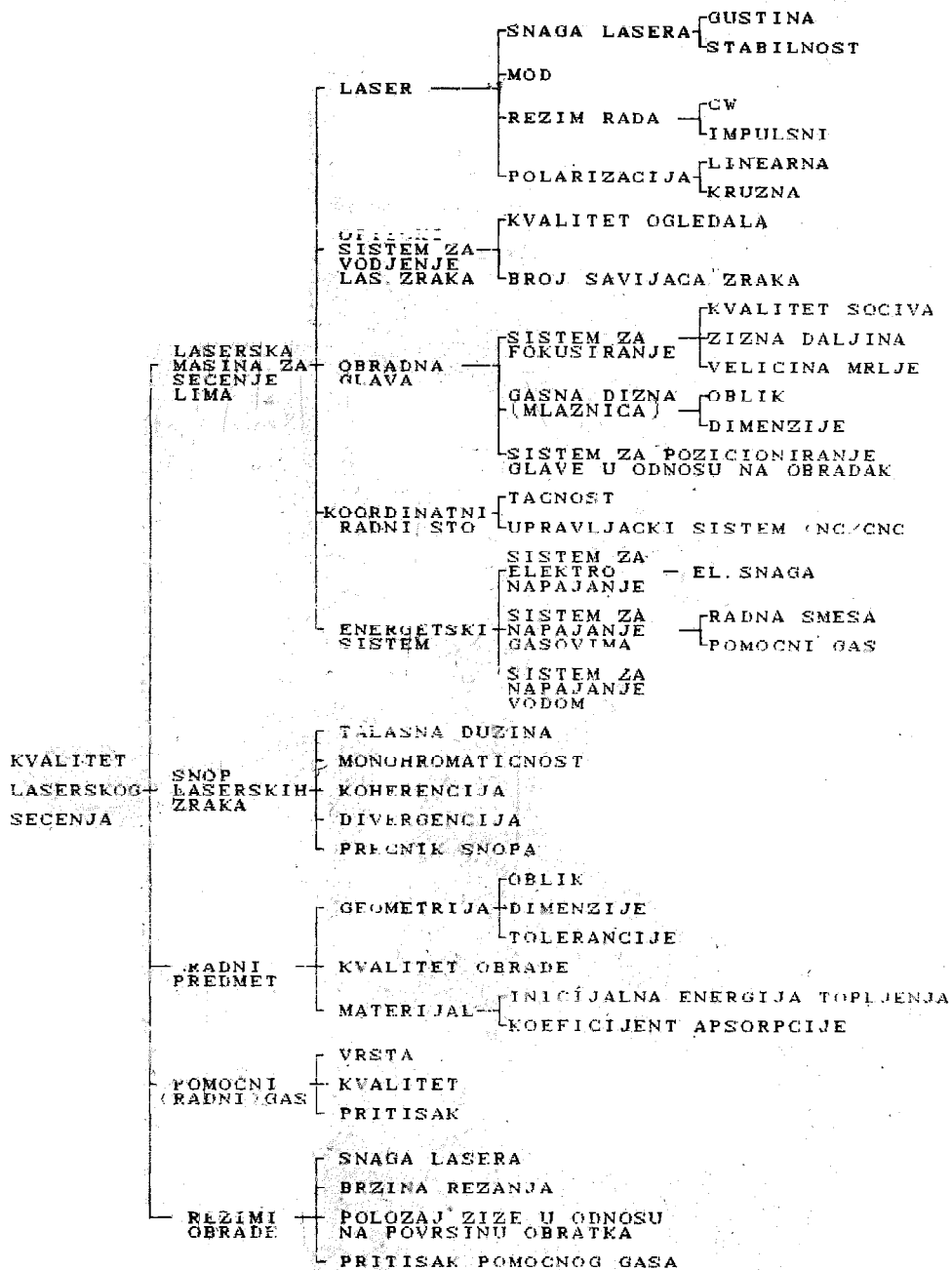
Zona termičkog uticaja. Pošto se kod laserskog sečenja radi o termičkom postupku sečenja to je prisutna pojava zone termičkog uticaja. Kod metala se kreće po dubini do $0,12\text{mm}$ od površine reza. Sa smanjenjem debljine materijala i sa povećanjem brzine rezanja smanjuje se veličina zone termičkog uticaja.

Pojava šljake. U većini slučajeva kod laserskog sečenja tanjih limova uspešno se odstranjuje materijal iz zone reza bez pojave šljake. Kod limova veće debljine i nekih vrsta materijala šljaka depozita rastopljenog materijala pojavljuje se duž izlazne ivice reza. Raspored ove šljake u prvom redu zavisi od viskoznosti rastopljenog materijala koji nije bilo moguće pomoćnim gasom odstraniti iz zone reza.

Na kvalitet obrade koji se može postići u procesu laserskog sečenja utiče veliki broj faktora, slika 1. Od brojnih faktora na kvalitet laserskog sečenja najveći uticaj imaju: laser kao izvor svetlosnog zračenja, snop laserskih zraka koji predstavlja alat u obradnom procesu, obradna glava (sistemom za fokusiranje, mlaznicom i senzorom za pozicioniranje), karakteristike snopa laserskih zraka (pre svega polarizacija), koordinatni radni sto (tačnost i kvalitetom upravljačke jedinice), radni predmet (materijalom, oblikom i dimenzijama), režimi obrade (snaga lasera, brzina rezanja, položaj žiže u odnosu na površinu obratka, pritisak pomoćnog gasa) i dr. Nadalje na kvalitet obrade utiču: optički sistem za vodenje snopa laserskih zraka, prilagodjavanje snopa laserskih zraka i režima obrade procesu rezanja, vrsta pomoćnog gasa, vremenska stabilnost snage lasera, saosnost mlaza pomoćnog gasa i snopa laserskih zraka, okolina (radni uslovi u radionici: čistoća, vibracije) i dr.

Snaga lasera. Najvažnija karakteristika kojom se vrši procena laserske mašine je snaga lasera. Pošto je lasersko sečenje termički proces, količina proizvedene toplote je ključni faktor od koga zavisi sposobnost lasera za sečenje. Uzimajući da su ostali parametri isti, povećanje snage lasera omogućuje sečenje debljih limova i povećanje brzine sečenja. Dobijanje stabilnog laserskog izlaza predstavlja ključni faktor za primenu lasera u tehnologiji obrade metala. Pod stabilnim laserskim izlazom podrazumeva se stabilnost snage, stabilnost moda i stabilnost koncentrisanja energije.

Brzina rezanja je drugi po značaju parametar za lasersko sečenje. Može biti određena eksperimentalno određenim formulama u kojima figurišu gustina snage lasera i osobine materijala koji se seče. Više parametara utiče na brzinu rezanja: snaga lasera, mod, veličina svetlosne mrlje, vrsta i debljina materijala radnog predmeta, inicijalna energija topljenja i td. Uzimajući u obzir kvalitet reza i posmatrajući brzinu rezanja u funkciji od debljine materijala radnog predmeta može se definisati oblast upotrebljive brzine rezanja koja je ograničena donjom i gornjom graničnom krivom. Izvan ove oblasti je oblast nepotpunog sečenja. Unutar oblasti upotrebljivih brzina rezanja promenom brzine rezanja vrši se promena kvaliteta reza (pojava i veličina šljake, hrapavost, ravnost ivica i td.).



Slika 1: Uticajni faktori na kvalitet laserskog sečenja

Polarizacija. Signifikantnost polarizacije orijentacije laserskih zraka izgleda da igra ulogu u relativnom stepenu apsorpcije laserske energije kod nekih materijala. Pokazalo se da sečenje paralelno polarizaciji zraka proizvodi uzane i tačne rezove sa glatkim stranama. Pošto pravac sečenja često odstupa od ravni polarizacije dolazi do smanjenja apsorbovane energije laserskog zračenja. Pri tome dolazi do smanjenja brzine rezanja, povećanja širine reza, neravnosti stranica reza i povećanja hrapavosti. Iako izgleda teorijski poželjno, praktično nije moguće izvesti da se zadrži orijentacija polarizacije snopa laserskih zraka paralelno pravcu sečenja za komplikovanu geometriju konture obratka. Primenom kružne polarizacije izbegnute su negativne osobine linearno polarizovanih laserskih zraka pri čemu je dobijen konzistentno visok kvalitet reza.

Žižna daljina sočiva za fokusiranje. Pošto je brzina rezanja funkcija gustine snage, izbor sočiva za fokusiranje ima veliki uticaj na kvalitet reza. Kako je veličina svetlosne mrlje u žiži proporcionalna žižnoj daljini to je gustina fokusirane snage laserskog zračenja proporcionalna kvadratu te dužine. Sočiva male žižne daljine imaju mogućnost veće koncentracije snopa laserskih zraka i daju veliku gustinu snage s obzirom na veličinu svetlosne mrlje ali je njihova primena ograničena za obradu zbog male radne zone. Pogodna su za sečenje radnih predmeta malih debljina limitiranih korisnom zonom optičkog polja sočiva pri čemu se koriste velike brzine rezanja. Sočiva veće žižne daljine daju manji gustinu snage ali je njihova radna zona mnogo veća tako da se upotrebljavaju za sečenje debljih materijala.

Položaj žiže sočiva za fokusiranje u odnosu na površinu obratka (defokusacija). Varijacija položaja žiže u odnosu na površinu obratka pokazuje različitu karakteristiku na kvalitet reza. Zavisno od vrste materijala i debljine obratka žiža se pozicionira na ili neznatno ispod površine obratka. U toku procesa laserskog sečenja žiža sočiva za fokusiranje snopa laserskih zraka mora biti stalno pozicionirana u odnosu na površinu obratka kako bi se obezbedili najbolji efekti sečenja. Postoje razni uređaji koji obezbeđuju konstantan položaj žiže u odnosu na površinu obratka. Napviše se koriste kontaktni uređaji i uređaji zasnovani na kapacitivnoj metodi.

Pomoćni gas. Zadatak pomoćnog gasa je da u procesu sečenja zaštiti sočiva i pomogne u odstranjivanju isparenog i rastopljenog materijala obratka pri čemu mora biti koaksijalan sa fokusiranim snopom laserskih zraka. Komprimovani vazduh ili inertni gas se koriste za odstranjivanje rastopljenog i isparenog materijala iz zone rezanja kod nemetala i organskih materijala pri čemu se smanjuje pojava gorenja. Za većinu metala koristi se reaktivni pomoćni gas, kiseonik, jer pomaže egzotermičku reakciju. Upotrebu kiseonika kao pomoćnog gasa povećava se ukupna energija upotrebljena u procesu sečenja tako da je moguće povećati brzinu rezanja za 25-40% u odnosu na brzine rezanja kod kojih je vazduh pomoćni gas. Pored vrste pomoćnog gasa čistoća pomoćnog gasa je od jako bitnog uticaja na parametre obrade i kvalitet reza. Zavisnost brzine rezanja od čistoće kiseonika je od ogromne važnosti u industrijskoj primeni jer degradacija kvaliteta kiseonika od 2% dovodi do smanjenja brzine rezanja i do 50% a i do drastičnog pada kvaliteta reza. Pritisak pomoćnog gasa utiče na brzinu rezanja brzinom odnošenja rastopljenog i isparenog materijala i na pojavu nastanka šljake po ivicama reza. Pritisak od 0,3-0,4MPa koristi se za sečenje tankih materijala. Pritisak se smanjuje ako se povećava debljina obratka ili ako se smanjuje brzina rezanja.

Pojavi različitih vrednosti hrapavosti na levoj i desnoj strani površine reza može biti razlog u različitom položaju snopa laserskih zraka s obzirom na saosnos pomoćnog gasa iz mlaznice a takođe i položaj otvora mlaznice.

Istraživanja su pokazala da su slučajni događaji nekonzistentnog kvaliteta reza, glatkoća i nagib reza atributi efekta polarizacije. Za korektnost u procesu rada laserske mašine mogu biti opremljene optičkom vezom koja fiksira polarizaciju kako bi bila kolinearna sa pravcem sečenja ili obezbeđuje dobijanje kružne polarizacije laserskog zraka na izlazu kako bi se izbegao uticaj pravca kretanja na proces i kvalitet laserskog sečenja.

3. ZAKLJUČAK

Istraživanja su pokazala da su slučajni događaji nekonzistentnog kvaliteta reza, glatkoća i upravnost stranica reza atributi više uticajnih faktora. Uspostavljanjem zakonitosti između kvaliteta obrade i uticajnih faktora procesa obrade izradiće se baza znanja i podataka u tehnološkom procesoru za upravljanje procesom laserskog sečenja sa ciljem da se kod laserskog sečenja izvrši operacija sečenja u optimalnom režimskom području gde je kriterijum optimizacije dobijanje traženog kvaliteta obrade.

4. LITERATURA

- [1] Rikalin H., Uglov A., Zuev I., Kokora A. Lazernaja i elektrono-lučevaja obrabotka materialov. Mašinstroenie, Moskva, 1985
- [2] Leš P., Črepinšek L., Rezanje pločevine s plazmo in laserjem, Obrada deformisanjem u mašinstvu, broj 1, Novi Sad, 1986
- [3] Gillner A., Beyer E., Herziger G., Integration der Lasertechnik in Blechbearbeitungsanlagen, Bänder Bleche Rohre, Nr.10, 1992, S.66-72
- [4] Preißig K., Albrecht J., Hochgeschwindigkeitsschneiden von Feinstblechen mit Lasern, Bänder Bleche Rohre, Nr.10, 1992, S.79-88

M. Radovanović, Lj. Janković, D. Lazarević

FACTORS AFFECTING TO THE LASER CUTTING QUALITY

S U M M A R Y

The knowledge about the laser cutting metal process as well as about its dependence on various cutting parameters provides for a quality of the cutting as well as for its efficiency. That is the reason why researches have been carried out in the field of laser cutting which aim at establishing the dependencies between the cutting quality and the influential factors affecting it. The strategy of the researches is to produce knowledge base and data base in the technological processor for controlling the laser cutting process in order to perform the cutting operation with a laser beam in the optimal regime bond where the criterion is the achievement of a high cutting quality. The main problem of all these researches is a great number of factors affecting the cutting quality. The aim of this paper is to give a systematic view of all the factors affecting to the laser cutting quality as well as to show the effects of the most important ones.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Z.Vesić, S.Đurić, LJ. Đorđević, D.Marković

TEHNOEKONOMSKA ANALIZA OPRAVDANOSTI PRIMENE LASERA ZA SEČENJE LIMOVA
UMESTO KONVENCIONALNIH METODA OBRABE LIMOVA

R E Z I M E

U radu su prezentirana neka iskustva u primeni industrijskog lasera za sečenje limova. Dati su osnovni pojmovi i definicije vezanih za primenu industrijskog CO₂ lasera za sečenje. Opisana je osnovna konfiguracija laserskog postrojenja instaliranog u DD IMK "14. oktobar" u Kruševcu. Na konkretnim primerima izrade delova od limova sačinjena je tehnoekonomska analiza opravdanosti primene lasera za sečenje limova u odnosu na konvencionalne postupke obrade limova.

1. UVOD

Laserski uređaji poprimili su u svetu široku primenu u proizvodnji za izvođenje operacija bušenja, sečenja, zavarivanja, termičke obrade i legiranja materijala čija je obrada do sada bila nezamisliva ili veoma otežana i skupa. Najširu i najuspešiju primenu laseri u proizvodnji imaju za izvođenje operacije sečenja materijala. Laserski uređaji spregnuti sa CNC upravljačkim manipulatorima omogućavaju uspešnu izradu delova veoma složene konfiguracije i visoke preciznosti koje se dobijaju sečenjem. Veoma uspešno na laserskim uređajima mogu se seći: konstruktivni čelici, nerđajući čelici, dekapirani i pocinkovani limovi, aluminijum, titan, olovo, iverica, šper ploča, pleksi staklo, ABS plastika, fiberglas, tekstolit, guma, koža, tekstil, tervol, azbest, keramika itd.

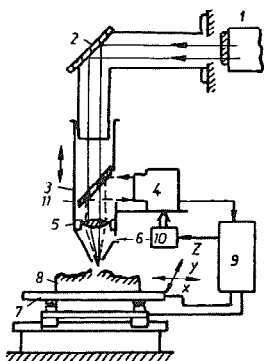
U radu je načinjen pokušaj da se opišu osnovni razlozi, koji su opredeljujući za donošenje odluke o nabavci i primeni lasera za sečenje u industrijskim uslovima.

-
- Zoran Vesić, dipl.ing. Sava Đurić, dipl.ing. Dr. Ljubodrag Đorđević, dipl.in. Dragoslav Marković, dipl.ing.
 - ISTRAŽIVAČKI INSTITUT ZA GRAĐEVINSKE MAŠINE DD IMK "14. OKTOBAR" KRUSHEVAC
 - Rad je rađen u okviru projekta Z.1.0387, koji finansira Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije.

2. SEČENJE LASEROM

Lasersko sečenje spada u bezkontraktne metode obrade materijala. Nisu potrebni nikakvi specijalni alati, nema sile rezanja (sečenja), nema potrebe za steznim alatima a u sperezi sa manipulatorima i CNC upravljačkim jedinicama moguće je veoma efikasno izvršiti automatizaciju procesa laserskog sečenja materijala.

Sam proces laserskog sečenja materijala prikazan je na slici 1. Laserski zrak dobijen u generatoru prolazeći kroz rezonator, pojačava se i do 50-100000puta, dovodi se sistemom ogledala i sočiva do materijala koji se reže. Pomoću pomeranja koordinatnog stola čije kretanje kontroliše CNC upravljačka jedinica obezbeđuje se sečenje po željenoj konturi. Zbog efikasnijeg sečenja, posebno metala, u zoni sečenja dovodi se mlaz kiseonika (vazduha) koji je koaksijalan sa fokusiranim toplotnim zrakom lasera.



- 1 - Generator
- 2 - Ogledalo
- 3 - Rezna glava
- 4 - Sistem za podešavanje fokalne površine sočiva
- 5 - Fokusno sočivo
- 6 - Radni gas
- 7 - Koordinatni sto (manipulator)
- 8 - Obradivani deo
- 9 - CNC upravljačka jedinica
- 10 - Pogon za vertikalno podešavanje glave
- 11 - Dopunsko ogledalo

Slika 1. Šema laserskog uređaja sa upravljanjem po tri koordinate.

3. OSNOVNI FAKTORI KOJI UTIČU NA SEČENJE LASEROM

Faktore koji utiču na lasersko sečenje možemo podeliti u 3 osnovne grupe:

- a. Faktori koji su usloveljeni tipom generatora:
Dužina talasa zračenja generacija generatora, snaga svetlosnog zraka, raspodela izlazne snage po poprečnom preseku svetlosnog zraka i stabilnost izlazne snage.
- b. Faktori koji su određeni optičkim sistemom:
Prečnik svetlosnog zraka i njegovi gubici, fokusno rastojanje, razfokusiranje zraka, prečnik mrlje u žiži, radni gas, oblik dizne, odstojanje dizne od radne površine itd.
- c. Faktori koji su određeni svojstvima radnog dela:
Materijal, geometrijski oblik, dimenzije, stanje površine, žična daljina u odnosu na radnu površinu, brzina pomeranja itd.

Pod uslovom da su svi ovi faktori optimalno usklađeni dobijaju se maksimalni efekti u pogledu kvaliteta i tačnosti izrađenih delova, kao i u pogledu produktivnosti i ekonomičnosti proizvodnje.

Prema podacima iz laboratorije jednog od najvećih proizvođača industrijskih lasera u svetu firme SPECTRA-PHYSICS iz Kalifornije rad na jednom potpunom automatskom uređaju za lasersko sečenje može u velikoj meri da poboljša preciznost, ponovljivost, fleksibilnost i produktivnost izrade delova u odnosu na druge tehnološke metode (plazmu, prosecanje-probijanje ili mehaničku obradu). Kombinovani efekat ovih poboljšanja se može meriti jednim zajedničkim faktorom koji se kreće između osam i dvadeset.

Pored ovoga primena laserskih uređaja za sečenje donosi još i mnoge druge prednosti kao što su: odsustvo buke, vibracija i prašine, smanjenje štetnih gasova i eliminaciju nabavke i rezervi čitavog niza skupih alata za sečenje. Prema podacima iz literature (2) brzina rezanja CO₂ laserima je višestruko veća u odnosu na druge postupke sečenja materijala što se može videti iz podataka u literaturi.

4. NEKE OD PREDNOSTI PRIMENE LASERA ZA SEČENJE

DD IMK "14. oktobar" u Kruševcu je nabavio industrijski CO₂ laser za sečenje "HEBAR - 1A" koji je proizvela firma "OPTICAL TEHNOLOGIJES" iz Plovdiva (Bugarska). Osnovne karakteristike ovog CO₂ lasera su snaga od 1300W, sa dimenzijama stola 1200x2000 mm i CNC upravljačkom jedinicom ZIT 500/FANUK 5. Na osnovu sprovedenih istraživanja i dosadašnje prakse mogu se izvući sledeći zaključci vezani za efikasnost primene laserskog sečenja umesto drugih tehnoloških metoda obrade materijala:

- a. Postiže se visok kvalitet sečenih površina i tačnost izrađenih detalja pa se laserom mogu rezati i detalji koji su do sada rađeni prosecanjem, probijanjem i štancovanjem, čime se postižu značajne uštede na troškovima bravarske dorade delova, obrade sečenih površina i izradi veoma skupih alata za štancovanje.
- b. Visoka produktivnost i karakteristike opreme omogućavaju da se veoma kvalitetno, efikasno i brzo izrađuju detalji složene konfiguracije i da se izbaci više operacija, koje su do sada izvršavane pri izradi detalja.
- c. Numeričko upravljanje omogućava da se dobije visoka tačnost oblika i dimenzija detalja, izostaje potreba za alatima, a omogućena je optimizacija iskorišćenja materijala.
- d. Niski troškovi primene laserske opreme, jer je uz relativno male troškove energije, gasa i potrošnih delova moguća izrada detalja praktično bez alata, bez jednog broja operacija i suvišnog međuoperacijskog transporta.
- e. Uslovi rada su neuporedivo bolji i lakši nego sa postojećom opremom (nema buke, vibracije, prašine, itd.)

Kao konkretan doprinos sagledavanja efikasnosti primene lasera za sečenje data je analiza postupaka izrade 3 pozicije različitim metodama za uslove rada u DD IMK "14. oktobar" u Kruševcu. U ovoj analizi upoređena je izrada pozicija na 3 načina:

- a. Gasnim sečenjem - Aparat za gasno sečenje "OPTOTAJ-20" "ULJANIK" Pula.
- b. Prosecanjem - Mašina za obradu limova prosecanjem sa vođenjem pomoću šablona "KPS-300" "UNIS-ELKOS" Ljubljana.
- c. Laserom - "HEBAR-1A" Plovdiv, Bugarska "OPTIČNI TEHNOLOGIJI"

I. Pozicija 078310 - Ram prozora

a. Gasnim sečenjem:

Izrada pozicije se izvodi u 6 operacija, znači na 6 radnih mesta, sa TK za gasno sečenje = 39 min. a TPZ za ceo postupak je 2,15 h.

b. Prosecanjem:

Pozicija se izrađuje u 4 operacije, na 4 radna mesta sa TK za KPS=19 min. i sa TPZ = 2,05 h za ceo postupak.

c. Laserom:

Vreme izrade laserom je 3 minuta i sve se izvodi u 1 operaciji, bez ikakvih naknadnih obrada a i kvalitet izrađenih pozicija je mnogo bolji.

II. Pozicija 294056 - Tabla za instrumente

a. Kombinacijom gasnog sečenja i prosecanja:

Izrada se izvodi u 9 operacija, sa isto toliko pomeranja između radnih mesta a ukupno TK = 1,57 h odnosno TPZ = 7 h.

b. Prosecanjem:

Broj operacija je smanjen na 3 a TK = 35 min. odnosno 1,2 h.

c. Laserom:

Celokupna obrada se svodi na samo jednu operaciju sa TK=5 min. što podrazumeva minimalne organizacione troškove i jednostavno praćenje u procesu proizvodnje.

III. Pozicija 084942 - Lim

a. Gasnim sečenjem:

Broj operacija je 6 a TK = 26 min., odnosno TPZ = 2,16 h.

b. Prosecanjem:

Zbog velike debljine (≠ 5), pozicija se ne radi na KPS-300.

c. Laserom:

Tehnološki postupak bi imao samo jednu operaciju sa TK=1 min. i neuporedivo boljim kvalitetom izrađenih pozicija.

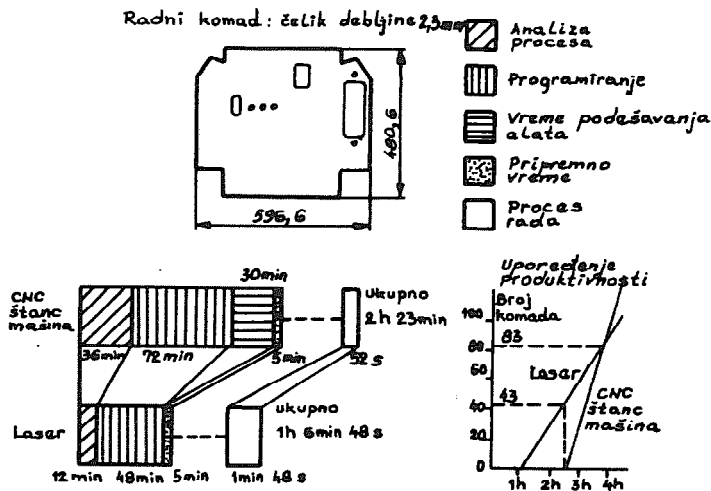
Radi lakšeg upoređivanja efekta tabelarno je dat pregled broja operacija i vremena izrade.

Tabela 1.

Red. br.	Broj poz.	Debljina	Broj operacija /TK (u min.)		
			Gasno seč.	Prosecanje	Laser
I	078310	≠3	6/39	4/19	1/3
II	294056	≠1,5	9/97	3/35	1/5
III	084942	≠5	6/26	-	1/1,5

Slične podatke daje iz svojih laboratorija i Japanska firma "MAZAK"

Na slici 2 je dato upoređivanje troškova izrade date pozicije različitim postupcima obrade sa koje se na vizuelan način vide velika preimućstva primene laserskog sećenja u odnosu na druge konvencionalne metode obrade.



Slika 2. Uporedni prikaz produktivnosti mašine za obradu prosecanjem i lasera za sećenje.

5. ZAKLJUČAK

Prednosti primene laserske obrade materijala, a posebno primene lasera za sećenje su velike i mnogo struke ali se mogu *ukratko* pobrajati:

- Brza izrada prototipskih serija bez prethodnog izradivanja skupih alata,
- Primena iste mašine za široki spektar materijala,
- Brzo konturno sećenje složenih konfiguracija uz primenu CNC upravljačkih jedinica,
- Uzan rez uz minimalno odstranjivanje materijala,
- Tačna izrada delova bez potrebe naknadne obrade,
- Male zone uticaja toplote, sećenje bez "dodira alata" bez deformacija,
- Jednostavnost uključivanje u fleksibilne linije i mogućnost automatizacije procesa sećenja,
- Mogućnost sećenja veoma mekih i krtih materijala bez deformacija,
- Mogućnost sećenja veoma tvrdih materijala,
- Čisto, tiho, besprašinsko sećenje materijala štetnih po zdravlje.

Svi ovi i mnogi drugi tehničko-tehnološki i ekonomski razlozi idu u prilog opravdanosti primene lasera za sećenje materijala u industrijskim uslovima.

6. LITERATURA

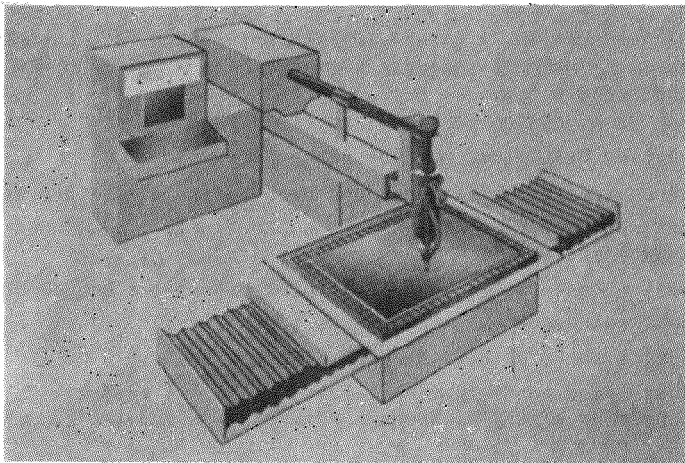
1. A.V. La Rocca, Primena lasera u proizvodnji Spectra-Physics Inc, San Jose, Californija, 1984.god. 1-58.
2. V.S. Kovalenko, V.P. Kotljarov, V.P. Djatec, Primena lasera u mašinogradnji, Viša škola, Kiev, 1988, 87-101.
3. S. Đurić, Z.Vesić, Tehnoekonomska analiza primene lasera za sečenje materijala DD IMK "14. oktobar" Kruševac 1990, 1-20.
4. Tehničko-tehnološka dokumentacije DD IMK "14. oktobar" Kruševac.
5. Katalozi i prosepčna dokumentacija proizvođača laserskih uređaja i opreme (Optikal tehnologijes Bugarska, Spectra Physics Californija, Mazak Japan, Laser Komb. - Nemačka, M. Griesheim Nemačka, Iskra Slovenija).

Z. Vesić S.Đuric, LJ. Đorđević, D. Marković

TEHNO-ÖKONOMISCHE ANALYSE DER BERECHTIGUNG IN DER ANWENDUNG DER LASER -
- BLECHSNEIDUNG

ZUSAMMENFASSUNG.

Die Arbeit umfasst die Erfahrungen in der Anwendung der Industrielaser zum Blechschneiden. Es wurden die Grundbegriffe und Definitionen in Zusammenhang mit der Anwendung CO₂ Laser zum Schneiden beschrieben. Auch wird eine Grundkonfiguration der Lasereinrichtung dargestellt, die im AG "14. oktobar" aus Kruševac aufgestellt ist. An konkreten Fertigungsbeispielen der Blechteile wurde die techno-okonomische Analyse der Anwendungsgerechtigkeit der Laser - Blechschneidens in Vergleich mit den Konventiellen Bearbeitungserfahren.



М. Н. Вукићевић, С. Љ. Ивановић¹⁾

СИМУЛАЦИЈА ПРОЦЕСА ТАЧКАСТОГ ЕЛЕКТРООТПОРНОГ ЗАВАРИВАЊА (АНАЛИТИЧКИ МОДЕЛ)

РЕЗИМЕ

Радам се приказују резултати симулације процеса тачкастог електроотпорног заваривања у условима његовог нестационарног тока. Анализирају се три дискретна тренутка у периоду заваривања (без периода хлађења) на основу графичких интерпетација излазних резултата и, делимично наведених, основних поставки реализоване математичке анализе. Симулација је остварена уз помоћ рачунара.

1. УВОД

Из затвореног круга међусобно условљених утицаја различитих физичких величина (струја, електрични отпор, сила притиска, густина материје, температура идр.) као и њиховог укупног утицаја на стања у материјалу и на ток одвијања процеса тачкастог заваривања, у зависности од одабраног циља анализе, као репрезент истог (истих) могуће је издвојити било који параметар, односно поље било које физичке величине. Ипак, температурско поље, у потпуности одређује све процесе и појаве и/или њихове промене у току реализације тачкастог заваривања. Идентификацијом температурског поља могуће је представити процесе загревања, деформације и хлађења, те остварити основне претпоставке за прогнозу структурних промена у шаву и ЗУТ-у, као и коначних механичких својстава шавна и/или споја.

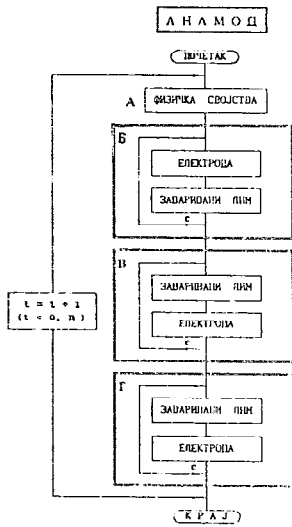
У алгоритамско-логистичком смислу температурско поље је надређено пољима свих осталих физичких величина и параметара процеса. То се јасно уочава на упрошћеном приказу алгоритма развијеног симулационог пакета програма, Сл. 1. Блок А симболички је представљен део алгоритма (програма) којим се обезбеђује конституисање поља физичких величина:

- Специфичне електричне отпорности, укључујући контактну, ρ ,
- Специфичне топлоте, C , и
- Коefицијента простирања топлоте, λ

Поља електричног потенцијала, густине струје и температуре одређују се у линијској алгоритамској структури (в. Сл. 1). Приказана структура је непроменљива и реализује се за сваки дискретни тренутак нестационарног тока симулације процеса заваривања.

Сваки од алгоритамских блокова реализован је у форми сложених цикличних програмских структура, базираних на детаљној и обимној математичкој анализи.

¹⁾
Др Мионир Вукићевић, Машински факултет, Краљево
Др Слободан Ивановић, Машински факултет, Краљево



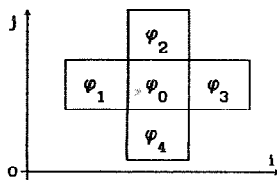
Сл. 1. Општа блок-шема симулационог модела

2. МОДЕЛ ПОЉА ЕЛЕКТРИЧНОГ ПОТЕНЦИЈАЛА

Нехомогена расподела специфичне електричне отпорности, која карактерише нестационарни период процеса заваривања, представља последицу формираног нехомогеног температурског поља у почетном дискретном тренутку. Поље електричног потенцијала, према [1] описано је једначином:

$$\varphi_0 = \frac{1}{4} \left(\varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \varphi_4 + \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{2i} \right) + \frac{\rho_0}{16} \cdot \left[\left(\frac{1}{\rho_3} - \frac{1}{\rho_1} \right) \cdot \left(\varphi_3 - \varphi_1 \right) + \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_4} \right) \cdot \left(\varphi_2 - \varphi_4 \right) \right] \quad (1)$$

Добијена је рекурзивна једначина за итеративни поступак одређивања поља електричног потенцијала. За сваку тачку централног шаблона φ_0 , Сл. 2, вредност потенцијала се одређује на основу четири суседне тачке. Поред помоћних услова (почетни и гранични) неопходно је дефинисати критеријум окончања итеративног поступка, односно ниво допуштеног одступања, ε (вредности потенцијала текуће у односу на претходну итерацију).



Сл. 2. Графички приказ методе централног шаблона

У наведеном облику једначину 1 могуће је користити само уколико је прорачунска мрежа квадратна, дакле искључиво у простору завариваног лима. Зато је неопходно, на принципима закона о одржању енергије и принципа суперпозиције формулисати одговарајуће варијанте за сваки специфични случај.

У прорачунском простору који карактерише правоугаони облик хелија прорачунске мреже (област конуса и цилиндра електроде) када су сви суседни чворови симетрично распоређени у односу на централни, сагласно Сл.2. трансформисана једначина 1 гласи:

$$\varphi_0 = \frac{1}{2} \cdot \frac{1}{1+m^2} \cdot [m^2(\varphi_1 + \varphi_3) + \varphi_2 + \varphi_4 + \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{21} + \frac{\rho_0 m^2}{4} \left(\frac{1}{\rho_3} - \frac{1}{\rho_1} \right) (\varphi_3 - \varphi_1) + \frac{\rho_0}{4} \left(\frac{1}{\rho_3} - \frac{1}{\rho_1} \right) (\varphi_3 - \varphi_1)] \quad (2)$$

Добијену једначину могуће је користити у свим случајевима када између корака прорачунске мреже за референтне правце постоји линеарна корелација облика $k = m \cdot h$, $m \in (1, \operatorname{tg} \varphi, 3)$. Једначина апроксимације потенцијала коначним разликама, у граничном слоју контакта електрода-лим гласи:

$$\varphi_0 = \frac{\sin^2 \varphi}{2 + (1 + \psi_z)(1 - \operatorname{tg} \varphi) \cos^2 \varphi} \left[\varphi_1 + \varphi_3 + \frac{\varphi_2 + \varphi_4 \operatorname{tg} \varphi + \varphi_3 - \varphi_1}{\operatorname{tg}^2 \varphi} + \psi_r (\varphi_3 - \varphi_1) + \psi_z \frac{\varphi_2 - \varphi_4 \operatorname{tg} \varphi}{\operatorname{tg}^2 \varphi} \right] \quad (3)$$

$$\psi_r = \frac{\rho_0}{4} \cdot \left(\frac{1}{\rho_3} - \frac{1}{\rho_1} \right) \quad \text{- Релативна проводност у } r\text{-правцу,}$$

$$\psi_z = \frac{\rho_0}{4} \cdot \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_4} \right) \quad \text{- Релативна проводност у } z\text{-правцу}$$

Једначина 3 не представља једнозначно решење за прорачун потенцијала у централном чвору. Слично је неопходно учинити и за слојеве који припадају простору електроде и представљају границу на којој се корак прорачунске мреже трансформише са вредности $k = h \cdot \operatorname{tg} \varphi$ у вредност $k = 3 \cdot h$, у z -правцу. Једначина апроксимације потенцијала у централном чвору [1] добија се у два облика.

$$\varphi_0 = K\varphi_0 \cdot \left[\varphi_1 + \varphi_3 + \frac{2\varphi_2 \operatorname{tg} \varphi + \varphi_4(3 + \operatorname{tg} \varphi) + \varphi_3 - \varphi_1}{\operatorname{tg}^2 \varphi(3 + \operatorname{tg} \varphi)} + \psi_r (\varphi_3 - \varphi_1) + \psi_z \frac{2\varphi_2 \operatorname{tg} \varphi - \varphi_4(3 + \operatorname{tg} \varphi)}{\operatorname{tg}^2 \varphi(3 + \operatorname{tg} \varphi)} \right] \quad (4)$$

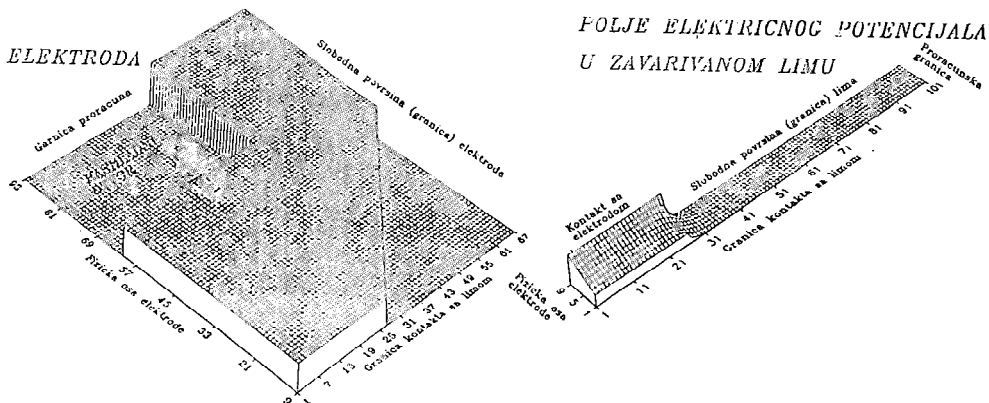
$$K\varphi_0 = \frac{(3 + \operatorname{tg} \varphi) \sin^2 \varphi}{2(3 + \operatorname{tg} \varphi) - (1 + \psi_z)(3 - \operatorname{tg} \varphi) \cos^2 \varphi} \quad \text{- Помоћни израз,}$$

$$\psi_r = \frac{\rho_0}{4} \cdot \left(\frac{1}{\rho_3} - \frac{1}{\rho_1} \right) \quad \text{- Релативна проводност у } r\text{-правцу,}$$

$$\psi_z = \frac{\rho_0}{4} \cdot \left(\frac{1}{\rho_2} - \frac{1}{\rho_4} \right) \quad \text{- Релативна проводност у } z\text{-правцу}$$

$$\varphi_0 = K\varphi_0 \cdot \left[\varphi_1 + \varphi_3 + \frac{2}{3} \frac{\varphi_2(3 + \operatorname{tg} \varphi) + 6\varphi_4}{(3 + \operatorname{tg} \varphi)^2} + \frac{\varphi_3 - \varphi_1}{21} + \psi_r (\varphi_3 - \varphi_1) + \psi_z \frac{\varphi_2(3 + \operatorname{tg} \varphi) - 6\varphi_4}{(3 + \operatorname{tg} \varphi)^2} \right] \quad (5)$$

$$K\varphi_0 = \frac{3(3 + \operatorname{tg} \varphi)^2}{6(3 + \operatorname{tg} \varphi)^2 + 2(9 + \operatorname{tg} \varphi) - 3\psi_z(3 - \operatorname{tg} \varphi)} \quad \text{- Помоћни израз,}$$

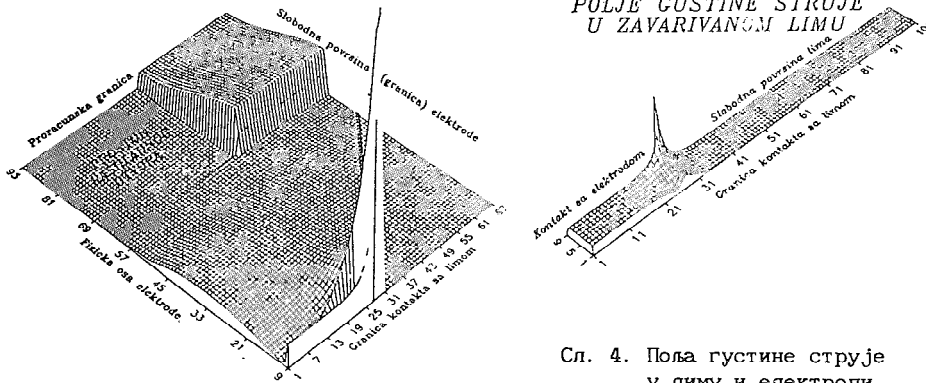


3. МОДЕЛ ПОЉА ГУСТИНЕ СТРУЈЕ

У централном чвору сваког елементарног план-полигона коресподентна вредност интегритета вектора густине струје прорачунава се [1] на основу израза:

$$j_o = \frac{1}{t_{\phi\phi}} \cdot \frac{1}{2h\rho_o} \cdot \sqrt{[(\varphi_3 - \varphi_1) \operatorname{tg}\varphi]^2 + [\varphi_2 - \varphi_4 \operatorname{tg}\varphi - \varphi_o(1 - \operatorname{tg}\varphi)]^2} \quad (6)$$

С обзиром да су вредности густине струје двозначне у сваком централном чвору разматраног граничног слоја, може се констатовати да ће одскочни карактер бити присутан увек када су различите вредности специфичне проводности (отпорности) у централном чвору. Важи и обрнут став, т.ј. одскочни пад напона и одскочни пораст густине струје неће бити изражен само онда када је проводност (отпорност) у сваком чвору разматраног слоја једнозначно одређена, односно само онда када је изражена контактна вредност специфичне електричне отпорности.



Сл. 4. Поља густине струје у лиму и електроди

4. МОДЕЛ ТЕМПЕРАТУРСКОГ ПОЉА

Аналитички изрази, којима је извршена идентификација температурских поља у сваком дискретном тренутку одвијања процеса тачкастог заваривања, за простор електроде и завариваног лима, развијени на основу методологије описане у [1] и [2] за нестационарни ток процеса, представљају Лапласову диференцијалну једначину облика:

$$\alpha \cdot \left[\frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right] + \frac{q_1}{C \cdot \rho} = \frac{\partial T}{\partial t} \quad (7)$$

$\alpha = \frac{\lambda}{C \cdot S}$ [m²/sec] - коефицијент температурске проводности,
 C [J/(kg °C)] - специфични топлотни капацитет,
 ρ [kg/m³] - специфична густина материје.

Применом методе коначних разлика у наставку се добија једначина 8, којом се начелно, приказује уобичајени поступак добијања рекурентних једначина за итеративни поступак. Помоћни услови примењују се на овом нивоу развоја модела.

$$T_{1,j} = \frac{1}{1+F_0} \cdot \left[T_{1,j}^{(k-1)} + F_0 \left(T_{1,j+1} + T_{1,j-1} + \frac{2i+1}{2i} \cdot T_{i+1,j} + \frac{2i-1}{2i} \cdot T_{i-1,j} + T_u \right) \right] \quad (8)$$

$T_{1,j}^{(k-1)}$ - температура у централном чвору у претходном дискретном тренутку

$$Fo = \frac{\lambda \cdot \Delta t}{\gamma \cdot C \cdot h^2} - \text{Фуријеов бездимензиони број}$$

$$Tu = \frac{j_{1,j}^2 \cdot \rho_{1,j}}{\lambda_{1,j}} \cdot h^2 - \text{Прираштај температуре услед унутрашњег топлотног извора}$$

У свим итерацијама, текућег дискретног тренутка, одговарајућа температура централног чвора елементарног план-полигона, Сл.2, опредељује се на основу вредности температуре која је, у истом чвору, достигнута у претходном дискретном тренутку—означена је са $T_{1,j}^{(k-1)}$. Све остале температуре, осим $T_{1,j}^{(k-1)}$ узимају се из скупа вредности за текућу или претходну итерацију, али у текућем дискретном тренутку. Метод десних извода обезбеђује брзу конвергенцију и мањи број, али по трајању прорачуна дужих, итерација.

Развијене једначине топлотне равнотеже програмски су повезане у логичку целину чији је шематски приказ наведен на Сл.1. Општа алгоритамска структура, за итеративни метод одређивања температурских поља у простору лима и електроде, приказани су, блоком Г, као међусобом условљене и повезане процедуре, али алгоритамски независне. За стационарни део процеса таква релација је остварива, међутим у нестационарном делу само је делимично могућа. Коefицијентом температурске проводности, α , односно фуријеовим бездимензионим бројем, Fo , детерминисана је кинетика топлотне размене између суседних елементарних слојева у континууму, односно након интеграције, и у њему у целом. Периоди промене топлотних параметара у материјалу електроде, знатно су краћи него у материјалу лима, па је неопходно скратити временски прираштај два суседна дискретна тренутка, у односу на одговарајући за заваривани лим. Стога се итеративни метод независно реализује у електроли у свим дискретним тренуцима распоређеним између два дискретна тренутка који одговарају итеративном току у лиму. У преклопљеним дискретним тренуцима (идентични, у апсолутном смислу) итерације се јединствено релизују за оба разматрана простора. Независним делом итеративног метода омогућен је потпунији аналитички опис топлотне размене у електроли, док се интегрисаним постиже реалнији аналитички опис топлотне размене на релацији лим-електрода, односно у самом завариваном лиму.

Описана логистика програмских процедура, изузетно сложене структуре, омогућила је добијање нумеричких вредности температуре у сваком чвору прорачунске мреже зоне заваривања, на основу којих су урађене неке из низа разноврсних могућности графичке интерпретације. Наведена су три просторна температурска поља (Сл.5,6 и 7) и исто толико приказа распореда изотерми у простору завариваног лима и електроде (Сл.8, 9 и 10). Зато што је прецизнија интерпретација добијених нумеричких података, други начин је погоднији за квалитативне анализе.

5. ЗАКЉУЧНЕ КОНСТАТАЦИЈЕ

Атрактивна графичка интерпретација резултата симулације у овом раду није, у погледу тачности, показивана експерименталним резултатима. Ипак, на основу [1] [2] и [3] указује се да је степен подударности модела остварен са 90 ± 91.9% упркос чињеници да моделом није симулиран подпроцес механичких деформација.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Вукићевић, М. "Прилог изради тачног аналитичког модела тачкастог електроотпорног заваривања" Докторска дисертација, Машински факултет, Београд, 1994.
- [2] Вукићевић, М., Ивановић, С. "Поља електричног потенцијала и густине

струје у простору електроде и лима при тачкастом заваривању" I Међуна-
родни научно стручни скуп "Тешка машиноградња '93" Крушевац-В. Бања, 93.
[3] Вукићевић, М. "Почетно температурско поље у простору лима и електроде
при тачкастом заваривању" ЈУПИТЕР-конференција, Београд, 1994.

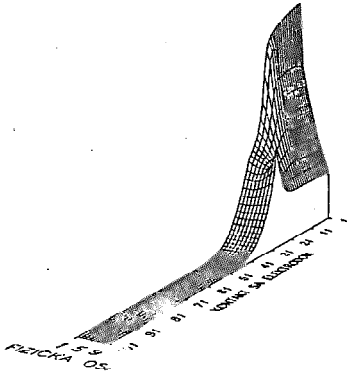
M.N. Vukićević, S.L.J. Ivanović

ELECTRICAL RESISTANCE SPOT WELDING PROCESS SIMULATION (ANALYTICAL MODEL)

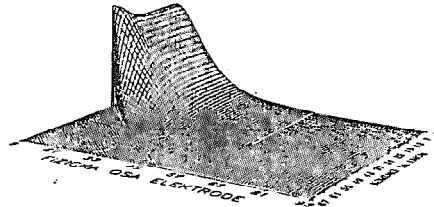
Summary

The results of electrical resistance spot welding process simulation under the conditions of its non-stationary stream are presented in this paper. Three discrete moments have been analyzed in the course of welding (without the cooling period) on the basis of the graphical representation of output results and the partly quoted basic assumption of the performed mathematical analysis. The simulation has been performed by a computer.

TEMPERATURSKO POLJE U LIMU $t = 1$

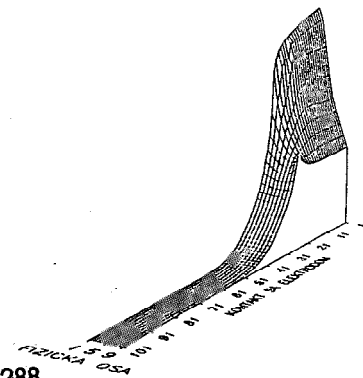


TEMPERATURSKO POLJE U ELEKTRODI $t = 1$

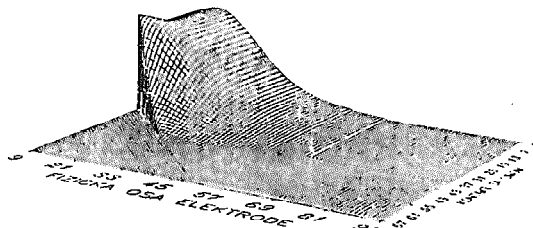


Сл.5. Температурска поља у лиму
и електроди ($t = 1$)

TEMPERATURSKO POLJE U LIMU $t = 5$

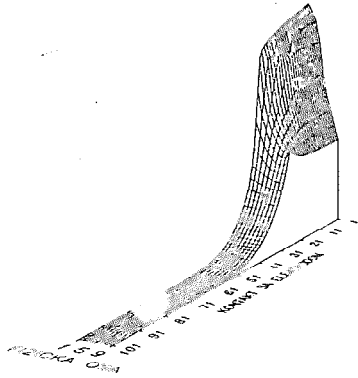


TEMPERATURSKO POLJE U ELEKTRODI $t = 5$

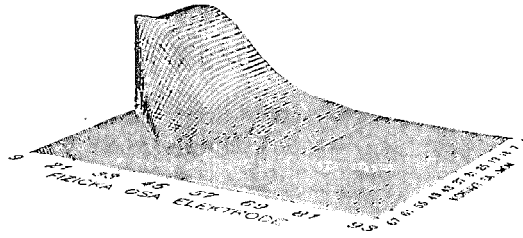


Сл.6. Температурска поља у лиму
и електроди ($t = 5$)

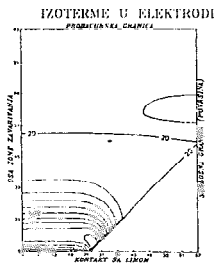
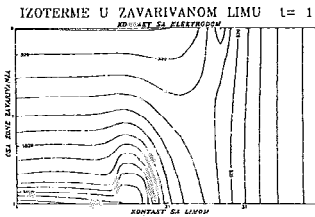
TEMPERATURSKO POLJE U LIMU $t = 8$



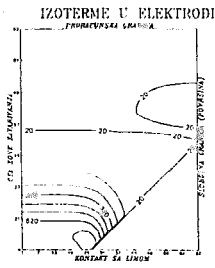
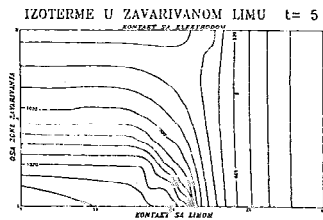
TEMPERATURSKO POLJE U ELEKTRODI $t = 8$



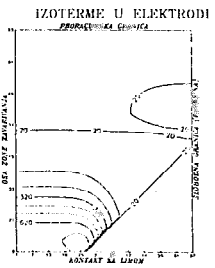
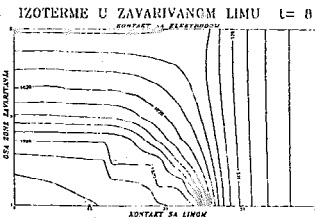
Сл.7. Температурска поља у лиму и електроди ($t = 8$)



Сл.8. Изотерме ($t = 1$)



Сл.9. Изотерме ($t = 5$)



Сл.10. Изотерме ($t = 8$)

S. Aleksandrović*

**ODREĐIVANJE KRIVIH OJAČANJA, MEHANIČKIH
KARAKTERISTIKA I "n - FAKTORA" TANKIH LIMOVA PRIMENOM
KOMPJUTERSKOG SISTEMA ZA AKVIZICIJU**

REZIME

U radu je dat prikaz hardverskih komponenti sistema za akviziciju, opis softvera, testiranje tačnosti i, konačno, prikaz rezultata ispitivanja odgovarajućih limova. Celokupan sistem za akviziciju razvijen je na laboratorijskoj mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12.

1. UVOD

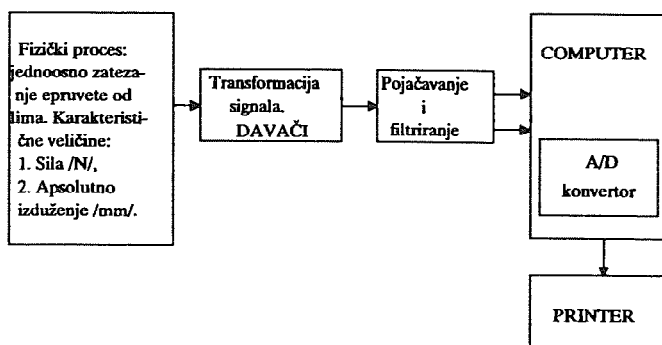
Klasična primena računara podrazumeva izradu i (ili) korišćenje softvera zasnovanog na matematičkim modelima koji zahtevaju složena numerička izračunavanja. Međutim, treba posebno naglasiti direktnu primenu računara u realnim procesima koji se odvijaju bilo u proizvodnim bilo u laboratorijskim tehničkim sistemima. Ta primena podrazumeva merenje i upravljanje. U našim uslovima ovaj aspekt korišćenja računara je nedovoljno naglašen iako je od velikog značaja za tehnološku praksu.

Većina fizičkih veličina tehničkih sistema u mašinstvu je kontinualne neelektrične prirode. Da bi se ostvarila komunikacija sa računarom potrebno je neelektrične veličine pretvoriti u električne (najčešće napon; i to je onda t.z.v. analogni signal). Zatim se taj analogni signal pretvara u digitalni (diskretizovani) prihvatljiv za kompjuter. Softverskom obradom takvog signala moguće je dobiti željeni izlaz, ili povratnu spregu, odnosno upravljajuće dejstvo na sistem. Centralno mesto u sistemima za akviziciju (DA sistemi) ima analogno-digitalni konvertor (A/D) koji upravo omogućava pomenutu transformaciju signala.

*Mr Srbislav Aleksandrović dipl.ing., asistent, Mašinski fakultet Kragujevac, S. Janjić 6

2. KONCEPCIJA I HARDVERSKE KOMPONENTE REALIZOVANOG DA SISTEMA

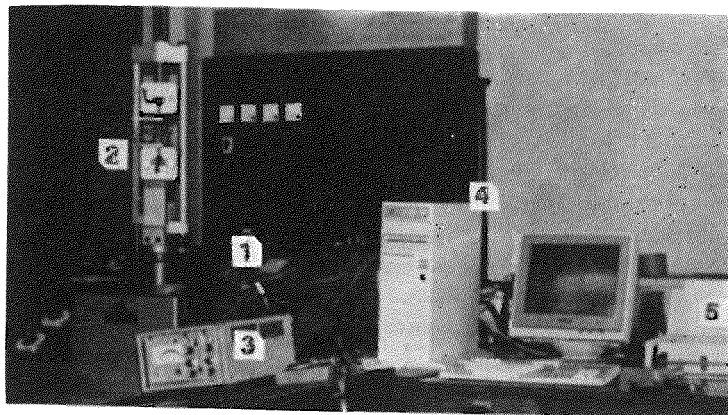
Fizički proces koji se prati je jednoosno zatezanje standardne epruvete od lima. Na sl.1 je prikazana blok šema ovog DA sistema. Proces karakterišu dve veličine: sila zatezanja i apsolutno izduženje. Njihov odnos tokom procesa definiše dijagram zatezanja. Prvi zahvat koji je potrebno učiniti je transformacija sile i izduženja u naponske signale. To je urađeno induktivnim davačima (fot.2).



Sl.1 Blok shema realizovanog DA sistema

U narednoj fazi ti signali se pojačavaju i filtriraju od šuma. Tako pripremljeni signali se onda uvode u A/D konvertor gde se analogna zavisnost sile od izduženja digitalizuje, odnosno, pretvara u dva niza realnih brojeva. Na osnovu toga i polaznih podataka softver omogućava dobijanje traženih rezultata.

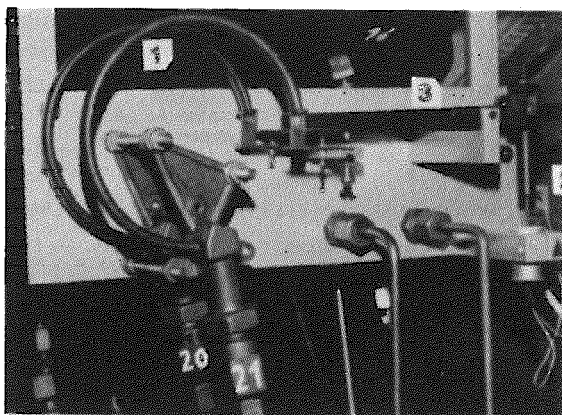
Prvi deo sistema (1 na fot.1) je hidraulična mašina ERICHSEN 142/12 sa specijalnim uređajem za zatezanje (2). Merni opseg sile je 0-20 kN, a brzina deformisanja 15 mm/min. Drugi deo sistema su davači. Tokom rada na sistemu pokazalo se da ga je



Fot. 1 Izgled kompletnog DA sistema

moгуće ostvariti kao dvokanalni (odvojeno se koristi davač sile, a odvojeno davač izduženja) i kao jednokanalni (samo davač sile). Druga varijanta je zasnovana na činjenici da se proces prati u realnom vremenu i da postoji jednoznačna veza između izduženja i vremena zbog konstantne brzine deformisanja. Za vreme je direktno vezana frekvencija A/D konvertora (ovde je ona 10 Hz zbog kvazistatičkog karaktera procesa), tako da redni broj konvertovanih vrednosti sile u brojnom nizu predstavlja odgovarajuće izduženje. Pokazalo se da je jednokanalni sistem pouzdaniji i tačniji /2,3/.

Davač sile je induktivni i smešten direktno u mašini (fot.2). Pošto on zahteva kao ulaznu veličinu pomeranje, ono je ostvareno Burdonovim cevima (1, fot.2) i do davača (2) preneto dvokrakom polugom (3). Kako je amplituda naponskog signala na izlazu iz davača mala (180 mV za silu od 5 kN) potrebno je primeniti pojačivač. Pored funkcije pojačanja (sa faktorom 20) korišćeni uređaj /2/ vrši i funkciju niskopropusnog jednopolnog filtera /2,4,5/ šuma od 24 Hz koga generiše pogonski elektromotor mašine. Ostali izvori šuma su preventivno dosta uspešno ublaženi /4,5/.



Fot. 2 Ugradnja davača sile

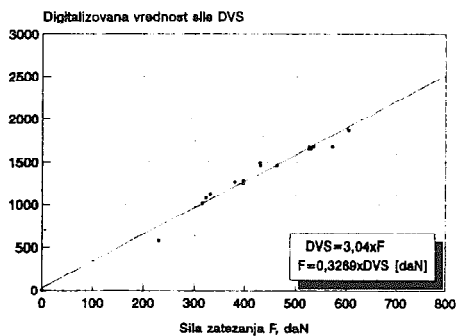
Četvrti deo sistema je i njegovo središte. To je računar (4 na fot.1) sa integrisanom multifunkcijskom A/D - D/A kartom. Računar je PC sa procesorom 80386DX na 33 MHz sa 4 MB RAM-a. Kartica je tipa PCADDA-12 FPC-010 firme FLYTECH TECHNOLOGY Co. Ltd., Taiwan. Treba reći da je to uređaj relativno niske cene uz solidne performanse (A/D konvertor ima 16 kanala sa 12-to bitnom rezolucijom i max frekvencijom od 200 Hz, dozvoljeni opseg ulaznog signala 0 do +9V a D/A konvertor 1 kanal sa istom rezolucijom i opsegom izlaznog signala -9V do +9V). Peti deo sistema je printer kao izlazna periferija (5 na fot.1).

3. SOFTVERSKA PODRŠKA DA SISTEMA

Softversku podršku ovog D/A sistema predstavlja program nazvan LIMAS (za algoritam i detalje videti /2/). On omogućava izvođenje A/D konverzije, softversko filtriranje šuma, kompletnu obradu dijagrama, određivanje mehaničkih karakteristika, "n-faktora" i pripremu fajlova za prikaz krivih ojačanja u odgovarajućim komercijalnim programskim paketima.

Prva faza izvršavanja programa je A/D konverzija i smeštaj u fajl dva brojna niza koji predstavljaju digitalizovane vrednosti sile i izduženja. Opciono, može se izbeći upisivanje u fajl, a aktivirati očitavanje nizova iz prethodno formiranih fajlova.

Posle uspešno oformljenih izvornih brojnih nizova obavlja se filtriranje metodom pokretnih sredina. Efekat je eliminacija izrazitih lokalnih maksimuma i minimuma.



Sl. 2 Kalibracioni dijagram za silu

Posle filtriranja sledi obrada dijagrama na čijem početku se traži unos polaznih dimenzija epruvete i dužina posle kidanja (te 4 veličine su jedine koje se mere van DA sistema). Razmera za izduženje se određuje u programu dok se razmera za silu određuje prethodnom kalibracijom (sl.2).

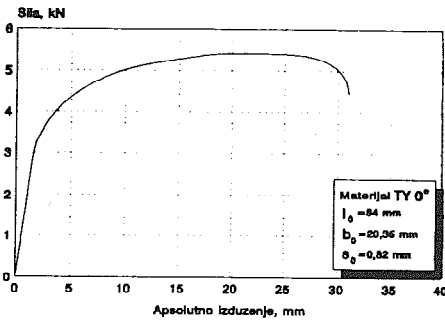
Mehaničke karakteristike se izračunavaju po poznatoj standardnoj proceduri, a kriva ojačanja i "n-faktor" na način dat u /1,2/. Izvorna kriva zatezanja i tri varijante krive ojačanja pakuju se u

fajlove za prezentaciju u pogodnim grafičkim programima. Sve izračunate vrednosti se štampaju pri kraju izvršavanja programa. Inače, tokom rada programa korisnik je u situaciji da prati faze rada i međurezultate.

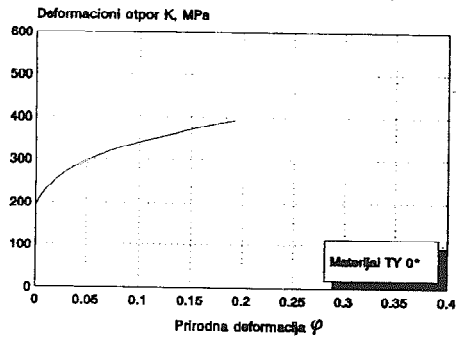
4. PRIKAZ REZULTATA

Rezultati ispitivanja mehaničkih karakteristika lima Thyssen St.1403 DA sistemom LIMAS			
Oznaka lima		Thyssen St.1403	
Početna merna dužina epruvete, mm		84	
Početna širina epruvete, mm		20,35	
Debljina lima, mm		0,82	
ZATEZNA ČVRSTOĆA, MPa		324,57	
GRANICA TEČENJA, MPa		194,45	
PROCENTUALNO IZDUŽENJE PRI RAZARANJU, %		34,1	
" n " FAKTOR		0,193	
PRIRODNA DEFORMACIJA PRI NAJVEĆOJ SILI		0,191	
APROKSIMACIJA OBLIKA $K=C\varphi^n$		C=540,753	
$K=C_1 + C_2\varphi^m$	$C_1=194,453$	$C_2=373,102$	$m=0,382$

Za primer je uzet lim od čelika St.1403 (DIN) proizveden u železari Thyssen (Nemačka) (oznaka TY na dijagramima). Epruveta je sečena u pravcu valjanja (0° na

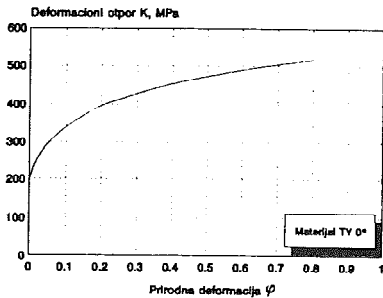


Sl. 3 Dijagram zatezanja dobijen DA sistemom LIMAS

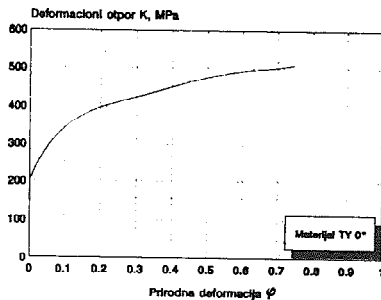


Sl. 4 Eksperimentalna kriva ojačanja dobijena DA sistemom LIMAS

Sl.3 prikazuje krivu zatezanja koju čini 814 tačaka grupisanih tako da čine kontinualnu liniju. Sl.4 daje osnovnu krivu ojačanja koja je generisana sa 107 tačaka međusobno spojenih pravim linijama.



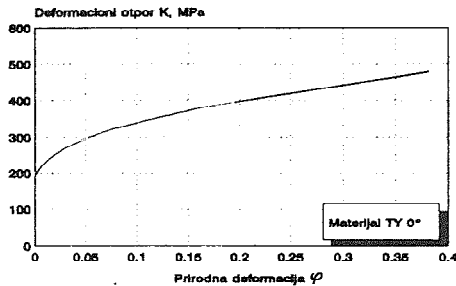
Sl. 5 Kombinovana kriva ojačanja (deo sa sl.4 i aproksimacija $K=540,7\varphi^{0,19}$)



Sl. 6 Aproksimacija krive sa sl.6 polinomom petog stepena

Sl.5 daje predlog za jedan uspešan način aproksimiranja krive ojačanja. Zahvaljujući D/A sistemu formira se spoj eksperimentalne krive (ovde postoji samo u oblasti homogenog deformisanja) i aproksimacije $K=C\varphi^n$ (koja je vrlo povoljna za veće vrednosti deformacije od 10%) na jednom dijagramu. Kao što se vidi spoj je vrlo povoljan i otklanja glavni nedostatak određivanja krive ojačanja zatezanjem - malu maksimalnu deformaciju. U cilju dobijanja jedinstvene aproksimacione formule na skupu od 229 tačaka (koje čine krivu na sl. 5) izvršeno je fitovanje i metodom najmanjih kvadrata određeni koeficijenti polinoma petog stepena. Konačno, na sl.7 prikazana je i aproksimacija krive ojačanja pravom linijom van oblasti homogenog zatezanja.

Testiranje rezultata je vršeno komparativno. Ista ispitivanja kao na prikazanom sistemu su rađena i klasično (na mehaničkoj kidalici i na mašini ERICHSEN 142/12 bez DA sistema). Razlike su manje od 5%. Detalji se mogu naći u [2].



Sl.7 Aproximacija pravom linijom van homogene oblasti

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu izloženih rezultata može se zaključiti da DA sistem LIMAS ima vrlo povoljne performanse koje ga čine jakim sredstvom u ispitivanju limova. NJrgova dogradnja ide u smislu određivanja i "r-faktora". Ograničenje softvera je primena na konkretnu mašinu i ostale komponente ovog DA sistema.

6. LITERATURA

/1/ B. Devedžić: Osnovi teorije plastičnog deformisanja metala, Mašinski fakultet Kragujevac, 1975.g.

/2/ S. Aleksandrović: Granična deformabilnost tankih limova u uslovima nemonotono procesa plastičnog deformisanja, mag. rad, Mašinski fakultet Kragujevac, 1993.g.

/3/ S. Aleksandrović: Problem neujednačenosti rezultata eksperimentalnog određivanja eksponenta deformacionog ojačavanja karoserijskih limova, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, N. Sad 1992.g., Zbornik str. 1-113 do 1-120.

/4/ PCI Handbook, BURR BROWN Co., Tucson, Arizona, USA, 1991.g.

/5/ IEEE-488 Control, Data Acquisition and Analysis for your computer, NATIONAL INSTRUMENTS Co., Austin, Texas, USA, 1989.g.

S. Aleksandrovic

DETERMINATION OF STRAIN-HARDENING CURVES, MECHANICAL PROPERTIES AND "n - VALUES" OF THIN SHEETS USING A COMPUTER DATA ACQUISITION SYSTEM

Summary

A description of hardware and software for the data acquisition system, testing accuracy and the obtained thin sheet investigation results are presented in the paper. The whole data acquisition system was developed on the laboratory testing machine ERICHSEN 142/12.

D. Kakaš, Lj. Mažibrada, B. Škorić

UTICAJ PLAZMA DEPOZICIJE NA POVEĆANJE OTPORNOSTI NA HABANJE KOD ALATNOG ČELIKA ZA RAD NA HLADNO

Rezime

Rezultati ispitivanja otpornosti na habanje, pri uslovima visokih kontaktnih opterećenja bez podmazivanja, pokazala su da se primenom plazma depozicije može značajno uticati na kvalitet površinskog sloja kod alatnog čelika za rad na hladno. Otpornost na habanje je zavisila od veličine opterećenja primenjenog pri ispitivanju, kao i od kvaliteta površine uzorka pre depozicije tvrde prevlake. Variran je kvalitet površinskog sloja tako da je uporedno ispitivano ponašanje uzoraka sa jednostrukim TiN ili TiAlN slojem i uzoraka sa kombinovanim prevlakama tipa PN+TiN ili PN+TiAlN. Utvrđeno je da se primenom kombinovanih prevlaka može postići najpovoljnija otpornost na habanje kod ispitivanog čelika za rad na hladno Č.3840.

1. UVOD

Razvoj mašina i želja da se poveća produktivnost nameću potrebu za dobijanjem novih kvaliteta alata koji će uspešno raditi i u najtežim radnim uslovima. U tom cilju je u dužem periodu osnovna pažnja bila posvećena razvoju novih materijala za alate. Danas se mnogo više pažnje posvećuje istraživanju mogućnosti korišćenja postojećih materijala, kao dobre metalne osnove sa željenim mehaničkim osobinama, u kombinaciji sa plazma prevlakama koje modifikuju samo osobine tankog površinskog sloja /1/.

Zahvaljujući razvoju plazma tehnologija stvorena je mogućnost za depoziciju različitih tipova prevlaka koje pre svega utiču na povećanje otpornosti na habanje ali istovremeno utiču i na smanjenje koeficijenta trenja, zatim na smanjenje opasnosti od lokalnog "hladnog zavarivanja" sa materijalom obradka itd. Tako se na primer kod određenih vrsta alata nanošenjem prevlake TiN može dobiti veoma značajno povećanje trajnosti /2/. Poseban problem predstavljaju alati kod kojih se pojavljuju visoka kontaktna opterećenja uz klizanje bez podmazivanja, kao što je to naprimer slučaj kod

alata za suprotnosmerno istiskivanje /3/. Ako je alat izložen visokom dinamičkom opterećenju i kad zbog toga materijal metalne osnove treba da ima što bolju žilavost na račun nešto niže tvrdoće, tada se problem izbora optimalnog tipa plazma prevlake značajno usložnjava /4/. Pri tome treba imati u vidu da je tvrdoća metalne osnove tri do četiri puta manja od tvrdoće površinskog TiN sloja, tako da se na interfejsu pojavljuje značajan gradijent napona koji može negativno uticati na otpornost prevlake na habanje. Stoga se pojavio novi put za razvoj plazma prevlaka, a to su kombinovane prevlake kod kojih se naprimer plazma nitriranjem (PN) obezbeđuje sposobnost prevlake da izdrži visoka kontaktna opterećenja, dok spoljni sloj TiN obazbeđuje visoku otpornost na habanje /5/.

Za ispitivanje fenomena habanja plazma prevlaka deponovanih na alatnom čeliku za rad na hladno mogu se koristiti različiti tipovi uređaja kao i različite metode za praćenje toka habanja. Međutim za slučajeve visokih kontaktnih opterećenja u zoni kontakta tribološkog para, a kad se istovremeno očekuje mali intenzitet habanja, pogodna je metoda "wheel-on-flat" koja omogućuje da se lako prati promena dimenzije zone habanja i da se meri promena temperature u zoni habanja /6/.

Za bolje objašnjenje fenomena habanja poseban značaj ima istraživanje morfologije zone habanja, i to na uzorcima koji su bili izloženi dejstvu habanja u različitom trajanju i pri različitim opterećenjima /7/.

Cilj ovog rada je da ukaže na neke rezultate koji su dobijeni pri ispitivanju različitih plazma prevlaka, a koji mogu doprineti razvoju njihove primene u industrijskoj praksi.

2. POSTAVKA EKSPERIMENTA

Epruvete za ispitivanje otpornosti na habanje izradene su od čelika za rad na hladno Č.3840 sa dimenzijama 38x38x10 mm. Epruvete su bile kaljene i otpuštene na tvrdoću od 50 HRC. Na taj način je dobijena visoka žilavost metalne osnove i nešto niža tvrdoća, ali je temperatura otpuštanja bila dovoljno visoka da obezbedi da ne dođe do promene u strukturi metalne osnove za vreme nanošenja plazma sloja.

Kao spregnuto telo korišćena je epruveta u obliku diska Ø50x10 mm sa radijusom na površini kontakta od 120 mm. Sprezanjem ovog diska i ravne površine prevučene plazma postupkom, dobijena je zona habanja sa približnim oblikom elepse. Tvrdoća spregnutog diska je bila u granicama 60-61 HRC.

Ispitivanja na habanje je vršeno na adaptiranoj habalici tipa Amsler, pri čemu je trajanje habanja varirano (2, 5 i 20 minuta) tako da su na jednoj istoj radnoj površini epruvete dobijene tri različite zone habanja. Korišćena su dva različita opterećenja (50 i 200 N) i dva različita stanja obrade površine uzorka. Jedan deo uzoraka je imao brušenu površinu pre depozije plazma prevlaka, dok su drugi uzorci bili polirani pre depozicije.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

Rezultati merenja temperature u zoni habanja kod uzoraka sa brušenom površinom i opterećenjem od 50 N, prikazani su u tabeli T-1. Na osnovu tih rezultata može se konstatovati da nanošenje spoljnog plazma deponovanog tvrdog sloja snižava temperaturu u zoni habanja u odnosu na neprevučeni uzorak. Izmerene temperature u zoni habanja su dovoljno niske da ne mogu izazvati promene u strukturi i kvalitetu

osnovnog materijala, kao ni u samom površinskom sloju. Međutim, treba imati u vidu da su stvarne temperature i samom centru kontakta tribološkog para nešto veće, pošto se iz tehničkih razloga vrh bezinercijalnog termopara nije mogao postaviti na to kritično mesto već je bio postavljen na samu površinu uzorka neposredno uz zonu kontakta.

Interesantan je i podatak da na samom početku habanja, nakon desetak sekundi, uzorci sa kombinovanim prevlakama (PN+TiN i PN+TiAlN) imaju znatno niže temperature u odnosu na uzorke sa istim tipom spoljnog plazma deponovanog jednostrukog sloja (TiN i TiAlN).

Tabela T-1.

Uzorak	Temperatura (°C) nakon trajanja habanja u (min)					
	0	4	8	12	16	20
neprevučeni	31.2	73.2	71.3	74.6	75.8	78.3
TiN	31.0	48.8	51.8	56.0	58.0	58.1
PN+TiN	23.0	49.0	52.6	57.0	57.7	59.4
TiAlN	27.5	48.0	53.3	58.6	59.7	59.4
PN+TiAlN	20.6	50.5	53.8	56.2	60.7	65.5

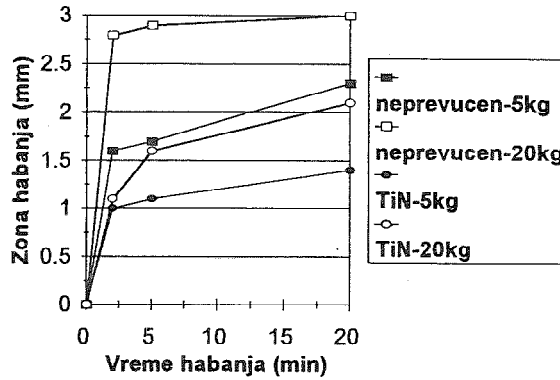
Interesantni rezultati vezani za uticaj opterećenja i kvaliteta radne površine ispitivanog uzorka mogu se dobiti pregledom rezultata merenja temperature u zoni habanja kod uzorka sa prevlakom od TiN, koji su dati u tabeli T-2. Na poliranoj površini hrapavost R_{max} je bila 0,5 μm pre depozicije a 2,2 μm posle depozicije, dok je R_a porasla sa 0,1 μm na svega 0,2 μm . Kod uzoraka sa brušenom površinom R_{max} je povećano sa 3,1 μm na 4,9 μm posle depozicije tvrde prevlake, a R_a sa 0,3 μm na 0,6 μm . Uzorci kod kojih je izvršeno poliranje radnih površina pre depozicije plazma prevlake TiN imali su znatno višlje temperature u zoni habanja u odnosu na uzorke sa brušenim površinama. Veoma velik uticaj na temperaturu u ovoj zoni pokazalo je i opterećenje, odnosno normalna sila sa kojom je kontratelo delovalo na površinu ispitivanog uzorka.

Tabela T-2.

Uzorak	Temperatura (°C) nakon trajanja habanja u (min)					
	0	4	8	12	16	20
brušen-50N	31.0	48.8	51.8	56.0	58.0	58.1
brušen-200N	36.3	58.4	77.7	89.6	94.4	98.8
poliran-50N	30.0	57.3	65.3	65.2	69.2	71.5
poliran-200N	32.0	86.0	113.4	107.0	115.0	124.0

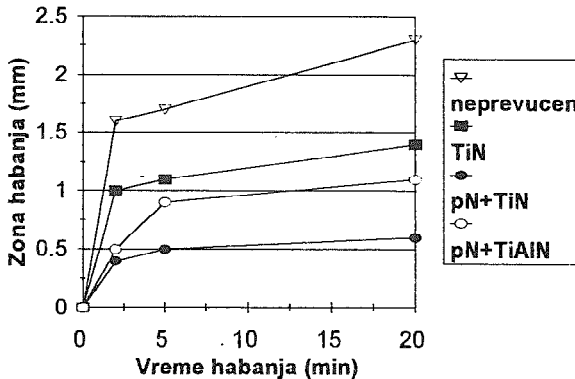
Opetrećenje primenjeno pri habanju ima veoma velik uticaj i na intenzitet habanja. Veličina habanja je merena preko praćenja promene dimenzije zone habanja, jer se pokazalo da gubitak težine uzorka u toku habanja zanemarljiv u odnosu na težinu ispitivanog uzorka pri datim uslovima ispitivanja. Na slici 1 je data ilustracija toka promene karakteristične dimenzije zone habanja kod neprevučениh uzoraka i uzoraka sa spoljnim jednostrukim slojem TiN. Očigledno je da tok linije širine zone habanja prati u velikoj meri tok promene temperature u zoni habanja. Isto tako je očigledno da

povećanje opterećenja znatno povišava intenzitet habanja pri jednakim ostalim uslovima ispitivanja. Primena jednostrukog plazma deponovanog sloja TiN u velikoj meri smanjuje intenzitet habanja kod ovih ispitivanih uzoraka.



sl.1. Uticaj opterećenja i vremena habanja na veličinu zone habanja kod neprevučenog uzorka i uzorka sa plazma deponovanim TiN slojem.

U cilju poboljšavanja otpornosti na habanje na uzorcima za ispitivanje je nanosena kombinovana prevlaka i to na taj način da je prvo izvršeno plazma nitriranje na dubinu 90 do 100 μm , a zatim je deponovana PVD prevlaka TiN ili TiAlN.



sl.2. Uticaj vrste plazma prevlake i vremena habanja na veličinu zone habanja kod alatnog čelika za rad na hladno Č.3840

Rezultati promene širine zone habanja, prikazani na slici 2 pokazuju da kombinovane prevlake pokazuju bolju otpornost na habanje kod ovog tipa čelika. Kombinovana prevlaka tipa PN+TiN je pokazala nešto bolju otpornost na habanje u odnosu na prevlaku tipa PN+TiAlN što se delimično može objasniti i sa nešto višljom tvrdoćom izmerenom na spoljnoj površini prevlake. Prevlaka PN+TiN je imala prosečnu tvrdoću od 2052 HV_{0,03} dok je prevlaka tipa PN+TiAlN imala prosečnu

tvrdoču od 1726 HV_{0,03}. Debljina spoljnog plazma deponovanog sloja je varirala u granicama od 3,3 do 3,8 μm.

Dobijeni rezultati su ukazali na mogućnost povećanja otpornosti na habanje kod čelika za rad na hladno Č.3840 primenom kombinovanih plazma prevlaka za primenjene uslove ispitivanja. Međutim, u daljem radu potrebno je optimizirati kvalitet ovog sloja i odrediti optimalnu dubinu plazma nitriranja, zatim optimalnu tvrdoču i debljinu spoljnog plazma deponovanog sloja.

4. ZAKLJUČAK

Rezultati prikazani u radu ukazuju da se primenom plazma tehnologija može u značajnoj meri povisiti otpornost na habanje kod alatnog čelika za rad na hladno Č.3840 za date uslove, odnosno kod habanja sa visokim kontaktnim opterećenjem pri klizanju bez podmazivanja. Plazma depozicija takođe utiče na snižavanje temperature u zoni habanja, ali ovaj efekat u velikoj meri zavisi od kvaliteta obrade radne površine pre plazma depozicije, kao i od primenjenog opterećenja pri habanju.

Kombinovani plazma slojevi, dobijeni plazma nitriranjem i naknadnom plazma depozicijom pokazuju bolju otpornost na habanje u odnosu na jednostruke plazma deponovane slojeve za konkretne uslove habanja koji su primenjeni pri ovom ispitivanju. Dobijeni rezultati ukazuju na nove mogućnosti povećanja kvaliteta kod alata za rad na hladno.

LITERATURA

1. Sun Y., Bell T., Material Science and Engineering, A 140 (1991) 19.
2. Kakaš D., Zaštita materijala, 4 (1992) 171.
3. Kakaš D., Lupuljev D., Journal for Technology of PLasticity, 2 (1994)
4. Kakaš D., Mažibrada Lj., Kunosić A., Zlatanović M., Inter. Conf. on Metalurgical Coatings and Thin Films, San Diego, 1992, poster section.
5. Kakaš D., Mažibrada Lj., Wear resistance of tool steels with composite and single plasma coatings, Proceedings of 8th Inter. Conf. and Exhibitions on Tools, Miškolc 1993, p.293-298.
6. Kakaš D., Mažibrada Lj., Škorić B., Zbornik radova IPM - Novi Sad, 10 (1993) 83.
7. Kakaš D., Mažibrada Lj., Influence of high speed steel plasma surface layers at wear zone morphology, Knjiga radova - 1 Kongres Elektronske Mikroskopije, Novi Sad 1994, str. 263.

Kakaš D., Mažibrada Lj., Škorić B.

INFLUENCE OF PLASMA DEPOSITION ON COLD WORKING STEEL WEAR RESISTANCE

Summary

Results of wear resistance investigations show that plasma deposited surface layers can significantly improve the cold working steel surface quality under the conditions of high contact stresses during sliding without lubrication. Wear resistance of plasma deposited layers is highly dependent on the sliding process loading and the machining quality of the working surface samples. The quality of the surface layer was being varied in order to analyze both samples having a single TiN or TiAlN layer and samples having combined deposits of the PN+TiN or PN+TiAlN type. The conclusion is that the best wear resistance can be obtained by applying composite surface layers, for example by plasma nitriding and plasma deposition technology. Our investigations got the best results from PN+TiN composite surface layers.

V. Laćarac*

PUZANJE KAO KRITERIJUM PRI IZBORU MATERIJALA

Rezime

Prilikom proračunavanja većine mašinskih delova koji su tokom eksploatacije izloženi dejstvu temperatura pri kojima puzanje dolazi do izražaja, koriste se dve osnovne mehaničke karakteristike: uslovna granica puzanja i trajna statička čvrstoća za dati vek trajanja. Međutim, tokom puzanja, materijal postaje krtiji, dolazi do smanjivanja plastičnosti, tako da u pojedinim slučajevima može doći do loma materijala, iako je vrednost deformacije u dozvoljenim granicama. Pored ostalog, tokom eksploatacije, kod mašinskih delova je prisutna koncentracija napona, promena opterećenja i temperature tokom vremena, kao i temperaturski gradijenti. U ovom radu je razmatran izbor materijala imajući u vidu uticaj navedenih faktora na pomenute mehaničke karakteristike.

1. UVOD

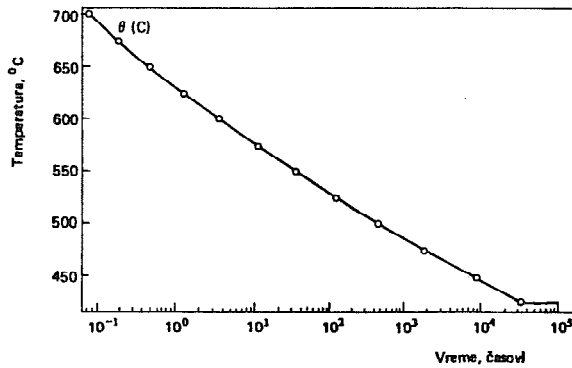
Pri dimenzionisanju mašinskih delova, jedan od glavnih problema s kojim se susreće konstruktor je izbor materijala. Pravilan izbor materijala pre svega zavisi od toga da li su dobro postavljeni kriterijumi za odabir materijala za konkretne eksploatacione uslove. U tom cilju potrebno je definisati graničnu temperaturu ispod koje su značajne zatezne karakteristike (napon na granici tečenja, zatezna čvrstoća itd) određene pri kratkotrajnim ispitivanjima, za razliku od karakteristika puzanja određenih pri dugotrajnim ispitivanjima i koje su značajne pri temperaturama višim od granične. Pri ovim temperaturama, od značaja je i definisanje kriterijuma za izbor materijala u uslovima ograničenog puzanja ili relaksacije. Mada postoji velika sličnost između procesa puzanja i relaksacije, različiti materijali mogu pokazivati značajne razlike između otpornosti prema puzanju i prema relaksaciji. Pri analizi potencijalnih materijala za eksploataciju pri radnim temperaturama višim od graničnih, pored karakteristika puzanja, potrebno je sagledati kako koncentracija napona utiče na karakteristike puzanja. U zavisnosti od materijala i vremena eksploatacije različiti izvori koncentracije

* mr Vesna Laćarac, Mašinski fakultet, Beograd

napona mogu delovati kako u smislu povećavanja tako i u smislu smanjivanja karakteristika puzanja.

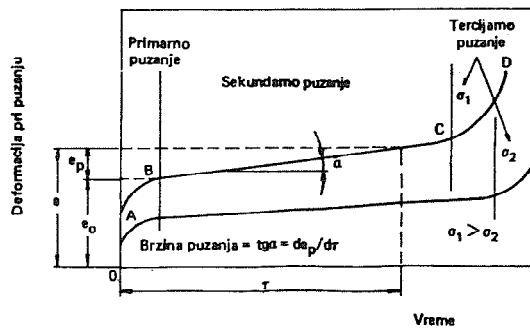
2. KRITERIJUMI ZA IZBOR MATERIJALA U USLOVIMA PUZANJA

Dobro je poznato da granična temperatura iznad koje je proces puzanja od značaja za konstruktora zavisi pre svega od materijala. Ilustracija zavisnosti granične temperature od vremena u kome puzanje može da se zanemari za austenitni niskougljenični čelik 18Cr-10Ni prikazana je na slici 1 [1].



Slika 1. Odnos između temperature i vremena u kome puzanje može da se zanemari za austenitni niskougljenični čelik 18Cr-10Ni

Ukoliko je eksploataciona temperatura viša od pomenute granične temperature, karakteristike puzanja postaju relevantne za izbor materijala. Karakteristike puzanja se najčešće dobijaju ispitivanjem pri konstantnom opterećenju i temperaturi i to za slučaj jednoosnog naponskog stanja. Osnovna kriva puzanja u sistemu deformacija-vreme prikazana je na slici 2.



Slika 2. Šematski prikaz idealizovanih krivih puzanja

Na osnovu ove krive mogu se odrediti sledeće važne karakteristike sa gledišta izbora materijala: minimalna brzina puzanja, uslovna granica puzanja, trajna statička čvrstoća,

jedinično izduženje u trenutku loma (ϵ_R). Koja je od pomenutih karakteristika značajna za izbor materijala, zavisi od vrste mašinskog sklopa i od mogućnosti da se mašinski deo deformiše u uskim ili širokom granicama, bez narušavanja funkcionalnosti razmatranog mašinskog sklopa. Tako npr. za izbor materijala lopatica parnih i gasnih turbina merodavna je minimalna brzina puzanja i uslovna granica puzanja, dok je za parovode merodavna trajna statička čvrstoća i jedinično izduženja u trenutku loma. S druge strane, tokom puzanja dolazi do promene mehaničkih karakteristika materijala, on postaje krhiji te može doći do loma i pri vrednosti deformacije koja je znatno ispod dozvoljene. Otuda je prilikom izbora materijala potrebno obratiti pažnju i na rezervu plastičnosti za projektovani deo. Rezerva plastičnosti za dati deo je jednaka:

$$K_p = \epsilon_R / \epsilon_{doz} \quad \text{gde je } \epsilon_{doz} - \text{dozvoljena vrednost deformacije [2].}$$

Tok puzanja se najčešće odvija u tri faze: primarna, sekundarna i tercijarna. U primarnoj fazi brzina puzanja se postepeno smanjuje sve do minimalne, karakteristične za sekundarnu fazu puzanja, da bi u tercijarnoj fazi došlo do rastuće brzine puzanja, koja se završava lomom uzorka. Relativni udeo pojedinih faza zavisi od materijala i eksploatacionih uslova i za sada je nemoguće unapred predvideti kraj jedne i početak naredne faze. Kako sekundarna faza puzanja predstavlja najveći procenat veka trajanja pri nivoima napona, karakterističnim za eksploataciju, to je određivanja trajanja ove faze od posebnog interesa.

Pošto se vremena eksploatacije nalaze u granicama od nekoliko desetina hiljada do nekoliko stotina hiljada časova, nepraktično je izvoditi tako dugotrajna ispitivanja u laboratorijskim uslovima. Zbog toga se ekstrapoliraju rezultati ubrzanih ispitivanja procesa puzanja, uz pomoć neke od postojećih parametarskih metoda [3;4]. Izabrani materijal pomoću ovih metoda, može pak, imati nerealno dug (ili kratak) vek trajanja. Naime, mnogi materijali su na radnim temperaturama nestabilni, a efekti te nestabilnosti često ne dolaze do izražaja pri ubrzanim testovima. Ekstrapolacija zasnovana na ovim testovima može dati pogrešnu procenu o ponašanju različitih materijala u realnim uslovima, što opet može dovesti do pogrešnog izbora materijala. Prema tome, jedna od najvećih nepoznanica jeste ekstrapolacija karakteristika puzanja na duge vremenske intervale.

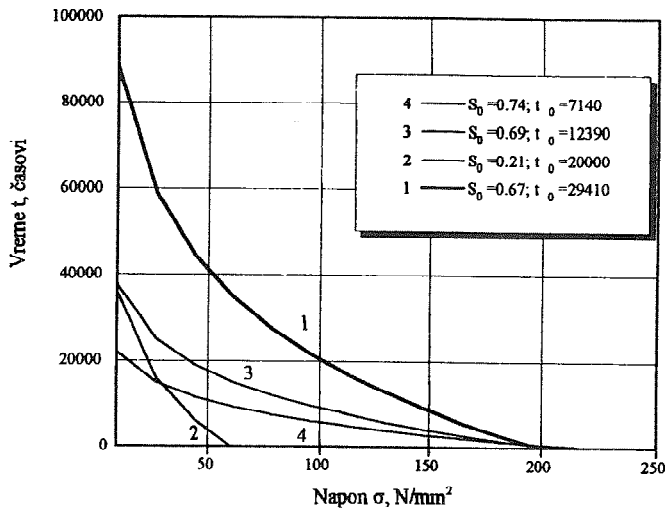
3. KRITERIJUMI ZA IZBOR MATERIJALA U USLOVIMA RELAKSACIJE

Relaksacija predstavlja pojavu postepenog smanjivanja napona u opterećenom uzorku uz uslov konstantne deformacije. Stabilnost materijala u uslovima relaksacije može se okarakterisati vrednošću smanjenja napona u opterećenom uzorku za dati vremenski interval. Međutim, ova vrednost smanjenja napona ne predstavlja na zadovoljavajući način otpornost materijala prema relaksaciji, jer zavisi od početnog napona i temperature. Istraživanja [5;6] su pokazala da je otpornost materijala prema relaksaciji u potpunosti okarakterisana sledećim parametrima:

- relaksaciona stabilnost granica zrna S_0 - predstavlja veličinu smanjenja napona tokom prvog perioda relaksacije koji je posledica relaksacije po granicama zrna,
- relaksaciona stabilnost unutar zrna t_0 i
- vreme tokom kojeg se početni napon smanji do minimalno dozvoljenog napona.

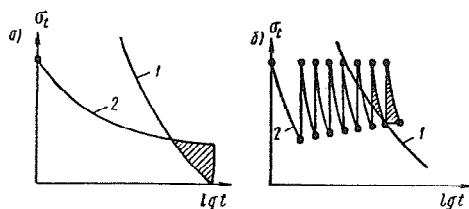
Uticaj relaksacione stabilnosti granica zrna i relaksacione stabilnosti unutar zrna na trenutni nivo napona tokom vremena prikazan je na slici.3. Zapaža se da najveću

stabilnost u uslovima relaksacije ima materijal sa najpovoljnijom kombinacijom vrednosti parametara S_0 i t_0 , označen brojem 1.



Slika 3. Uticaj relaksacione stabilnosti granica zrna i unutar zrna na relaksaciju napona

Pored toga, potrebno je uzeti u obzir vrednost trajne statičke čvrstoće jer i u uslovima relaksacije kao i u uslovima puzanja može doći do loma materijala. Do loma mašinskog dela u uslovima relaksacije može doći u šrafiranoj oblasti, što se vidi na slici 4. Pri jednokratnom opterećivanju bez naknadnog pritezanja, do loma dolazi ukoliko je trenutni napon jednak ili viši od trajne statičke čvrstoće. Slična situacija se javlja i u slučaju višekratnog pritezanja, osim što do loma dolazi u kraćem vremenskom intervalu

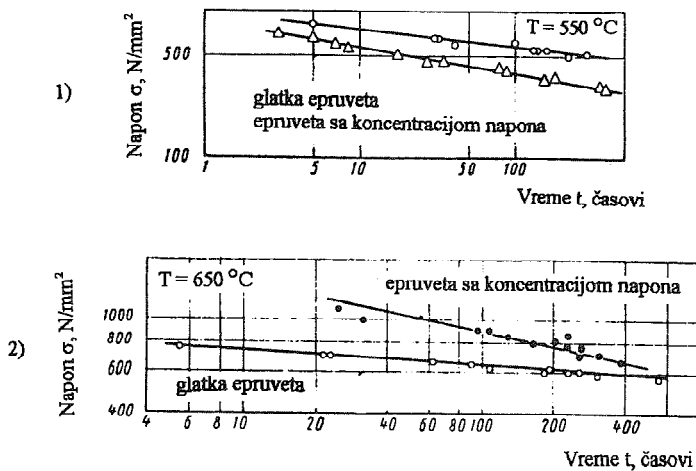


Slika 4. Krive trajne statičke čvrstoće (1) i relaksacije napona (2). Relaksacija napona bez pritezanja (a) i sa višekratnim pritezanjem (b)

Treba imati u vidu da se krive relaksacije napona, u nedostatku eksperimentalnih podataka procesa relaksacije, često proračunavaju na osnovu eksperimentalno dobijenih krivih puzanja. Kako ovaj način dobijanja krivih relaksacije napona predstavlja samo približni postupak, u nekim slučajevima se mogu pojaviti manje ili veće greške u proračunu.

4. UTICAJ KONCENTRACIJE NAPONA NA KARAKTERISTIKE PUZANJA

Za većinu mašinskih delova je karakteristična, u većoj ili manjoj meri izražena, koncentracija napona. Otuda je od značaja razmatranje pojave puzanja u prisustvu izvora koncentracije napona. Uticaj koncentracije napona na karakteristike puzanja zavisi od više faktora: vremena eksploatacije mašinskog dela, nivoa napona i temperature, plastičnih svojstava materijala i geometrije zareza [2]. Za zadato vreme eksploatacije i radnu temperaturu, na bazi dijagrama zavisnosti trajne statičke čvrstoće od vremena za epruvetu sa istim ili geometrijski sličnim zarezom, očitava se trajna statička čvrstoća za različite materijale. Na slici 5. je data promena relativnog odnosa trajne statičke čvrstoće glatke epruvete i epruvete sa zarezom tokom vremena za dva materijala različite plastičnosti.



Slika 5. Zavisnost trajne statičke čvrstoće od vremena ispitivanja do loma

U prvom slučaju, čelik ЭИ 415 ima relativno malu plastičnost (manje od 5 %) i za njega je ovaj relativni odnos uvek veći od 1, dok je u drugom slučaju prikazana legura ЭИ 765 veće plastičnosti za koju je ovaj odnos manji od 1, ali se njegova vrednost tokom vremena približava 1.

Tokom eksploatacije su neizbežne promene opterećenja i temperature npr. zaustavljanje i startovanje postrojenja za redovni remont, te je, pored nabrojanih karakteristika, potrebno poznavanje i nekih fizičkih karakteristika, kao što su temperaturski koeficijent linearnog širenja i termička provodnost. Pošto u ovim nestacionarnim uslovima dolazi do pojave temperaturskih gradijenata pa samim tim i termičkih napona, od značaja je da temperaturski koeficijent linearnog širenja bude što manji, dok je poželjna što veća termička provodnost.

Pomenute promene opterećenja i temperature još više usložnjavaju tokove razaranja u uslovima puzanja, te je zbog toga potrebno primeniti neku od postojećih hipoteza za predviđanje veka trajanja u datim promenljivim uslovima eksploatacije. Detaljna analiza uticaja promene opterećenja i temperature na tok puzanja i vek trajanja data je u radu [7].

5. ZAKLJUČAK

Generalno se može konstatovati da je u cilju smanjivanja odstupanja proračunskog od realnog veka trajanja poželjno: ispitivati epruvete sa realnom geometrijom zarezata i delove koji rade u uslovima relaksacije dimenzionisati na osnovu eksperimentalnih ispitivanja procesa relaksacije napona. Dosadašnja saznanja su još uvek nedovoljna za pouzdan izbor materijala na osnovu karakteristika puzanja i relaksacije napona, te su neophodna dalja istraživanja ovih problema. Potrebno je napomenuti da su razmatrani samo neki od velikog broja faktora koji utiču na izbor materijala u uslovima puzanja. Značajni faktori npr. složeno naponsko stanje, apsolutne dimenzije mašinskog dela i okolina, nisu ni u kom slučaju od manjeg značaja ali nisu razmatrani jer bi to prevazilazilo okvire prostornog ograničenja ovog rada.

6. LITERATURA

- [1] Nedeljković, Lj., "Čelici za sudove pod pritiskom i cevovode", II međunarodna letnja škola Mehanike loma, monografija, Velika Plana, 1982, 117 - 150
- [2] Одинг, И. А., Теория ползучести и длительной прочности металлов, Москва, 1959
- [3] Evans, R.W., Wilshire, B., "The θ projection concept for creep life prediction", in Numerical Methods in Fracture Mechanics, Swansea, 1984, 547- 557
- [4] Greenfield, P., Creep of Metals at High Temperatures, Mills and Boon Limited, London, 1972
- [5] Гинцбург, Я. С., Релаксация напряжений в металлах, Машгиз, 1957
- [6] Гинцбург, Я. С., Ограниченная ползучесть деталей машин, Машиностроение, 1968
- [7] Laćarac, V., Tokovi razaranja i vek trajanja mašinskih delova izloženih puzanju pri stepenastoj promeni opterećenja, Magistarska teza, Beograd, 1994

V. Laćarac,

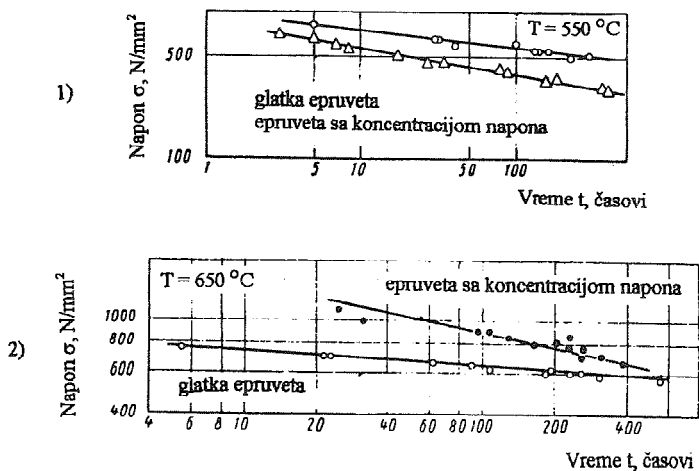
CREEP AS A CRITERION FOR THE MATERIAL CHOICE

Summary

Calculation of most mechanical parts which, during exploitation, are subject to temperatures at which creep becomes important, is based on two basic mechanical characteristics: creep limit and stress rupture. However, in the course of creep, material becomes more brittle, the ductility decreases, so in some cases a rupture of material can happen in spite of the fact that the strain is lower than permitted. Besides that, stress concentration, varying load and temperature, as well as temperature gradients are typical for mechanical parts in the course of exploitation. In this paper, the choice of material has been discussed, taking into account the influence of mentioned factors on mechanical characteristics.

4. UTICAJ KONCENTRACIJE NAPONA NA KARAKTERISTIKE PUZANJA

Za većinu mašinskih delova je karakteristična, u većoj ili manjoj meri izražena, koncentracija napona. Otuda je od značaja razmatranje pojave puzanja u prisustvu izvora koncentracije napona. Uticaj koncentracije napona na karakteristike puzanja zavisi od više faktora: vremena eksploatacije mašinskog dela, nivoa napona i temperature, plastičnih svojstava materijala i geometrije zareza [2]. Za zadato vreme eksploatacije i radnu temperaturu, na bazi dijagrama zavisnosti trajne statičke čvrstoće od vremena za epruvetu sa istim ili gemetrijski sličnim zarezom, očitava se trajna statička čvrstoća za različite materijale. Na slici 5. je data promena relativnog odnosa trajne statičke čvrstoće glatke epruvete i epruvete sa zarezom tokom vremena za dva materijala različite plastičnosti.



Slika 5. Zavisnost trajne statičke čvrstoće od vremena ispitivanja do loma

U prvom slučaju, čelik ЭИ 415 ima relativno malu plastičnost (manje od 5 %) i za njega je ovaj relativni odnos uvek veći od 1, dok je u drugom slučaju prikazana legura ЭИ 765 veće plastičnosti za koju je ovaj odnos manji od 1, ali se njegova vrednost tokom vremena približava 1.

Tokom eksploatacije su neizbežne promene opterećenja i temperature npr. zaustavljanje i startovanje postrojenja za redovni remont, te je, pored nabrojanih karakteristika, potrebno poznavanje i nekih fizičkih karakteristika, kao što su temperaturski koeficijent linearnog širenja i termička provodnost. Pošto u ovim nestacionarnim uslovima dolazi do pojave temperaturskih gradijenata pa samim tim i termičkih napona, od značaja je da temperaturski koeficijent linearnog širenja bude što manji, dok je poželjna što veća termička provodnost.

Pomenute promene opterećenja i temperature još više usložnjavaju tokove razaranja u uslovima puzanja, te je zbog toga potrebno primeniti neku od postojećih hipoteza za predviđanje veka trajanja u datim promenljivim uslovima eksploatacije. Detaljna analiza uticaja promene opterećenja i temperature na tok puzanja i vek trajanja data je u radu [7].

5. ZAKLJUČAK

Generalno se može konstatovati da je u cilju smanjivanja odstupanja proračunskog od realnog veka trajanja poželjno: ispitivati epruvete sa realnom geometrijom zareza i delove koji rade u uslovima relaksacije dimenzionisati na osnovu eksperimentalnih ispitivanja procesa relaksacije napona. Dosadašnja saznanja su još uvek nedovoljna za pouzdan izbor materijala na osnovu karakteristika puzanja i relaksacije napona, te su neophodna dalja istraživanja ovih problema. Potrebno je napomenuti da su razmatrani samo neki od velikog broja faktora koji utiču na izbor materijala u uslovima puzanja. Značajni faktori npr. složeno naponsko stanje, apsolutne dimenzije mašinskog dela i okolina, nisu ni u kom slučaju od manjeg značaja ali nisu razmatrani jer bi to prevazilazilo okvire prostornog ograničenja ovog rada.

6. LITERATURA

- [1] Nedeljković, Lj., "Čelici za sudove pod pritiskom i cevovode", II međunarodna letnja škola Mehanike loma, monografija, Velika Plana, 1982, 117 - 150
- [2] Одинг, И. А., Теория ползучести и длительной прочности металлов, Москва, 1959
- [3] Evans, R.W., Wilshire, B., "The θ projection concept for creep life prediction", in Numerical Methods in Fracture Mechanics, Swansea, 1984, 547- 557
- [4] Greenfield, P., Creep of Metals at High Temperatures, Mills and Boon Limited, London, 1972
- [5] Гинцбург, Я. С., Релаксация напряжений в металлах, Машгиз, 1957
- [6] Гинцбург, Я.С., Ограниченная ползучесть деталей машин, Машиностроение, 1968
- [7] Laćarac, V., Tokovi razaranja i vek trajanja mainskih delova izloženih puzanju pri stepenastoj promeni opterećenja, Magistarska teza, Beograd, 1994

V. Laćarac,

CREEP AS A CRITERION FOR THE MATERIAL CHOICE

Summary

Calculation of most mechanical parts which, during exploitation, are subject to temperatures at which creep becomes important, is based on two basic mechanical characteristics: creep limit and stress rupture. However, in the course of creep, material becomes more brittle, the ductility decreases, so in some cases a rupture of material can happen in spite of the fact that the strain is lower than permitted. Besides that, stress concentration, varying load and temperature, as well as temperature gradients are typical for mechanical parts in the course of exploitation. In this paper, the choice of material has been discussed, taking into account the influence of mentioned factors on mechanical characteristics.

M. Novović, L. Šidanin*

UTICAJ MIKROSTRUKTURE NA MEHANIZME LOMA ADI MATERIJALA

Rezime

U radu su prikazani rezultati ispitivanja uticaja mikrostrukture na mehanizme loma izotermno poboljšanog silicijumskog i aluminijumskog nodularnog liva. Izotermnom transformacijom do 3 h na 400°C za Al NL i 1 h na 350°C za Si NL, dobija se tipična ADI mikrostruktura. Povećanjem vremena izotermne transformacije na 2 h pri 350°C za Si NL i više od 3 h pri 400°C za Al NL dolazi do izlučivanja karbida u bainitnom feritu. Pri transformaciji na 300°C, u oba liva nakon 1 h, takođe su identifikovani karbidi u bainitnom feritu. Veća količina ovih karbida prouzrokuje mešoviti karakter loma. Daljim povećanjem vremena transformacije nastaje izlučivanje karbida na graničnoj površini ferit/austenit, koji uslovljavaju pojavu pretežno krtoq loma.

1. UVOD

Bainitni nodularni liv, odnosno ADI (Austempered Ductile Iron) je materijal koji se u toku poslednjih nekoliko godina intenzivno izučava [1-6]. Izvanredna kombinacija čvrstoće i duktilnosti ili čvrstoće i otpornosti na habanje, posledica je razlika u tipu i količini mikrokonstituenata, koje nastaju promenom hemijskog sastava i parametara procesa izotermne transformacije. Od hemijskog sastava i parametara termičkog tretmana, naime, zavisi formiranje gornjeg/donjeg bainita, količina zadržanog austenita, pojava martenzita i prisustvo karbida, a ove veličine utiču na mehaničke osobine liva.

Konvencionalni ADI materijal sadrži oko 3% silicijuma. To je silicijumski nodularni liv (Si NL). Silicijum je izrazito grafitotvorni element, odnosno element koji sprečava izlučivanje karbida. U poslednje vreme, međutim, postoji sve veće interesovanje za liv u kome je silicijum zamenjen aluminijumom (Al NL). Aluminijum se u livu ponaša slično silicijumu. Rastvorljiv je u austenitu i feritu, sužava austenitno područje i povećava eutektoidnu temperaturu. Kao i silicijum, i aluminijum potpomaže

* Milorad Novović, ass., Dr Leposava Šidanin, vanr. prof., FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, V. Perića Valtera 2, 21000 Novi Sad

stvaranje lamelnog grafitu u toku eutektičkog očvršćavanja, a stabilizuje perlit u toku eutektoidne transformacije [5].

2. EKSPERIMENTALNI RAD

Za ispitivanje su korišćeni silicijumski (Si NL) i aluminijumski (Al NL) nodularni liv sastava prikazanog u tabeli:

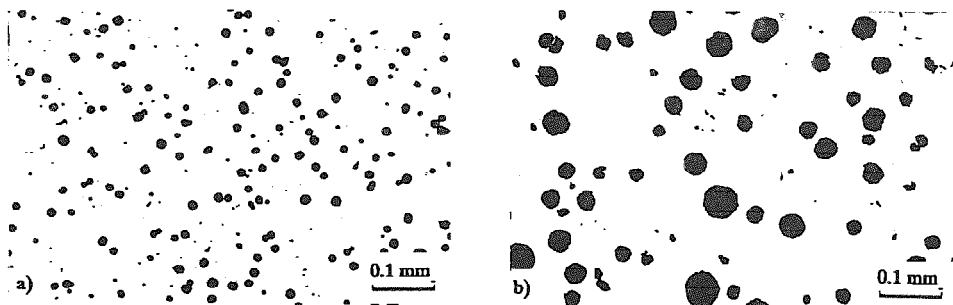
materijal	element	C	Si	Al	Mn	P	S	Ni	Sn	Mg
Si NL	%	3.8	2.9	-	0.08	0.02	0.006	-	-	0.032
Al NL	%	3.2	0.3	2.2	0.01	0.02	0.01	0.65	0.15	0.045

Termički tretman uzoraka sastojao se iz austenitizacije na 900 i 950°C u trajanju od 1,5 i 2 h i izotermne transformacije na temperaturama od 250-400°C u trajanju od 5 min do 5 sati.

Morfologija i karakterizacija mikrostrukture određivani su primenom različitih metalografskih tehnika. Za svetlosnu mikroskopiju (SM), uz konvencionalnu pripremu uzoraka, korišćen je Leitz-ov mikroskop, transmisiona elektronska mikroskopija (TEM), uz posebnu pripremu uzoraka [1], izvedena je na JEOL 4000 FX, a skening elektronska mikroskopija na JEOL JSM 35 elektronskom mikroskopu.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

U svim ispitivanim uzorcima, oblik, veličina i raspored grafitnih nodula su ujednačeni. Step en sferoidizacije nodula je veći od 90%. Prosečna veličina nodula u Al NL (20 μm) je manja u odnosu na Si NL (35 μm), dok je prosečna gustina nodula u Al NL (300 mm^{-2}) veća nego u Si NL (150 mm^{-2}), slika 1a,b.

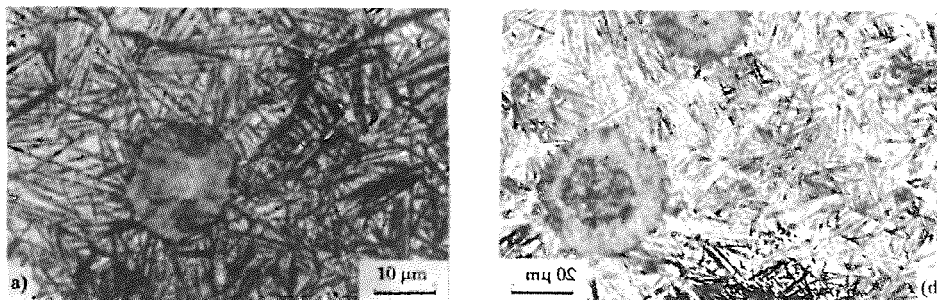


Sl.1 Oblik, veličina i raspored grafitnih nodula: a) Al NL, b) Si NL, (SM)

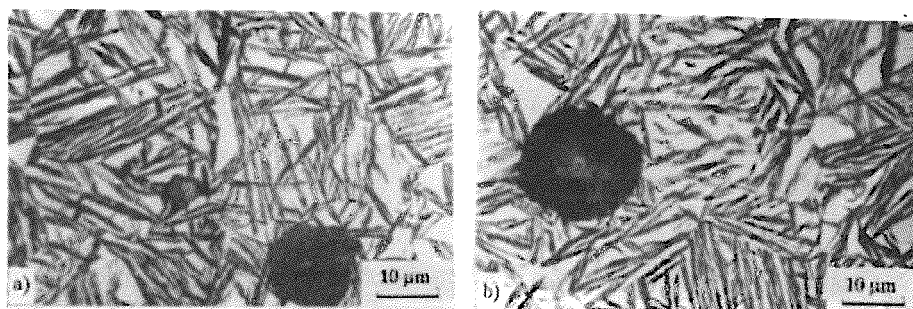
Morfologija mikrostrukture posle izotermne transformacije zavisi od temperature transformacije. Transformacijom na temperaturama do 350°C, kod oba liva se dobija mikrostruktura sastavljena iz acirkularnog bainitnog ferita i stabilnog, ugljenikom obogaćenog zadržanog austenita, slika 2a,b.

Transformacijom na 400°C, morfologija mikrostrukture se menja. Bainitni ferit i zadržani austenit pri ovoj temperaturi transformacije imaju pločast oblik, slika 3a,b.

Ispitivanja svetlosnim mikroskopom pokazuju da u morfologiji bainitnog ferita i zadržanog austenita u Al NL i Si NL, nema suštinske razlike (slika 2a,b). Na osnovu svetlosne mikroskopije može se takođe konstatovati, da je uticaj vremena izotermne transformacije na morfologiju mikrostrukture zanemarljiv (slika 3a,b).



Sl.2: a) mikrostruktura Al NL pri 300°C/1h; b) mikrostruktura Si NL pri 350°C/1h; (SM)



Sl.3 Mikrostruktura Al NL transformisanog na 400°C u trajanju od: a) 1h; b) 5h; (SM)

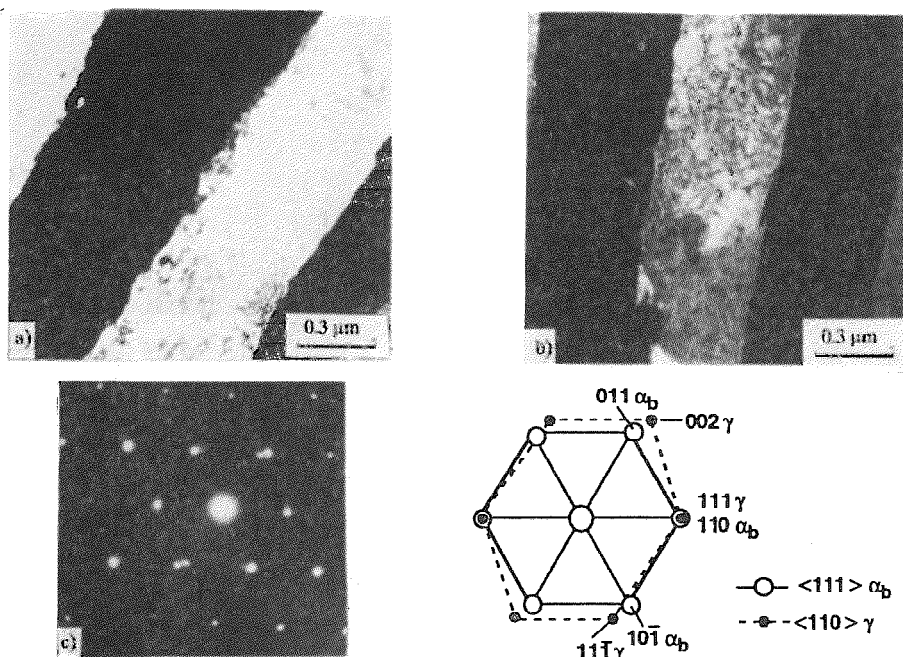
Razlike u morfologiji mikrostrukture uzoraka transformisanih na različitim temperaturama (do 350°C i na 400°C), gube se pri ispitivanju transmisionim elektronskim mikroskopom. Naime, TEM pokazuje da nezavisno od temperature izotermne transformacije, bainitni ferit i zadržani austenit imaju pločast oblik.

Tipična ADI mikrostruktura, sastavljena iz bainitnog ferita bez karbida i stabilnog, ugljenikom obogaćenog zadržanog austenita, dobijena je u Al NL transformisanom na 400°C u trajanju do 3 h i u Si NL transformisanom na 350°C u trajanju od 1 h, slika 4a,b. Kod oba liva postoji ista, Kurdjumov-Sachs orijentacija $\langle 110 \rangle \gamma \parallel \langle 111 \rangle \alpha$, slika 4c.

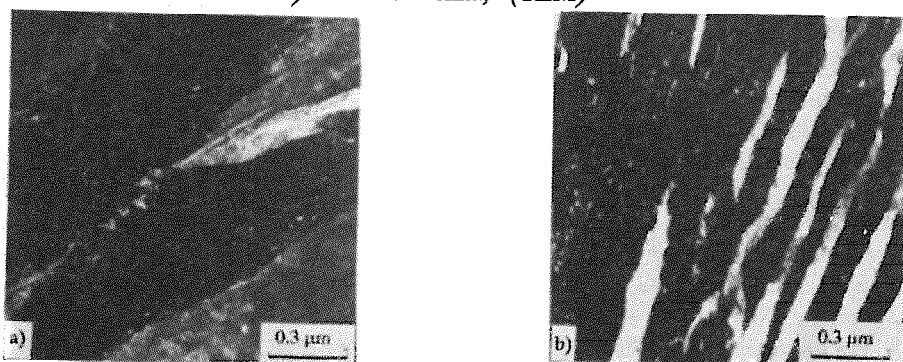
Promenom uslova termičke obrade menja se i mikrostruktura, jer je kod svih ostalih termičkih tretmana u mikrostrukturi otkriveno prisustvo karbida. Povećanje vremena transformacije Al NL na više od 3 h, i Si NL na 2 h, prouzrokuje pojavu karbida u bainitnom feritu, koji nastaju izlučivanjem iz bainitnog ferita koji je prezasićen ugljenikom, slika 5a.

Daljim povećanjem vremena transformacije na 4 i više sati u Al NL, i više od 3 sata u Si NL, nastaje izlučivanje karbida na graničnoj površini bainitni ferit/zadržani austenit. Ovi karbidi se dobijaju razlaganjem ugljenikom obogaćenog zadržanog austenita, slika 6.

Pri transformaciji na 300°C nakon 1 h u oba liva, takođe su identifikovani karbidi u bainitnom feritu, slika 5b. Povećanjem vremena transformacije na više od 3 h za Si NL i 5 h za Al NL, ponovo se, usled razlaganja zadržanog austenita, na graničnoj površini bainitni ferit/zadržani austenit izlučuju karbidi.



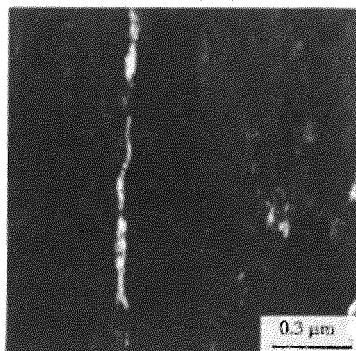
Sl.4: a) mikrostruktura Al NL pri 400°C/1h; b) mikrostruktura Si NL pri 350°C/1h; c) difrakciona slika; (TEM)



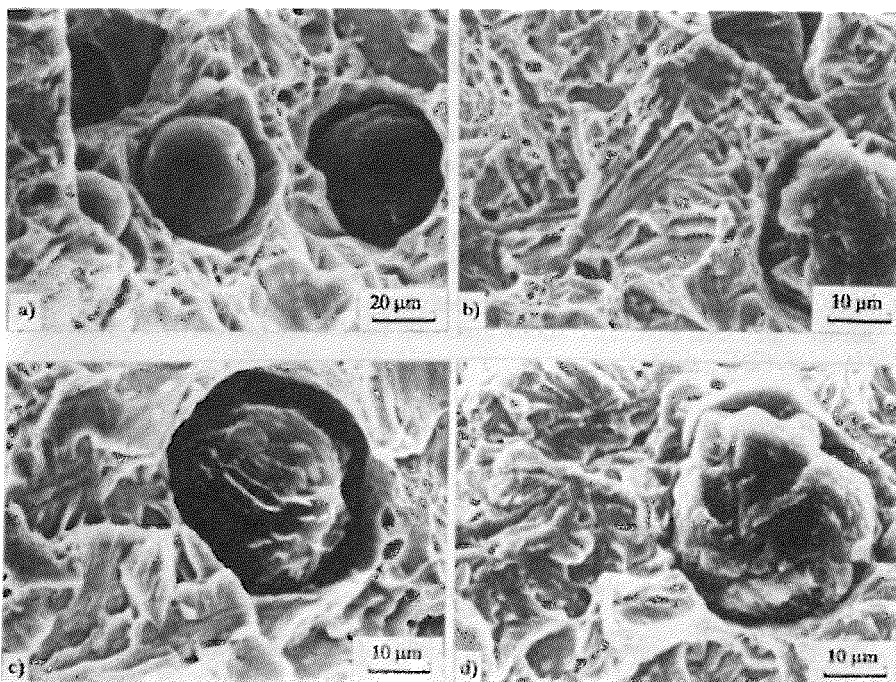
Sl.5: a) mikrostruktura Si NL pri 350°C/2h; b) mikrostruktura Al NL pri 300°C/1h; (TEM)

Pri transformaciji na 250°C, već nakon 1 h, u mikrostrukturi su prisutni karbidi tipa cementita-Fe₃C.

Prisutnost i količinski odnosi pojedinih mikrokonstituenata u mikrostrukturi izotermno poboljšanog liva utiču na morfologiju loma. Uzorci sa tipičnom ADI mikrostrukturuom (bainitni ferit bez karbida i zadržani austenit) pokazuju potpuno duktilan prelom, slika 7a. Karbidi izlučeni unutar bainitnog ferita ne utiču bitno na promenu karaktera preloma, naročito pri transformaciji na 400°C. Karbidi izlučeni na graničnoj površini, međutim, smanjuju duktilnost i menjaju karakter loma, slika 7b-d.



Sl.6 Mikrostruktura Al NL transformisanog na 400°C u trajanju od 5 h (TEM)



Sl.7 Morfologija loma Al NL: a) 400°C/1h; b) 400°C/5h; c) 300°C/3h; d) 300°C/5h; (SEM)

4. ZAKLJUČAK

Tipična ADI mikrostruktura sastavljena iz bainitnog ferita bez karbida i stabilnog, ugljenikom obogaćenog zadržanog austenita, može se dobiti i u aluminijumskom i u silicijumskom nodularnom livu; u Al NL pri transformaciji na 400°C u trajanju do 3 h, a u Si NL pri transformaciji na 350°C u trajanju od 1 h. Kod ostalih termičkih tretmana dolazi do izlučivanja karbida. Mesto njihovog izlučivanja zavisi od temperature i vremena izotermne transformacije.

Dobijene mikrostrukture utiču na mehaničke osobine i karakter površine preloma. Morfologija uzoraka sa tipičnom ADI mikrostrukturom je potpuno duktilna. Prisustvo karbida u bainitnom feritu ne menja tu morfologiju. Lom je i dalje duktilan, pošto plastična deformacija na vrhu prsline može neometano da prelazi iz ferita i austenit. Međutim, prisustvo karbida na graničnoj površini bainitni ferit/zadržani austenit ograničava plastičnu zonu na jednu pločicu ferita ili astenita, drastično je smanjujući, pa lom postaje krt.

5. LITERATURA

- [1] ŠIĐANIN, L., SMALLMAN, R. E.: **Metallography of Bainite Transformation in Austempered Ductile Iron**, *Materials Science and Technology*, 1992, p. 1095-1103.
- [2] ŠIĐANIN, L., SMALLMAN, R. E., BOUTORABI, S. M.: **Electron Microstructure and Fracture of Aluminium Austempered Ductile Iron**, *Materials Science and Technology*, in press.
- [3] ŠIĐANIN, L., NOVOVIĆ, M.: **Mikrostruktura i osobine bainitnog nodularnog liva-ADI materijala**, *Zbornik radova, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije*, N. Sad, 25-30.
- [4] ŠIĐANIN, L., NOVOVIĆ, M.: **Uticaj prelaznih karbida na morfologiju loma ADI materijala**, *Treći simpozijum za elektronsku mikroskopiju Srbije, SEM'92, Niš, 1992*, 64.
- [5] BOUTORABI, S. M., YOUNG, J. M., KONDIĆ, V.: **Structure and Impact Properties of Austempered Spheroidal Graphite Unalloyed Aluminium Cast Iron**, *AFS., Inc., World Conference on ADI, Bloomington, 1991*, p.p. 516-548
- [6] NOVOVIĆ, M., ŠIĐANIN, L.: **The Microstructure and Impact Properties of Aluminium Austempered Cast Iron**, *International Computer Conference microCAD '94, Miskolc, Hungary, 1994*, p.p. 17-22

THE MICRO STRUCTURE INFLUENCE ON ADI FRACTURE MODE

Summary

The micro structure and fracture of unalloyed silicon and aluminum spheroidal graphite cast iron have been compared under austempered conditions. Austempering times up to 3h at 400°C for Al SG and 1h at 350°C for Si SG give a typical ADI micro structure consisting of carbide-free bainitic ferrite and stable, highly carbon enriched, retained austenite. It has an attractive combination of elongation and strength. For longer austempering times (2h at 350°C for Si SG and more than 3h at 400°C for Al SG) transition carbides are precipitated in bainitic ferrite. At 300°C, both for Si SG and Al SG, transition carbides are also precipitated in bainitic ferrite after 1h. Increasing amounts of transition carbide reduce the ductility and produce a mixed fracture mode. For longer austempering times, carbides are precipitated at the ferrite/austenite boundaries leading to a more brittle fracture mode.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

B.Škorić, D.Kakaš, Lj.Mažibrada.*

UTICAJ KOMBINOVANIH PLAZMA SLOJEVA NA TRIBOLOŠKE
FENOMENE KOD KONSTRUKTIVNOG ČELIKA

Rezime

Binarni i ternarni sastav tvrdih prevlaka na bazi TiN i (Ti,Al)N je deponovan sistemom magnetronskog spaterovanja preko plazma nitriranih slojeva. Tribološka ispitivanja u uslovima suvog klizanja su izvršena pomoću specijalno kreiranog uređaja koji je omogućavao kontinualno merenje signifikantnih parametara (koeficijent trenja i kontaktna temperatura) u toku samog procesa. Morfologija zone habanja je ispitivana pomoću LOM mikroskopa, radi dobijanja osnovnih informacija o karakteristici i veličini habanja. Kod konstruktivnog čelika, sa relativno mekanom metalnom osnovom, dobijena su značajna povećanja otpornosti na habanje primenom kompozitnih slojeva.

1. UVOD

Primena tvrdih keramičkih prevlaka radi poboljšanja otpornosti na habanje delova mašina i uređaja je danas svakodnevna industrijska praksa u svetu /1/. U primeni prevlaka zbog smanjenja habanja i trenja, kompozitni površinski slojevi se sve više nameću kao potreba za mnogobrojne slučajeve /2/. Kombinacija visoke tvrdoće, dobre otpornosti na habanje i nizak koeficijent trenja TiN i (Ti,Al)N, čine ih veoma atraktivnim kao tribološke prevlake /3/. U cilju postizanja dobre athezije prevlake za osnovni materijal, pre depozicije tvrde prevlake je izvršeno plazma nitriranje. Cilj ovog rada je karakterizacija triboloških osobina takvih kompozitnih površinskih slojeva na čeliku koji po tehničkim zahtevima u primeni najčešće ima relativno mekanu metalnu osnovu.

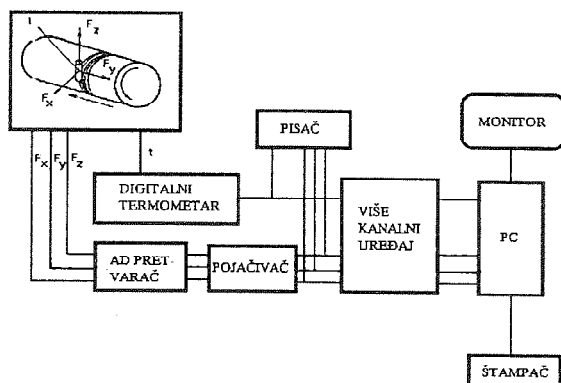
Branko Škorić, dipl.ing., asistent; Dr Damir Kakaš, red.prof.; Ljiljana Mažibrada, dipl.ing., asistent
Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo
21000 Novi Sad, V.Perića Valtera 2.

2. POSTAVKA EKSPERIMENTA

U eksperimentu je za ispitivanje fundamentalnih triboloških osobina korišćen poboljšan i brušen uzorak dimenzija $\varnothing 5 \times 50$ mm. Plazma nitriranje uzorka (konstruktivni čelik Č.4732) je izvršeno na dva načina. Prvi postupak je izvršen u konvencionalnom uređaju za plazma nitriranje a drugi pri niskom pritisku od 5 Pa u istom uređaju u kojem je izvršena plazma depozicija tvrdih prevlaka (magnetranski uređaj Z 700 - LEYBOLD HERAUS sa dve katode i dodatnom anodom).

Plazma nitriranje na niskom pritisku je izvršeno na temperaturi od 450°C , kao i klasično plazma nitriranje, u gasnoj atmosferi argon- N_2 - H_2 u trejanju od 1 časa. Površinska hrapavost, R_a , brušenih uzoraka je bila $0.198 \mu\text{m}$. Proces prevlačenja nije signifikantno promenio površinsku hrapavost, koja je vrlo značajna za procese habanja.

Ispitivanje habanja je izvršeno pomoću specijalno kreiranog uređaja. Karakteristike habanja, koeficijent trenja i kontaktna temperatura su merene sa savremenom opremom za akviziciju i zapisivanje ovih parametara. Na sl.1 je prikazan šema ostvarivanja kontakta i korišćenog tribometrijskog uređaja.



Sl.1 Šematski prikaz tribološkog para i uređaja za habanje.

Za vreme eksperimenta opterećenje je bilo 5 daN a brzina klizanja 80m/min. Debljina deponovanih slojeva je oko $3-4 \mu\text{m}$, a dubina plazma nitriranja $50-100 \mu\text{m}$.

Izmerene vrednosti površinske tvrdoće (Vikersov metod) su prikazane u tabeli T.1.

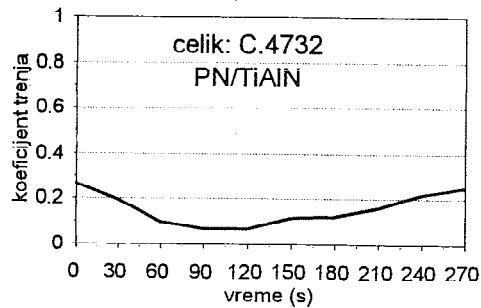
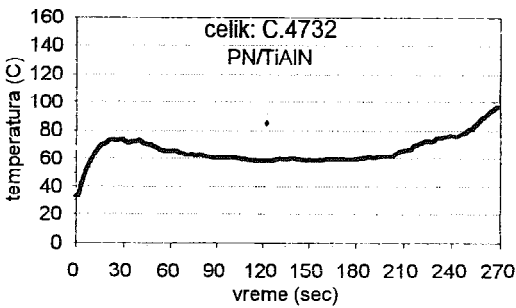
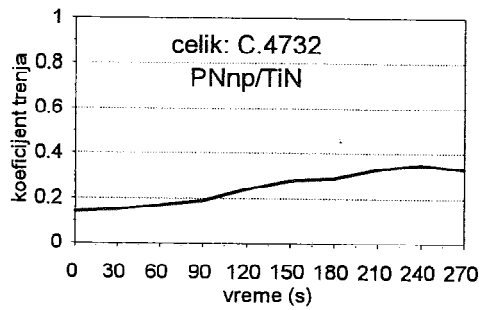
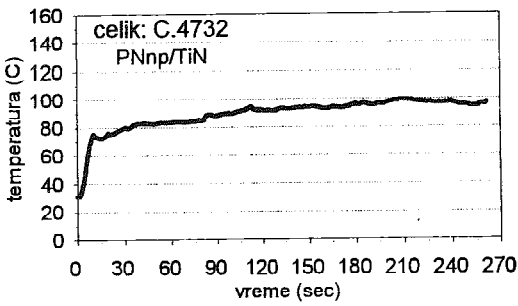
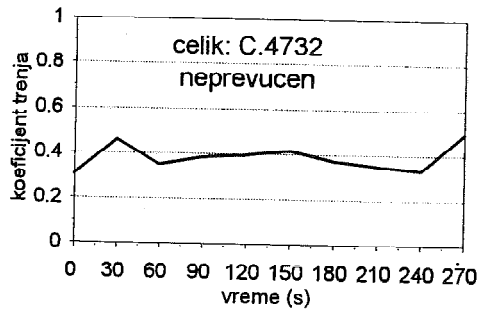
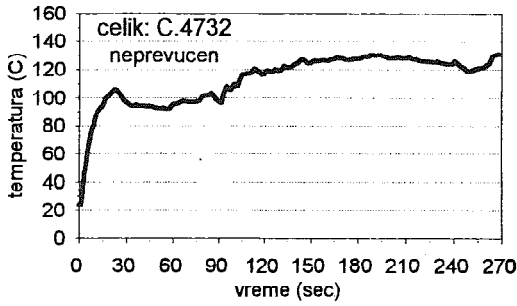
Tabela 1. Tvrdoća uzoraka ($\text{HV}_{0.03}$)

čelik	neprevučen	PN/TiN	PNnp/TiN	PN/TiAlN	PNnp/TiAlN
Č.4732	508	2900	3540	2100	2050

Nakon poboljšavanja, tvrdoća metalne osnove je uobičajena za konstruktivne čelike sa gledišta optimalne žilavosti i dinamičke čvrstoće.

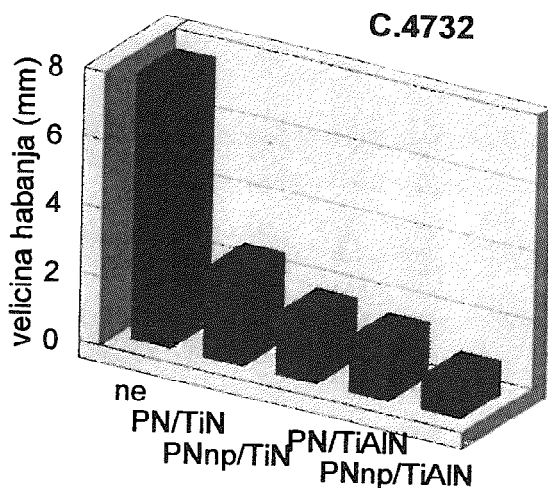
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na slici 2 su prikazane zavisnosti koeficijenta trenja i kontaktne temperature u zavisnosti od dužine trajanja klizanja za neprevučeni i uzorke sa kompozitnim slojevima.



Sl.2 Koeficijent trenja i kontaktna temperatura u zavisnosti od trajanja klizanja.

Rezultati merenja širine zone otiska na kraju procesa habanja u zavisnosti od vrste površinskog sloja su prikazani na slici 3.



Sl.3 Uticaj površinskog sloja na širinu zone habanja.

Ekperimentalna istraživanja su pokazala da površinski slojevi imaju različite koeficijente trenja i da se primenom kompozitnih slojeva mogu značajno smanjiti. Merenja temperature u kontaktnoj zoni pokazuju niže vrednosti kod primene prevlaka na bazi (Ti,Al)N. Primena prethodnog plazma nitriranja je posebno značajna kod ovog tipa čelika jer povećanje tvrdoće metalne osnove smanjuje efekte lokalne deformacije kombinovanog tvrdog sloja, jer je ostvaren povoljan gradijent tvrdoće po preseku, i time povećana otpornost na habanje.

Sva izvršena ispitivanja su pokazala da su koeficijent trenja i kontaktna temperatura niži kod uzoraka sa deponovanim prevlakama nego kod neprevučenog uzorka.

Interesantno je da su uzorci sa spoljašnjim slojem od TiN imali znatno veću tvrdoću od uzoraka sa (Ti,Al)N slojem a da su pokazali lošija tribološka svojstva. Ovo se može objasniti nešto većom debljinom TiN sloja ali i boljim kvalitetom sloja od (Ti,Al)N.

Formiranje difuzionog sloja ispod tvrde prevlake je znatno uticalo na poboljšanje triboloških karakteristika (povećanje adhezije prevlake, povećanje tvrdoće, smanjenje koeficijenta trenja, smanjenje temperature u zoni kontakta i povećanja otpornosti na habanje).

Smanjenje temperature u zoni kontakta se može objasniti manjom termalnom difuzivnošću sloja (Ti,Al)N.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata eksperimentalnog istraživanja može se zaključiti da se stvaranjem optimalnih parametara kvaliteta kontaktnih površina primenom plazma tehnologije za izradu kompozitnih slojeva bitno povećava otpornost na habanje kod konstruktivnog čelika.

Povećanje difuzije pri plazma nitriranju na niskom pritisku i zamena zone jedinjenja nitriranog čelika sa tvrdom prevlakom iznad difuzione zone, ima velik uticaj na povećanje adhezije prevlake i smanjenje kontaktne temperature i koeficijenta trenja u toku procesa habanja.

5. LITERATURA

1. J.A.SUE AND H.H TRUE: Friction and wear properties of titanium nitride coating in sliding contact with AISI 01 steel, *Surface and Coating Technology*, 1990 (44/45), 709.
2. O.KNOTEK, F.LOFFLER AND G.KRAMER: Multicomponent and multilayer physical vapour deposited coatings for cutting tools, *Surface and Coating Technology*, 1992 (54/55), 241.
3. A.ERDEMIR: Rolling-contact fatigue and wear resistance of hard coating on bearing steel substrates, *Surface and Coating*

B.Škorić, D.Kakaš, Lj.Mažibrada

INFLUENCE OF COMPOSITE PLASMA SURFACE LAYERS ON TRIBOLOGICAL PHENOMENA OF HARDENABLE ALLOY STEEL

Summary

Binary and ternary compound of TiN and (Ti,Al)N was deposited over plasma nitrated layers using a magnetron sputtering system. Tribological behavior under dry-sliding conditions was evaluated using a specially designed testing device with continual acquisition and processing of significant process parameters (friction coefficient and contact temperature) during sliding. The wear zone morphology and surface layer properties were investigated by a LOM microscope. The conclusion is that composite plasma layers have influence on the possibility of improving the wear resistance of hardenable alloy steel with a relatively low hardness.

OPTIMIZACIJA

Modeli sistema i procesa
Upravljanje obradnim sistemima
Simulacije

OPTIMIZATION

System and Process Models
Manufacturing Control
Simulations



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Z. Arsovski, S. Arsovski, Z. Mirović *

RAZVOJ SISTEMA ZA ODLUČIVANJE PRI PROJEKTOVANJU CIM - a

Rezime

U radu su, pored osnova sistema za podršku odlučivanju dati osnovni CIM model preduzeća i osnove novog pristupa razvoju DSS pomoću proširenih Petrijevih mreža. Za prvi modul koji se odnosi na CIM strategiju prikazan je model odlučivanja o ciljevima CIM sistema.

1. UVOD

DSS (Decision Support Systems - sistemi za podršku odlučivanju) predstavljaju specifičnu oblast ekspertnih sistema. Osnovni postulati koji se koriste pri projektovanju ekspertnih sistema važe i za DSS. Međutim, DSS poseduju i niz specifičnih odlika, od kojih se posebno izdvajaju vremenska dimenzija podataka i znanja i to u pogledu njihove kvalitativne i kvantitativne neodređenosti, nekompletnosti i neizvesnosti koja prati donošenje odluka.

Za svaku pojedinačnu oblast istraživanja mogu se razviti specifični DSS. Zbog sve većeg značaja uvođenja CIM sistema u domaću industriju, sa jedne strane, i još nedovoljnih znanja korisnika, sa druge strane, u okviru projekta "Razvoj CIM sistema sa aspekta povećanja fleksibilnosti i produktivnosti industrije", započet je razvoj DSS za podršku odlučivanju pri projektovanju CIM sistema.

U radu su dati osnovni CIM model preduzeća i osnove razvoja DSS pomoću proširenih Petrijevih mreža. Posebno su prikazani rezultati istraživanja koji se odnose na razvoj CIM strategije i odlučivanje o ciljevima CIM sistema.

* Mr Zora Arsovski, dipl. inž., viši predavač, Viša tehnička škola, smer za informatiku, 34000 Kragujevac, Trg topolivaca, br.14
Prof Dr Slavko Arsovski, dipl. inž., Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac, Sestre Janjić br. 6
Zoran Mirović, dipl. inž., samostalni istraživač, Fabrika kamiiona, 34000 Kragujevac, Trg topolivaca, br. 4

2. STRUKTURA DSS

DSS se sastoji iz baze podataka, baze znanja (skupa pravila za odlučivanje) i interpretera pravila.

Baza znanja sadrži:

- znanja koja se mogu jednostavno menjati dodavanjem, brisanjem ili generisanjem metodom "učenja",
- raznovrsna i veoma kompleksna znanja o objektima odlučivanja i pridruženim alatima,
- znanja prikazana u deklarativnoj ili proceduralnoj formi,
- znanja razdeljena u manje ili više stratifikovane module,
- znanja o znanju ili meta znanja.

Najjednostavniji prikaz znaja je preko skupa pravila iskazanih u obliku:

uslov < odluka >

Znanja poseduju hijerarhijsku strukturu i mogu se prikazati u obliku stabla ili mreže.

Interpreter pravila omogućuje korišćenje znanja iz baze znanja izborom odgovarajućih pravila i njihovim uključivanjem u određenom redosledu. Drugim rečima njegov zadatak je da reši problem pretraživanja pravila i njihovog povezivanja.

Razvoj DSS može se podeliti u tri osnovne faze i to:

- izrada osnovnog prototipa,
- izrada proširenog prototipa i
- izrada, instaliranje i održavanje softvera (komercijalnog DSS).

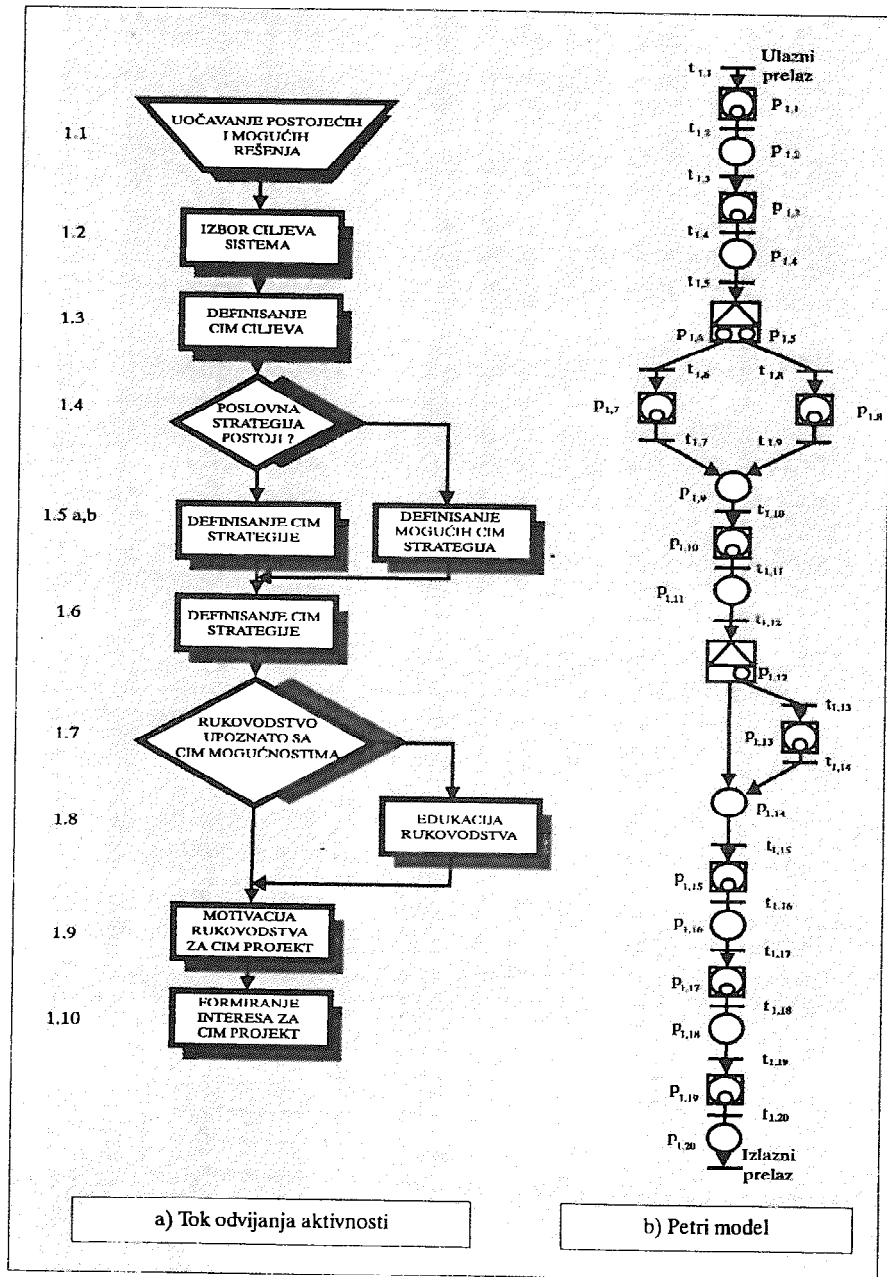
3. FAZE PRI PROJEKTOVANJU CIM SISTEMA

Osnovna struktura CIM sistema može se predstaviti različitim modelima. Prema Thacker - ovom modelu CIM sistem sastoji se iz jezgra integracije, koje obuhvata zajedničku bazu podataka, sistem zaštite baze podataka i zajedničke funkcije, i osnovnih podsistema CIM sistema, koji se mogu grupisati u CAE, PPC, CIM izrada i CIM marketing i CIM logistika.

Prema [1] proces projektovanja CIM sistema može se podeliti u pet faza i to:

1. određivanje CIM strategije,
2. priprema CIM aktivnosti,
3. izrada plana i programa razvoja CIM sistema,
4. razvoj CIM sistema (razvoj CIM modula i njihova integracija) i
5. implementacija CIM sistema.

Predmet ovog rada je prva faza koja sadrži veći broj procesa, koji se odvijaju u određenom redosledu. Svaki proces (podfaza) modelirana je pomoću Petrijevih mreža u vidu podmreža. Na sl. 1 prikazan je tok aktivnosti u prvoj fazi razvoja CIM sistema na osnovu dijagrama toka aktivnosti (a) i odgovarajućeg Petri modela (b).



Sl. 1 Tok aktivnosti u prvoj fazi razvoja CIM sistema

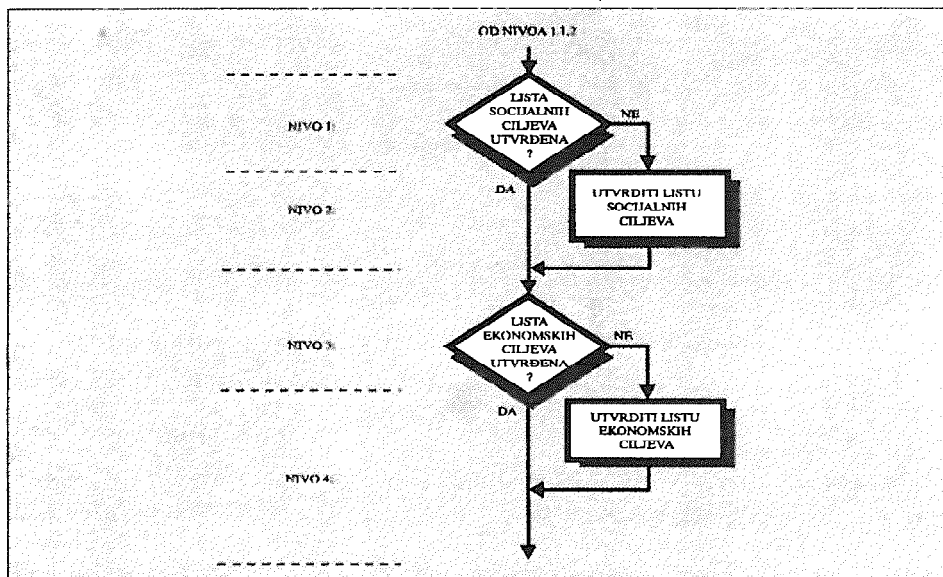
4. OSNOVE DSS ZA RAZVOJ CIM STRATEGIJE

Razvoj ovog modula DSS zasniva se na sledećim postavkama:

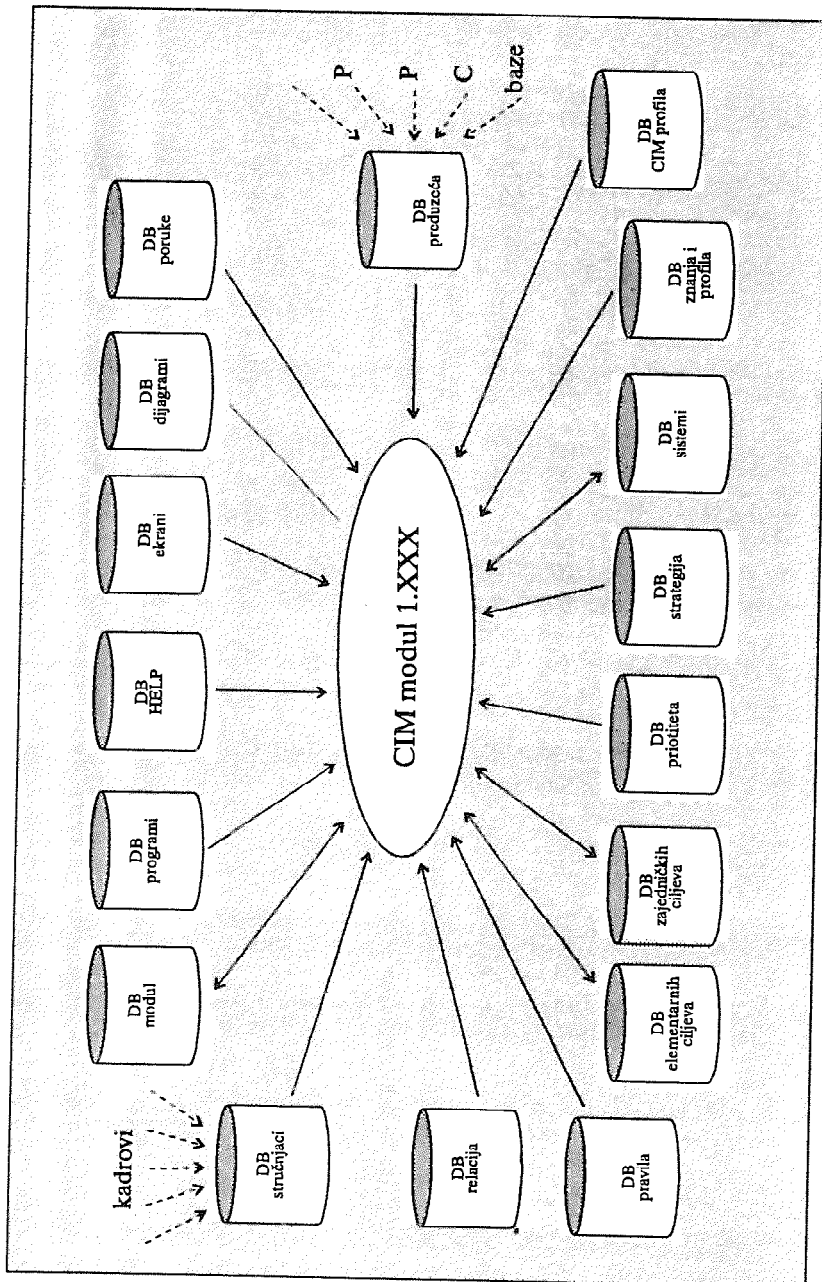
- primenom BSP metode utvrđene su aktivnosti u fazi razvoja CIM strategije, entiteti i atributi kao i odgovarajući dijagram entiteta,
- primenom SDM izvršeno je modeliranje procesa,
- primenom SADT izvršeno je grupisanje aktivnosti u odgovarajuće jedinice (module),
- primenom proširenih Petrijevih mreža (EPN - Extended Petri Nets) izvršeno je modeliranje tokova odlučivanja,
- baze podataka su koncipirane kao relacione baze i mogu se održavati pomoću softvera DSS ili se mogu koristiti postojeće DB za upravljanje poslovnim sistemima,
- baza znanja obuhvata sistematizovana znanja o tehnologiji projektovanja DSS, redosledu odvijanja projektnih aktivnosti, prioritetima pri donošenju odluka, ciljevima i mogućim strategijama.

Razvoj CIM strategije podeljen je u deset modula od kojih je svaki dalje strukturiran u veći broj modula nižeg reda. Predmet ovog rada je segment istraživanja CIM ciljeva. Posebno se prikazuje struktura trećeg podmodula u okviru prvog modula CIM strategije (modul 1. 1. 3). Grupisanje ciljeva izvršeno je na ekonomske, socijalne i etičke ciljeve. Podaci o ciljevima referentnih preduzeća, preduzeća u okviru grane i korisnika DSS smešteni su u odgovarajuće DB.

Na sl. 2 prikazano je odlučivanje u okviru modula 1. 1. 3, pri čemu su, u ovoj fazi istraživanja, utvrđene liste ekonomskih i socijalnih ciljeva.

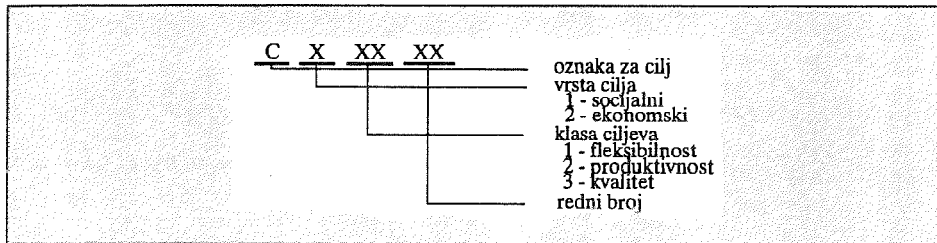


Sl. 2 Odlučivanje u okviru modula 1. 1. 3



Sl. 3 Struktura modula CIM 1.XXX

Šifriranje ciljeva izvršeno je na sledeći način:



Primenom BSP i SDM izvršeno je modeliranje podataka i funkcija za modul CIM 1. 000 (razvoj CIM strategije). Na sl. 3 prikazana je struktura ovog modula.

5. ZAKLJUČCI

Iz izloženog se mogu izvući sledeći zaključci:

- o 1. DSS za projektovanje CIM sistema ima vrlo složenu strukturu,
- o 2. za realizaciju DSS potrebno je razviti veći broj metoda i tehnika, od kojih se posebno izdvajaju BSP, SDM, SADT i EPN,
- o 3. priloženi delimični rezultati istraživanja ukazuju na osnovni pristup modeliranju u prvoj fazi razvoja CIM sistema, a posebno na odlučivanje o ciljevima,
- o 4. preliminarni rezultati razvoja podmodula "CIM ciljevi" zasnovani su na determinističkom pristupu odlučivanju.

6. LITERATURA

- [1] Arsovski Z., Razvoj sistema za odlučivanje pri projektovanju CIM - a, Doktorska disertacija (predata aprila 1994.), Mašinski fakultet, Podgorica, 1994.
- [2] Meyer W., Expert Systems in Factory Management, Knowledge - Based CIM, Ellis Horwood Books Information Technology, New York, 1990.

DSS DEVELOPMENT FOR CIM SYSTEMS DESIGN

Summary

Beside giving some basic information about DSS, this paper gives a basic CIM model of an enterprise and a basis for the new approach to DSS design using Extended Petri Nets. The decision model for establishing CIM goals is given for the first module related to the CIM strategy.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Devedžić G.¹

FUZZY BAZA ZNANJA O ALATIMA U OBRADI BUŠENJEM

Rezime

U radu je data kratka analiza izvora neizvesnosti koji utiču na projektovanje fuzzy baze znanja. Opisan je formalni oblik iskaza koji se ugrađuju u fuzzy bazu znanja, kao i njena struktura. Posebno su naglašeni segmenti vezani za modele i algoritme i tzv. eksplanacionu bazu podataka (ED). Na primeru je pokazano izvođenje test-rezultat procedura za ocenjivanje fuzzy iskaza.

1. Uvod

Rešavanje problema iz oblasti projektovanja tehnologije skopčano je često sa pojavom višeznačnosti, nedovoljne određenosti i/ili nekompletnosti podataka i informacija. U takvim situacijama neophodno je prisustvo stručnjaka koji svojim znanjem i iskustvom pomažu da se nastale sporne situacije razreše. Međutim, u odsustvu takvih stručnjaka, kao i u slučaju automatizovanog izbora elemenata i parametara tehnologije, potrebno je uposliti takvu metodologiju koja omogućava razrešavanje novonastale (konfliktne) situacije. U oba slučaja dobijaju se rešenja koja su u većoj ili manjoj meri približna nekim idealnim ili optimalnim rešenjima. Osnovni problem koji se pri tom javlja vezan je za određivanje metodologije i prihvatanje odgovarajućeg matematičkog aparata koji treba da obezbede optimalno, racionalno, pouzdano i konzistentno rangiranje (ocenjivanje) svih veza među pojedinim entitetima i njihovim atributima, svih međurešenja, kao i mogućih krajnjih rešenja.

Poslednje tri decenije se intenzivno razvija koncept, zasnovan na naučno ustanovljenoj teoriji, koji omogućava manipulaciju skupovima podataka, informacija i objekata elastičnih granica, a čiji su elementi nedovoljno precizni, nepouzdati, intervalnih vrednosti i/ili relevantnim skupovima pripadaju sa određenim stepenom. To je koncept **fuzzy skupova** i **fuzzy logike**. U daljem će biti prikazana kratka analiza izvora rasplinutosti kod alata u obradi bušenjem, kao i način primene ovog koncepta prilikom projektovanja odgovarajuće baze znanja. Ovaj pristup, međutim, ima daleko veći značaj i širu primenu, jer se može primeniti za rešavanje pojedinih problema i projektovanje komponentnih baza znanja u svim segmentima integralnog sistema projektovanja tehnologije (pomoću računara), kao i u mnogim drugim oblastima nauke i inženjerstva.

2. Izvori rasplinutosti ("fuzziness"-a) kod alata u obradi bušenjem

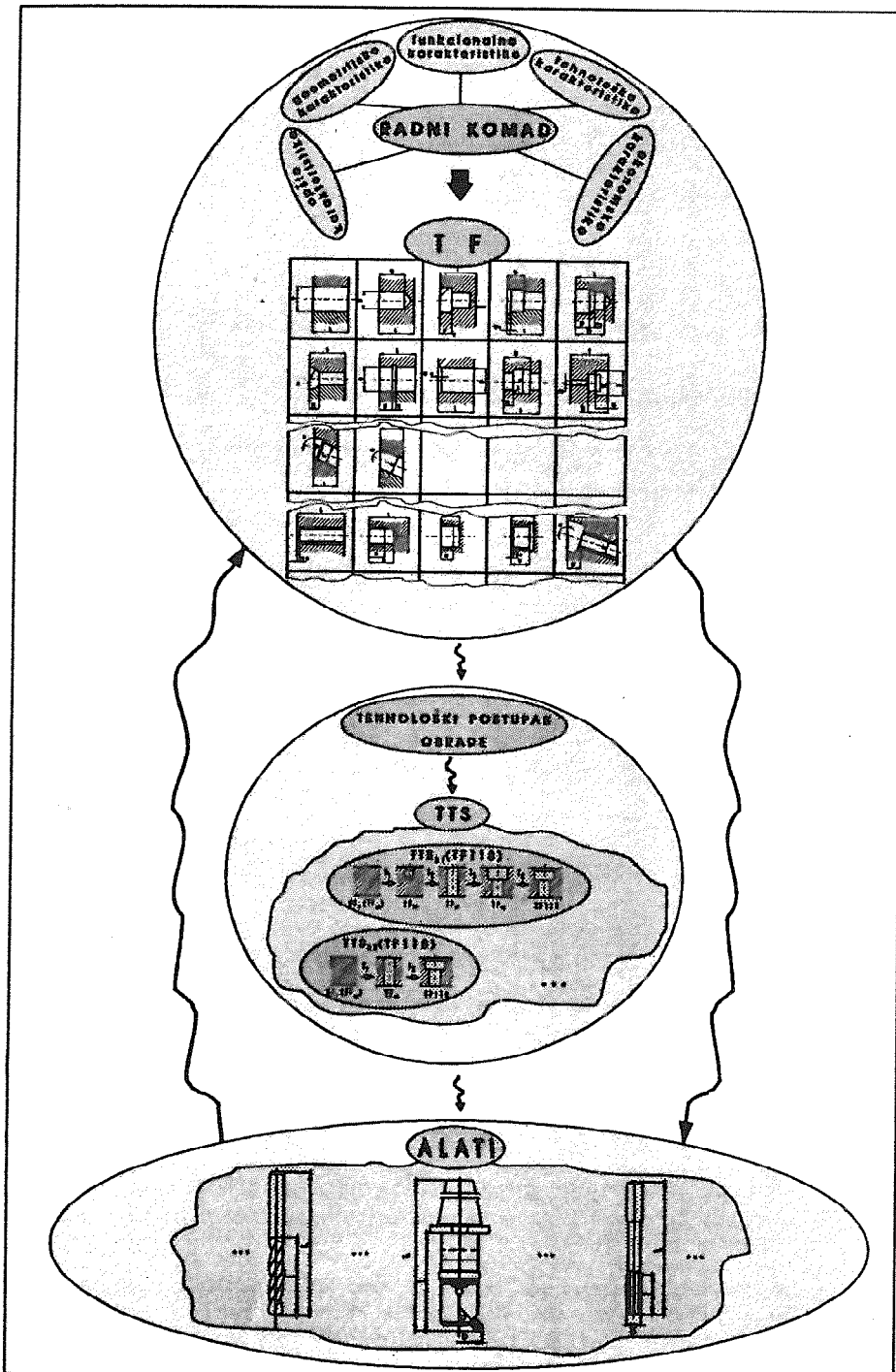
Analizirajući tehnološki proces obrade bušenjem mogu se izdvojiti sledeće osnovne celine (u užem smislu) (Sl.1):

- **radni komad**, sa svim svojim entitetima i karakteristikama,
- **tehnološki postupak obrade**, sa svojim entitetima i transformacijama, i
- **alati**, sa svojim karakteristikama, kojima se generišu geometrijsko-tehnološki primitivi (tipske forme -TF) u obradi bušenjem.

Svaka od ovih celina nosi ili može nositi u sebi čitav niz nepreciznosti, nepotpunosti, višeznačnosti i nepouzdanosti. Vrednosti pojedinih atributa su, uz to, često intervalnih vrednosti, koje, pak, od slučaja do slučaja imaju potpuno različite granice. S obzirom da se pri izboru elemenata tehnologije obrade kao krajnji rezultat dobijaju objekti konkretnih vrednosti, znači da je svako rešenje podložno nekoj pouzdanosti, koja se može tumačiti i kao stepen preciznosti ili "stepen optimalnosti" rešenja.

Može se smatrati da radni komad predstavlja skup entiteta, atributa, vrednosti i zahteva jasnih, oštrih granica. Međutim, u domenu projektovanja tehnologije dolazi do rasplinjavanja koje se odražava kroz višeznačnost veza različitih jačina sa drugim entitetima iz logike projektovanja tehnoloških procesa i logike

¹ Mr Goran Devedžić, dipl.ing., asistent, Univerzitet u Kragujevcu, Mašinski fakultet, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac



Šlika 1: Prostori pretraživanja i veze u sistemu radni komad - tehnološki postupak obrade - alat kao izvori rasplintosti ("fuzziness" - a)

izbora reznih alata, kao i kroz generisanje nepreciznih, približnih ili intervalnih vrednosti ostalih atributa relevantnih entiteta i veza. Konačno, tako dobijeno rešenje generiše vrednosti atributa entiteta radnog komada koje se manje ili više mogu razlikovati od zahtevanih.

Na nivou radnog komada, u postupku njegovog geometrijskog i tehnološkog prepoznavanja, vrši se, pre svega, dekomponovanje na hijerarhiski niže primitivne, pri čemu se formira katalog tipskih formi (TF). Jedan od izvora neizvesnosti ovde predstavlja i varijantnost tog kataloga. U opštem slučaju, za sisteme bazirane na znanju, katalog TF se razlikuje od onog predloženog konceptom grupne tehnologije. Dalje, takav izvor predstavlja i karakteristike materijala (vrsta, tip, tvrdoća, zatezna čvrstoća, ...) radnog komada koje se ugrađuju u bazu znanja, itd. (Sl.1). Zato i veze radnog komada sa ostalim entitetima imaju "približan" karakter (na slikama 1 i 2 one su označene linijama nepravilnog oblika).

Slično je i na nivou tehnološkog postupka obrade, gde se osnovna neizvesnost javlja prilikom generisanja tipske tehnološke sekvence (TTS) za datu TF.

Na nivou alata, gde su ulazni podaci već opterećeni nekim stepenima pripadnosti idealnim ili optimalnim vrednostima relevantnih atributa, neizvesnost se javlja prilikom sprežavanja karakteristika alata i pomenutih približnih zahteva, kao i tokom dodeljivanja vrednosti odgovarajućim atributima [DEV94] (Sl.1 i 2).

Može se zaključiti, dakle, da dva osnovna izvora neizvesnosti predstavljaju:

- vrednosti atributa pojedinih entiteta iz domena projektovanja tehnologije obrade, koje su često intervalnog i/ili iskustvenog karaktera, i
- veze kojima se definišu odnosi između pojedinih nivoa i entiteta i dodeljuju vrednosti atributima.

Pomenute veze, u opštem slučaju nisu slučajnog karaktera, pa se ne mogu opisati klasičnim metodama matematičke verovatnoće i statistike i bivalentne logike, za razliku od povratnih sprega između rešenja (u ovom slučaju izabranog alata) i radnog komada, koje se mogu okarakterisati probabilističkim metodama.

3. Fuzzy baza znanja

3.1. Formalni oblici fuzzy iskaza

Baza znanja se sastoji od skupa iskaza, često grupisanih u posebne segmente. Njima se definišu odnosi među objektima iz datog domena - u ovom slučaju među entitetima iz logike projektovanja tehnoloških procesa, ili konkretnije, između entiteta obrade bušenjem. Pored toga, iskazima iz baze znanja se pokreću i modeli i algoritmi za rešavanje pojedinih podproblema. Postoje dva vida iskaza:

- bezuslovni, koji se nazivaju *činjenicama*, opšteg oblika:

$$A \text{ je } B$$

- uslovni, koji se nazivaju *prevlilima*, opšteg oblika:

$$\text{Ako } A \text{ je } B \text{ Onda } C \text{ je } D.$$

Za vreme pretraživanja baze znanja pronalaze se iskazi koje je moguće primeniti u cilju dobijanja odgovarajućih (među)rešenja. Iskazi se mogu primeniti ako odgovaraju po vrsti i ukoliko je moguće izvršiti sprežanje premisa sa odgovarajućim argumentima stvarnog stanja. Međutim, gore navedeni iskazi se mogu primeniti samo ako postoji potpuno slaganje premisa i argumenata stvarnog stanja. Znači, ako se oni "približno" slažu i najčešće treba da generišu isto ili približno isto rešenje kao i u slučaju potpunog slaganja, iskazi neće moći da se iskoriste i postupak generisanja rešenja se prekida. Za navedene iskaze se pretpostavilo da su kategoričkog tipa, gde su svi članovi precizno definisani.

Fuzzy baza znanja sadrži iskaze opšteg značenja. Naime, u slučaju neprecizno definisanih članova iskaza potrebno je izvršiti generalizaciju da bi se svaki član, kao i sam iskaz, pravilno ocenio. Formalno je potrebno, dakle, da istinitost slaganja premisa i argumenata stvarnog stanja bude: $tr(a \rightarrow b) = \alpha, \alpha \in [0, 1]$ [PEN91]. To se postiže primenom iskaza oblika (u kanoničnoj formi $cf(p)$):

$$p \rightarrow cf(p) = X \text{ je } F,$$

u slučaju činjenica, i

$$p \rightarrow cf(p) = \text{Ako } X \text{ je } F \text{ Onda } Y \text{ je } G,$$

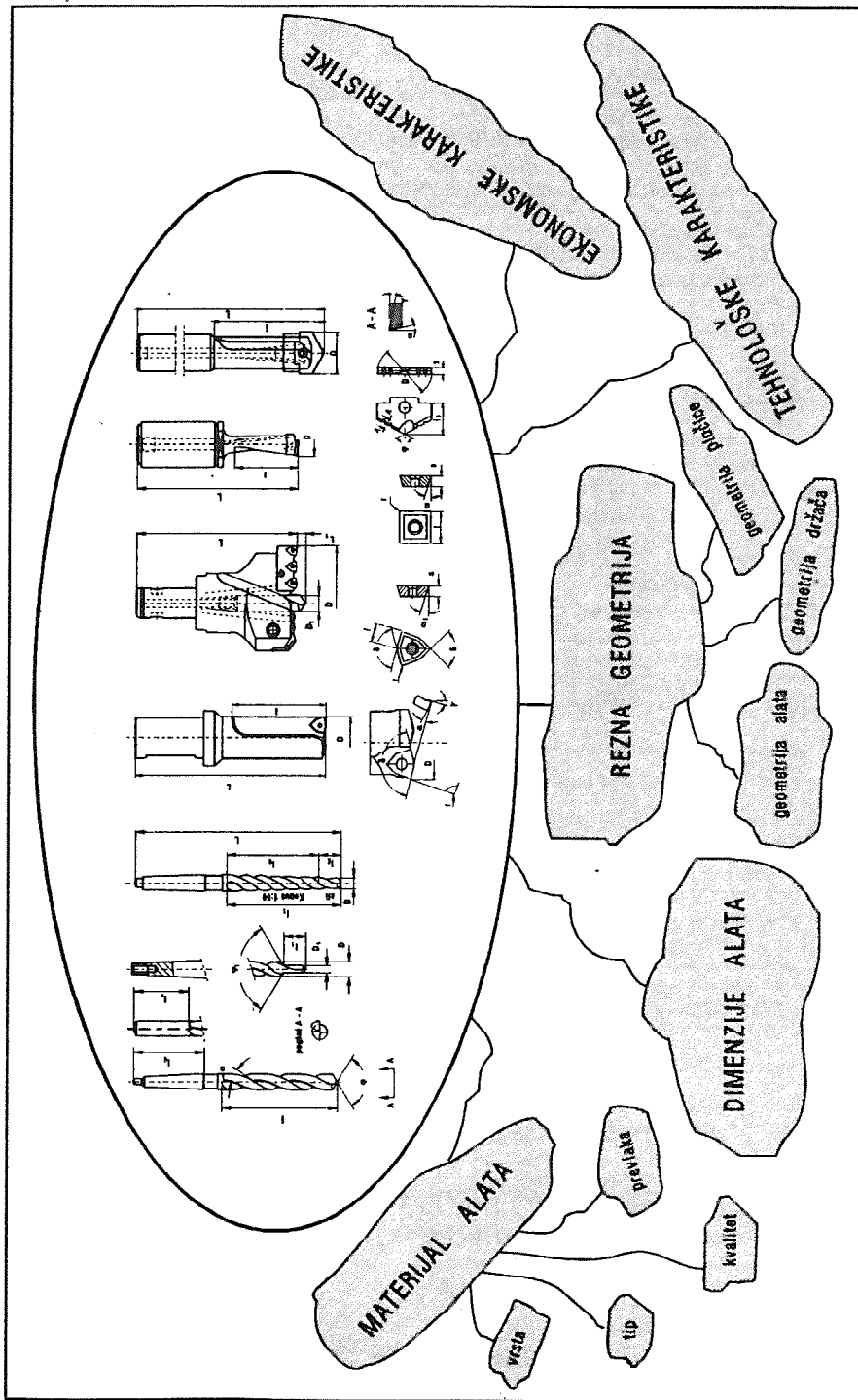
u slučaju pravila.

U ovim iskazima promenljive X i Y uzimaju vrednosti iz fuzzy (pod)skupova F i G , respektivno. Oni, zapravo, predstavljaju elastična ograničenja za vrednosti koje može poprimiti neki atribut entiteta. Navedeni iskazi se pomoću funkcije raspodele mogućnosti mogu definisati kao [ZAD83],[YAG84]:

$$\pi_x(u) = Poss\{X=u\} = \mu_r(u),$$

za navedenu činjenicu, gde je u generički element iz domena U promenljive X , a $\mu_r: U \rightarrow [0,1]$ funkcija pripadnosti fuzzy relacije F kojom je definisan stepen mogućnosti da promenljiva X uzme vrednost u , odnosno:

$$\pi_{(rx)}(u,v) = Poss\{Y=v|X=u\} = 1 \wedge (1 - \mu_r(u) + \mu_o(v)) = \mu_{r,}(u,v)$$



Slika 2: Izvori rasplinutosti ("fuzziness"-a) kod alata u obradi bušenjem

za navedeno pravilo, gde su u i v generički elementi iz domena $U \vee V$ promenljivih X i Y , respektivno, a $\mu_F: U \rightarrow [0,1]$ i $\mu_G: V \rightarrow [0,1]$ funkcije pripadnosti fuzzy relacija F i G kojima su definisani stepeni mogućnosti da promenljive X i Y uzmu vrednost u i v ; \wedge je min operator. S obzirom da su u realnim primenama (na primer, prilikom izbora karakteristika alata) uslovni iskazi složeniji, opšteg oblika

Ako A_1 je B_1 i A_2 je B_2 i ... A_n je B_n **Onda** C_1 je D_1 i C_2 je D_2 i ... C_m je D_m ,

odnosno

$p \rightarrow cf(p) \stackrel{\Delta}{=} \text{Ako } X_1 \text{ je } F_1 \text{ i } X_2 \text{ je } F_2 \text{ i ... } X_n \text{ je } F_n \text{ Onda } Y_1 \text{ je } G_1 \text{ i } Y_2 \text{ je } G_2 \text{ i ... } Y_m \text{ je } G_m$,
funkcija uslovne raspodele mogućnosti je definisana kao:

$$\pi_{(v_1, v_2, \dots, v_m | x_1, x_2, \dots, x_n)}(u_1, u_2, \dots, u_n, v_1, v_2, \dots, v_m) \stackrel{\Delta}{=} \text{Poss}\{Y_1 = v_1, Y_2 = v_2, \dots, Y_m = v_m | X_1 = u_1, X_2 = u_2, \dots, X_n = u_n\} =$$

$$= 1 \wedge (1 - \mu_F(u_1, u_2, \dots, u_n) + \mu_G(v_1, v_2, \dots, v_m)) = \mu_H(u_1, u_2, \dots, u_n, v_1, v_2, \dots, v_m) ,$$

gde su u_i i v_j generički elementi iz domena U_i i V_j promenljivih X_i i Y_j , $i = 1, n$ i $j = 1, m$, respektivno, a funkcije pripadnosti μ_F i μ_G fuzzy relacija F_i i G_j kojima su definisani stepeni mogućnosti da promenljive X_i i Y_j uzmu vrednost u_i i v_j :

$$\mu_F(u_1, u_2, \dots, u_n) = \bigwedge_{i=1,2,\dots,n} (\mu_{F_i}(u_i)) ,$$

$$\mu_G(v_1, v_2, \dots, v_m) = \bigvee_{j=1,2,\dots,m} (\mu_{G_j}(v_j)) ,$$

gde su \wedge i \vee min i max operatori, respektivno.

Ovakvim (formalno opisanim) iskazima, koji čine sadržaj fuzzy baze znanja o alatima u obradi bušenjem, definisano je sprezanje između pojedinih entiteta iz logike izbora alata i dodeljivanje vrednosti odgovarajućim atributima. Veze koje su ovim iskazima uspostavljaju su (šematski predstavljene na slikama 1 i 2):

- materijal radnog komada - rezna geometrija,
- materijal radnog komada - materijal reznih elemenata,
- materijal reznih elemenata - tip alata,
- tip alata - tip reznih elemenata,
- tip reznih elemenata - kvalitet reznih elemenata,
- materijal radnog komada - kvalitet reznih elemenata,
- dimenzije TF - dimenzije alata,
- kvalitet TF - tip alata,
- itd.

Odgovarajuće mogućnosti da pojedini atributi entiteta iz logike izbora alata u obradi bušenjem, definisane funkcijama raspodele mogućnosti, odnosno odgovarajući stepeni pripadnosti relevantnim skupovima uticajnih faktora i parametara, definisanih navedenim funkcijama pripadnosti, određuju se korišćenjem poznatih funkcionalnih zavisnosti vezanih za obradu bušenjem, kao što su, na primer, funkcije postojanosti alata, kvaliteta obrađenih površina ili nekih drugih složenih optimizacionih funkcija.

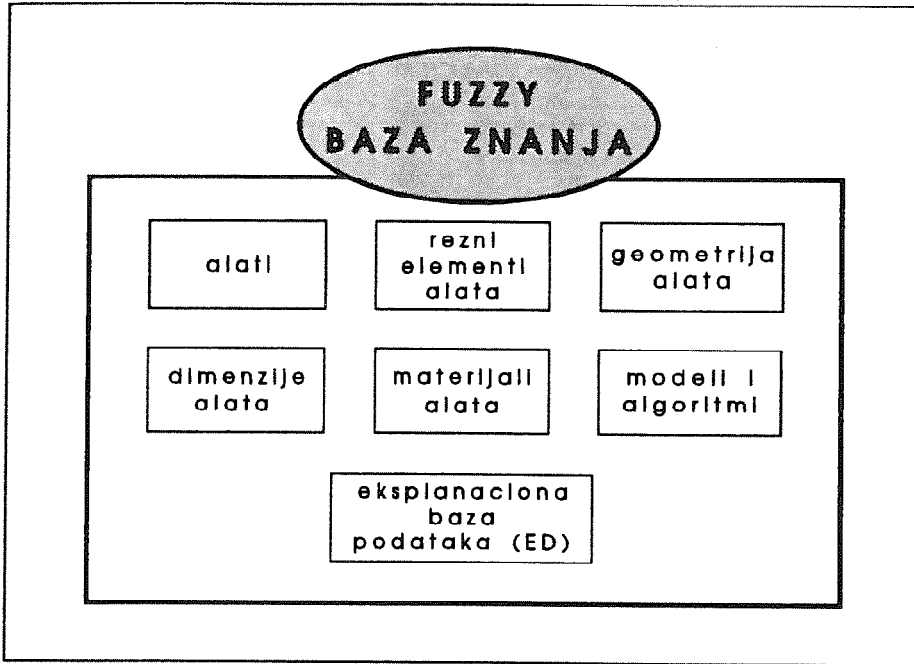
3.2. Struktura fuzzy baze znanja o alatima u obradi bušenjem

Iskazi koji definišu gore navedene veze grupisani su u odgovarajuće segmente (module) (Sl.3), što omogućava lakše korišćenje fuzzy baze znanja i jednostavnije upravljanje čitavim procesom (fuzzy) rezonovanja. Jednu od osnovnih karakteristika fuzzy baze znanja o alatima u obradi bušenjem čine moduli modela i algoritama i tzv. *eksplanacione baze podataka (ED)* [ZAD89] .

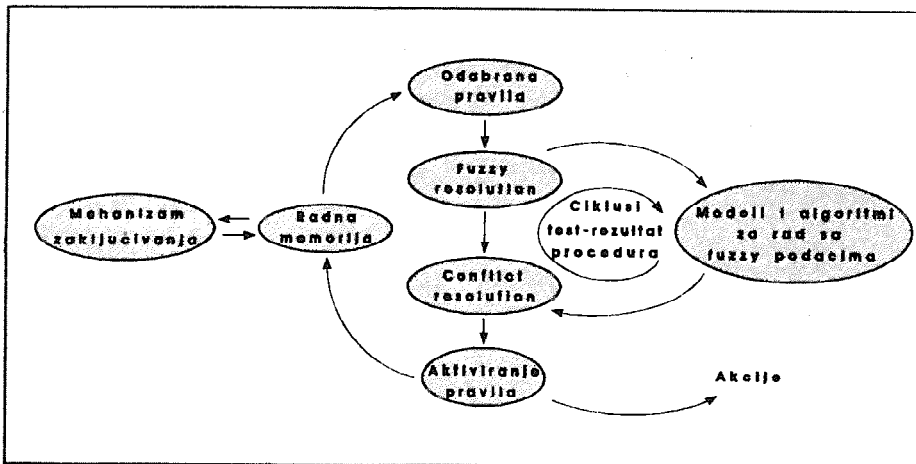
Modeli i algoritmi u procesu projektovanja tehnologije obrade (bušenjem) se odnose na sledeće domene:

- izbor (i konstrukciju) alata,
- izbor parametara režima,
- određivanje putanje alata,
- određivanje vremena obrade,
- određivanje troškova i ekonomičnosti obrade,
- itd.

Oni su za navedene domene najčešće numeričke prirode i kao takvi detaljnije proceduralno opisuju (pod)probleme koji se javljaju. Ove procedure se aktiviraju iz ONDA dela uslovnih iskaza (pravila). Od posebnog su značaja, međutim, modeli i algoritmi za rad sa rasplnutim podacima. Njima se omogućava korišćenje poznatih funkcionalnih zavisnosti iz obrade bušenjem u obliku pogodnom za primenu kao funkcija raspodele mogućnosti, odnosno funkcija pripadnosti. Pored toga, u ovom modulu su sadržane i tzv. "test-rezultat" procedure za korišćenje *eksplanacione baze podataka (ED)*, čime je omogućeno dobijanje rešenja odgovarajućih podproblema propagacijom elastičnih (fuzzy) ograničenja (relacija) o entitetima iz logike izbora alata u obradi bušenjem i njihovim atributima sadržanih u ED.



Slika 3: Struktura fuzzy baze znanja o alatima u obradi bušenjem



Slika 4: Šematski prikaz upravljanja aktiviranja pravila iz fuzzy baze znanja

Na sledećem primeru će biti objašnjena sadržina i korišćenje ED. Neka je dat sledeći uslovni iskaz (pravilo):

- Ako** (1) TF je neprolazni otvor
 (2) materijal radnog komada je Č4570
 (3) tvrdoća HB=245-270
 (4) prečnik je 16mm
 (5) kvalitet N7
- Onda** (1) alat je burgija
 (2) prečnik D = 15mm
 (3) <geometrija>

Ovo pravilo predstavlja kombinaciju nekoliko činjenica koje čine premisu i konkluziju, opšteg oblika ako X_1 je F_1 i X_2 je F_2 i ... X_n je F_n onda Y_1 je G_1 i Y_2 je G_2 i ... Y_m je G_m , gde su

$$X = (X_1, X_2, X_3, X_4),$$

$$X_1 = \text{Klasa_tipske_forme(Tipska_forma)},$$

$$X_2 = \text{Materijal_RK(Vrsta, Tip, Tvrdoća)},$$

$$X_3 = \text{Dimenzije_TF(Tipska_forma)},$$

$$X_4 = \text{Kvalitet_TF(Tipska_forma)},$$

$$F = (F_1, F_2, F_3, F_4) = \text{<ulazni_podaci>},$$

pri čemu je u ovom slučaju F familija klasičnih skupova ograničenja (vrednosti koje poprimaju pojedine promenljive X) iz odgovarajućih domena - što se može protumačiti i kao specijalni slučaj fuzzy podskupova, a

$$Y = (Y_1, Y_2, Y_3),$$

$$Y_1 = \text{Alat(Tipska_forma)},$$

$$Y_2 = \text{Prečnik(Tip)},$$

$$Y_3 = \text{Geometrija(Tip)},$$

$$G = (G_1, G_2, G_3),$$

$$G_1 = \text{BURGIJA},$$

$$G_2 = \text{DIMENZIJE},$$

$$G_3 = \text{GEOMETRIJA},$$

gde $G_i, i=1,3$, predstavljaju fuzzy podskupove iz kojih se dodeljuju vrednosti promenljivama $Y_j, j=1,3$.

Procedura testiranja eksplanacione baze podataka

ED = BURGIJA[TF, Tip, μ] + DIMENZIJE[TF_dim, Tip, Prečnik, μ] + GEOMETRIJA[Tvrdoća, Tip, geometrija, μ]
 za navedeno pravilo ima sledeći tok:

(1) Određuje se tip alata za datu operaciju kao:

$$\text{Tip(Neprolazni_otvor)} = \text{Tip_BURGIJA[TF = Neprolazni_otvor]},$$

gde notacija $\nu_R[X=u]$ označava da se za vrednost u promenljive X rezultat relacije R projektuje na Y dajući vrednosti Y za $X=u$;

(2) Testira se elastično (fuzzy) ograničenje definisano fuzzy predikatom *burgija*:

$$\begin{aligned} \tau_1 &= \mu \text{BURGIJA[Tip = Tip(Neprolazni_otvor)]} = \\ &= \max_{u \in Y} \mu \text{BURGIJA}(u = \text{<tip_burgije>}), \end{aligned}$$

gde je τ rezultat testiranja, a $u \in Y$ označava da je y podsekvencu od u [KLI88], [ZAD83];

(3) Prečnik se određuje kao:

$$\text{Prečnik(Neprolazni_otvor_dim; Tip)} = \text{Prečnik_DIMENZIJE[TF_dim = Neprolazni_otvor_dim; Tip = <tip_burgije>}];$$

(4) Testira se elastično ograničenje dato fuzzy predikatom *dimenzije*:

$$\tau_2 = \mu \text{DIMENZIJE[TF_dim = TF_dim(Neprolazni_otvor_dim); Prečnik = Prečnik(<tip_burgije>)]};$$

(5) Određivanje rezne geometrije (u ovom slučaju samo globalno) sprovodi se na sledeći način:

$$\text{geometrija(HB = 245 - 270; <tip_burgije>)} = \text{geometrija_GEOMETRIJA[Tvrdoća = HB(245 - 270); Tip = <tip_burgije>}];$$

(6) Određivanje stepena pripadnosti ovako definisane rezne geometrije preporučenim, najčešće intervalnim, vrednostima pojedinih uglova:

$$\tau_3 = \mu_{\text{GEOMETRIJA}}[\text{geometrija} = \text{geometrija}(\text{Tvrdća}; \text{Tip}); \text{Tip} = \text{Tip}(< \text{tip_burgije} >)] ;$$

(7) Izračunavanje ukupnog rezultata testiranja kao:

$$\tau = \tau_1 \wedge \tau_2 \wedge \tau_3 = \bigwedge_{i=1,2,3} \tau_i, \quad \wedge = \min.$$

Upravljanje aktiviranjem fuzzy iskaza iz baze znanja i pokretanje odgovarajućih test-rezultat procedura šematski je prikazano na slici 4. Kada se odabere neko pravilo, odnosno skup pravila, prvo se vrši tzv. fuzzy rezolucija da bi se proverilo da li je to pravilo ili neko iz izabranog skupa fuzzy tipa. To stoga što u bazi znanja o reznim alatima u obradi bušenjem nisu svi iskazi fuzzy tipa. Ukoliko se ono prepozna kao takvo određuje se način na koji će ono biti ocenjeno, pokreću se ciklusi test-rezultat procedura, a nakon rangiranja i provere u modulu za rezoluciju konflikta vrši se aktiviranje pravila, čime se ostvaruju odgovarajuće akcije. Ovakav način upravljanja zaključivanjem prilikom izbora reznih alata, kao i prikazana struktura baze znanja čine osnovne karakteristike dogradnje **EXCUTS** sistema za izbor alata [DEV93].

4. Zaključak

Prikazana metodologija projektovanja (fuzzy) baze znanja, u ovom radu data na primeru alata u obradi bušenjem, pokazuje veliku nezavisnost od terminalnih podataka koji se pri tome koriste, tako da predstavlja platformu za dalju dogradnju i usavršavanje sistema izbora alata baziranog na znanju, kao i čitavog, integralnog, sistema za projektovanje tehnologije obrade metala rezanjem. Ona zbog toga pruža i veliku fleksibilnost u pogledu korišćenja formalnih znanja iz ove oblasti, ali i potpuno iskustvenih saznanja. Usvojeni koncept je, uz to, naučno zasnovan na formalno uspostavljenoj teoriji, tako da daje osnovu za potpunu fenomenološku razradu strukture funkcije izbora alata i njenih veza sa ostalim funkcijama iz domena projektovanja tehnologije obrade bušenjem.

Literatura

- [DEV93] Devedžić G.: "EXCUTS sistem za izbor reznih alata", 19. JUPITER Konferencija, Prohor Pčinjski, 28. juni - 01. juli, 1993.
- [DEV94] Devedžić G.: "Predstavljanje znanja o reznim alatima bazirano na primeni teorije fuzzy skupova i fuzzy logike", 20. JUPITER Konferencija, Beograd, 28. - 30. septembar, 1994.
- [KLI88] Kllr G.J., Folger T.A.: "Fuzzy Sets, Uncertainty and Information", Prentice Hall International, Inc., Englewood Cliffs, New Jersey, 1988.
- [PEN91] Peng X.T., Kandel A., Wang P.Z.: "Concepts, Rules, and Fuzzy Reasoning: A Factor Space Approach", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Vol.21, No.1, pp. 194-205, 1991.
- [YAG84] Yager R.R.: "Approximate Reasoning as a Basis for Rule-Based Expert Systems", IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics, Vol.14, No.4, pp. 636-643, 1984.
- [ZAD83] Zadeh L.A.: "The Role of Fuzzy Logic in the Management of Uncertainty in Expert Systems", Fuzzy Sets and Systems, 11 (1983) 199-227.
- [ZAD89] Zadeh L.A.: "Knowledge Representation in Fuzzy Logic", IEEE Transactions on Knowledge and Data Engineering, Vol.1, No.1, pp. 89-100, 1989.

Devedžić G.²

FUZZY TOOLING KNOWLEDGE BASE FOR DRILLING

Summary

A short analysis of the source of uncertainty and fuzziness that have an influence on the fuzzy knowledge base design is given in the paper. Formal fuzzy knowledge base propositions types are described as well as the base structure. Segments of models and algorithms and an explanatory data base (ED) are particularly addressed. Test-score procedure for fuzzy propositions evaluation is shown by example.

Goran Devedžić, M.S.Mech.Eng., Assistant, University of Kragujevac, School of Mechanical Engineering, Sestro Janjić 6, 34000 Kragujevac, Yugoslavia

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Dobranić*

**MRPII KONCEPT INFORMACIONOG SISTEMA U INDUSTRIJSKIM
PREDUZEĆIMA**

Rezime

MRPII pristup upravljanju proizvodnim resursima predstavlja u svetu opšteprihvaćeni model za izgradnju informacionog sistema u industrijskim preduzećima. U radu su predstavljeni geneza ovog koncepta, sadašnje postavke i elementi za ocenu kvaliteta njegove primene. Kao praktična realizacija MRPII koncepta razmatra se MAPICS/DB sistem.

1. UVOD

Savremeni pristup u projektovanju informacionih sistema zasniva se na pretpostavci da informacioni sistem treba da predstavlja model realnog sistema. Baza podataka, odnosno njen sadržaj, prikazuje stanje realnog sistema u jednom trenutku vremena, a skup programa koji operišu nad bazom podataka predstavlja procese koji menjaju stanja i procese koji formiraju izlaze realnog sistema. Na taj način projektovanje informacionog sistema svodi se na modeliranje realnog sistema, pri čemu model treba da sadrži dve osnovne komponente:

- model procesa,
- model podataka.

Industrijsko preduzeće jeste sistem u kojem se istovremeno odvija veliki broj procesa i čije stanje je određeno složenim skupom podataka i njihovih međusobnih veza. Dominantan proces u industrijskom preduzeću, koji određuje njegovu prirodu, jeste industrijski organizovana proizvodnja. Pored toga, postoji niz drugih procesa koji su zajednički za sva industrijska preduzeća, kao što su: marketing, istraživanje i razvoj, planiranje, nabavka, prodaja i distribucija proizvoda.

* Miloš Dobranić, dipl. ing., Lola institut, Kneza Višeslava 70A, Beograd

MRPII je akronim za Manufacturing Resource Planning, koncept upravljanja proizvodnim resursima, koji je zasnovan upravo na gore pomenutoj činjenici da je u svim industrijskim preduzećima prisutan zajednički skup procesa, tj. funkcija. MRPII polazi od generalizovanog modela procesa i informacionih tokova za koji se pretpostavlja da važi za veliku većinu industrijskih preduzeća. Taj model je dalje razrađen i dokumentovan u smislu detaljnog definisanja procesa, objekata i pojmova koji ga čine. Pored pojedinih autora, najveći doprinos razvoju modela je dalo američko udruženje za upravljanje proizvodnjom i zalihama (American Production and Inventory Control Society).

Detaljna specifikacija generalizovanog modela se naravno razlikuje od slučaja do slučaja, pa se na tržištu, kao i kod preduzeća koje primenjuju sopstvene MRPII sisteme, mogu naći njegove različite realizacije u obliku programskih paketa. Međutim, svi ti paketi imaju za osnovu MRPII koncept, dok su razlike samo u detaljima.

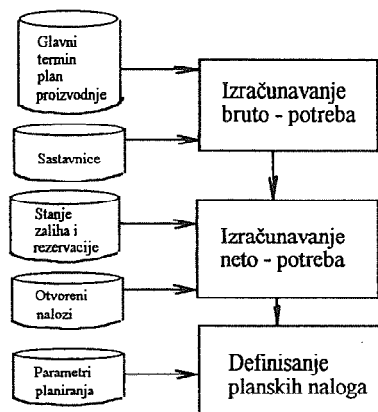
2. RAZVOJ MRPII KONCEPTA

Ceo koncept je nastao iz potrebe da se otklone anomalije tehnika za upravljanje zalihama koje su dominirale u manuelnim sistemima. Šezdesetih godina, sa širom primenom računara, pojavio se model planiranja materijala, tzv. MRP (Material Requirements Planning), koji je do tada primenjivan samo u agregatnom obliku.

Model MRP polazi od pretpostavke da glavni termin plan proizvodnje, koji kvantitativno i terminski definiše proizvodnju (finalni proizvodi i rezervni delovi) za određeni planski period, u potpunosti određuje količine i termine potreba za svim komponentama (od glavnih sklopova koji se ugrađuju u finalne proizvode, preko podsklopova i delova sopstvene izrade, do materijala i sklopova koji se nabavljaju). Glavne ulazne informacije u MRP jesu:

- stanje zaliha (fizičko stanje u skladištu, otvoreni radni nalozi i rezervacije),
- struktura proizvoda (sastavnice),
- trajanje ciklusa izrade ili nabavke za svaku od komponenata.

Proces planiranja materijala (MRP) prikazan je na slici 1.



Slika 1. Dijagram toka procesa planiranja materijala (MRP)

Polazeći od osnovnog termin plana proizvodnje sistem izračunava "bruto-potrebe" za sve direktne komponente finalnih proizvoda množenjem količine iz plana sa količinom ugradnje komponente (definisana sastavnicom). Termin "bruto-potrebe" je jednak planskom terminu lansiranja proizvodnje finalnog proizvoda. "Bruto-potreba" je veličina određena identifikacijom komponente za koju važi, količinom i terminom.

Na bazi izračunatih "bruto-potreba" izračunavaju se "neto-potrebe" tako što se uzimaju u obzir stanje zaliha komponenata, rezervisane količine za već lansiranu proizvodnju i otvoreni nalozi za proizvodnju ili nabavku komponenata. "Neto-potreba" je veličina određena identifikacijom komponente za koju važi, količinom i terminom.

Planski nalozi se određuju na bazi neto potreba i parametara planiranja, u koje spadaju: trajanje ciklusa izrade ili nabavke, politike naručivanja (ordering policies) i ograničenja koja se primenjuju pri određivanju količina na nalogima (minimalna količina, maksimalna količina, umnožak). Planski nalozi su određeni identifikacijom komponente, količinom na nalogu i planskim terminom lansiranja.

Opisani postupak se ponavlja za svaki finalni proizvod a zatim za sve komponente na prvom nivou ugradnje, zatim na drugom, i tako redom, nivo po nivo, sve dok se ne dostigne "dno" sastavnice. Na taj način za svaku komponentu određeni su planski nalozi, tj. količine i termini lansiranja proizvodnje, odnosno nabavke (u zavisnosti da li je komponenta sopstvene izrade ili ne).

Dakle glavni izlaz MRP sistema jeste skup svih planskih naloga, tj. "plan materijala". Plan materijala daje odgovor na pitanje "šta treba uraditi" da bi se ispunio glavni termin plan proizvodnje. Međutim, MRP kao sistem planiranja materijala je "slep" za kapacitete, tj. ne uzima u obzir ograničenja kapaciteta, odnosno "šta se može uraditi". Glavni termin plan proizvodnje je osnovni ulaz u sistem, a kako se do njega dolazi je ostavljeno van granica sistema.

Vremenom je na bazi iznetog modela urađeno dosta programskih paketa i ovaj sistem je postao dosta raširen. Takođe, došlo je i do proširenja modela novim procesima:

- planiranje proizvodnje (utvrđivanje glavnog termin plana proizvodnje i grubo planiranje kapaciteta),
- planiranja kapaciteta (detaljno),
- upravljanje proizvodnjom,
- nabavka.

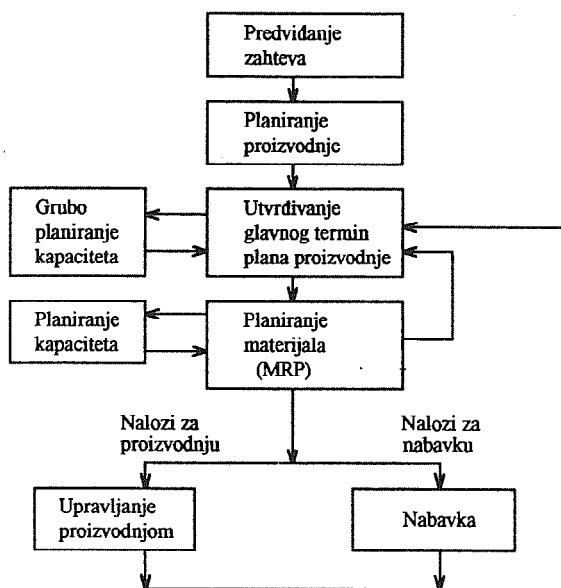
Novi, prošireni model, sa povratnom spregom od izvršnih ka planskim procesima, označen je kao "MRP sa zatvorenom petljom". On je poslužio kao osnova za razvoj programskih paketa, najčešće modularne strukture, kod kojih je svaki proces bio podržan jednim od modula.

Za razliku od MRP-a, novi model, odnosno sistemi koji su na njemu bazirani, podržava proces utvrđivanja glavnog termin plana proizvodnje (nivo finalnih proizvoda) kroz iterativni postupak naizmeničnog planiranja i grube provere kapaciteta. Prihvaćeni glavni termin plan proizvodnje se propušta kroz MRP, koji daje detaljan plan materijala. Plan materijala je zatim ulaz u planiranje kapaciteta, koje nam za svaki radni centar daje raspodelu opterećenja u vremenu, kao posledicu utvrđenog plana. Plan koji prođe sve nivoe provere (do nivoa kapaciteta) izvršava se uz pomoć modula za upravljanje proizvodnjom (lansiranje i praćenje

naloga za proizvodnju) i modula za nabavku. Kroz ove izvršne module registruju se događaji u proizvodnji i nabavci, tako da se u svakom momentu zna stvarno stanje. Sistem kroz izveštaje i upite upozorava na odstupanje od plana, to predstavlja osnovu za ostvarenje povratne sprege.

Daljim proširenjem modela, dodati su procesi agregatnog planiranja proizvodnje (na nivou familija proizvoda) i finansijskog planiranja, kao i finansijsko-knjigovodstveni procesi (knjigovodstvo kupaca, dobavljača, glavna knjiga i sl.). Nastao je integralni model industrijskog preduzeća, koji daje osnovu za upravljanje svim proizvodnim resursima. Otuda je i dobio naziv MRPII.

Na slici 2 ilustrovan je MRPII sistem, sa njegovim osnovnim procesima i informacionim tokovima.



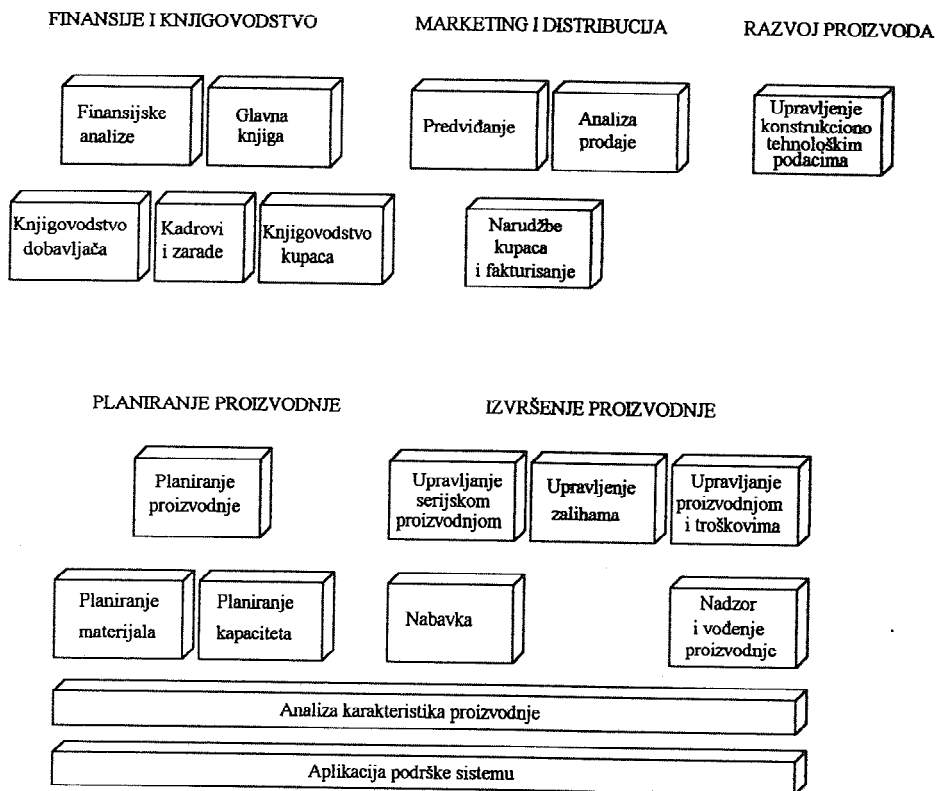
Slika 2. Shema informacionih tokova u MRPII sistemu

Ovaj model je poslužio kao osnova za izradu programskih paketa koji pretenduju da pruže potpuno i integralno rešenje informacionog sistema u industrijskim preduzećima. Mnogi programski paketi ovog tipa su urađeni za tržište, od strane proizvođača računara i softverskih kuća.

Međutim, dosta preduzeća se opredelilo i za sopstveni razvoj rešenja koje se bazira na izloženom konceptu.

Struktura IBM-ovog programskog paketa MAPICS/DB (Manufacturing Accounting Information Control System/Data Base), urađenog u verziji za relacionu bazu podataka familije računara AS/400 prikazana je na slici 3. Paket se bazira na MRPII konceptu i modularne je strukture, to omogućava fleksibilnost pri implementaciji. Svaki od modula paketa podržava

određeni proces u industrijskom preduzeću. Moguć je izbor željenih modula, kao i njihovog redosleda pri uvođenju, uz izvesna ograničenja zbog integralnosti celog paketa.



Slika 3. Struktura MAPICS/DB programskog paketa

3. ELEMENTI ZA OCENU USPEŠNOSTI PRIMENE MRPII SISTEMA

Većina MRPII programskih paketa na tržištu, poseduje široku lepezu funkcija i opcija, čiji efekat za preduzeće zavisi isključivo od nivoa njihove primene. Na koji način izmeriti da li je neki MRPII sistem uspešno primenjen? Prilično jednostavan metod je predložen od strane Wight-a, koji uvodi klasifikaciju preduzeća koja primenjuju MRPII sisteme. Ispod je izložena lista od 25 pitanja koja se odnose na tehničke mogućnosti (funkcije) softvera, tačnost podataka unetih u sistem, obim obuke za korišćenje sistema i rezultate postignute upotrebom sistema. U zavisnosti od broja pozitivnih odgovora, preduzeća se klasifikuju prema sledećoj šemi:

1. Klasa A - 23 i više,
2. Klasa B - 20 i više,
3. Klasa C - 17 i više,
4. Klasa D - manje od 17.

Tehnički elementi

1. Termin jedinice za planiranje proizvodnje i planiranje materijala su sedmice ili manje.
2. Programi za planiranje proizvodnje i planiranje materijala se izvršavaju jednom sedmično ili češće.
3. Sistem poseduje utvrđene planske naloge i funkciju praćenja uzročnika potreba.
4. Upravljanje glavnim termin planom proizvodnje je pod isključivom kontrolom korisnika (bez automatskih izmena od strane sistema).
5. Sistem poseduje planiranje kapaciteta.
6. Sistem poseduje dnevne liste raspodele posla.
7. Sistem poseduje kontrolu protoka poslova po radnim centrima.

Elementi tačnosti podataka

8. Tačnost podataka o zalihama je 95% ili veća.
9. Tačnost sastavnica je 98% ili veća.
10. Tačnost tehnoloških postupaka je 95% ili veća.

Elementi obuke

11. Inicijalnom obukom je obuhvaćeno najmanje 80% zaposlenih.
12. Prisutne su stalne obrazovne aktivnosti za unapređenje znanja.

Upotreba sistema

13. Liste nedostataka komponenata za radne naloge su eliminisane.
14. Tačnost isporuka dobavljača je 95% ili veća.
15. Nabavka se planira prema navedenim vremenima isporuke dobavljača.
16. Tačnost isporuka sopstvene proizvodnje je 95% ili veća.
17. Glavni termin plan proizvodnje se realizuje sa najmanje 95%.
18. Održavaju se redovni, najmanje mesečni, sastanci za razmatranje plana proizvodnje koji uključuju direktora i rukovodioce proizvodnje, materijalnog obezbeđenja, projektovanja, marketinga i finansija.
19. Postoji dokumentovana politika planiranja koja se poštuje.
20. Sistem se koristi i za planiranje i za izvršenje plana (postoji povratna sprega).
21. MRP u potpunosti razumeju ključni ljudi u proizvodnji, marketingu, projektovanju, finansijama i vrhunskom rukovodstvu.
22. Rukovodstvo stvarno koristi MRP za upravljanje.
23. Tehničke izmene se efikasno realizuju.
24. Postignuta su poboljšanja istovremeno u najmanje dve od sledeće tri oblasti:
 - nivo zaliha,
 - produktivnost,
 - nivo usluga (poštovanje rokova i količina isporuka).
25. Sistem se koristi za finansijsko planiranje.

Grupa pitanja koja se odnosi na tehničke elemente softvera je najjednostavnija, jer ne zahteva nikakvo merenje. Programski paket koji je uzet kao primer MRPII sistema - MAPICS/DB, poseduje sve tehničke preduslove da bude klasifikovan kao A sistem. Sve veličine koje se koriste pri planiranju proizvodnje i materijala, poseduju svoju vremensku "nalepnicu", tako da se mogu razlikovati čak i u okviru istog dana. Podsystemi za planiranje su projektovani tako da

moгу да раде и у регенеративном и у моду нето-промена, тако да се програми за планирање могу извршавати свакодневно. Систем поседује утврђене planske naloge i mogućnost praćenja uzročnika potreba, glavni termin plan proizvodnje je pod punom kontrolom korisnika, postoji podsistem za planiranje kapaciteta, kao i dnevne liste raspodele posla i kontrola protoka posla po radnim centrima.

Pojedina pitanja u ostalim grupama zahtevaju određena merenja, za koja treba definisati metode i odrediti tolerancije. Tolerancije su posebno važne pri merenju tačnosti podataka o zalihama, pa se preporučuje upotreba vrednosne (ABC) analize za njihovo određivanje.

4. ZAKLJUČAK

S obzirom na integralni pristup primenjen pri razvoju MRPII sistema, njihovo uvođenje nije nimalo lak zadatak. Njihova složenost zahteva pažljivo planiranje i upravljanje projektom implementacije. Uspeh primene ovakvih sistema zavisi od većeg broja faktora, ali su svakako najvažniji podrška vrhuskog rukovodstva i kvalitetna obuka, odnosno razumevanje sistema od strane onih koji će ga koristiti.

Ovi sistemi nose sa sobom mnoge potencijalne koristi za preduzeća koja se za njih opredele. Neka istraživanja su pokazala da uspešna primena MRPII sistema garantuje uštede kroz smanjenje nivoa zaliha, skraćenje vremena isporuke, poboljšanu isporuku i smanjenje nedovršene proizvodnje. Takođe, ovakvi sistemi doprinose većoj integraciji funkcija industrijskog preduzeća.

5. LITERATURA

- [1] Booth J., Manufacturing Resource Planning - An Executive Guide to MRPII, Department of Trade and Industry, UK, 1991.
- [2] Browne J., Harhen J., Shivan J., Production Management System - A CIM Perspective, Addison - Wesley, 1988.
- [3] Lazarević B., Dizdarević P., Jovanović V., Projektovanje informacionih sistema, Naučna knjiga, Beograd, 1985.
- [4] Orlicky J., Material Requirements Planning, McGraw-Hill, New York, 1975.

MRPII CONCEPT OF AN INDUSTRIAL ENTERPRISE INFORMATION SYSTEM

Summary

The MRPII approach to the manufacturing resources management represents a worldwide accepted model for the information system engineering in manufacturing industry. This paper presents the development of this concept, its current basics and the elements for assessing how successful an MRPII system implementation is. The paper reviews MAPICS/DB as one practical realization of the MRPII concept.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

D. Domazet, M. Manić, M. Trajanović, D. Mišić*

KONCEPT UNIVERZALNE SOFTVERSKE PLATFORME ZA RAZVOJ CAPP SISTEMA

R e z i m e

U radu je izložen konceptijski model univerzalne softverske platforme za razvoj sistema za projektovanje tehnoloških procesa. Platforma sadrži univerzalno primenljive softverske module čijom se kombinacijom i eventualnom modifikacijom razvija specifični CAPP sistem za određenu namenu i određenu industrijsku sredinu. Primenom do sada razvijenog dela platforme, razvijeno je nekoliko specifičnih CAPP sistema koji su potvrdili praktičnu upotrebljivost izloženog pristupa.

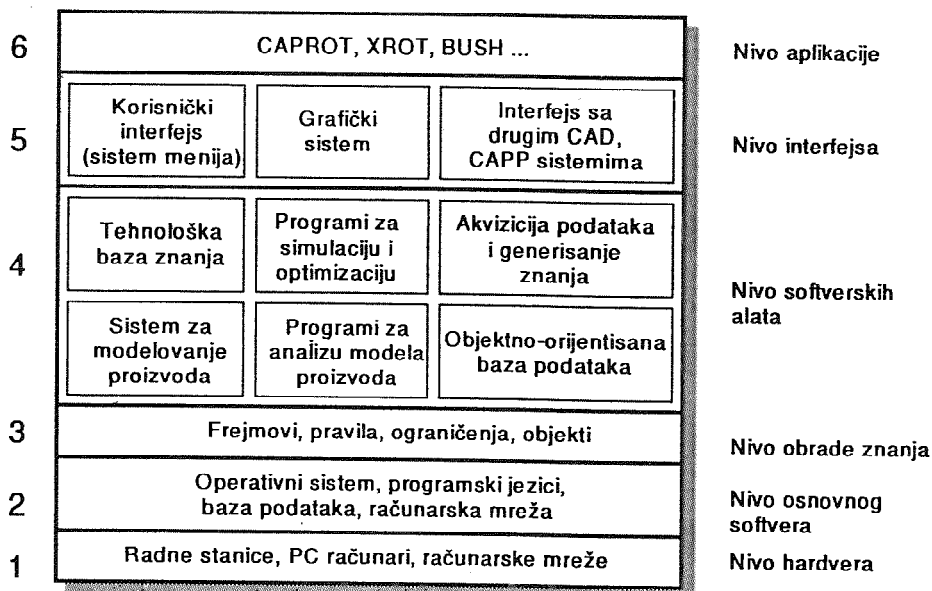
1. UVOD

Primena računara u automatizaciji rada inženjera koji rade u tehnološkoj pripremi se dosada uglavnom svodila na eventualnu izradu upravljačkih programa za upravljanje radom CNC alatnih mašina. Pri tome se eventualno koristi geometrija dela uzeta iz geometrijskog modela proizvoda dobijnim ua pomoć nekog CAD sistema. Metodi za automatsko projektovanje tehnoloških procesa varijantnog ili generativnog tipa do sada nisu šire primenjeni u industrijskog praksi zbog vrlo složenih zahteva koje ovakvi sistemi treba da ispune. S jedne strane to je rad sa vrlo složenim i heterogenim strukturama podataka i znanja, a s druge strane, su zahtevi za visok stepen saradnje i koordinacije sa drugim službama u preduzeću. I u slučajevima kada su razvijeni relativno dobri sistemi, oni nisu mogli da budu univerzalno primnjeni zbog visokoh nivoa specifičnosti korisnika u industriji. Ideja je da se umesto kompletnog sistema, razvije jedna univerzalna softverska platforma koja će sadržati sve one softverske module koji mogu biti od opšteg interesa za sve korisnike, tako da njihovom kombinacijom, uz dodavanje svojih specifičnih modula, svaki korisnik može da razvije, uz minimalni napor, svoj specifični CAPP sistem [1]. U ovom radu se izlaže koncept jedne takve softverske platforme koja se razvija na Mašinskom fakultetu u Nišu.

2. KONCEPT I STRUKTURA SOFTVERSKE PLATFORME

* dr Dragan Domazet, red. prof., Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14
mr Miodrag Manić, asistent, Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14
mr Miroslav Trajanović, asistent, Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14
Dragan Mišić, asistent-pripravnik, Mašinski fakultet u Nišu, Beogradska 14

Softverska platforma za razvoj sistema za projektovanje tehnoloških procesa predstavlja skup softverskih modula koji obezbeđuju automatizovano izvršenje uz pomoć računara pojedinih aktivnosti i zadataka tehnologa, tj. projektanta tehnoloških procesa. Ona mora da bude vrlo fleksibilna da bi omogućila integrisanu primenu različitih programskih sistema razvijenih od strane različitih firmi, a koji su namenjeni automatizaciji pojedinih aktivnosti u tehnološkoj pripremi proizvodnje. Zbog toga, softverska platforma se oslanja na maksimalnu primenu svih raspoloživih standarda u oblasti razmene podataka (PDES, AIS), komunikacija i računarstva. Kako su funkcije platforme različitog stepena opštosti, to je prihvaćena višenivoiska softverska arhitektura (slika 1).



Slika 1 Struktura softverske platforme za projektovanje tehnoloških procesa

Nivo 1: Nivo hardvera

Platforma podržava upotrebu grafičkih radnih stanica (Unix-orijentisanih) i PC računara (386/486 sa memorijskim proširenjima i matematičkim koprocessorima), kao i njihovo povezivanje u računarske mreže.

Nivo 2: Nivo osnovnog softvera

Ovaj nivo sadrži osnovni, sistemski softver koji koriste ostali, viši softverski nivoi platforme. Platforma podržava operativne sisteme: Unix/X Windows i MS-DOS/Windows. Od programskih jezika koriste se C/C++ i Fortran77 programski jezici. Koristi se Ethernet mreža. Platforma podržava korišćenje ORACLE relacione baze.

Nivo 3: Nivo obrade znanja

Za definisanje frejmova objektno-orientisanog programiranja koristi se sistem CLIPS koji koristi C programski jezik. Ovaj sistem podržava primenu svih pravila objektnog programiranja, a omogućava i integraciju algoritamskog (tj. procedure i metodi) i nealgoritamskog načina programiranja (produkcione pravila).

Nivo 4: Nivo softverskih alata

Ovaj nivo sadrži grupe programskih biblioteka/sistema koji automatizuju pojedine karakteristične aktivnosti sistema za projektovanje tehnoloških procesa. Ovde se navode nekoliko najznačajnijih:

4.1. Sistem za modelovanje proizvoda

Svaki CAD sistem koristi svoj specifični način predstavljanja proizvoda u računaru. Da bi sistem mogao da komunicira sa što većim brojem CAD sistema, biće korišćen PDES standard, tj. standardni PDES format za prenos podataka modelu proizvoda. Ovo će omogućiti korišćenje svih CAD sistema koji koriste ovaj standard. Zbog vrlo česte upotrebe, biće razvijen i komunikacioni interfejs sa AutoCAD sistemom. Trenutno, platforma direktno koristi samo model proizvoda koji se dobija pomoću CADROT sistema. Bez obzira koji se CAD sistem koristi, platforma vrši konverziju eksterno definisanog modela proizvoda u svoji interni model proizvoda koji je objektno-orijentisan i koji omogućava primenu obrade simbola, tj. primenu ekspertnih sistema.

4.2. Programi za analizu modela proizvoda

Ova biblioteka sadrži programe u vidu funkcija i skupa pravila koji vrše analizu modela proizvoda u cilju izdvajanja karakterističnih tehnoloških formi (tj. tehnoloških elemenata) i drugih tehnoloških parametara (kvaliteta površina, tolerancija). Takođe, biblioteka sadrži i druge programske funkcije koje se često koriste pri analizi proizvoda (npr. određivanje gabaritnih dimenzija, težine i sl.).

4.3. Objektno-orijentisana baza podataka

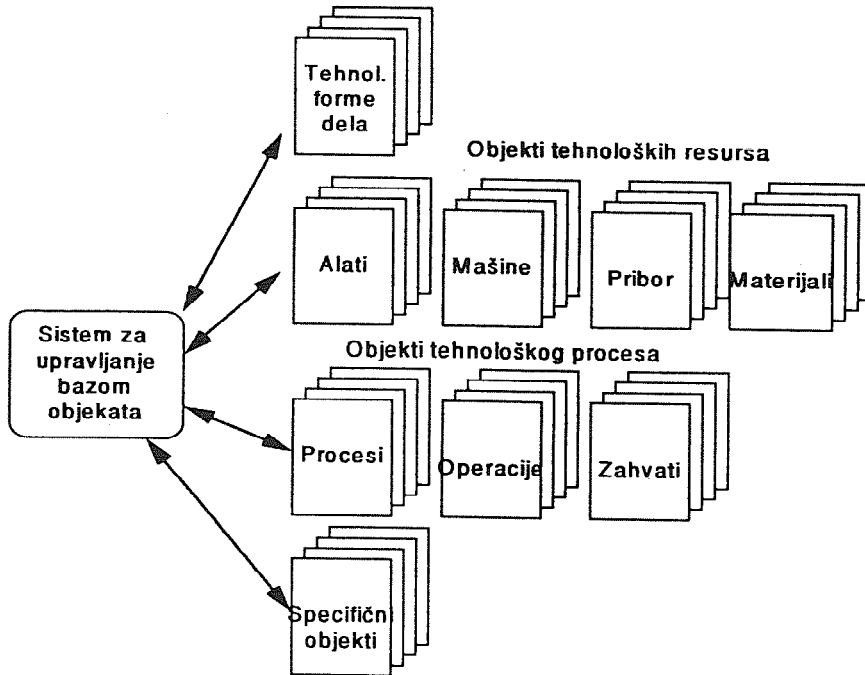
Pored tehnoloških formi modela proizvoda, u vidu objekata se definišu i ostali entiteti tehnološkog procesa, kao što su: alatne mašine, alati, pribor, roboti i transportna sredstva, materijali i dr. Svi ovi entiteti se definišu u vidu objekata čiji atributi sadrže objektno-orijentisane vrednosti (brojevi, simboli, metodi, intervali, nizovi). Formiranu objektno-orijentisanu bazu podataka koriste ekspertni sistemi i programski moduli višeg ili istog nivo pri svom radu. Objektno predstavljeni podaci platforme za razvoj CAPP sistema dele se u četiri grupe (slika2):

- objektno prikazane tehnološke forme predmeta izrade,
- objektno prikazani podaci tehnoloških resursa (alata, alatnih mašina, materijala, idr.)
- objektno prikazani podaci o tehnološkom postupku, tj. plana procesa izrade dela (tehnološkog procesa, operacija), i
- specifični objekti karakteristični za određena područja primene sistema.

4.4. Tehnološka baza znanja

Sistem za projektovanje tehnoloških procesa u sebi sadrži kako univerzalno primenjiva tehnološka znanja, tako i specifična tehnološka znanja lokalnog značaja, tj. znanja koja su karakteristična za primenjene tehnološke resurse i know-how preduzeća. Univerzalno primenjiva tehnološka znanja se mogu definisati u vidu produkcionih pravila, sistema ograničenja ili funkcija, tj. metoda koja se primenjuju za određivanje vrednosti pojedinih atributa objekata tehnološkog procesa. Na primer, znanja o izboru plana stezanja predmeta rada, o redosledu obrade, o izboru reznih alata i dr. mogu biti smeštena u posebnu bazu znanja iz koje će se uzimati oni segmenti tehnološkog znanja koji su potrebni pri razvoju specifičnih sistema za projektovanje tehnoloških procesa (tzv. CAPP sistema). Moguća su i

odgovarajuća prilagođavanja tih znanja za određeni tehnološki ambijent, što svakako ubrzava razvoj specifičnih CAPP sistema.



Slika 2 Objektno predstavljeni podaci tehnoloških procesa

4.5. Programi za simulaciju i optimizaciju

Pored iskustvenih tehnoloških znanja za koje se najčešće koriste metode veštačke inteligencije za njihovo predstavljanje, tj. frejmovi, produkciona pravila i relaciona ograničenja, postoje tehnološka znanja koja imaju određen teorijski osnov. Takva znanja se predstavljaju algoritamskim metodama programiranja, tj. razvijaju se odgovarajući programi, procedure ili funkcije na osnovu odgovarajućih algoritama. Na primer, određivanje parametara režima rezanja (brzina rezanja, pomak i dubina rezanja) se često vrši primenom odgovarajućih matematičkih izraza koji imaju teorijsko-eksperimentalnu podlogu, a u cilju dobijanja optimalnih režima rezanja, mogu se primeniti i odgovarajuće metode optimizacije. Takođe, radi verifikacije projektovanog tehnološkog procesa, vrše se odgovarajuće grafičke simulacije procesa rezanja. Za sve ove aktivnosti i zadatke, razvijeni su odgovarajući programi koji mogu biti iskorišćeni pri razvoju specifičnih CAPP sistem.

4.6. Akvizicija podataka i generisanje znanja

Tehnološki procesa baziraju u velikom delu na iskustvenim znanjima stvorenim na osnovu sprovedenih eksperimenata, proba i praksom. Primena računara u prikupljanju (akviziciji) raspoloživih rezultata svih eksperimenata i primena postupaka u praksi može biti vrlo značajna, jer se na osnovu velikog broja prikupljenih i obrađenih podataka mogu izvući odgovarajući zaključci ili preporuke, tj. generisati nova tehnološka znanja. Zato su od posebnog interesa metode mašinskog učenja, kao što su neuronske mreže, genetskih algoritama, pa i regresione analize. Poželjno je da softverska platforma za razvoj CAPP

sistema ima biblioteku takvih programa, kako bi se neki od njih koristili pri razvoju i primeni specifičnih CAPP sistema.

Nivo 5: Nivo interfejsa

5.1. Korisnički interfejs

Pri razvoju programskih sistema puno se vremena troši pri razvoju sistema menija i interfejsa prema korisniku sistema, jer je ugodna, brza, laka i pouzdana komunikacija između čoveka i računara vrlo bitna za uspeh primene programskog sistema u industrijskoj praksi. Zato je poželjno da programska platforma ima univerzalno primenjiv interfejs sa korisnikom, koji se može prilagođavati konkretnim potrebama i zahtevima korisnika. U tom cilju, softverska platforma koristi dva osnovna programska sistema za razvoj sistema menija:

- Motif, pri korišćenju UNIX/X-Windows sistema, i
- Windows, pri korišćenju MS-DOS/Windows sistema.

Primena standardnih softverskih alata za razvoj korisničkog interfejsa omogućava unificiranost menija i isti način komunikacije sa korisnikom, bez obzira na korisničku aplikaciju sa kojom korisnik radi.

5.2. Interfejs sa drugim CAD/CAPP sistemima

Već je napomenuta da se primenom odgovarajućih AIS i PDES standarda obezbeđuje komunikacija i razmena podataka sa drugim CAD sistemima. U planu je i razvoj interfejsa sa AutoCAD sistemom. Na osnovu unetih podataka o modelu proizvoda, formira se objektno-orijentisani model proizvoda koji se koristi pri projektovanju CAPP sistema. Još ne postoje standardi za povezivanje različitih CAPP sistema, te se interfejsi sa CAPP sistemima moraju razvijati od slučaja do slučaja.

5.3. Grafički sistem

Računarska grafika je vrlo korisno sredstvo za prikaz rezultata i za komunikaciju sa programskim sistemima u inženjerstvu. Razvijen je veliki broj grafičkih biblioteka koje obezbeđuju realizaciju svih grafičkih funkcija koje programske aplikacije zahtevaju. U cilju da se obezbedi nezavisnost softverske platforme od računarske opreme (hardvera) koristi se GKS sistem (Graphical Kernel System) koji je ISO standardizovan. Platforma sadrži GKS implementacije kako za nivo PC računara, tako i za nivo Unix grafičkih stanica.

Nivo 6: Nivo aplikacija

Najviši nivo softverske platforme je nivo aplikacija, koji sadrži programske sisteme za projektovanje tehnoloških procesa razvijene uz pomoć opisane softverske platforme. Ovi specifični CAPP sistemi su prilagođeni određenoj nameni u tehnološkom okruženju određenog industrijskog pogona, te mogu da se uspešno ne samo primene, već i usavršavaju u toku korišćenja. Ovu dobru osobinu svih namenskih sistema imaju specifični sistemi razvijeni uz pomoć opisane softverske platforme, ali pri tome nemaju nedostatak namenskih sistema: dug period i visoka cena razvoja. Ovi nedostaci su izbegnuti zbog korišćenja univerzalno primenjenih softverskih modula koje sadrži platforma, koji se ili koriste bez ikakvih izmena, ili uz odgovarajuće manje izmene. Na taj način se na brz i jeftin način dobijaju specifični CAPP sistemi za određen industrijski ambijent, tj. dobija se sistem "po meri" uz korišćenje unificiranih modula u većem delu sistema. Primenom prototipske verzije softverske platforme razvijeno je nekoliko specifičnih sistema:

-XROT sistem za izradu tehnoloških procesa rotacionih delova i analizu tehnoloških procesa u ambijentu Unix/X-Windows sistema, grafičkih radnih stanica povezanih Ethernet mrežom [2,3].

-CAPROT sistem za generisanje tehnološkog procesa izrade rotacionih delova u ambijentu Unix ili MS DOS sistema na PC računarima [4].

- BUSH sistem za projektovanje operacija bušenja

3. ZAKLJUČAK

Izložen konceptualni model softverske platforme za razvoj sistema za projektovanje tehnoloških sistema omogućava brzi i jeftin razvoj specifičnih CAPP sistema, tj. sistema razvijeni za tačno određene uslove primene. Softverska platforma sadrži univerzalno primenljive softverske module čijom se selektivnom upotrebom, uz eventualne korekcije, razvija CAPP sistem "po meri" korisnika. Na taj način se dobija praktično upotrebljiv CAP sistem uz minimalne troškove razvoja i minimalno vreme razvoja. Do sada razvijeni delovi softverske platforme su uspešno iskorišćeni pri razvoju nekoliko specifičnih CAPP sistema, čime je verifikovan konceptualni pristup, te će se u daljem razvoju razvijati preostali delovi softverske platforme. Do sada razvijeni deo softverske platforme ugrađen je u sistem za simultano projektovanje rotacionih delova CIMROT [6]

4. LITERATURA

- (1). M. Lucenti, S.C-Y. Lu, P.M.Ferriera, Manufacturing Planning Enabling Platform, 1992 Annual Report, Knowledge-based Engineering Systems Research Laboratory, Department of Mechanical and Industrial Engineering, University of Illinois at Urbana-Champaign
- (2). D. S. Domazet, S.C-Y. Lu, Concurrent Design and Process Planning of Rotational Parts, Annals of the CIRP, Vol. 41/1, 1992., str. 181-184
- (3). D. S. Domazet, Ekspertni sistem za projektovanje tehnoloških procesa za rotacione delove - XROT, XVIII JUPITER konferencija, Kopaonik, 1992. god. Mašinski fakultet u Beogradu.
- (4). M. Manić, D.Domazet, D.Mišić, CAPROT generativni sistem za planiranje tehnoloških postupaka izrade rotacionih delova obradom rezanjem, 1. Međunarodni skup Teška Mašinogradnja TM'93, Kruševac, 1993.
- (6). D. S. Domazet, M.Trajanović, M. Manić: CIMROT - System for Concurrent Design, Engineering and Process Planning of Rotational Parts, Second International Conference and Exhibition on Computer Integrated Manufacturing - ICCIM '93, Singapore, 1993

PROCESS PLANNING SYSTEMS DEVELOPMENT ENABLING PLATFORM

Summary

The paper presents the conceptual model of the process planning enabling platform. It contains generic programs and software modules that can be combined, with eventual slight modifications, during the development of specific process planning (CAPP) systems for a known user and application. The presented and applied approach enables fast and economic development of specific CAPP systems. Several specific CAPP systems have been developed using the currently available developed enabling platform. They demonstrated practical benefits of the presented approach.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

D.Marković, S.Djurić, N.Tošković

NEKA ISKUSTVA U PRIMENI RAČUNARA ZA PROJEKTOVANJE
TEHNOLOGIJE

Rezime

U radu su prezentirana iskustva DD IMK "14.Oktobar" iz Kruševca vezana za primenu računara u oblasti projektovanja i izrade tehnologije.

Dat' je prikaz programskih paketa, koji su razvijeni u Istraživačkom institutu za gradjevinske mašine, kao i iskustva vezana za njihovu primenu.

Takodje, opisane su prednosti i nedostaci ovakvih programskih paketa kao i uslovi i pretpostavke koji se moraju ispuniti prilikom njihovog uvodjenja u primenu.

1.0 UVOD

Primena računara u tehničkoj sferi dobija sve više na značaju. Mogućnosti industrijskih računara različitih tipova i svojstava su takve da su u nekim zemljama u velikoj meri automatizovani proizvodni procesi, a ponegde je realizovana i automatizacija čitavih proizvodnih pogona.

U razvijenim industrijama široku primenu imaju CAD sistemi (Sistemi za konstruisanje pomoću računara), koji uz primenu novih softverskih tehnologija omogućavaju automatizaciju sve većeg broja aktivnosti u procesu projektovanja i konstruisanja proizvoda.

Dragoslav Marković, dipl. ing. Sava Djurić, dipl.ing.Nebojša Tošković, dipl. ing.
Istraživački institut za gradjevinske mašine, 37000 Kruševac,
ul. "14.oktobar" br.2.
Rad je radjen u okviru projekta Z.1.o385, koji finansira
Ministarstvo za nauku i tehnologiju republike Srbije.

Danas je moguće uz pomoć računara u toku projektovanja i konstruisanja vršiti razne analize, sinteze, optimizacije, simuliranje rada na računaru, izrada tehničkih crteža itd. Dakle, primena računara u ovoj oblasti je vrlo razvijena i omogućava nam da dobijemo mnogo brže konstruktivnu dokumentaciju i kvalitetnije, racionalnije, pouzdanije i jeftinije rešavanje projektno-konstruktivnih zadataka.

Medjutim, CAM sistemi (Sistemi za izradu tehnološke dokumentacije, imaju veoma malu primenu, jer su još uvek nedovoljno razvijeni i kod nas i u svetu.

Najmanje je razvijena primena računara u tehnološkoj pripremi proizvodnje. Najčešće se računar primenjuje za programiranje numerički upravljanih mašina uz pomoć velikog broja programskih sistema razvijenih u tu svrhu.

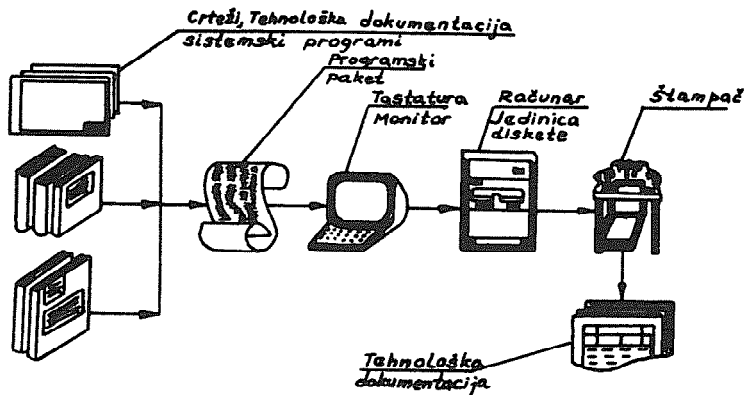
Čak i kod primene ovih sistema još uvek je veoma veliki uticaj tehnologa pri izradi programa. Još su veći uticaj i uloga tehnologa kod formiranja i izrade kompletnih tehnoloških postupaka. Ovo je prouzrokovano prirodom aktivnosti, koje se obavljaju u tehnološkoj pripremi proizvodnje.

Tu su u pitanju aktivnosti koje ne spadaju ni u rutinerske, ni u interaktivne, ni u algoritamske aktivnosti koje je lako automatizovati pomoću računara. To su aktivnosti koje u velikoj meri zavise od znanja i iskustva tehnologa i u kojima se odluke ne donose na osnovu jednoznačno određenih podataka i koje u velikoj meri zavise od mesta i uslova primene. Tek sa razvojem metoda veštačke inteligencije i mogućnošću nastajanja ekspertnih sistema stvaraju se uslovi za viši stepen automatizacije u tehnološkoj pripremi proizvodnje, čime se stvara još jedan od preduslova za realizaciju CIM koncepta proizvodnih sistema (Kompjuterski integrisanih tehnoloških sistema u kojima su automatizovane sve njegove funkcije počev od projektovanja, tehnološkog planiranja, pa do izrade, montaže i kontrole kvaliteta).

U Istraživačkom institutu za gradjevinske mašine DD IMK "14 oktobar" iz Kruševca razvijeni su programski paketi, koji omogućavaju automatizaciju procesa izrade tehnološke dokumentacije pomoću računara za operacije predgrevanja i zavarivanja i postupke izrade cevi i cevovoda. Osnovne karakteristike ovih programskih paketa i prednosti njihove primene date su u ovom radu.

Programski paketi su razvijeni i mogu se koristiti na personalnim računarima PC/AT standardne konfiguracije koji rade pod operativnim sistemom MS DOS.

Na slici 1 dat je šematski prikaz korišćenja razvijenih programskih paketa.



Slika 1. Šematski prikaz korišćenja razvijenih programa na računaru.

2.0. RAZVOJ PROGRAMSKIH PAKETA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE

Osnovni ciljevi i želje prilikom započinjanja razvoja programskih paketa za projektovanje tehnologije bili su :

- Olakšavanje i ubrzavanje procesa izrade tehnologije.
- Izbegavanje dugotrajnih poslova na listanju standarda, normativa, kataloga i slično zbog pronalazaženja podataka.
- Ubrzavanje proračuna podataka
- Skupljanje i formalizovanje znanja eksperata iz pojedinih oblasti i njihovo korišćenje od strane većeg broja tehnologa.
- Povišenje kvaliteta tehnološke dokumentacije i slično.

Tek kao strateški zadatak, pre desetak godina, postavljao se cilj i izrada ekspertnih sistema i uključivanje u informativni sistem cele organizacije i uključivanje u sistem upravljanja proizvodnjom.

Dakle na bazi raspoložive literature, standarda, normativa, ekspertnih znanja, zatim na bazi sistemskih softvera, programskih jezika i korisnicima programa razvijeni su programski paketi čiji je krajnji izlaz tehnološka dokumentacija za pojedine operacije. Konačan cilj realizacije projekta uvođenja računara u pripremu proizvodnje je ostvarivanje veze CAD, CAM i CAP-a čime će biti automatizovan proces izrade konstruktivne, tehnološke, alatne dokumentacije kao i proizvodne dokumentacije (radnih listi, radnih naloga, i trebovanja).

Programi su razvijeni najpre na 16 - bitnom računarskom sistemu PDP - 8 u fortranu ,zatim su prebačeni na grafičku stanicu tektronix 4325 pod UNIX operativnim sistemom u fortranu 77, da bi svi danas radili u IBM PC/AT 386 u višim programskim jezicima, tako da se mogu primenjivati u velikom broju proizvodnih organizacija jer su PC/AT postali standardna oprema za većinu konstruktivnih i tehnoloških biroa kao što su nekad bili šiber ili i danas kalkulator.

U daljem tekstu biće dat kratak pregled razvijenih programskih paketa.

3.0. PREGLED RAZVIJENIH PROGRAMSKIH PAKETA

U razvoju programskih paketa isto se postupilo.

Najpre su razvijani programski paketi za pojedine operacije, pa za tipske delove, da bi se stiglo do eksretnih sistema i kompleksnih informacionih sistema.

3.1. BWRA

BWRA predstavlja programski sistem za automatsko izračunavanje temperature predgrevanja po metodologiji BWRA, koja pri izračunavanju temperature predgrevanja uzima u obzir sledeće uticajne faktore :

- Hemijski sastav osnovnog materijala
- Vrstu spoja, oblik konstrukcije, broj pravaca odvođenja toplote.
- Debljinu osnovnog materijala .
- Tip obloge i dimenzije elektrode.

Sistem radi na principu dijaloga tehnolog-računar.

3.2. T P R

T P R predstavlja sistem za automatsko projektovanje tehnološkog postupka za izvođenje operacije predgrevanja za zavarivanje.

Temperatura predgrevanja se može izračunavati po metodi Seferijana ili po metodi Ito- Besio.

Sistem omogućava uvid u datoteku osnovnih materijala i daje uvid u hemijski sastav željenog materijala, Veoma je jednostavan za primenu. Koristi se na principu dijaloga tehnolog računar, a kao izlaz dobija se operacioni list sa izračunatom temperaturom predgrevanja i tehnološkim vremenima.

3.3. CEVI

Cevi predstavlja sistem za automatsko projektovanje tehnologije izrade cevi i zavarenih cevovoda za hidraulične instalacije.

Koristi se veoma jednostavno. "Odgovarajući na upite računara" tehnolog unosi neophodne podatke sa konstruktivne dokumentacije, a računar proračunava automatski sve neophodne parametre i štampa tehnološke postupke.

3.4. SAPTEZA

Sapteza predstavlja ekspertni sistem namenjen za automatsko projektovanje tehnologije zavarenih spojeva.

Sapteza omogućava, na bazi podataka iz konstruktivne dokumentacije, u dijalogu tehnolog - računar, dobijanje tehnološkog postupka izrade zavarenih spojeva uključujući i operaciju predgrevanja za zavarivanje.

Tehnološki postupak sadrži sve neophodne parametre uključujući i vremena izrade zavarenih spojeva.

Sapteza omogućava izradu tehnologije za sledeće postupke zavarivanja : GZ, REL, MIGIMAC, TIGIWIG, EPP i EO.

3.5. L I V

L I V predstavlja programski sistem namenjen livnicama i omogućava proračun legiranja i optimalnu korekciju istopljenog liva na bazi analiza rastopljenog materijala (šarže) u procesu livenja i dobijanje optimalni željeni sastav liva. Takođe omogućava praćenje zaliha materijala od kojih se formira uložak za šaržu u pećima, kao i troškove livenja. Pored ovoga formira pisani dokument o toku procesa topljenja i livenja po pojedinim pećima. Sistem radi na principu dijaloga tehnolog - računar i jednostavan je za primenu.

3.6. G A P

C A P je programski sistem namenjen za izradu prateće proizvodne dokumentacije. Nastao je kao nadogradnja programskog sistema cevi, tako da se posle unošenja podataka sa konstruktivne dokumentacije o cevi ili cevovodu, automatski formira tehnološki postupak za izradu cevi ili cevovoda, ali se istovremeno dobijaju štampani sa računara i proizvodni dokumenti: radni nalog, rana lista i trebovanja. Princip korišćenja je isti kao i kod programskog sistema cevi.

3.7. WELDING

Welding predstavlja poboljšanu verziju ekspertnog sistema sapezeza. Princip korišćenja je isti, ali je rad mnogo komforniji i manje je " odgovora" koje tehnolog "mora" da da računaru da bi dobio tehnološki postupak.

3.8. W I S

W I S je složeni informacioni sistem namenjen za primenu zavarivačkoj delatnosti. Ima četiri nezavisna modula, koji skupa čine informacioni sistem koji se po karakteristikama može svrstati medju najbolje u ovoj oblasti.

Raspolaže modulom za projektovanje tehnologije, poslovnim modulom sa podacima o zavarivačima, opremi, pogonima, planovima proizvodnje, ugovorima, bazama podataka o osnovnim i dodatnim materijalima i parametrima zavarivanja i univerzacionim pomoćnim modulom. Veoma je jednostavan za primenu, a kao izlaz pored tehnološke dokumentacije mogu se dobiti izveštaji vezani za zavarivačku delatnost u konkretnoj organizaciji.

3.9. CUTTING

Cutting predstavlja informacioni sistem u oblasti termičkog rezanja (gasno rezanje, plazma rezanje, lasersko rezanje) raspolaže sa sledećim modulima :

- Modul za izradu tehnologije rezanja obuhvata izradu tehnologije za :
 - Gasno rezanje gorivom smešom acetilen - kiseonik .
 - Gasno rezanje gorivom smešom propan - butan .
 - Plazma rezanja.
 - Lasersko rezanje.
- Poslovni modul sadrži:
 - Podaci o mašinama.
 - Tehnološke mogućnosti opreme.
 - Podatke o planovima proizvodnje.
 - Ugovore.
- Baze podataka sadrže:
 - Podatke o osnovnim materijalima .
 - Podatke o časovima.
 - Podatke o alatima (diznama)
 - Parametre rezanja.
 - Produkciona pravila.

- Pomoćni modul je univerzalne namene i sadrži :

- Podatke o informacionom sistemu.
- Kalkulator.
- Sat i t.d

Korišćenje programa je jednostavno i zasniva se na dijalogu tehnolog - računar.

3.10. D O K

D O K je programski paket namenjen za korišćenje u konstruktivno tehnološkim biroima. Predstavlja ustvari kartoteku delova sa svim matičnim podacima o njima i omogućava listanje i strukturiranje po različitim kriterijumima (nazivu, broju, materijalu, mestu izrade, mestu gradnje, nivo i t.d.)

4.0. ZAKLJUČAK

Mogućnosti primene računara za izradu tehnološke dokumentacije su ogromne i zahtevaju mnogo rada. To je praktično najteža oblast u tehnici za primenu računara zbog nemogućnosti uspostavljanja direktnih i jednoznačajnih veza između više faktora. Neophodan je mukotrpan rad na sistematizaciji tehnoloških znanja, iskustava i normativa s jedne strane i vrhunsko po znavanje računarske tehnologije s druge strane da bi se dobili upotrebljivi programi.

5.0. LITERATURA

1. Marković, Djurić Projektovanje tehnologije pomoću računara u uslovima IMK "14 Oktobar" Kruševac, Kruševac 1989 god.
2. Marković, Djurić Razvijeni programski paketi u periodu 1987 - 1993 Kruševac.

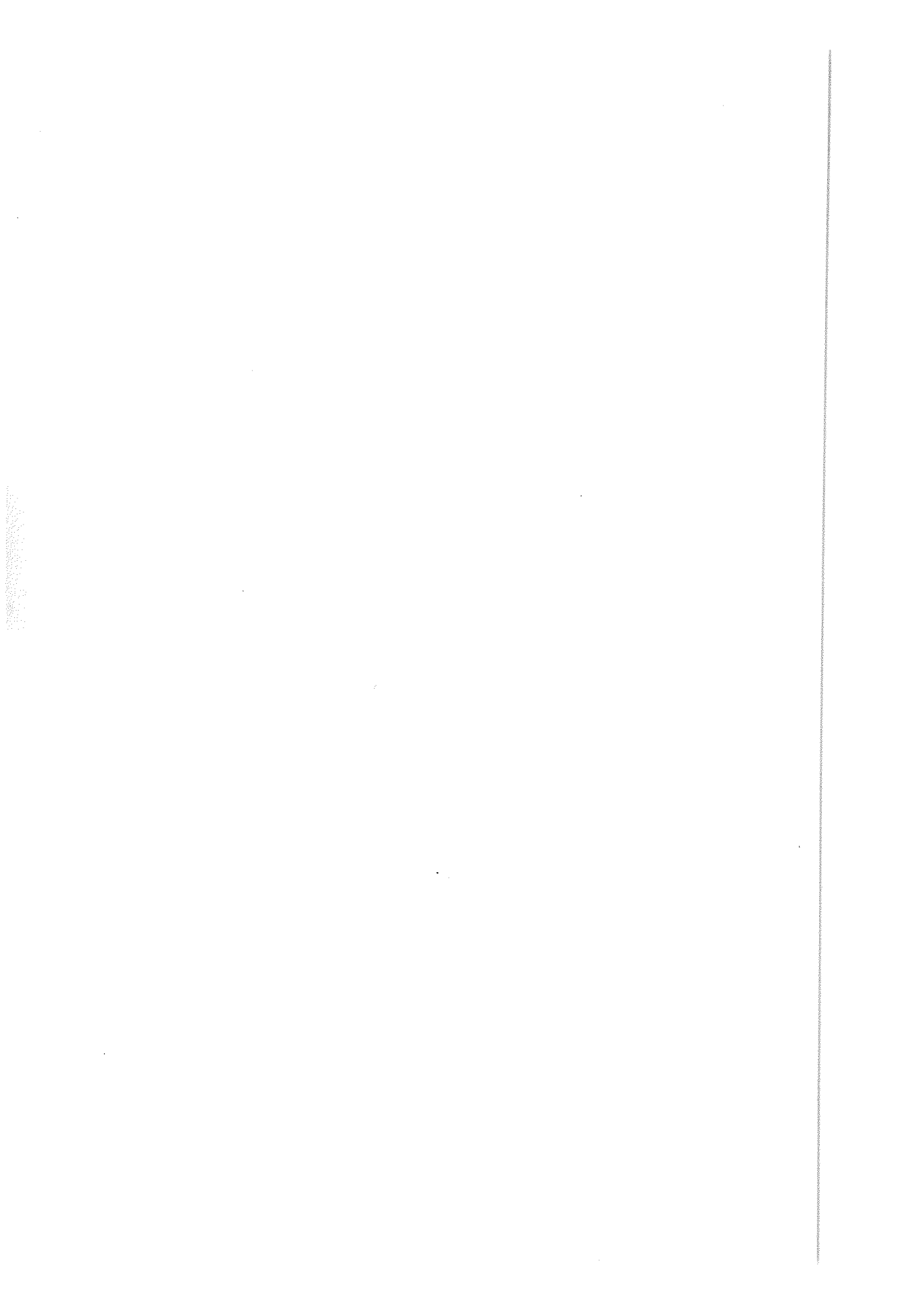
D. Marković, S. Djurić, N. Tošković

DARSTELLUNG DER RECHNERANWENDUNG FÜR DIE
TECHNOLOGIEPROJEKTIERUNG

ZUSAMMENFASSUNG

Diese Arbeit präsentiert die Erfahrungen der Aktiengesellschaft IMK "14. Oktobar" aus Kruševac, die sich auf die Anwendung der Rechner beziehen im Gebiet der Technologie und Technologieausarbeitung.

Es wurden die Programmpakete und Anwendungserfahrungen vorgestellt, die in Baumaschinenforschungsinstitut ausgearbeitet wurden.



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

В. Мечанин

Г. Миодраговић

ПРИЛОГ ОПТИМИЗАЦИЈИ ОБРАДНИХ ПРОЦЕСА
У ТЕШКОЈ МАШИНОГРАДЊИ

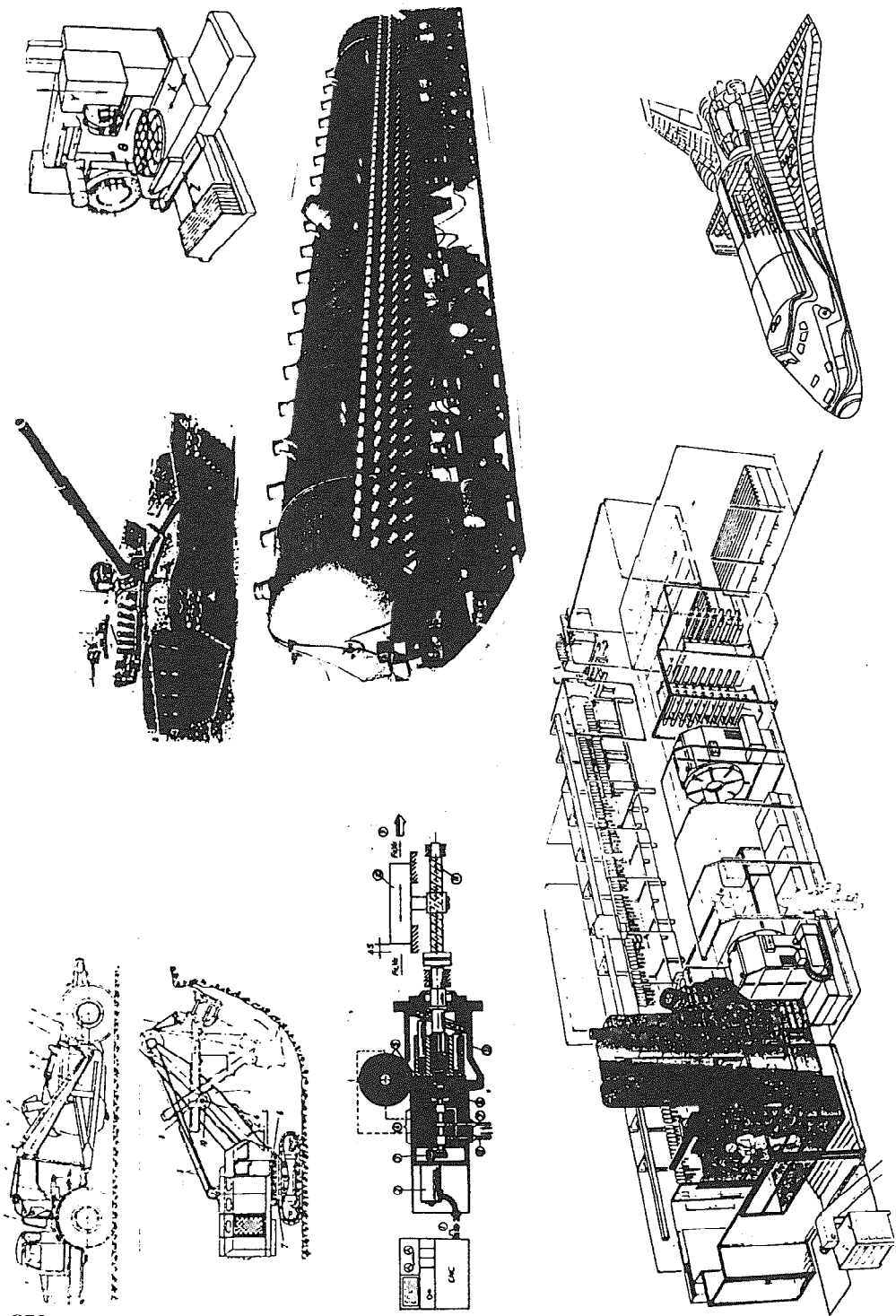
РЕЗИМЕ

Обрадни процеси у тешкој машиноградњи карактеристични су по томе што обухватају проблеме обраде структура високе геометријске и технолошке сложености, већих димензија и маса. Ради тога, оптимизациони процеси у овој области имају посебан значај јер обезбеђују високе економске ефекте о чему се у раду говори.

1. УВОД

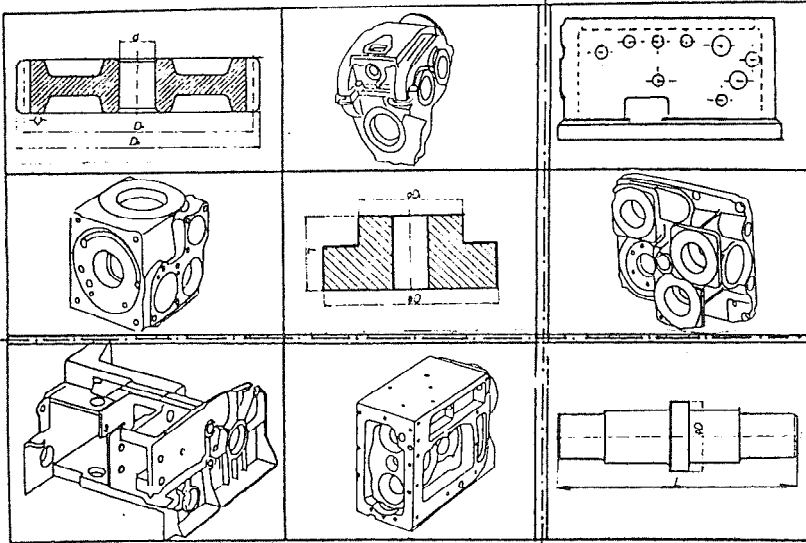
Оптимизациони процеси у било којој сфери у производним технологијама, имају веома велики утицај на економичност и производност. То посебно важи за обрадне процесе у тешкој машиноградњи где у структурној изградњи доминирају геометријски и технолошки сложене структуре и сложени делови, као што су : постола машина, кућишта преносника, носеће структуре обрадних јединица, вратила и зупчаници хидроелектрана и остали делови велике технолошке сложености и великих маса и димензија. Наведени обрадци учествују са око 15 % у машинским системима, а са око 53 % у њиховим трошковима. То сазнање упућује на веома велики значај оптимизационих процеса на овом подручју. Назив "тешка машиноградња " је појам који се намеће при проучавању машина, система и компонената [1], већих димензија маса и сложености. Ту спадају тешке грађевинске и рударске

Др Вучко Мечанин, дипл. инг., ред. професор,
Миодраговић Горан, дипл. инг., асистент приправник
Машински факултет Краљево, Доситејева 19, 36000 Краљево.



Слика 1. 1. Субјекти тешке машиноградње

машине, тешке алатне и производне машине за обраду резањем и деформисањем, железнички и друшки транспортни системи, енергетски системи, системи хидро и термо електрана, системи наменске производње исл. Субјекти тешке машиноградње приказани су на сл. 1.1., карактеристични су са становишта пројектовања и прорачуна, обрадних процеса, испитивања и контроле и економичности. Нас у овом случају интересују обрадни процеси субјеката тешке машиноградње и то оног дела, који се односи на проблеме обраде сложених структура приказаних на сл. 1.2.



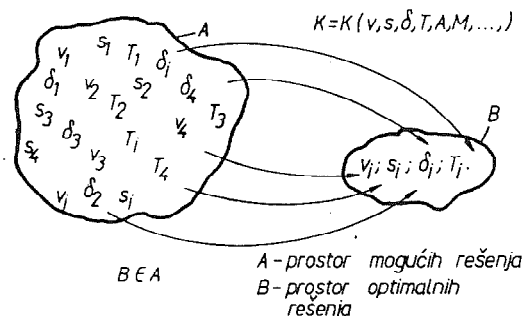
Слика 1.2. Матрица карактеристичних обрадака у тешкој машиноградњи

Обрадни процеси сложених структура (обрадака) у тешкој машиноградњи, карактеристични су по томе што се одвијају у условима повећаних статичких, динамичких и енергетских оптерећења са једне стране и у условима повећане геометријске и технолошке сложености са друге стране.

Посебан значај проучавању обрадних процеса сложених структура има утицај сложених структура на укупне трошкове система, где сложене структуре учествују са око 15% у структурној изградњи, а у цени машине или система са око 50%. Узимајући у обзир наведено као и карактеристике обрадних процеса сложених структура где при обради постоји више поступака обраде и више алата у обради, оптимизациони процеси, треба да обезбеде параметре, који ће омогућити одвијање обрадних процеса у простору оптималних решења, како је то према [2], приказано на слици 1.3.

За оптимизационе процесе потребно је познавање више научних дисциплина. То су у основи: законитости обрадних процеса, математичко моделирање, методе оптимизације, програмски системи и програмирање и слично. Осим тога, потребно је систематско истраживање функција обрадљивости, чије аналитичке

вредности дефинишу функције ограничења као карактеристика обрадних процеса.



Слика 1.3. Изналажење оптималних из простора могућих решења параметара обрадних процеса

2. МОДЕЛИ ОБРАДНОГ И ОПТИМИЗАЦИОНОГ ПРОЦЕСА

Модел обрадног и оптимизационог процеса представљају математички опис појава које се у систему или процесу одвијају. Модел се описује алгебарским једначинама, диференцијалним или парцијалним диференцијалним једначинама, интегралним једначинама итд. Њихов облик зависи од објекта оптимизације. Постоје два приступа техноекономској оптимизацији и то критеријум минималних трошкова и критеријум максималне производности. Оптимизације се углавном изводе према критеријуму минималних трошкова. Лоцирајући проблеме на обраду сложених структура скидањем структине, оптимизацију је могуће извести према [1], [2], [3], [4], ..., моделима:

$$K = K_{NR} \left[\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (t_{ij} + t_{pij}) + \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{t_{ij}}{T_{ij}} (t_{z_{ij}} + \frac{K_{aij}}{K_{MR}}) \right] \left(\frac{\text{din}}{\text{kom}} \right) \quad (2.1)$$

$$K = K_{NR} \left[\sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n (t_{ij} + t_{pij}) + \sum_{j=1}^p \sum_{i=1}^n \frac{t_{ij}}{T_{ij}} (t_{z_{ij}} + \frac{K_{aij}}{K_{MR}}) \right] + \frac{K_{PM} + K_{PR} + K_S}{NS} \left(\frac{\text{din}}{\text{kom}} \right) \quad (2.2)$$

Модел у облику (2.1) односи се на обрадне процесе са класичним управљањем, а модел у облику (2.2) на обрадне процесе са компјутерским управљањем. Ови модели представљају основне моделе и за оперативан рад потребна је њихова трансформација на моделе поступака обраде. Увођењем аналитичких израза за режиме обраде за поједине поступке, исти се трансформише на облик прикладан за оперативан рад на рачунару. Тако трансформисани модел за обраду струганем на CNC машинама има облик:

$$K = K_{MO} \left(\sum_{i=1}^n t_{pi} + \frac{1}{318} \sum_{i=1}^n \frac{D_i l_i a_i}{v_i s_i \delta_i} \right) + \frac{K_{MO}}{318} \left[\sum_{i=1}^n \frac{D_i l_i a_i}{C v_i^m} \cdot v_i^{1/m-1} s_i^{y/m-1} \delta^{x/m-1} \right] + \frac{K_{PM} + K_{PR} + K_S}{NS} \quad \left(\frac{din}{kom} \right) \quad (2.3)$$

Израз (2.3) представља функцију циља (F_c) при оптимизацији и њој се додају функције ограничења које дефинише обрадни систем (машина, алат и обрадак).

3. ИЗБОР МЕТОДЕ ОПТИМИЗАЦИЈЕ

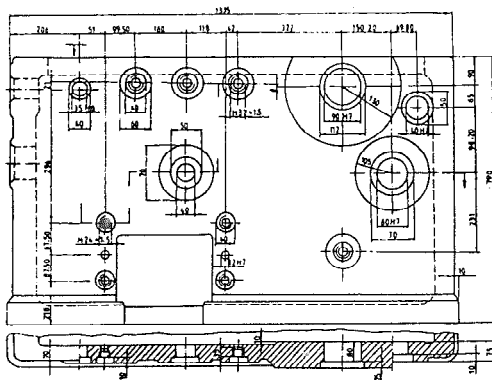
На подручју теорије оптимизације развијено је више метода и поступака које се могу користити при оптимизацији обрадних процеса. За истраживање метода оптимизације апликативних на подручју обрадних процеса може да послужи преглед на сл. 3.1. потребно је нагласити да се при оптимизацији обрадних процеса могу користити различите методе. То су на пример методе линеарног програмирања, нелинеарног, геометријског и динамичког програмирања. За сада се углавном користе методе линеарних и нелинеарних оптимизација. Имајући у виду да се обрадни процеси описују нелинеарним математичким моделима, то је унутро оптимизацију вршити методама NLP-а, при чему се избегавају одређене трансформације.

КАРАКТЕРИСТИКА МЕТОДЕ	МПА	МЕТОДЕ КАЗНЕНИХ ФУНКЦИЈА	МЕТОДЕ ДИРЕКТНОГ ПРЕТРАЖИВАЊА
	НЛП		
ОБЛИК F _c	Л и НЛ	Л и НЛ	Л и НЛ
ОГРАНИЧЕЊЕ У ВИДУ ЈЕДНАЧИНА	Л и НЛ	Л	Л и НЛ
ОГРАНИЧЕЊЕ У ВИДУ НЕЈЕДНАЧИНА	Л и НЛ	Л и НЛ	Л и НЛ
ИНИЦИЈАЛНИ ВЕКТОР	Д и Н	унут	Д и Н
БРЗИНА КОНВЕРГЕНЦИЈЕ	ниска	висока	средња
ПРИМЕНА У ОБРАДНИМ ПРОЦЕСИМА	+	+	+

Слика 3.1. Карактеристике неких метода NL оптимизација

4. ПРИМЕР ОПТИМИЗАЦИЈЕ

На основу разрађене проблематике у раду, даје се краћи пример оптимизације обраде сложене структуре (постола) пресе на CNC обрадном центру и то за сегмент обраде развртањем.



RAZVRTANJE

	A1	A2	A3
K3	136.54	610.14	760.54
K4	2.52	2.52	2.52
K5	34.77	4.04	4.04
T.	173.83	617.10	767.10
PP	74.62	159.12	187.71
V	22.31	22.03	21.52
S	2.00	2.00	2.00
DL	.10	.10	.10
01	.00	.00	.00
C2	1.97	1.97	1.97
C3	.00	.00	.00
C4	21.56	19.83	19.01
C5	.00	.00	.00
C6	.00	.00	.00
C7	108.63	418.22	481.62
TU	3.56	8.39	10.38

Слика 4.1. Пример оптимизације сложене структуре за сегмент обраде разврћањем.

5. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Мечанин В., Рахановић Р., Милојевић М., Гашић М., Карамарковић В., Тешка машиноградња као посебна област проучавања, Први међународни научно-стручни скуп ТМ '93, Крушевац - Врњачка Бања, октобар 1993.
- [2] Рајовић М., Мечанин В., Методе оптимизације апликативне у обрадним процесима тешке машиноградње, Први међународни научно-стручни скуп ТМ '93, Крушевац - Врњачка Бања, октобар 1993.
- [3] Мечанин В., Прилог оптимизацији обраде на CNC обрадним центрима, Техника 9/84, Београд 1984.
- [4] Мечанин В., Оптимизација обрадних процеса на CNC машинама са посебним освртом на обрадне центре, Дисертација, Мостар 1981.
- [5] Himelblau D.M., Applied nonlinear programming, Mc Graw Hill, London 1972.

CONTRIBUTION TO THE HEAVY MACHINERY MACHINING PROCESS OPTIMIZATION

Summary

Heavy machinery machining processes are characterized by problems of processing the structures of high geometrical and technological complexity, great dimensions and masses. Therefore, the optimization processes have a special significance in this field because they provide high economic effects, which are discussed in this paper.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Lj. Papić *
Z. Radojević **
J. Aronov ***

MODEL OCENE KVALITETA TEHNOLOGIJE ODRŽAVANJA
TEHNOLOŠKIH SISTEMA U INDUSTRIJI

Rezime

U cilju ocene kvaliteta tehnologije održavanja tehnoloških sistema u industriji razvijen je model za ocenu tehničkog stanja, zasnovan na klasternoj analizi i Fordovoj tehničkoj analizi predviđene modernizacije. Model uzima u obzir: grupisanje tehnoloških sistema u tehnološke nivoe održavanja, zahteve za održavanjem tehnoloških sistema i nivo primenjene tehnologije održavanja po svakoj aktivnosti. Razvijeni model je verifikovan kod realnog objekta-preduzeća u prehrambenoj industriji.

1. Uvod

Sistem kvaliteta se obično primenjuje i utiče na sve aktivnosti koje se odnose na kvalitet proizvoda ili usluga. On obuhvata sve faze, od početnog utvrđivanja do konačnog ispunjenja zahteva i očekivanja kupca. Ove faze su shematski prikazane u vidu petlje kvaliteta [1]. Petlja kvaliteta obuhvata i ocenu kvaliteta tehnologije održavanja tehnoloških sistema.

Kvalitet kao najvažniji tržišni faktor ima posebnu ulogu u pobeđivanju konkurencije. Visok kvalitet istovremeno predstavlja ključ za poslovni uspeh, jer iskustva firmi razvijenih zemalja koje su uvele sistem kvaliteta pokazuju da su troškovi proizvodnje sniženi do 50%, a produktivnost povećana do 50% [2,3]

Osim postizanja željenog kvaliteta i produktivnosti, primenjena tehnologija održavanja mora da obezbedi i smanjenje vremenskih gubitaka zbog pojave otkaza na opremi, a time i smanjenje i troškova proizvodnje.

2. Teorijske osnove izdvajanja objekata prema kvalitetu tehnologije održavanja

2.1 Postavka problema

Neka postoji n objekata (preduzeća, jedinica opreme i sl.), koje treba podeliti na m podskupova (grupa), koji se međusobno ne seku, u zavisnosti od kvaliteta (nivoa) tehnologije održavanja. U praksi je: $m < n$. Npr., za $m=4$ mogu se formirati četiri grupe [4]:

1. grupa: tehnološki nivo održavanja - visok (TNO 4),
2. grupa: tehnološki nivo održavanja -vrlo dobar (TNO 3),
3. grupa: tehnološki nivo održavanja - dobar (TNO 2) i

*) Dr.Ljubiša Papić, docent, Tehnički fakultet Čačak, Univerzitet u Kragujevcu.

**) Zoran Radojević, dipl.ing., direktor sektora Održavanje, ZA, Kragujevac.

***) Mr.Jozep Aronov, docent, Naučno-tehnički centar GOSATOMNADZOR, Moskva.

4. grupa: tehnološki nivo održavanja - nizak, nezadovoljavajući (TNO 1).

Kod ovakve opšte postavke problema, zadatak podele objekata na grupe može se rešiti na osnovu metodologije klasterne analize [5,6]. Ako je X - vektor merenja n objekata ($m < n$), tada se problem klasterne analize sastoji u tome da se na osnovu podataka sadržanih u skupu X , skup objekata razbije na m grupa (klastera), na taj način da svaki objekat pripada jednom i samo jednom podskupu (klasteru) i da objekti koji pripadaju jednom istom klasteru budu slični, a objekti koji pripadaju raznim klasterima budu heterogeni. Na taj način, ako se objekti razbijaju prema parametru "nivo tehnologije održavanja", tada treba pokazati pravilo razbijanja objekata (preduzeća) na grupe (klastere) tako da objekti sa nezadovoljavajućim nivoom tehnologije održavanja padnu u grupu 4, sa zadovoljavajućim nivoom - u grupu 3 itd.

Rešenje problema klasterne analize predstavlja razbijanje, shodno nekom kriterijumu [5,6]. Ovaj kriterijum je neki funkcional, koji odražava nivo očekivanja razbijanja i grupisanja. Ovaj funkcional se naziva funkcijom cilja [5]. Npr., kao funkcija cilja može se prihvatiti unutrašnja grupna suma kvadrata odstupanja [5,7]. Kao primer posmatra se slučaj sa $n = 8$ objekata, koji poseduju jednu karakteristiku ($p = 1$). Neka je vektor X - rezultat merenja - jednak:

$$X = \{ 3, 4, 7, 4, 3, 3, 4, 4 \} .$$

Ako je skup objekata neophodno razbiti na tri grupe prema parametru X na taj način da unutrašnje grupne sume kvadrata odstupanja budu minimalne tada se objekti grupišu u tri klastera:

$$C_1 = \{ 3, 3, 3 \} ,$$

$$C_2 = \{ 4, 4, 4, 4 \} ,$$

$$C_3 = \{ 7 \} .$$

U tom slučaju unutrašnja grupna suma kvadrata odstupanja za prvi klaster je:

$$W(C_1) = \sum_{i=1}^3 (x_i - \bar{x})^2 = 0 ,$$

za drugi klaster:

$$W(C_2) = \sum_{i=1}^4 (x_i - \bar{x})^2 = 0$$

i za treći klaster:

$$W(C_3) = \sum_{i=1}^1 (x_i - \bar{x})^2 = 0 .$$

2.2 Mera sličnosti

Da bi se pokazala procedura grupisanja objekata u klastere neophodno je predložiti kriterijum bliskosti objekata u svakoj grupi (svakom klasteru), tj. drugim rečima predložiti način merenja "udaljenosti" (neslaganja) među objektima sa aspekta izabranog kriterijuma.

Saglasno [5,6] nenegativna materijalna funkcija $S(X_i, X_j) = S_{ij}$ naziva se merom sličnosti, ako je:

$$.1 \ 0 \leq S(X_i, X_j) < 1, \text{ za } X_i \neq X_j ,$$

$$.2 \ S(X_i, X_i) = 1 ,$$

$$.3 \ S(X_i, X_j) = S(X_j, X_i) ,$$

gde su: X_i, X_j - vrednosti parametra X uočene kod i -tog i j -tog objekta.

Na osnovu uvedene definicije mere sličnosti, u [5,6] su predložene odgovarajuće funkcije cilja klasterizacije i algoritmi razbijanja na grupe.

Da bi se predložilo neophodan kriterijum razbijanja objekata na grupe prema parametru "nivo tehnologije održavanja" razmatra se moguća zavisnost ovog pokazatelja, koji će se označiti sa y , od pokazatelja "zahtevi za održavanjem", koji će se označiti sa x . Istraživanja niza autora [8] su pokazala da u opštem slučaju ova zavisnost može imati oblik:

$$y = k \cdot x ,$$

$$(1) .$$

tj. linearna je.

Ako je uslov (1) opravdan, tada se grupe TNO 1 - TNO 4 razlikuju u vrednostima koeficijenta proporcionalnosti. Objekti koji se nađu u jednoj grupi moraju imati bliske (u izvesnom smislu) vrednosti k, t.j. za grupe TNO i su $y = k_i \cdot x$, (i = 1,2,3,4) .

Pošto je veza između y i x stohastička, to kao mera sličnosti u ovom slučaju može da posluži koeficijent korelacije r_{ij} [5]:

$$r_{ij} = \frac{S(XY)}{\sqrt{S(XX) \cdot S(YY)}} \quad (2)$$

gde su:

$$S(XX) = \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x})^2 ,$$

$$S(YY) = \sum_{i=1}^p (y_i - \bar{y})^2 ,$$

$$S(XY) = \sum_{i=1}^p (x_i - \bar{x}) \cdot (y_i - \bar{y}) ,$$

$$\bar{x} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p x_i , \quad \bar{y} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^p y_i$$

gde je p - količina objekata.

Koeficijent korelacije može se posmatrati kao kosinus ugla između dva vektora x i y [5]:

$$r_{ij} = \cos \theta ,$$

gde je θ - ugao između vektora x i y.

Kaže se da su objekti i i j slični ako je r_{ij} "blizak" jedinici.

gde je k - nenegativan broj.

2.3 Procedura formiranja klastera i granica između klastera

Posle formiranja grupa (klastera) objekata neophodno je zadati granice između grupa (klastera), da bi svaki novi objekat bilo moguće pripisati nekom klasteru.

Opšti program rada je sledeći:

.1 Definisanje željene količine grupa (klastera) $m = 4$.

.2 Definisanje mere sličnosti između objekata. U ovom slučaju mera sličnosti je koeficijent korelacije (ugao između vektora posmatranja): dva objekta se smatraju sličnim prema nivou tehnologije održavanja ako tačke sa koordinatama x (zahtevi za održavanjem) i y (nivo tehnologije održavanja) leže na jednoj pravoj.

.3 Određivanje granica klastera. Određivanje granica grupa ostvaruje se na dva načina: bez prisustva ispitivanja i pri prisustvu ispitivanja.

.3.1 Određivanje granica klastera bez ispitivanja

Najprostiji način, koji obezbeđuje jednaku verovatnoću za objekte svakog klastera, sastoji se u tome što se bira da je ugao θ jednak: $\theta = 90^\circ/m$, gde je m - količina klastera.

Na taj način, grupu TNO 1 formiraju objekti za koje vektor posmatranja koji obrazuje tačka sa koordinatama (x,y) pada u ugao $0 \leq \theta_1 < 90^\circ/4$.

U grupu TNO 2 padaju objekti za koje vektor posmatranja pada u ugao $90^\circ/4 \leq \theta_2 < 90^\circ/2$.

U grupu TNO 3 padaju objekti za koje vektor posmatranja pada u ugao $90^\circ/2 \leq \theta_3 < 3/4 \cdot 90^\circ$.

U grupu TNO 4 padaju objekti za koje vektor posmatranja pada u ugao $3/4 \cdot 90^\circ \leq \theta_4 < 90^\circ$ (slika 1).

Ukoliko postoji informacija o tome da je neki klaster verovatniji, tada

se granice biraju polazeći od stepena verovatnoće svakog klastera:

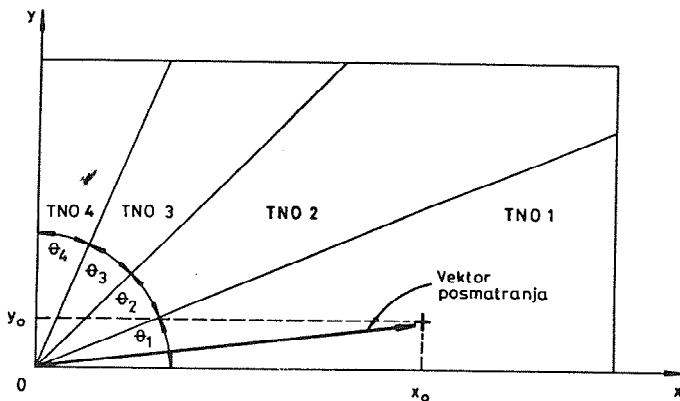
Klaster 1 (TNO 1) ... Verovatnoća P_1

Klaster 2 (TNO 2) ... Verovatnoća P_2

Klaster 3 (TNO 3) ... Verovatnoća P_3

Klaster 4 (TNO 4) ... Verovatnoća P_4 ,

pri čemu je: $P_1 + P_2 + P_3 + P_4 = 1$.



Slika 1.

Tada je:

$$\begin{aligned} 0 &\leq \theta_1 < 90^\circ \cdot P_1 \\ 90^\circ \cdot P_1 &\leq \theta_2 < 90^\circ \cdot (P_1 + P_2) \\ 90^\circ \cdot (P_1 + P_2) &\leq \theta_3 < 90^\circ \cdot (P_1 + P_2 + P_3) \\ 90^\circ \cdot (P_1 + P_2 + P_3) &\leq \theta_4 < 90^\circ \end{aligned}$$

.3.2 Određivanje granica klastera sa ispitivanjima

Izdvajaju se objekti, koji saglasno ekspertnoj analizi bezuslovno pripadaju nekom klasteru (npr., TNO 1). Neka je takvih objekata p_i . Vektori posmatranja su: $x = (x_1, \dots, x_{p_i})$ i $y = (y_1, \dots, y_{p_i})$.

U tom slučaju koeficijent korelacije r_i za takve vektore (koji padaju u grupu TNO 1, pa su prema tome "bliski") računa se po formuli (2).

Koeficijent k zavisnosti (1): $y=kx$ određuje se po formuli [9]:

$$k_1 = \frac{S(XY)}{S(XX)} .$$

Imajući u vidu da je vrednost k_1 dobijena na bazi uzorka, može se naći gornja poverljiva granica za k_1 , pretpostavljajući da je raspodela ocene k_1 približno normalna. Iz [9] sledi da je disperzija:

$$D(k_1) = \frac{1}{p_1} \frac{S(YY)}{S(XX)} (1 - r^2) . \quad (3)$$

Sledi da je, za nivo poverenja q ($q > 0,5$) gornja poverljiva granica za k_1 jednaka:

$$\bar{k}_1 = k_1 + t_q (p_1 - 1) \sqrt{D(k_1)} , \quad (4)$$

gde je: $t_q (p_1 - 1)$ - kvantil Studentove raspodele sa $p_1 - 1$ stepeni slobode, dok se $D(k_1)$ izračunava po formuli (3).

Analogno se izračunavaju koeficijenti k_2 za grupu TNO 2 i k_3 za grupu TNO 3.

U tom slučaju granice grupa objekata pokazuju se kao na slici 2.

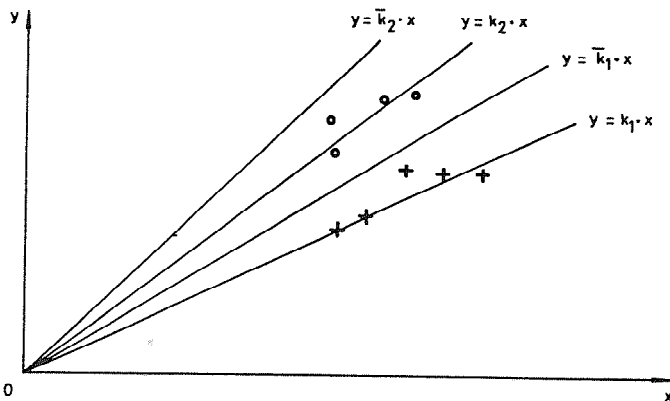
Moguća je situacija kada je, zbog malog broja posmatranja p_i ($i=1,2,3$), disperzija za k_i velika. Ovo dovodi do rasta \bar{k}_i . U tom slučaju celishodno je

prikupljati informacije i korigovati vrednosti \bar{k}_i ($i=1,2,3$) prema prikupljenim podacima.

3. Ocena kvaliteta tehnologije održavanja tehnoloških sistema

U cilju identifikacije kvaliteta tehnologije održavanja tehnoloških sistema u industriji razvijen je model zasnovan na klasternoj analizi, koja uzima u obzir: ocenu zahteva za održavanjem i ocenu nivoa primenjene tehnologije po svakoj aktivnosti održavanja tehnoloških sistema.

Za ocenu zahteva za održavanjem i ocenu primenjene tehnologije održavanja korišćena je Fordova tehnička analiza predviđene modernizacije [10]. Ova analiza spada u grupu analiza za odlučivanje, npr. pri upoređivanju dva ili više tehnoloških sistema, odnosno dva ili više tehničkih rešenja.



Slika 2.

Zahtevi za održavanjem ocenjuju se na osnovu: tehničko-tehnološkog nivoa i vrste proizvodnje, pouzdanosti i pogodnosti održavanja tehnoloških sistema, stepena kritičnosti tehnoloških sistema, tj. ugroženosti procesa proizvodnje usled potencijalnih otkaza.

Ocena nivoa primenjene tehnologije održavanja vršena je za osnovne aktivnosti održavanja: čišćenje, podmazivanje, kontrola i zamena ulja, preventivne intervencije, korektivne intervencije, srednji i generalni remont, a na bazi definisanih kriterijuma.

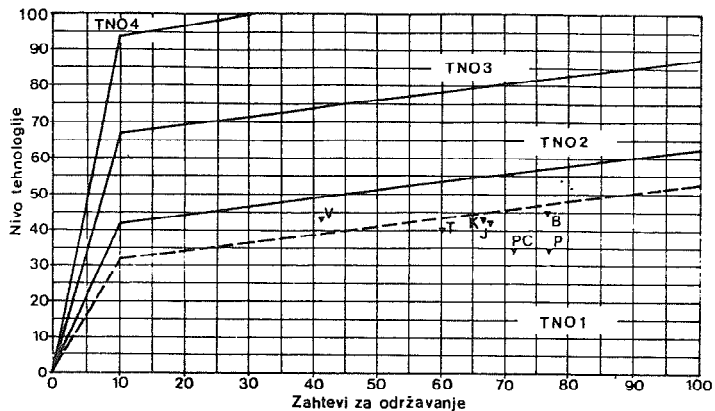
Na osnovu ocene kvaliteta primenjene tehnologije aktivnosti održavanja u proizvodnim jedinicama, kao i poslova koji se za funkciju održavanja obavljaju na makro nivou, izvršena je kompleksna ocena ukupnog kvaliteta (tehnološkog nivoa) funkcije održavanja u preduzeću T (sa proizvodnim jedinicama: K, T, B, V, PC, J). Ocena prikazana na slici 3. pokazuje da se sve aktivnosti održavanja nalaze u tehnološkom nivou TNO 1 (nizak, nezadovoljavajući nivo). Ovo je najniži nivo tehnologije održavanja tehnoloških sistema, gde je uglavnom zastupljena politika korektivnog održavanja. Posebno slabo mesto u preduzeću T je neadekvatno sprovođenje planiranog podmazivanja, koje je neophodno imati čak i kod održavanja u prvom tehnološkom nivou.

4. Zaključak

Da bi se uspešno upravljalo sistemom održavanja, odnosno obezbedila visoka efektivnost tehnoloških sistema, a to znači visok kvalitet i produktivnost proizvodnje (niži troškovi proizvodnje i kraće vreme U OTKAZU), neophodno je stalno ocenjivati kvalitet primenjene tehnologije održavanja. Model koji je prezentiran u radu omogućio je da se na sistemski način oceni nivo tehnologije održavanja u jednom realnom preduzeću prehrambene industrije. Razvijeni model ima opšti karakter i može se primeniti kod bilo koje vrste

tehnoloških sistema u industriji.

Imajući u vidu karakteristike instalisane opreme u preduzeću T, a polazeći od sadašnjeg tehnološkog novoa održavanja, tehnologija održavanja se



Slika 3.

mora znatno unaprediti, pre svega uvođenjem programiranog podmazivanja i preventivnog održavanja.

Literatura

- [1] ... JUS ISO 9004, Upravljanje kvalitetom i elementi sistema kvaliteta Savezni zavod za standardizaciju, Beograd, 1991.
- [2] Grupa autora, učesnika na projektu MSK: Predlog za unapređenje kvaliteta u Srbiji, Kvalitet i standardizacija, 20(1992), Beograd, 1992.
- [3] ... Program vlade Republike Srbije za unapređenje kvaliteta, Beograd, 1992
- [4] Radojević Z.: Univerzalni informacioni sistem održavanja, OMO XVII(1988)7 Beograd, 1988.
- [5] Dyuran B., Odell P.: Klasternyy analiz, Statistika, Moskva, 1977.
- [6] Ayvazan S.A., Bezhaeva Z.I., Staroverov O.V.: Klassifikatsiya mnogomernykh nablyudeniy, Statistika, Moskva, 1974.
- [7] Dempster A.P.: Elements of Continuous Multivariate Analysis, Addison - Wesely Pub. Co., 1969
- [8] Yesin B.I.: Obespecheniye remontoprigradnosti mashin na stadiyakh ikh razrabotki, Znaniye, Moskva, 1982.
- [9] Kendall M.D., Styuart A.: Statisticheskiye vyvody i svyazi, Nauka, Moskva, 1973
- [10] Rejec E.: Terotehnologija, Suvremena organizacija održavanja sredstava, Informator, Zagreb, 1974.

Lj. Papic, Z. Radojević, J. Aronov

MODEL FOR ESTIMATING THE INDUSTRIAL TECHNOLOGICAL SYSTEMS MAINTENANCE QUALITY

Summary

The technical conditions estimation model for estimating the technological systems maintenance quality was developed on the basis of class analysis and Ford's technical modernization analysis. The model takes into consideration the following factors: technological systems classification on the maintenance level, estimation of technological systems maintenance demands and estimation of applied maintenance technology level, for all activities. The developed model is applied on a real object - a food industry firm.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

T. Pijevac*

CIM CENTAR KOMPETENCIJE LOLA INSTITUTA

Rezime

U radu je dat prikaz CIM Centra Kompetencije LOLA INSTITUTA. Takođe je prikazan referentni model CIM okruženja Lolinih preduzeća. Poseban akcentat je dat na specifičnostima njegove implementacije u trenutnim društvenoekonomskim uslovima (sankcije, prekid saradnje - komunikacija) što je u suštini uslovalo razvoj sopstvenih istraživačkih potencijala i omogućilo samostalno uvođenje novih rešenja.

UVOD

Integracija svih poslovnih procesa u jednom proizvodnom preduzeću, dovela je do nastanka CIM-a. Uvođenje CIM-a u postojeća proizvodna preduzeća zahteva specifična i vrlo visoka znanja iz različitih oblasti koje je potrebno integrisati primereno svakom preduzeću posebno. Takva znanja, oprema, i njihova primena su vrlo skupa investicija za svako preduzeće s jedne strane, a s druge strane mogu bitno uticati na dalji opstanak i njihovo postojanje na tržištu proizvoda koje proizvodi. Zbog toga se pri uvođenju CIM-a uvek u početnoj fazi traži saradnja sa specijalizovanim timovima koji će inicijalizovati njegovo uvođenje.

* Tomislav Pijevac, dipl. ing. Lola institut, Kneza Višeslava 70A, Beograd

CIM REŠENJE LOLA INSTITUTA

Jedan specijalizovan tim za uvođenje CIM-a se nalazi u CIM centru kompetencije LOLA INSTITUTA. Ovaj centar je nastao 1990.-1991. kroz zajedničku saradnju ILR-a i IBM-a kao prirodna potreba ILR-a za uvođenje CIM-a u sopstvenom okruženju i potrebe IBM-a da izgradi jednu snažnu stručno-tehničku bazu u ovom delu sveta za oblast CIM-a, koje bi pre svega predstavljalo podršku budućim partnerima.

Sam početak rada bio je označen uvođenjem LOLA – IBM CIM koncepta [1] u LOLINA preduzeća, i to tako da se obuhvate sledeće oblasti [2].

- marketing
- istraživanje i razvoj
- planiranje proizvodnje
- rad proizvodnih postrojenja
- upravljanje materijalima i proizvodima
- upravljanje poslovnim procesima

Pri svemu tome, treba imati u vidu da LOLA RIBAR ima preduzeća koja imaju vrlo različite vrste proizvodnje, a i različite vrste proizvoda.

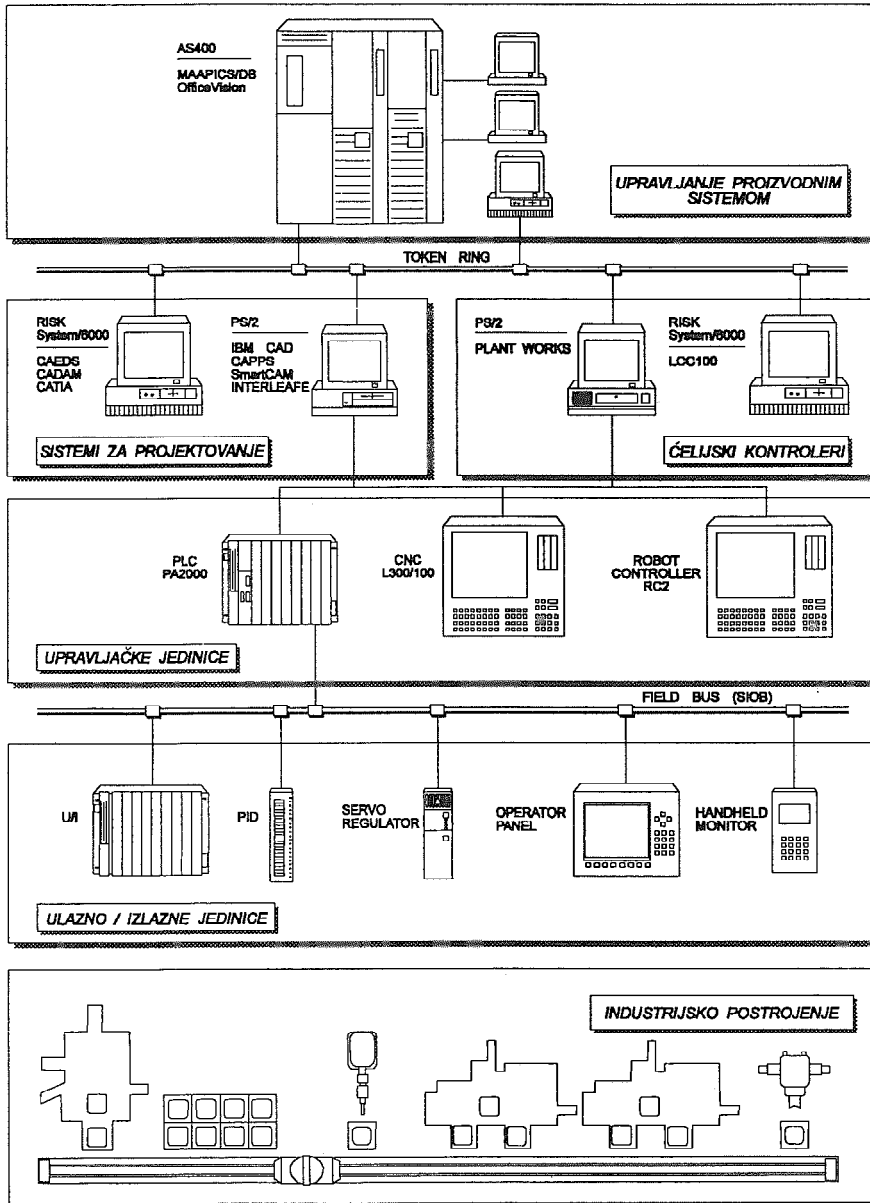
Zbog svega toga je bilo potrebno uz postojeće stručne specijalnosti koje su postojale u LOLA INSTITUTU – nosiocu razvoja LOLE RIBARA, razviti i nova znanja i iskustva:

- u oblasti hardvera (računari tipa PC, PS/2, AS/400, RISC System/6000, komunikaciona oprema, i td.)
- u oblasti sistemskog softvera (operativni sistemi kao što su OS/2, AIX, OS/400, mrežni operativni sistem, baze podataka i td.)
- aplikativni softver (za planiranje i upravljanje proizvodnjom - kao što je MAPICS, projektovanje - kao što je CAEDS, CADAM, CATIA i td.)

Nova znanja i iskustva su sticana kroz školovanja u IBM-ovim obrazovnim centrima u svetu, ili pak kroz školovanje uz IBM-ove instruktore koji su dolazili u LOLA INSTITUT. Po završenom školovanju stručnjaci INSTITUTA su ostajali u stalnoj vezi sa odgovarajućim Centrima IBM-a, gde su se uvek mogli konsultovati.

Formiranjem obučenog tima iz pomenutih oblasti krenulo se pre svega na formiranje kompletnog CIM – okruženja u LOLA INSTITUTU, prema LOLA – IBM CIM konceptu, koje će kasnije predstavljati osnovu razvoja CIM-a u ILR. Sam koncept je nastao saradnjom sa IBM-om ali uz uzimanje u obzir svih Lolinih specifičnosti. To okruženje je prikazano na slici 1.

LOLA - IBM CIM PLATFORMA



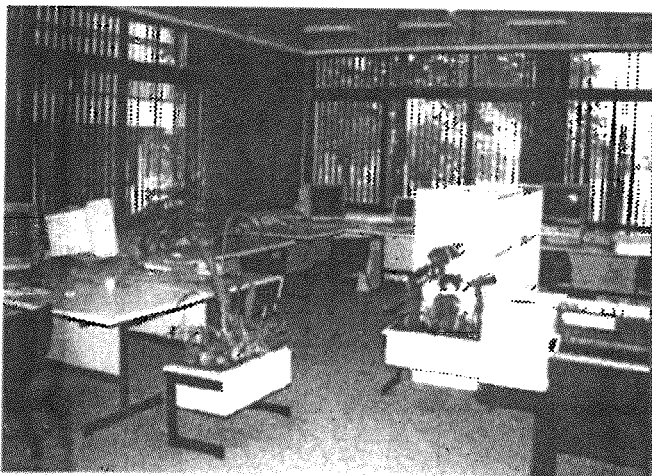
Slika 1.

Okruženje ima ukupno pet nivoa, i to:

- ♦ poslovni nivo planiranja i upravljanja
- ♦ nivo projektovanja i upravljanja proizvodnim procesima
- ♦ nivo upravljanja mašinama i postrojenjima (CNC, PA)
- ♦ nivo direktne komunikacije sa mašinama
- ♦ nivo proizvodnog postrojenja, odnosno u ovom slučaju konkretno, jedne fleksi ćelije

Svakome od ovih nivoa odgovara određen hardver i softver.

Fizički, nivo projektovanja predstavlja CAE laboratoriju koja je prikazana na slici br. 2.



Slika 2.

Na slici br. 3 je prikazan deo fleksi ćelije koja se nalazi u LOLA INSTITUTU.



Slika 3.

Paralelno formiranju referentnog modela urađeno je i sledeće:

- formirani su konsultantski timovi,
- formiran je Obrazovni centar, čiji su predavači bili mahom oni koji su formirali i oživeli okruženje u LOLA INSTITUTU,
- softversko i hardverski su prilagođeni određeni LOLINI proizvodi kako bi se uklopili u funkcionalnu celinu usvojenog modela,
- formirani su timovi za održavanje IBM opreme.

Sledeće je bilo na redu uvođenje i prilagođenje usvojenog referentnog modela u LOLINE fabrike. Taj proces su zbog poznatih događaja sprovodili sami stručnjaci LOLA INSTITUTA. Ugovor sa IBM-om je zamrznut, prestala je kompletna tehnička podrška u vezi hardvera i softvera. Nastupili su različiti problemi. INSTITUT je morao zajedno sa ostalim stručnjacima LOLE RIBARA da razvija pojedine, pre svega integrativne delove softvera, kao i da pređe na neka kompatibilna rešenja. Ovo se pre svega odnosi na nivo projektovanja, gde se u okruženje integriše AUTOCAD, menja RISC System/6000 platforma i softver na njoj (gde je to moguće) drugim i dostupnim softverima i td. Ovo nije značilo tendenciju napuštanja IBM platforme, ali su mogućnosti za njenu nabavku postale mnogo manje. U tom trenutku je došla pozitivno do izražaja činjenica da je usvojena koncepcija uvođenja CIM-a korak po korak u LOLINIM preduzećima. To znači da se u preduzećima razvijaju prilagođena CIM okruženja, koja nemaju kompletne funkcije referentnog modela, jer te funkcije preuzima CIM okruženje izgrađeno u LOLA INSTITUTU (na pr. složene analize u postupku projektovanja proizvoda, kao što je FEM i td.).

Pomenuta prilagođena CIM rešenja se najčešće sastoje od manjih lokalnih mreža sa instaliranim softverom za crtanje, eventualno i modeliranje. Koristi se pre svega za izradu tehničke dokumentacije, a ako su modeli u pitanju, za njihovu pripremu i za dalju doradu na većim računarima u INSTITUTU. Ovim se ujedno otvorilo pitanje pune hardverske i softverske kompatibilnosti svega što je u LOLI instalirano. Zbog toga je ojačana kompletna centralizacija u izboru opreme.

Centralizovano i za sve fabrike uvedeno je i skeniranje i arhiviranje tehničke dokumentacije u jedinstvenu bazu crteža ILR. Aktivnost se odvija u CEAD-u (Centru za Elektronsko Arhiviranje Dokumentacije). Centar ima integrativnu ulogu u celom CIM-u: obuhvata procese sistema ranije izrađene tehničke dokumentacije, i omogućava maksimalno korišćenje stare dokumentacije u CAD-u.

Ovakav pristup je omogućio opremanje oko 100 novih radnih mesta savremenom opremom, i to tako da su sva među sobom povezana, kako na mikrolokacijama (LAN), tako i šire (WAN).

ZAKLJUČAK

Novi uslovi i nove potrebe uticali su na to i da se promeni organizacija u okviru INSTITUTA, čime je grupacija koja se bavi uvođenjem CIM-a u ILR znatno ojačala. Na određeni način i kriza je uticala na to da se razviju sopstvena rešenja i da se više osloni na sopstvene snage. Tako LOLA INSTITUT i CIM centar i u okviru njega nemaju samo značaj "prve borbene linije" za uvođenje CIM-a u ILR, već i šire, i u drugim sredinama koje shvataju njegov značaj i značaj sopstvenog iskustva, stečenog u sopstvenoj "kući".

SUMMARY

LOLA INSTITUTE CIM COMPETENCE CENTER

The paper gives an overview of the Lola Institute CIM Competence Center. It also presents the CIM environment reference model for Lola companies. Special emphasis is given to the particularities of its implementation under presents social and economic condition (sanctions, broken communications with IBM), which in effect caused the development of Lola's own research potential and enabled independent introduction of new solutions.

LITERATURA

- [1] Žarko A. Spasić, Ljiljana Ž. Dimitrijević - Marković, Miroslav D. Pilipović: Informaciona integracija preduzeća, CIM - integracija menadžmenta i kvaliteta
- [2] IBM: Computer Integrated Manufacturing, The CIM Enterprise
- [3] Vladimir R. Milačić, Žarko A. Spasić: Kompjuterski integrisani tehnološki sistemi CIM - sistemi

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

D. Pleskonjić*
T. Pijevac**

**HETEROGENA RAČUNARSKA MREŽA ZA PODRŠKU CIM
OKRUŽENJA LOLA INSTITUTA**

Rezime

U radu je opisan pristup izgradnji heterogene računarske mreže u Lola institutu u Beogradu, koja predstavlja osnovu CIM okruženja ovog instituta. Namena računarske mreže je da obezbedi prošireni skup usluga za različite aspekte projektovanja, dokumentovanja, praćenja proizvodno-poslovnih procesa i upravljanja. Jedinstvena mreža objedinjuje više hardverskih platformi (IBM AS/400, IBM RISC/6000, Hewlet Packard, Sun, PS/2, PS/VP, PC), sa različitim mrežnim i komunikacionim protokolima (Ethernet, Token Ring, TDLC, SDLC, X.25, IPX/SPX, TCP/IP, Async i slično) i operativnim sistemima (OS/400, AIX, HP-Ux, SunOS, NetWare, DOS/Windows, OS/2 i Novell NetWare).

1. UVOD

Okruženje koje se bavi multidisciplinarnim istraživanjima u različitim područjima i koje zahteva rad na raznovrsnoj računarskoj i pratećoj opremi, zahtevno je u pogledu povezivanja te opreme. Lola institut, kao naučno-istraživačka institucija koja se bavi širokim spektrom poslova u području elektronike, automatike, računarske tehnike i mašinstva, predstavlja jedno takvo okruženje. U okviru ovog instituta se razvijaju uređaji, programska podrška i tehnologije koji su deo integralnog CIM koncepta. Oni se uvode u brojna preduzeća koja se bave različitim tipovima proizvodnje u zemlji i inostranstvu. Rešenja koja se iznose na tržište testiraju se i ispituju u okviru Lola instituta. U okviru CIM koncepta koji se razvija u Lola institutu vrlo je bitan oslonac na IBM računarsku opremu.

* mr Dragan Pleskonjić, dipl. ing. Lola institut, Kneza Višeslava 70A, Beograd

** Tomislav Pijevac, dipl. ing. Lola institut, Kneza Višeslava 70A, Beograd

Ovakav situacija nalagala je izgradnju složene računarske mreže Lola instituta, kako bi se podržale raznovrsne istraživačke aktivnosti, kao i postupci uvođenja i testiranje opreme, rešenja i tehnologija. Pristupilo se projektovanju i izgradnji mreže koja treba da zadovolji potrebe projektnih i istraživačkih timova.

Ovaj rad predstavlja prikaz aktivnosti na projektovanju i realizaciji mreže koje su delimično završene ili su u toku.

ZAHTEVI U POGLEDU POVEZIVANJA

U okviru Lola instituta postoji više različitih računarskih sistema. To su:

- IBM AS/400 računarski sistem sa operativnim sistemom OS/400
- IBM RISC/6000 računari sa operativnim sistemom AIX (IBM varijanta Unix-a)
- Hewlet Packard sistemi sa operativnim sistemom HP-Ux (varijanta Unix-a)
- Sun računar sa operativnim sistemom SunOS
- personalni računari i sistemi sa operativnim sistemima Novell NetWare
- personalni računari i sistemi (PC, PS/2, PS/VP) sa operativnim sistemima DOS / Windows i OS/2

Postojala je potreba da se omogući korišćenje resursa koji su na različitim računarskim sistemima sa bilo kog radnog mesta. To radno mesto može biti uobičajeno bazirano na PC, PS/2 ili PS/VP platformi sa nekim od "desktop" operativnih sistema (DOS/Windows, OS/2) ili može biti terminal nekog od gore navedenih host sistema.

Postojala je potreba da se sa jednog radnog mesta, bez obzira na njegovu strukturu, može pristupiti različitim resursima (hardverskim i softverskim) koji su distribuirani i smešteni na različitim sistemima u okviru instituta. Zaposleni u institutu uglavnom su projektno organizavani, ali postoji potreba da, radi uspešnog obavljanja posla, koriste različite sisteme koji ima nude različite mogućnosti ne udaljavajući se sa svog radnog mesta. Pri ovome je nužno bilo da se obezbedi nivo transparentnosti, kako bi se olakšala primena sistema odnosno mreže.

Osim mogućnosti u okviru sistema lociranih u institutu razmotrene su mogućnosti pristupa udaljenim resursima, lociranim u okviru javnih informacionih sistema ili privatnih sistema koji se koriste po posebnom ugovoru.

PRISTUP REALIZACIJI MREŽE

Sistemi kao što su AS/400, Hewlet Packard, RISC/6000 i Sun imaju svoje terminalske mreže. Terminalska mreža AS/400 računara je bazirana na tvinaksijalnom (engl. twinax) kablovskom sistemu. Terminalska mreža Hewlet Packard računara je bazirana na serijskim linijama. Svaki od ovih sistema podržava i povezivanje u lokalne računarske mreže bazirane na Ethernet ili Token Ringu.

U okviru mreže postoje i Novell NetWare serveri. Oni služe za osnovne usluge deljenja resursa, ali i kao mrežni prolazi (engl. gateway), ili usmerivači (engl. router).

Hardversku osnovu računarske mreže, osim navedenih terminalskih mreža, čine dve Ethernet i tri Token Ring mreže locirane u dve zgrade Lola instituta. Ethernet mreže podržavaju brzinu od 10 Mbps, dok dve Token Ring mreže podržavaju brzinu 16 Mbps, a treća brzinu od 4 Mbps. Mreže su međusobno povezane mrežnim mostovima (engl. bridge), usmerivačima (engl. router) ili mrežnim prolazima (engl. gateway) koji su u okviru Novell NetWare file servera, u okviru RISC/6000 računara ili AS/400 računarskog sistema.

Računari su opremljeni odgovarajućim mrežnim ili komunikacionim adapterima ili sa više od njih, zavisno od mreže u koju su povezani i tipa komunikacije koji treba da ostvare. To su adapteri za Ethernet, Token Ring, SDLC adapteri, emulacioni adapteri 5250, X.25 adapteri ili drugi komunikacioni adapteri.

Za pristup sa radnih mesta baziranih na personalnim računarima na host računare koriste se razni programski paketi i / ili njihovi delovi i to:

- *PC Support /400* - programski paket koji se koristi za pristup sa personalnog računara na AS/400 računar i to preko jednog od sledećih tipova veze: twinax, SDLC, Ethernet, Token Ring, X.25 ili asinhronim linijama. Ovaj programski paket omogućava emulaciju terminala familije 5250, montiranje logičkih diskova, korišćenje virtuelnih printera i slično.

- IBM TCP/IP for DOS - programski paket koji omogućava povezivanje i usluge bazirane na skupu TCP/IP protokola i to preko različitih tipova veze: Ethernet, Token Ring, serijskih linija i slično.

- NetWare shell client ili requester omogućava pristup sa DOS/Windows ili OS/2 baziranih radnih mesta Novell NetWare serverima.

Komunikacija IBM AS/400, RISC/6000 i Hewlet Packard računara obavlja se preko TCP/IP protokola koji funkcioniše preko Ethernet, Token Ring, twinax ili serijskih linija. Ovi računari podržavaju sve standardne usluge zasnovane na skupu TCP/IP protokola, kao što su pristup i emulacija terminala (telnet, rlogin), fajl transfer (ftp), elektronska pošta (bazirana na SMTP protokolu), montiranje logičkih diskova (zavisno od okruženja), korišćenje zajedničkih štampača.

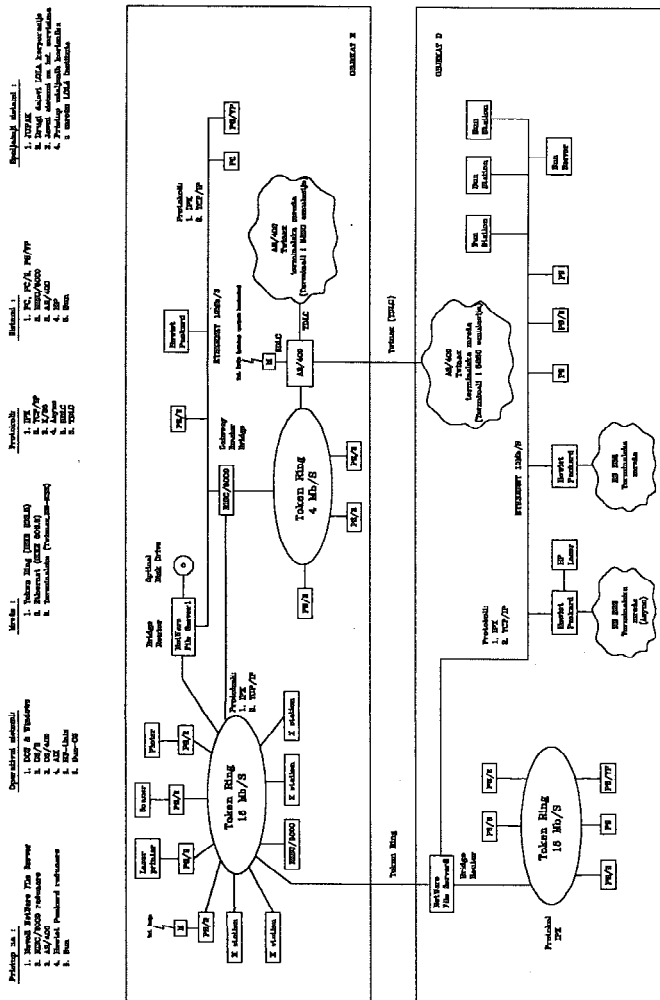
Mreže su bazirane na različitim protokolima. U lokalnom okruženju koriste se protokoli:

- IPX / SPX tj. Novell NetWare protokoli
- TCP / IP
- async (RS/232)
- TDLC

Za udaljene komunikacije koriste se različiti protokoli, zavisno od tipa računarske opreme i to:

- async (RS/232)
- SDLC
- X.25 (u planu po dobijanju NUA)

RAČUNARSKA MREŽA LOLA INSTITUTA



Slika 1. Šema računarske mreže Lola instituta

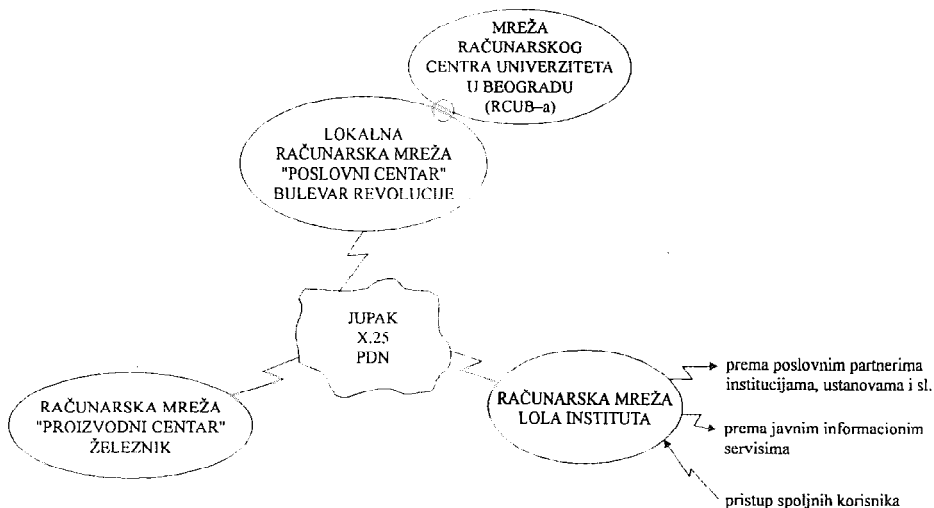
DODATNE MOGUĆNOSTI MREŽE

Realizovano je i povezivanje sa sistemima van Lola instituta, koji nude određene informacione servise. To je povezivanje na JUPAK mrežu, povezivanje sa BBS sistemima, SNTI i sl. Ovo povezivanje je za sada dial-in linijom sa perspektivom dobijanja direktnog X.25 priključka kada se steknu tehničke i druge mogućnosti.

Omogućen je pristup udaljenih korisnika na sisteme u Lola institutu. Ovaj pristup se obavlja po SDLC linijama na AS/400 računar ili korištenjem Remote Workstation funkcije pri pristupu na NetWare mreže. Nakon pristupa na neki od računarskih sistema u okviru instituta, kroz mrežu instituta se može doći do resursa lociranih na drugim sistemima.

U toku je realizacija mreže Lola korporacije koja će, po svojoj strukturi predstavljati WAN (Wide Area Network). Ova mreža će se sastojati od lokalnih mreža na pojedinim lokacijama organizacionih delova Lola korporacije, koje su međusobno povezane telefonskim linijama, a u perspektivi će to biti X.25 veze (JUPAK). Lokalne mreže se baziraju na Novell NetWare mrežama i na AS/400 računarima kao host računarima.

INTEGRACIJA MREŽE LOLA INSTITUTA U DRUGE MREŽE



Slika 2. Načelna šema integracije računarske mreže Lola instituta u druge mreže

ZAKLJUČAK

Lokalna računarska mreža koja je opisana u ovom radu treba da omogući integraciju mrežnih resursa i usluga u okviru Lola instituta, baziranih na različitim hardverskim i softverskim sistemima i platformama. Potrebno je bilo obezbediti što veći nivo jedinstvenosti različitih sistema i transparentnosti celog sistema za krajnjeg korisnika. Realizacija započete mreže je u toku i veći broj funkcija je već ostvaren. Mreža se nalazi u stalnom procesu rekonfigurisanja, što je relativno jednostavno zbog korištenja standardnih sistema koji su otvoreni za nadogradnje i izmene. Heterogenost računarske opreme (računarski sistemi, operativni sistemi i sistemski softver), kao i zahtevi okruženja koje se prvenstveno bavi razvojem bili su odlučujući pri izboru mrežnih arhitektura, protokola i dodatne opreme za implementaciju mreže.

Ova, u suštini, lokalna računarska mreža treba da postane deo korporativne mreže Lola Korporacije koja je po prirodi rasprostranjena mreža (WAN - Wide Area Network). Planira se povezivanje i sa drugim sistemima i mrežama ustanova, institucija i preduzeća sa kojima institut ima poslovnu saradnju ili zajedničke istraživačke projekte.

LITERATURA

- [1] Douglas E. Comer, "*Internetworking with TCP/IP*", New York, Prentice - Hall International, 1988.
- [2] John Davidson, "*An Introduction to TCP/IP*", New York, Springer Verlag, 1988.
- [3] Uyless Black, "*Computer Networks*", New York, Prentice - Hall International, 1987.
- [4] IBM manuals
- [5] Novell manuals
- [6] Hewlet Packard manuals
- [7] Sun manuals

HETEROGENEOUS COMPUTER NETWORK FOR LOLA INSTITUTE CIM ENVIRONMENT

Summary

The paper describes an approach to building a heterogeneous computer network at the LOLA Institute in Belgrade. This network represents the basis of the Institute's CIM environment. Its purpose is to provide an extended set of services for various aspects of design, documents creation, production supervision and management. A single network includes several hardware platforms (IBM AS/400, IBM RISC/6000, Hewlett Packard, Sun, PS/2, PS/VP, PC) with different network and communications protocols (Ethernet, Token Ring, TDLC, SDLC, X.25, IPX/SPX, TCP/IP, Async etc.) and operating systems (OS/400, AIX, HP-Ux, SunOS, NetWare, DOS/Windows, OS/2 and Novell NetWare).

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Radojičić, M. Žižović

VREDNOSNO-VREMENSKI PRISTUP IDENTIFIKACIJI ISKORIŠĆENJA MAŠINSKIH KAPACITETA

Rezime

U radu se daje modifikovani pristup metodi trenutnog zapažanja i uvode izvesna proširenja zahteva da se osim vremenskog ustanovi i nova kategorija vrednosno-vremenski stepen korišćenja mašinskih kapaciteta. Ponudjena je relacija za njegovo izračunavanje i ukazano na primeru na jedan od mogućih pravaca delovanja u smislu smanjivanja sume angažovanih sredstava po jedinici ostvarene dobiti. Ovim je pokazano kako se u datoj situaciji može postići objektivnija slika o stepenu korišćenja nedostajućeg resursa - kapitala uloženog u tehnološku opremu - mašine.

U radu se daje vrednosno-vremenski pristup identifikaciji iskorišćenja mašinskih kapaciteta koji u odnosu na do sada uobičajeno korišćeni vremenski pristup metodi trenutnog zapažanja daje širu i objektivniju sliku o analiziranoj pojavi.

Bez obzira da li se radi o uobičajenom-klasičnom pristupu metodi trenutnog zapažanja (MTZ) ili ubrzanom postupku koji smo dali u radu [3] priprema za snivanje podrazumeva u oba slučaja iste radnje što je objašnjeno u radu [1]. Uz napomenu da u pojedinim situacijama kada koeficijent iskorišćenja treba iz različitih razloga brzo odrediti ili kada postoje teškoće u primeni klasičnog pristupa predlažemo upotrebu tzv. ubrzanog postupka sa uvođenjem potrebnog broja snimača kako smo objasnili i predložili u radu [3].

Pri obradi snimljenih podataka, izračunavanjima i analizama rezultata u dosadašnjoj praksi nije imalo nikakvog uticaja samo snimano mesto - mašina. Smatrajući da se takvim pristupom dobija nedovoljno objektivna slika, predlažemo da se pri izračunavanjima ukupnog stepena iskorišćenja neke proizvodne jedinice uzme u obzir relativni značaj pojedinih snimanih mesta - mašina uvodeći određene relativne (težinske) koeficijente za svako snimano mesto proizvodne jedinice čiji se stepen iskorišćenja ustanovljava.

dr. Miroslav Radojičić, vanr. prof., dr. Mališa Žižović, red. prof.
Tehnički fakultet, 32000 Čačak, Svetog Save 65

Na ovaj način uvodimo određena proširenja u MTZ koja se ogledaju u zahtevu da se pospeši značaj vrednosnog iskorišćavanja mašina, odnosno povećaja pažnja većem iskorišćavanju posebno onog dela opreme u koji je uložena najveći deo finansijskih sredstava.

Sama tehnološka koncepcija - odnosno postupak izrade određenog proizvoda nameće potrebu za različitim mašinama (različite tehnološke grupe mašina: vrsta, tip, tehničke karakteristike itd.) a ove imaju međusobno velike, ponekad i ogromne razlike u cenama.

Polazeći od činjenice da svaka od snimanih mašina nema isti iznos troškova amortizacije (koji su u zavisnosti od cene koštanja i eksploatacionog veka) to vrednost izračunatog vremenskog stepena iskorišćenja date mašine u datoj situaciji treba korigovati uzimajući u obzir relativni značaj svakog snimljenog mesta.

Vrednosno-vremenski stepen iskorišćenja mašina (η_{vv}) uzimajući u obzir iznete činjenice, mogli bi definisati sledećom relacijom:

$$\eta_{vv} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \cdot \eta_i}{\sum_{i=1}^n a_i}$$

gde:

a_i - predstavlja vrednost odnosno troškove amortizacije u obračunskom periodu (npr. godišnji iznos) za i -tu snimanu mašinu

η_i - predstavlja vremenski stepen iskorišćenja i -te snimane mašine.

Ovakvim pristupom potenciramo da u praksi projektanti tehnologije i planeri nastoje da vrednosno-vremenski stepen iskorišćenja mašina (η_{vv}) bude veći od vremenskog (η). U osnovi ovo je zahtev za efikasnim korišćenjem kapitala - uloženog u mašine uz konstataciju i određena ograničenja koliko tehnološka koncepcija izrade određenog proizvoda u konkretnoj situaciji to dozvoljava.

Ako je:

$\eta_{vv} > \eta$ - može se konstatovati da se bolje koristi deo skuplje tehnološke opreme u odnosu na jeftiniju

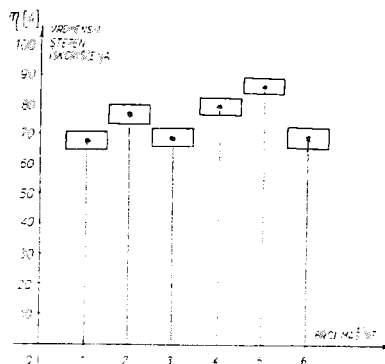
$\eta_{vv} < \eta$ - pokazuje slabije korišćenje skuplje u odnosu na jeftiniju tehnološku opremu.

Praktičan prikaz predloženog pristupa dajemo na jednom primeru izvršenog snimanja iskorišćenja kapaciteta šest različitih mašina angažovanih u proizvodnji razvrtača (deo jednog proizvodnog pogona u FRA Čačak). Identifikacija korišćenja vremenskog kapaciteta: računski, greška (g) i određene granice vremenskog stepena iskorišćenja (donja i gornja) za svaku mašinu posebno date su u tabeli 1. koja je nastala na osnovu preporuka [2] za obradu snimljenih podataka. Grafički prikaz vremenskog stepena iskorišćenja po mašinama dat je na slici 1.

Prosečan vremenski stepen iskorišćenja mašina iznosio je 74,21%.

Tabela 1.

broj mašine	n	1	2	3	4	5	6	
računski stepen iskorišćenja	η_{rac} [%]	67,25	76,5	68,38	79	85,13	69	
relativna greška	g_r [%]	4,93	3,92	4,81	3,65	2,96	4,74	
	$\eta_r \cdot g_r$	3,32	3	3,29	2,88	2,52	3,27	
Kumulativni stvarni stepen iskorišćenja	η_s	donja granica	63,93	73,5	65,09	76,12	82,61	65,73
	gornja granica	76,57	79,5	71,67	81,88	87,65	72,27	



Sl. 1.

Uzimajući u obzir relativni značaj snimanih mašina izražen težinskim faktorom - iznosom troškova amortizacije datim u novčanim jedinicama (usvojene su ponderisane vrednosti iz prethodnog perioda zbog aktuelne situacije u nas) i koristeći se predloženom relacijom određen je vrednosno-vremenski stepen iskorišćenja u datoj situaciji:

$$\eta_{vv} = \frac{\sum_{i=1}^n a_i \eta_i}{\sum_{i=1}^n a_i} = \frac{34 \cdot 0,6725 + 4 \cdot 0,765 + 10 \cdot 0,6838 + 3 \cdot 0,79 + 1,9 \cdot 0,8513 + 6,5 \cdot 0,69}{34 + 4 + 10 + 3 + 1,9 + 6,5} = 69,41\%$$

Izračunati vrednosno-vremenski stepen iskorišćenja je manji od vremenskog stepena: $\eta_{vv} < \eta$, ($69,41\% < 74,21\%$) što govori da postoje određene rezerve za korišćenje skupljeg dela tehnološke opreme, odnosno govori o mogućnostima da se preduzimanjem adekvatnih organizaciono-tehničkih mera poboljša vrednosna komponenta iskorišćenja kapaciteta.

Umesto zaključka

- Neki razlozi za isticanje uticaja vrednosne komponente - moguća objašnjenja

Ovaj pristup nije zalaganje za smanjenje kapitalne intenzivnosti u razvojnim koncepcijama već samo jedno šire gledanje na ovaj problem. Kapitalno intenzivno investiranje da, ali ne i slepo i intuitivno oponašanje nečeg što bi unapred bilo označeno kao savremeno i dobro rešenje, bez detaljnih analiza u konkretnoj situaciji.

Ponudjeni vrednosno-vremenski pristup iskorišćenja mašinskih kapaciteta ne sugerise da ne treba kapitalno intenzivirati proizvodnju već sugerise ključno pitanje savremene proizvodnje kako smanjiti sumu angažovanih sredstava, ovde konkretno osnovnih, po jedinici ostvarene dobiti, odnosno profita. Koje preduzeće i pod kojim uslovima može imati veće ili manje koristi od kapitalnog intenziviranja je stvar ozbiljnih, obimnih organizaciono-tehničkih i ekonomskih analiza.

Literatura

- |1| Klarin M., Utvrđivanje stepena korišćenja kapaciteta, Naučna knjiga, Beograd, 1984.
- |2| Jovanović D., Božin M., Praktikum za rešavanje zadataka iz organizacije i ekonomike proizvodnje, Mašinski fakultet, Beograd, 1975.
- |3| Žižović M., Radojičić M., Jedan pristup primeni metode trenutnog zapažanja, 22. jugoslovensko savetovanje proizvodnog mašinstva, Ohrid, 1989.

M. Radojičić, M. Žižović

WERTZEITLICHER BEITRITT ZUR IDENTIFIKATION DER AUSNUTZUNG VON MASCHINENKAPAZITÄTEN

Zusammenfassung

In dem Aufsatz wird ein modifizierter Beitritt zur Methode momentaner Wahrnehmung gegeben und werden einige Anforderungs-erweiterungen eingeführt, um ausser der zeitlichen Stufe auch eine neue Kategorie der wertzeitlichen Stufe beim Einsatz der Maschinenkapazitäten festzustellen. Es wurde die Beziehung zur deren Berechnung angeboten und am Beispiel auf eine der möglichen Wirkungsrichtungen im Sinne der Summenreduktion der engagierten Mittel nach Einheit des realisierten Gewinns hingewiesen.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Rogić¹

AUTOMATSKI SISTEMI IDENTIFIKACIJE U MODERNOJ PROIZVODNOJ LOGISTICI

Rezime

Odlučujući faktor u savremenoj industriji je logistika. Današnja logistika se više ne može zamisliti bez sistema za identifikaciju. Tržište sistema za identifikaciju je u stalnom porastu. U ovom radu se daje prikaz trenutnog stanja razvoja ove tehnike i njene primjene.

1. UVOD

Jedan od odlučujućih faktora u savremenoj industriji je logistika. U vremenu informatike pojam "fabrika budućnosti" je usko vezan sa pojmom računarski podržane logistike (CAL), koja, obuhvatajući sva logistička područja preduzeća, čini važan blok u CIM-u. Umrežena preko LAN-a sa ostalim sektorima fabrike i preko WAN sa spoljnim svijetom, ona omogućava realizaciju JIT ("Just-in-Time") koncepta proizvodnje.

Na nivou sektora proizvodnje mjesto logistike je u tehnici skladištenja i toku materijala. Potpuna koordinacija i sinhronizacija proizvodnog procesa, npr. u fleksibilnim proizvodnim sistemima, podrazumijeva automatizovan tok materijala i alata. Smatra se da će u budućnosti operativne odluke o toku materijala čovjek donositi samo u iznimnim slučajevima, što pred sistem toka materijala postavlja sledeće zahtjeve:

- a) fleksibilni automatizovani transportni i skladišni sistem sa standardnim interfejsima u fizičkom toku materijala i u toku informacija;
- b) sistem za upravljanje tokom materijala, sa sposobnošću učenja, sa upravljačkim i regulacionim algoritmima, jasno podijeljenim na hijerarhijske nivoe, pri čemu čovjek ostaje i dalje najviši nivo;
- c) razvijene tehničke i organizacione mere za postizanje pouzdanosti i sigurnosti.

2. AUTOMATSKI SISTEMI IDENTIFIKACIJE (AIS)

Neophodna pretpostavka za proizvodni proces sa fleksibilno automatizovanim tokom materijala je, između ostalog, identifikacija (raspoznavanje) objekata. Sisitemi za automatsku identifikaciju omogućavaju da se:

- a) ostvari neposredna i brza (on line) komunikacija između objekta (materijal, alat i dr.) i upravljanja (računar), uz mogućnost identifikacije stanja i stajnog mesta objekta - ("objekt govori"),

¹ Dr Miroslav Rogić, docent Mašinskog fakulteta Banjaluka

b) izbjegnju greške manulenog unosa podataka. Poznato je da radnik čini u prosjeku jednu grešku na prosječno 300 unosa informacija preko terminala, dok je kod automatskih sistema intencija postizanje sigurnosti u omjeru 1: više miliona, što se kod komercijalnih AIS i ostvaruje.

Zahtjevi koji se postavljaju pred sistem za identifikaciju zavise od tipa upravljanja proizvodnjom.

Kod centralizovanog sistema upravljanja proizvodnjom, objekt, odnosno pridruženi mu nosač informacija pored identkoda sadrži samo informaciju za njegovu identifikaciju, dok specifične podatke o stanju objektu (npr. stanje obrade, postupak ispitivanja, karakteristike kvaliteta) čuva i objektu, prema identkodu, dodjeljuje centralni računar.

Kod decentralizovanog sistema upravljanja proizvodnjom pridruženi nosač informacija pored identkoda sadrži i druge specifične podatke o objektu koji se u nosač informacija upisuju u toku kretanja materijala (alata), čime se rasterećuje centralni računar i komunikacioni putevi. Prema tome, nosači informacija mogu biti:

- a) stalni (READ only),
- b) programibilni (READ/WRITE).

Informacije koje se javljaju u proizvodnom procesu i toku materijala mogu biti:

- a) informacije za sinhronizaciju procesa,
- b) informacije za praćenje objekata i procesa.

Informacije za sinhronizaciju procesa, koje nastaju u toku materijala, utiču na odvijanje narednih koraka procesa obrade objekta i zbog toga se moraju registrovati i obrađivati sinhrono sa procesom (on line), i to velikom brzinom (npr. informacija o položajima skretnica transportnog sistema).

Informacije za praćenje objekata i procesa registruju proizvodne podatke, ali se oni ne koriste za sinhrono upravljanje procesom i tokom materijala, već naknadno (npr. registrovanje ukupnog vremena rada alata, registrovanje vremena trajanja obrade i sl.)

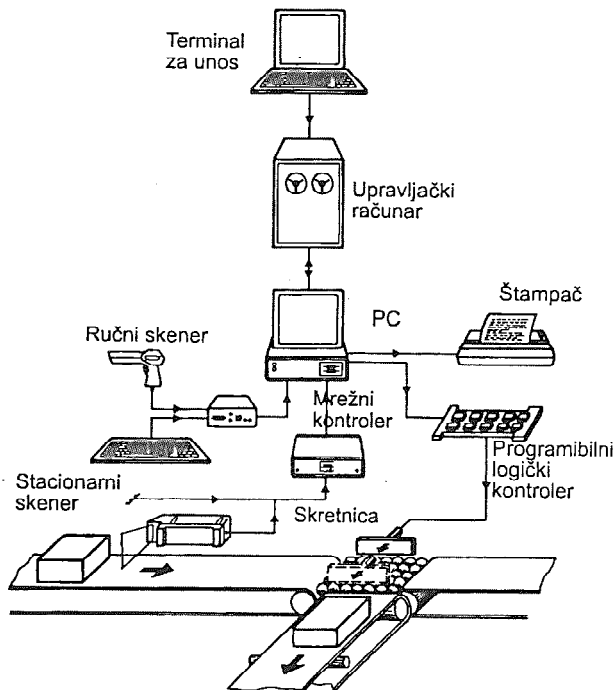
Realizacija prenosa informacija zajedno sa transportovanim objektom je uslovljena i time da li sadržaj informacije ostaje neizmjenjen za vrijeme cjelokupnog prolaza objekta ili se ona mijenja usled proizvodnog procesa i toka materijala. Za prvi slučaj koriste se najčešće identifikacioni sistemi sa linijskim kodom (barkodom), a za drugi programibilni (elektromagnetni, induktivni) nosači informacija.

2.1 AIS sa linijskim kodovima

Postoji mnogo tehnika komuniciranja računar-objekt (alat, materijal), kao npr. (RF-kod, magnetni kod, OCR, optokodovi itd.). Ipak linijski kodovi (barkodovi) obuhvataju više od dvije trećine današnjeg tržišta AIS-a, i to zahvaljući:

- a) najviše dostignutoj standardizaciji,
- b) povoljnoj, pa čak i niskoj cijeni,
- c) jednostavnosti rukovanja,
- d) sigurnosti.

Primjer jednog AIS-a, prikazan na sl. 1, obuhvata: a) stacionarni i ručni skener za čitanje, b) interfejs-dekoder sa tastaturom za ručnu izmjenu koda, c) mrežni kontroler (koncentrator informacija sa više uređaja za čitanje), d) glavni računar za upravljanje tokom materijala, e) PLC, f) nadređeni procesni računar.



Sl. 1 Primjer AIS-a u proizvodnji

Efikasan AIS zahtijeva da se za datu aplikaciju odrede optimalni parametri sistema: a) jezik (kod), b) nosač informacija (etiketa) c) tehnika za štampanje koda, d) čitač koda, e) interfejs.

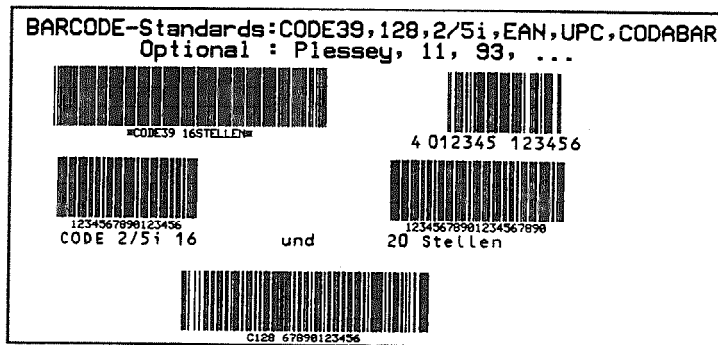
2.1.2 Linijski kodovi

U različitim oblastima privrede i uprave u primjeni se danas nalazi više vrsta linijskih kodova, ali je tendencija njihove unifikacije očigledna. Do skora se koristio jednodimenzionalni kod (jednoredni), ali se poslednjih godina razvija i dvodimenzionalno kodiranje (više redova). Najviše zastupljeni jednodimenzionalni kodovi u mašinskoj i elektroindustriji su kodovi 2/5, 2/5i, 128, a posebno alfa kod 3/9. Međutim, uočava se tendencija ka usvajanju koda 3/9 u raznim oblastima, pa su s tim u vezi i preporuke DIN-a i C.E.N (Comitee Europeen de Normalisation) za upotrebu kodova:

kod 3/9 - kao alfanumerički standard

kod 128 - kao alfanumerički standard sa numeričkim C-setom.

Za smještanje većeg broja informacija jednodimenzionalno kodiranje je postalo problematično, pogotovo na malim objektima, što je uslovalo pojavu kodiranja u više redova (vrsta), tj. dvodimenzionalno kodiranje. Razvijeno je više kodova, npr.: kod 16K (kombinacija UPC i koda 128), kod 49, CODABLOCK, kvadratni Data Code, PDF 417, Vericode itd... Najpoznatiji je CODABLOCK MLC-2D, koji omogućava do 1362 znaka informacionog sadržaja (22 reda x 66 znakova, u kvadratnoj, pravougaonoj ili stepeničastoj formi).



Sl. 2 - Elementi kodova

Oblast	tradicionalno	tendencija
automobiliska industrija	kod 2/5i, kod 128	kod 39
elektronika	kod 39	kod 39
transport	kod 2/5 (vazd.)	kod 39
komunikacije uprava	modemsk. uprav. nove primjene	MLC-2D (39) CODABLOCK
logistika	nosač informacija na paleti	MLC-2D (39) CODABLOCK
medicinska tehnika	Codabar	kod 39 kod 128
farmacija	specij. kodovi	kod 39
trgovina	kod 11, 2/5 i	MLC-2D CODABLOCK
biblioteke	Plessey, EAN, Nixdorfcode	kod 39

Tabela 1. - Standardizacija barkoda u različitim oblastima

2.1.2 Skeneri

Skeneri za registrovanje koda mogu biti a) stacionarni, b) dinamički.

Stacionarni skeneri se rade u vidu olovki za crtanje, ručnih skenera i čitača sa provlačenjem papira sa kodom kroz skener. Skener se prevlači neposredno preko etikete sa kodom koja miruje brzinom 0.05 do 1 m/s. Za skeniranje se koriste laserski i infracrveni zraci. U principu uređaji za skeniranje mogu da čitaju sve vrste linijskih kodova, zahvaljujući dekoderu koji se veže iza skenera, a dekodirane informacije se preko serijskog interfejsa šalju na računar. Ovi dekoderi se mogu konfigurisati individualno preko računara ili na licu mjesta preko menija za linijske kodove.

Dinamički skeneri omogućavaju čitanje koda na objektima u pokretu, nezavisno od brzine kretanja objekta i njegovog pozicioniranja. Prema obliku zraka za skeniranje mogu biti a) paralelni skeneri b) skeneri V oblika. Paralelni skeneri su tehnički složeniji, skuplji, ali i precizniji, jer ravan čitanja može odstupiti i do 45° od normale na zrak skeniranja (kod V-skenera do 15°). Udaljenost skenera od ravni skeniranja može biti i do 1,5m, a frekvencija skeniranja do 1.500 l/s.

Zavisno od pravca čitanja koda na pokretnom objektu primjenjuju se:

- a) za vertikalni pravac čitanja (kodne linije horizontalne) - linijski skeneri,
- b) za horizontalni pravac čitanja (kodne linije vertikalne) - paralelni skeneri,
- c) za proizvoljan pravac čitanja - lepezasti skeneri.

2.1.3 Štampači koda

Pouzdanost AIS ne zavisi samo od uređaja za čitanje (skener, dekodler) nego i od kvaliteta štampe i postojanosti etikete. Štampači, kao element AIS-a predstavljaju vrlo važan interfejs u logističkom sistemu. Danas se traži visok kvalitet štampe, čitljivost i preko 99.99%, kao i velika trajnost i stabilnost zapisa na etiketi. Otpornost na habanje i uticaj prijavštine, ulja i hemikalija naročito se oštro postavlja u proizvodnim uslovima.

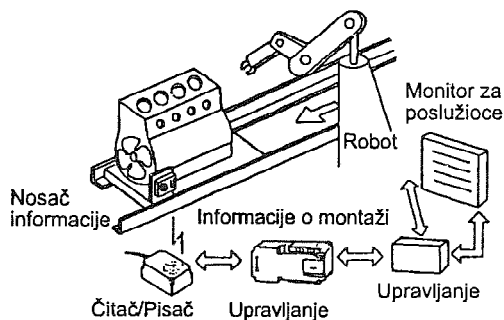
Od 1972. god. kada su se pojavili prvi, danas već prevaziđeni, štampači barkoda sa dobošem, tehnika štampe je stalno usavršavana. Danas se koriste u ove svrhe: a) iglično-matrični, b) inject, c) laserski, d) termo štampači te e) transfer tehnika štampe. Iglično-matrični i inject štampači daju nešto slabiji kvalitet. Dobar kvalitet se postiže sa laserskim i termo štampačima, ali se kod termo štampača postavlja problem stabilnosti medijuma na kome je nanesen termički sloj (do 60 C). Ovaj nedostatak je eliminisan kod transfer tehnike, koja je proizašla iz termo-štampe, a stabilnost materijala za štampu iznosi i do 300 C. Ova tehnika omogućava štampanje u ultra visokoj rezoluciji (Ultra-High-Density) od 2DPI220 što odgovara osam tačaka na 1mm. Transfer sistemi se primjenjuju kao samostalni štampači, potpuno automatizovani uređaji za etikete, a raspoloživi su i u formi samostalnih računarskih sistema za etikete.

2.2 AIS sa mobilnim programibilnim nosačima informacija

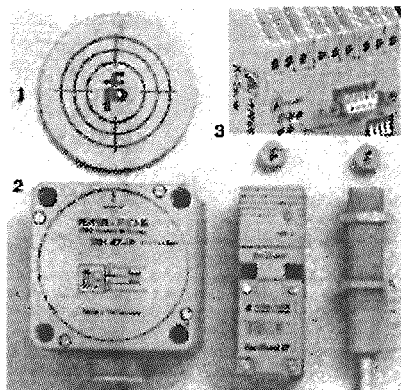
Mobilni programibilni nosači informacija se sve više primjenjuju u proizvodnom procesu. Raspoložu sa memorijom do 2KB, sa baterijskim napajanjem koje može da traje od 5 do 8 godina. Zaliveni su obično epoksidnom smolom za nosač i sa stepenom zaštite IP76. Uređaji za čitanje i pisanje prenose induktivno informacije u i od nosača informacija. Omogućeno je beskontaktno čitanje i pisanje na udaljenosti 40-90 cm, što zavisi od sadržaja metala u okolini i brzini transporta. Preko serijskog i paralelnog interfejsa upravljačka jedinica dekodirane informacije prenosi na centralni računar ili pak na PLC u cilju aktiviranja pojedinih uređaja i upravljanja proizvodnim operacijama. Sa priručnog terminala u pogonu mogu se dobiti informacije memorisane u ovim nosačima.

3. TENDENCIJE U RAZVOJU AIS-a

Uočavaju se dva trenda. Prvo, svi proizvođači teže ostvarivanju kompatibilnosti svojih proizvoda sa sistemima drugih



sl.3 Naredba za rad robota sistem očitava sa nosača informacija na bloku motora (AIS-V600, Omron, Japan)



sl.4 Induktivni ident sistem
1) nosač koda, 2) čitač koda, 3) dekodler
(Pep.+Fuch. SRNJ)

proizvođača, snabdjevajući ih standardnim interfejsima. Na drugoj strani se uočava nastojanje da se ponude integralna rješenja iz jedne ruke (istog proizvođača), budući da se mnogi korisnici, zbog

nedostatka vlastitih znanja, teško odlučuju za sklapanje sistema od jeftinijih komponenti u vlastitoj režiji. Problem je i ovdje u detalju - različitim protokolima. To su uvidjeli mnogi inženjerski biro i preduzetnički savjetnici koji su se specijalizirali za AIS-e, sa širokim područjem rada.

4. LITERATURA

(1) Kreig, B., Dass A und O moderner logistik: automatischer Identifizieren, Logistik im Unternehmen, 10/1990., 44-46.

(2) Oehlemann, H., Kommunikation in Materialfluss und Logistik ueber Barcode, DHF, 4/91, 16-16.
M. Rogić

AUTOMATISCHE IDENTIFIKATIONSSYSTEME IN MODERNE PRODUCTIONSLOGISTIK

Zusammenfassung

Ein entscheidender Faktor in der heutigen Industrie ist Logistik. Identificationssysteme sind aus dem heutigen Betriebsablauf nicht mehr wegzudenken. Sie werden vermehrt bei CIM-Loesungen eingesetzt, aber auch in "klassischen" nur wenig automatisierten Production und in Lagerbereich gehoeren sie zur Grundausstattung. In dieser Artikel werden die Informationen ueber aktuelle Entwicklung diese Technik und ihre Anwendung gegeben.

Ž. Spasić¹

CIM - INFORMACIONA INTEGRACIJA PREDUZEĆA: Osnova za tehnološke i kadrovske promene privrede

Rezi me

Informaciona integracija CIM-preduzeća odvija se u relaciji UNIVERZITET <--> INDUSTRIJA <--> KREATIVNO DRUŠTVO. To znači da industrija treba da bude aktivna u lancu kreativnih aktivnosti ISTRAŽIVANJE <--> RAZVOJ <--> PRIMENA <--> OBRAZOVANJE. Sankcije privredi nameću posebne uslove pa se postavlja pitanje: Šta je CIM-preduzeće domaće industrije u takvom okruženju? Očekivano uklanjanje sankcija takođe će zahtevati određene promene i prilagođavanja. Zato se u ovom radu informaciona integracija posmatra kao osnova za predstojeće tehnološke i kadrovske promene privrede. Polazi se od programa republičkog strateškog projekta za tehnološku oblast RK.03.64. za naredni trogodišnji period kao i od projektovanja nastavnog programa za kreativne stručnjake za izmenjene radne sadržaje CIM-preduzeća.

1. UVODNE NAPOMENE SA POSTAVKOM PROBLEMA

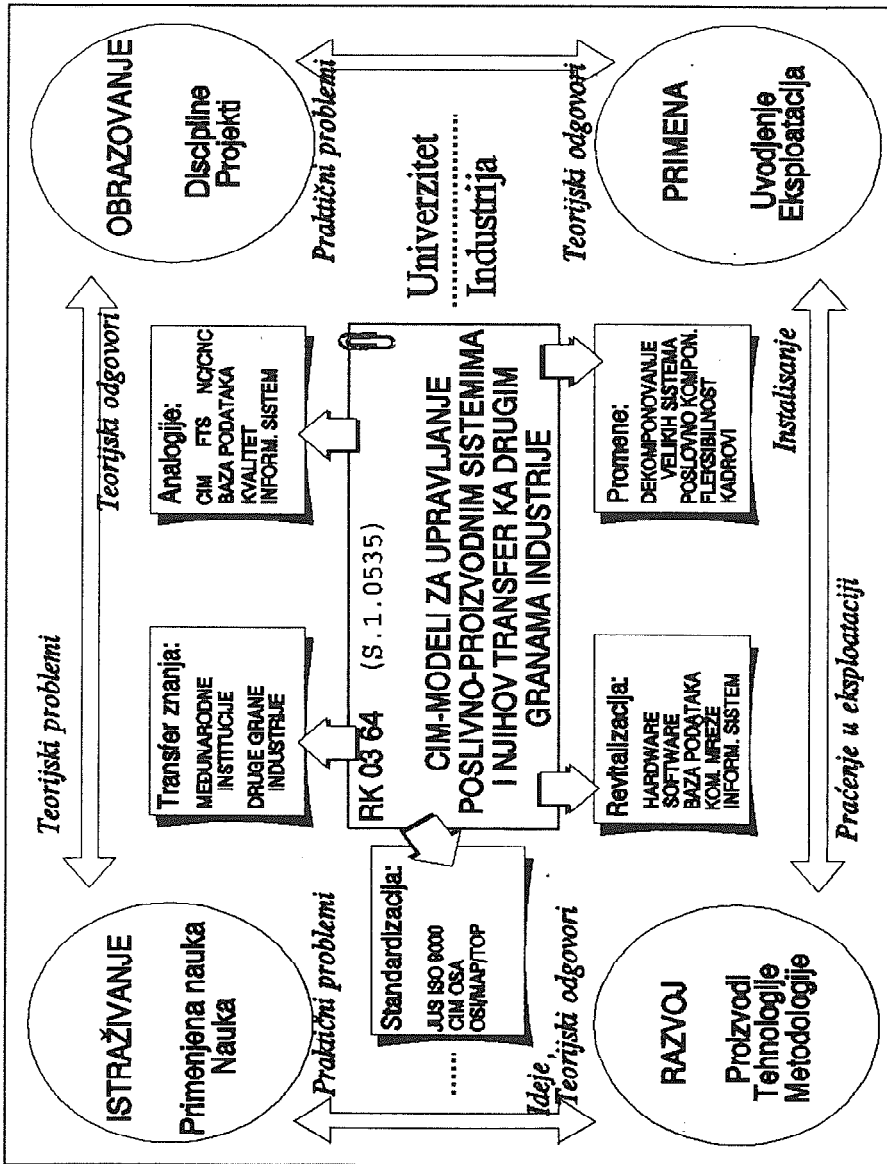
Informaciona integracija je dugoročan i strateški cilj CIM-preduzeća. To je permanentan zadatak razvojnih organizacionih jedinica i kreativnih stručnjaka koji zahteva prilagođavanja savremenim trendovima (na primer, zahtevi serije standarda ISO 9000) [1]. Vodeće domaće industrije uspostavile su svoje CIM-koncepte [2]. U međuvremenu su nastupile sankcije koje su posebno pogodile industriju prerade metala. Domaća industrija ima skromnije CIM-komponente za integraciju pošto je smanjena proizvodnja za smanjeno tržište a time je opala i mogućnost investiranja u hardware/software. U takvim okolnostima potrebno je da se redefiniše integracija kompjuterizovanih aktivnosti u CIM-sistem.

Ministarstvo za nauku i tehnologiju Srbije odobrilo je trogodišnji strateški projekt RK.03.64. "138 CIM-modeli za upravljanje poslovno-proizvodnim sistemima i njihov transfer ka drugim granama industrije" čiji su podprojekti: **Pp1** - Teorija Informacione integracije CIM-preduzeća; **Pp 2,3,4** - Razvoj i implementacija CIM rešenja u industrijskom preduzeću sa diskretnom, procesnom i visoko automatizovanom/masovnom proizvodnjom; **Pp5** - Ekspert sistem za donošenje poslovnih odluka; **Pp6** - Analogije poslovnoproizvodnih parametara industrije prerade metala i drugih grana industrija; **Pp7** - Sledljivost činilaca poslovanja u CIM sistemima sa pretraživanjem baze podataka / znanja; **Pp8** - CIM-podsistemi i CIM-medjuprostori za totalnu Informacionu Integraciju; **Pp9** - Edukacioni programi za izmenjene radne sadržaje; **Pp10** - Revitalizacija obradnih sistema sa aspekta produktivnosti, automatizacije i fleksibilnosti i **Pp11** - CIM i kvalitet u energetici, prehrambenoj i metaloprerađivačkoj industriji. Osnovni ciljevi projekta (slika 1) su revitalizacija, obezbeđenje neophodnih tehnoloških i kadrovskih promena privrede, prilagođavanje međunarodnim standardima i transfer CIM-podsistema ka drugim granama privrede (industrija nameštaja, tekstilna industrija, gumarsko-hemijska industrija, naftna industrija, energetika i dr). Okvir predstavljaju dinamičke aktivnosti u relaciji **Univerzitet – Industrija – Kreativno društvo** [3,4] čiji je model prikazan u [5,6] kao neposredno prihvatanje zajedničkog jezika sveta nauke i obrazovanja i privredno-industrijskog sveta [7].

¹ Profesor dr Žarko Spasić, Mašinski fakultet, 27. marta 80, 11000 Beograd,

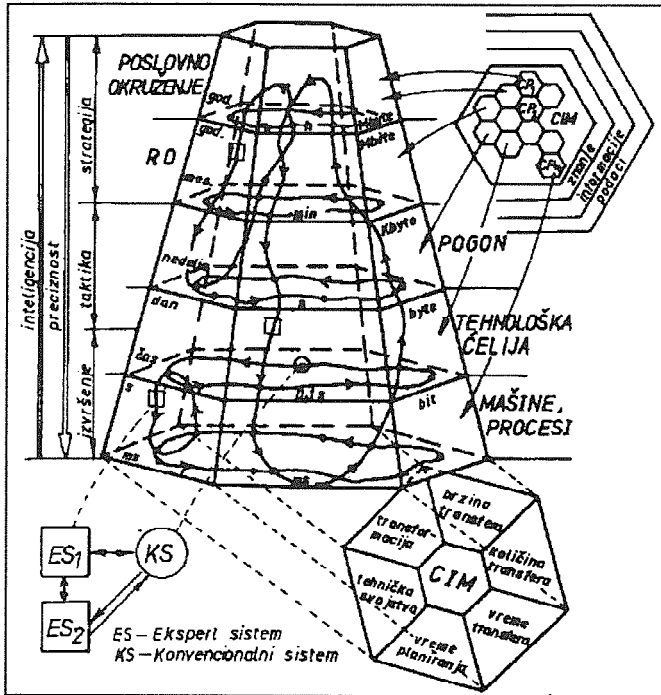
2. TEORIJSKA OSNOVA INFORMACIONE INTEGRACIJE

Model podacima/znanjem vodene fabrike predstavlja, po svojoj strukturi, integrisani hijerarhijski višenivojski sistem (slika 2) čije se ukupne aktivnosti odvijaju na sledećim nivoima (2): **Poslovno okruženje, Preduzeće, Pogoni, Tehnološke linije/celije, Mašine/Procesi**. U tako definisanom modelu cirkulacija ili transfer informacija obavlja se kroz horizontalne (jednonivojske) i vertikalne (između dva i više nivoa) Informacione tokove. U tako definisanom modelu, cirkulacija informacija se obavlja kroz komunikacione mreže koje integrišu kompjutersku i proizvodnu opremu u pogonima i ostalim delovima CIM-preduzeća (lokalne mreže) kao i kompjuterske sisteme



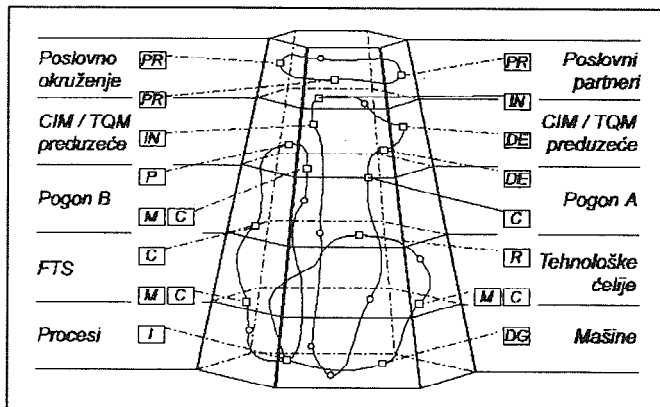
Slika 1. Lanac aktivnosti ISTRAŽIVANJE - RAZVOJ - PRIMENA - OBRAZOVANJE

poslovnog okruženja (mreže šireg područja). Time se integrišu informacioni sistemi proizvođača, kupaca i dobavljača ili se obezbeđuje potrebna kompatibilnost informacija o kvalitetu radi



Slika 2. Model podacima/znanjem vodenog CIM-preduzeća

medusobne razmene. Komunikacioni protokoli propisuju kodeks ponašanja opreme i programa u procesima komuniciranja. Industrijske lokalne mreže odnose se na aktivnosti u pogonima podacima/znanjem vodenih fabrika CIM-koncepta pri čemu komunikacioni protokoli i oprema treba



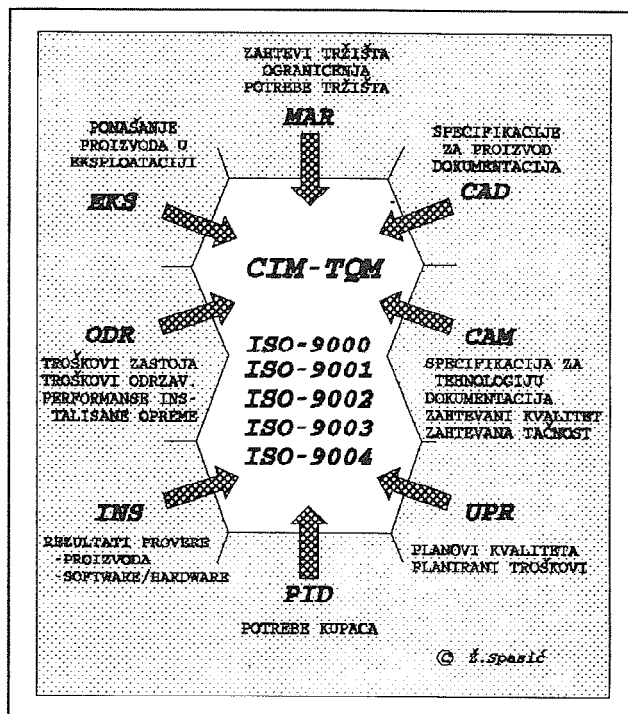
Slika 3. Inteligentna radna mesta za CIM/TQM preduzeće

da zadovolje standardom propisani referentni OSI-model sistema otvorenih za povezivanje (OSI - Open System Interconnection). CIM-podsystemi su distribuirani po svim nivoima modela. Oni integrišu inteligentne i konvencionalne software-proizvode koji su sažeti u CIM-module ili CIM-podsysteme. Tako je moguća interakcija dva ekspert-sistema ES₁ i ES₂ radi komplementarne ekspertize ili njihova interakcija sa nekim konvencionalnim kompjuterizovanim sistemom (KS).

Primena ekspertih sistema sa bazom znanja moguća je na svim nivoima usvojenog modela podacima/znanjem vodene fabrike. Ekspertna ostrva odgovaraju radnim mestima na kojima je potrebno znanje nekog eksperta određenog domena poslovanja. U horizontalnim i vertikalnim informacionim tokovima na tim radnim mestima dolazi do razmene informacija između inteligentnih i konvencionalnih CIM-komponenti. Na slici 3 prikazani su mogući ekspertni sistemi za CIM-preduzeće. Prema oznakama na slici 3 to su: **PR** - Predikcija, strateške odluke, analiza posledica, **IN** - Instrukcije, standardi (domaći, strani, interni), performanse proizvoda, **DE** - Geometrijski i tehnološki opis, modeliranje u projektovanju, **P** - Planiranje raznih aktivnosti, **M** - Praćenje (monitoring) procesa, **C** - Upravljanje procesima/sistemima, **I** - Podaci senzora, interpretacija signala/slike/govora, **DC** - Dijagnostika, Spoljne manifestacije kvara sa preporukom otklanjanja, **R** - Uzroci grešaka i otklanjanje.

3. CIKLUS KVALITETA PREMA ISO 9004 JE CIM/TQM PREDUZEĆE

Polazeći od principa arhitekture CIM OSA sistema otvorenih za povezivanje, referentni model CIM-sistema [2] dalje se razvija u parcijalni model koji je prilagođen potrebama određene grupacije CIM-preduzeća (slika 4). Pri tome su TQM-aktivnosti (TQM - Total Quality Management) postavljene kao jezgro CIM-sistema, ali se neke od njih ostvaruju i u drugim CIM-podsystemima u



Slika 4. TQM informacije od drugih CIM-podsystema

skladu sa integracionim zahtevima propisanim standardima ISO 9000. Postavljeni model respektuje osnovne aktivnosti u ciklusu kvaliteta kao sto su Marketing i ispitivanje tržišta, Projektovanje i razvoj proizvoda, Nabavka, Planiranje i razvoj procesa, Proizvodnja, Kontrolisanje, Ispitivanje i proveravanje, Pakovanje i skladištenje, Prodaja i distribucija, Ugradnja i puštanje u pogon, Tehnička pomoć i održavanje i Uklanjanje posle korišćenja. Proistekli CIM-podsystemi su: **MAR** - Marketing, **CAD**, **CAM**, **UPR** - Upravljanje proizvodnjom, **PID** - Prodaja i distribucija, **INS** - Instalisanje, **ODR** - Održavanje i **EKS** - Proizvod u eksploataciji. Mnoge od pomenutih aktivnosti su kompjuterizovane ili se za njih razvijaju kompjuterizovani aplikacioni sistemi. Inženjerske aktivnosti (CAD/CAM) zahtevaju povratne informacije o kvalitetu kako bi se konstrukcija i tehnologija izrade delova permanentno usavršavale. Neke od navedenih aktivnosti deo su paketa programa za upravljanje proizvodnjom (TOPIS, MAPICS, BAMCS, MOZAIKUS). Aktivnosti održavanja sa dijagnostikom i praćenja proizvoda u eksploataciji kompjuterizovane su kao posebni moduli sistema TOPIS 5.1/RB.

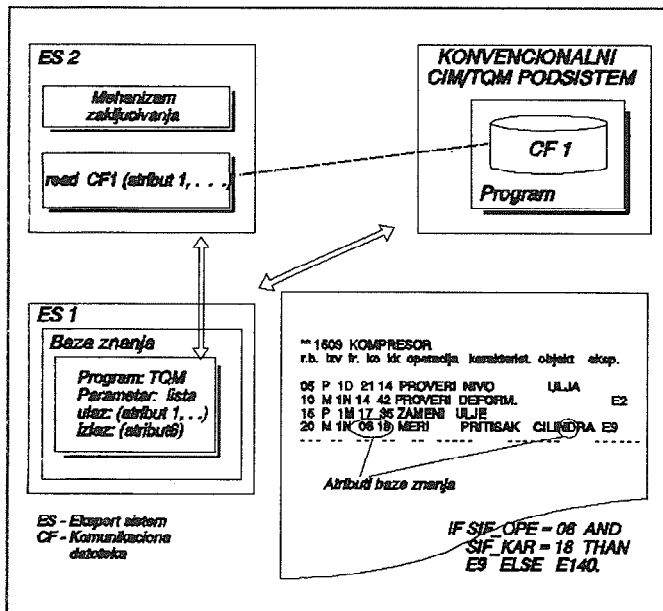
Navedene činjenice ukazuju da je glavni napor pri uvođenju sistema kvaliteta prema standardima ISO 9000 u realizaciji informacionog sistema sa integracionom bazom podataka/znanja

u projektovanju odgovarajuće dokumentacije. Time su pojmovi kvaliteta i metrološkog zadatka prošireni na ukupno poslovanje CIM-preduzeća koje je informaciono povezano sa svojim kupcima i dobavljačima. Metodologija razvoja i primene podrazumeva definisanje aktivnosti CIM-preduzeća kroz funkcionalne, resursne, informacione i organizacione aspekte poslovanja.

TC konzorcijum CIM/TQM Održavanje		TOPIS 5.1/RB CP: Održavanje i dijagnostika Copyright MCMXCIII, MF-Bgd/SV				Datum: 02/16/94	
TEHNOLOGIJA ODRŽAVANJA							
Ib. tehnologije: 131301		Klasifikaciona grupa:					
R. b	Kod odr	Fre int	Kod ope	Kod kar	Operacija održavanja	Karakteristika održavanja	Objekt održavanja
1	M	1N	21	7	KONTROLIŠI	LUPANJE	LANCA
2	M	1M	21	39	KONTROLISI	ZATEGNUTOST	LANCA
3	M	1N	17	0	ZAMENI	-	LEZAJEVE
KRAJ IZVEŠTAJA							

Slika 5. Primer izveštaja o tehnologiji održavanja

Primer integracije ES i KS dat je na izlaznom izveštaju o tehnologiji održavanja (slika 5). Svrha ovog izveštaja je da prikaže listu tehnoloških operacija za zadati tehnološki postupak održavanja. Pri tome se dobijaju informacije o tome ko na posmatranom objektu održavanja izvodi datu operaciju i sa kojom učestanošću. Dopuna i modifikacija izlaznih izveštaja predstavlja stajnu aktivnost u primeni ovog CIM/TQM - podsistema. Kao primer dopune navodi se prethodni izveštaj koji se posle integracije baze podataka i baze znanja proširuje informacijama o mogućim ekspertizama u dijagnostici i održavanju.

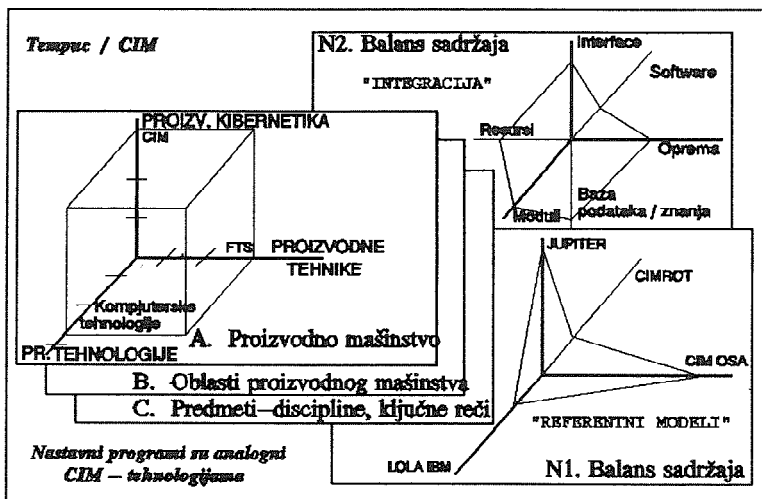


Slika 6. Primer interakcije baze podataka i baze znanja

Na slici 6 prikazana je interakcija konvencionalnog CIM-podsistema i ekspert sistema putem zahteva za ekspertizu i podataka koje ekspertni sistem vraća kao rezultat sopstvenog mehanizma zaključivanja. Datoteka za razmenu podataka između baze podataka konvencionalnog sistema i baze znanja ekspert sistema CF1 ima standardizovani format. Ekspert sistem definiše ulazne attribute kao i listu izlaznih podataka koji se komponuju u preporuku za intervenciju održavanja. Ekspert sistem može da komunicira i sa drugim ekspert sistemom u slučaju potrebe za komplementarnim ekspertizama. Time je ostvarena integracija svih informacionih resursa na osnovu postavljenog modela podacima/znanjem vodenog CIM-preduzeća sa horizontalnim i vertikalnim informacionim tokovima i potpunom transparentnošću podataka po nivoima modela.

4. MODEL INTEGRALNE EDUKACIJE ZA CIM

Model integralne edukacije za CIM prikazan je u [5,6]. Ovde se navodi deo istraživanja izvedenih u okviru TEMPUS projekta koji se odnosi na uspostavljanje nove metodologije za definisanje edukacionog ekvivalenta u među-univerzitetskoj razmeni studenata [3,4]. Ovo je jedan od preduslova za uspešne studije u određenom periodu na univerzitetu sa drugačijim nastavnim programom. Edukacioni ekvivalent može da se uspostavi između predmeta ili odgovarajućih katedri u opisnoj jedinici mere ("totalni", "vrlo dobar", "dobar" ili "zadovoljava") ili procentualno. Analiza nastavnih programa na univerzitetima u Glazgovu, Palermu i Lisabonu i njihovo kvalitativno i kvantitativno upoređivanje sa programima na katedrama za proizvodno mašinstvo i industrijsko inženjerstvo zahtevala je dosta napora. Primer analize i određivanja edukacionog ekvivalenta za predmet Proizvodni sistemi na univerzitetima Strathclyde-Glazgov, Palermo i Beograd prikazan je u [1,8]. Utvrđeno je da je edukacioni ekvivalent između univerziteta Strathclyde-Glazgov i Beograd 75% sa relacijom 1:3 i univerziteta Beograd i Palermo 65% sa relacijom 1:1. Konačna realizacija postavljene TEMPUS-metodologije za određivanje edukacionog ekvivalenta predviđa formiranje baze podataka/znanja nastavnih planova i programa evropskih univerziteta.



Slika 7. Definisanje nastavnog programa za CIM (Tempus-metodologija [3,4,8])

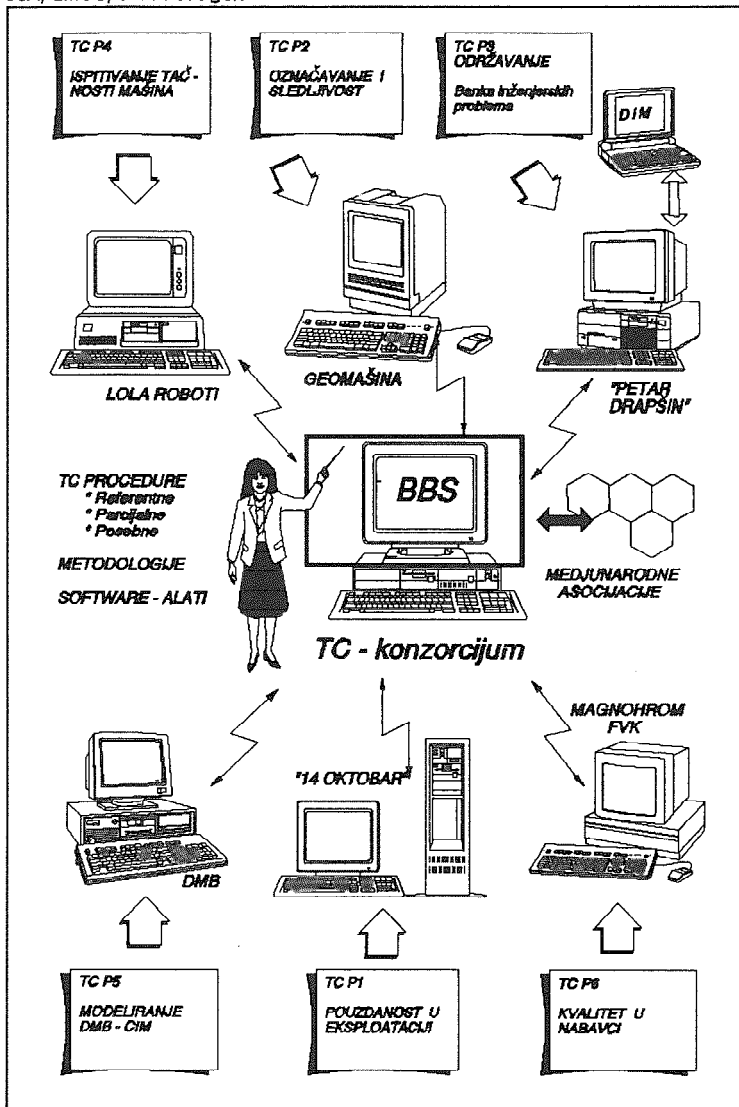
Na osnovu potreba industrije za određenim profilima stručnjaka i trendova usavršavanja nastavnih programa na vodećim evropskim i svetskim akademskim institucijama definisan je sadržaj za predmet *Računarski integrisana tehnologija (CIM)*. Metodologija podrazumeva definisanje balansa primenjenih disciplina i karakterističnih ključnih reči (na primer "referentni modeli" i "integracija" na slici 7).

5. NOVE FORME RADA U CIM/TOM PREDUZEĆU

Sve stoziji zahtevi prilagodavanja domaće industrije svetskim standardima kao i sve veće zaostajanje usled sankcija postavljaju zahtev da se pronadu nove forme rada na istraživanju, razvoju, primeni i edukaciji kako bi se povećao intenzitet usvajanja novih znanja i skratio vremenski period od ideje do primene. Naročito su aktuelni zahtevi prilagodavanja standardima serije ISO 9000 i modeliranja CIM preduzeća prema opšte prihvaćenim referentnim modelima. Jedna od mogućnosti je forma konzorcijuma industrija koji se formira prema zajedničkim interesima u istraživanju, razvoju, primeni i edukaciji. U istraživačko-razvojnim programima koje finansira Evropska unije ovakva forma rada je dala dobre rezultate (na primer, konzorcijum industrija EU AMICE za razvoj CIM OSA referentne arhitekture). TC-konzorcijum industrija integriše aktivnosti kao što su modeliranje CIM-preduzeća (konzorcijuma AMICE), definisanje principa CIM-integracije prema zahtevima standarda ISO 9000, definisanje referentne, parcijalne i posebne arhitekture CIM-sistema, postavljanje metodologije i razvoj software za banku procedura, organizovanje rada i definisanje sistema edukacije u okviru TC-konzorcijuma.

Organizovanje rada podrazumeva grupisanje industija prema istim ili sličnim problemima, formiranje zajedničkih interdisciplinarnih timova, međusobnu razmenu ostvarenih rezultata i druge zajedničke interese. Sistem edukacije koji se organizuje u okviru TC-konzorcijuma obuhvata sledeće oblike rada i nastave: BBS konferencije u komunikacionoj mreži, međusobnu razmenu projektovanih procedura i konkretnih rešenja u mreži TC-konzorcijuma, seminare sa praktičnim primerima iz laboratorija i pogona, seminare i škole za inovaciju znanja i postdiplomske i specijalističke studije.

Na slici 8 prikazan je način komuniciranja u BBS komunikacionoj mreži (BBS - Bulletin Board System) za potrebe radnih konferencija i razmene ostvarenih rezultata. BBS komunikacionom mrežom obično upravlja jedan bolje opremljeni PC kompjuter. Pristup međunarodnim javnim mrežama i relevantnim bankama podataka ostvaruje se posredstvom međunarodnih asocijacija (CIRP, CIM OSA, EMUG, SEFI i druge).



Slika 8. BBS konferencija TC konzorcijuma

Predviđeno je da TC konzorcijum Industrija nasledi aktivnosti YUMUG i CIM OSA interesne grupe za Jugoslaviju. Pored toga TEMPUS projekt predviđa podršku industrija za trening i edukaciju studenata i inženjera iz svih oblasti CIM-integracije. YUMUG asocijacija je formirana u okviru evropske asocijacije EMUG (European MAP Users Group), njena normativna dokumentacija je usvojena ali su sve aktivnosti prekinute zbog sankcija. Troškove članstva u EMUG asocijaciji pokrivala bi članice uz odgovarajuću pomoć saveznih i republičkih fondova za razvoj. Članice konzorcijuma i njeni predstavnici imali bi, na taj način, mogućnost učestvovanja u međunarodnim projektima. Uspostavljanje TC konzorcijuma se realizuje kroz projekt "Tempus/CIM informaciona integracija preduzeća u relaciji Univerzitet-industrija-Kreativno društvo".

6. ZAKLJUČNE NAPOMENE

Jedno društvo je kreativno samo kada uspostavi uspešnu interakciju univerziteta i industrije u dinamičkoj relaciji aktivnosti **Istraživanje – Razvoj – Primena – Obrazovanje**. U takvom modelu domaća industrija je deo svetskog tržišta robe i kapitala, dok domaći univerziteti imaju nastavne programe prilagođene vodećim akademskim institucijama. Vladine institucije (savezno i republička ministarstva za nauku i tehnologiju) omogućavaju ovakav transfer znanja i kroz izbor i vrednovanje odgovarajućih strateških projekata.

U uslovima sankcija, a i u periodu neposredno posle njihovog uklanjanja, domaću industriju očekuju neminovne promene. One se ogledaju u dekompoziciji velikih tehnoloških sistema i njihovom ponovnom poslovnom komponovanju uz revitalizaciju i primenu međunarodnih standarda. U takvim uslovima CIM-sistemi se komponuju kroz revitalizaciju opreme, programske podrške, baze podataka, informacionih sistema i komunikacionih mreža.

Izmenjeni radni sadržaji u CIM-sistemima zahtevaju i kadrovske promene u privredi. Analiza trendova u proizvodnji ukazuje na razvoj i korišćenje mogućnosti čoveka tako da razvoj proizvodnih tehnologija podržava te mogućnosti. Osposobljeni multidisciplinarni projektni timovi treba da preuzmu funkcije potrebne za realizaciju novih proizvoda i integralnog upravljanja kvatitetom. U fokusu aktivnosti CIM/TQM preduzeća treba postaviti kupce, a od dobavljača treba insistirati na pravovremenim i kvalitetnim isporukama. Time je ostvarena informaciona integracija CIM/TQM preduzeća sa njegovim kupcima i dobavljačima.

Obrazovanje za kreativno društvo zahteva vodeću ulogu univerziteta i aktivno učešće industrije. Nema dobrih nastavnih programa bez podrške industrije, niti kreativnih inženjera bez dobrih fakulteta sa snažnim katedrama koje su obezbedile kreativnu među-univerzitetsku sardnju.

7. LITERATURA

- [1] Spasić, Ž., Dimitrijević Marković, Lj., Pilipović, M., **Informaciona integracija preduzeća - CIM-integracija menadžmenta i kvaliteta**, ISBN 86-23-43108-11, Naučna knjiga, Beograd, 1994.
- [2] Milačić, V., Spasić, Ž., **Komputerski integrisani tehnološki sistemi - CIM-sistemi**, Knjiga 3, Edicija ITS, ISBN 7083-055-8, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [3] Balendra, R., Spasić, Ž. et al., **Curricula for the Training of Total Quality Managers**, TEMPUS JEP-2357/91, Final Report, Brussels, 1992.
- [4] Balendra, R., Spasić, Ž. et al., **Curricula for the Training of Industrial Managers**, TEMPUS JEP-2471/91, Final Report, Brussels, 1992.
- [5] Spasić, Ž., **CIM u strategiji tehnološkog razvoja industriji prerade metala: Transfer funkcija za kreativne aktivnosti**, XX JUPITER konferencija, Zbornik radova, Beograd, 1994.
- [6] Spasić, Ž., **Upravljanje proizvodnjom u industriji prerade metala: Transfer funkcija za kreativne aktivnosti**, XX JUPITER konferencija, Zbornik radova, Beograd, 1994.
- [7] Šolaja, V., **Identifikacija problema u sprezi industrija/univerzitet - Prilog jednoj paradigmi**, IX simpozijum "CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Cavtat, 1990.
- [8] Balendra, R., Spasić, Ž., La Commare, U., La Diega, S.N., **TEMPUS Methodology for Equivalents of Engineering Curricula - Looking toward the European University of the Future**, Proceedings "Project-Organized Curricula in Engineering Education", Copenhagen, 1993.
- [9] Kalajdžić, M., **Proizvodno mašinstvo "92 - Nauka*Obrazovanje*Inženjerstvo**, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.

Ž. Spasić

CIM INFORMATIONAL INTEGRATION OF ENTERPRISE : The Base for Technological- and Human Resources Changes in Industry

S u m m a r y

Informational integration of CIM enterprise occurs in the scope of the relation UNIVERSITY <-> INDUSTRY <-> CREATIVE SOCIETY. That means that industry should be active in the chain of the creative activities: RESEARCH <-> DEVELOPMENT <-> IMPLEMENTATION <-> EDUCATION. Economic sanctions impose special conditions as well as the question: What does CIM enterprise of domestic industry represent in such environment? Expected lifting of sanctions will also require certain changes and adaptations. Therefore the informational integration in this paper has been observed as the base for forthcoming technological- and human resources changes in industry. It has been started from the program of strategic project (Technological area RK.03.64, supported by Ministry for Science and Technology of Serbia) for the next three year period, as well as from the curriculum designed for creative CIM experts in an enterprise.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

J. Stanić, V. Majstorović¹

SIMPLEKSNI METOD OPTIMIZACIJE U USLOVIMA CIRKULACIJE I DOPUNA NEPOTPUNIH SIMPLEKSA

Rezime

Optimizacionu proceduru simpleksnog metoda prate izvesni slučajevi koji se moraju poznavati pri njihovoj praktičnoj primeni. U ovom radu se analiziraju takva dva slučaja. To su cirkulacija i dopuna simpleksa.

1. UVOD

Simpleksni metod spada u grupu adaptivnih (eksperimentalnih) metoda optimizacije objekata (sistema, procesa, konstrukcija itd.). Koristi se naročito u slučaju kada se objekat optimizacije odlikuje višefaktornošću i difuznošću. Inače, to je metod pomoću kojeg se na vrlo efikasan način izvodi optimizaciona analiza nekog procesa, sistema i sl., jer mu je matematička i eksperimentalna procedura relativno jednostavna, kratka i ne odveć skupa [1].

U praktičnoj primeni simpleksnog metoda moguće je nekoliko specijalnih slučajeva medju kojima je se, u ovom radu, analiziraju dva: cirkulacija simpleksa oko određene tačke hiperprostora i dopuna simpleksa ispuštenom tačkom (faktorom) u toku optimizacionog (eksperimentalnog) procesa.

2. SLUČAJ CIRKULACIJE SIMPLEKSA

Neka je, na početku simpleksne trajektorije, potpuno definisana lokacija, oblik i metrika simpleksa (simpleksnog plana) a time i korespodentna matrica X pravilnog k -dimenzionog početnog simpleksa nekog k -faktornog objekta optimizacije, koja, na primer, za slučaj lociranja simpleksa u koordinatni početak, glasi

$$X = \begin{bmatrix} r_1 & r_2 & r_3 & \dots & r_k \\ -R_1 & r_2 & r_3 & \dots & r_k \\ 0 & -R_2 & r_3 & \dots & r_k \\ 0 & 0 & -R_3 & \dots & r_k \\ \dots & & & & \dots \\ 0 & 0 & 0 & & -R_k \end{bmatrix}, \quad (1)$$

pri čemu je

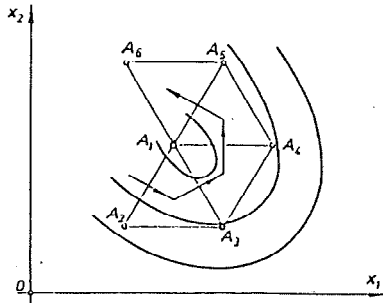
$$R_i = \sqrt{\frac{i}{2(i+1)}}, \quad r_i = \sqrt{\frac{i}{2i(i+1)}}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k. \quad (2)$$

¹ Prof. dr Jeko Stanić, dipl. maš. inž., doc. dr Vidosav Majstorović, dipl. maš. inž., Mašinski fakultet, 27. marta 80, Beograd 11000.

$$iR_i = r_i, \quad h_i = R_i + r_i$$

$$ih_i = (i + 1) R_i, \quad R_i^2 = r_i^2 = R_{i-1}^2$$

gde su: R_i - poluprečnik sfere opisane oko i - dimenzionog simpleksa, r_i - poluprečnik sfere opisane u i - dimenzionom simpleksu i h_i - visina i - dimenzionog simpleksa. Primenjujući pravila toka simpleksne i sledeći definisanu proceduru simpleksne trajektorije [1], često se događa cirkulacija simpleksnog plana oko određene tačke u jednom trenutku (koraku) toka trajektorije. Cirkulacija se otkriva stalnim prisustvom jedne iste tačke u simpleks-planu i posle $k+1$ koraka, tj. posle ukupno $2(k+1)$ eksperimenata računajući od njenog ulaska u simpleks.



Sl. 1. Cirkulacija simpleksa u optimalnoj oblasti.

Postoje dva moguća uzroka cirkulacije. Prvi, tačka se nalazi u užoj okolini optimuma procesa (sl. 1), i drugi, u tački je, sa izmerenom vrednošću, superponiran visok pozitivan sum procesa. Oba uzroka se otkrivaju ponavljanjem eksperimenata u ovoj tački, a zatim i u ostalim tačkama poslednjeg simpleksa.

Problem cirkulacije simpleksa, odnosno mogućnost nastavka normalne procedure ulaska u optimalno područje (u užu oblast oko optimalne tačke objekta), rešava se na dva načina.

Prvi način se temelji na promeni metrike simpleksa, tj. na postupnom smanjivanju razmera simpleksa množenjem grane prethodnog simpleksa brojem manjim od jedinice. Zatim se nastavlja uobičajena procedura sva dostizanja tražene optimalne tačke objekta. Ukoliko se pak i u ovom nastavku opet pojavi cirkulacija, potrebno je, kao i u prthodnom slučaju, delovati na metriku cirkulacionog simpleksa.

Drugi način koristi razvijeni regresioni metod [1] pomoću kojeg se modelira oblast oko optimuma (u kojoj je nastupila cirkulacija simpleksa) primenom planova za matematičko modeliranje objekata. Ovde se koriste višefaktorni eksperimentalni planovi višeg reda - centralni kompozicioni plan koji omogućuje da se na ekonomičan i pouzdan način modelira uža oblast optimuma datog objekta polinomom ili stepenom funkcijom optimizacije.

Primer 1. Ovaj primer odnosi se na optimizaciju elemenata režima rezanja obrade otvora

$$\vec{x} = (v, S)$$

sa stanovišta kriterijuma postojanosti alata

$$T = F_c = T(v, S).$$

Uslovi obradnog procesa: prečnik alata $D = 6,7$ mm, tvrdoća obratka $h_b = 250$ kN/cm², dubina bušenja $L = 4D$ sa hladjenjem.

Usvojeni osnovni nivoi i intervali varijacije elemenata režima dati su u tablici 1, tok simpleksne analize sa rezultatima ispitivanja u tablici 2 i

TABLICA 1

FAKTOR	OZNAKA	OSNOVNI NIVO	INTERVAL VARIJACIJE
n [r/min]	x_1	2050	2000
s [mm/s]	x_2	0,003	0,0012

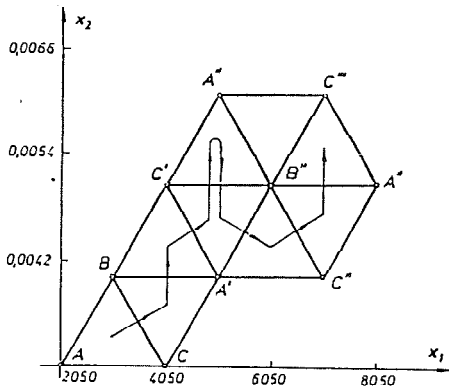
TABLICA 2

Red. broj	SIMPLEKS	VRH SIMPLEKSA	FAKTOR				Postojano- sti T [min]
			x_1	x_2	x_2	x_2	
1	ABC	A	0	2050	0	0,003	9,0
2	ABC	B	0,5	3050 (3080)	0,86	0,004	13,2
3	ABC	C	1	4050 (4100)	0	0,003	11,6
4	BCA'	A'	1,5	5050 (5000)	0,86	0,004	17,0
5	BA'C'	C'	1	4050 (4100)	1,72	0,005	19,0
6	A'B'C'	B''	2	6050 (6060)	1,72	0,005	24,8
7	C'B'A''	A''	1,5	5050 (5000)	2,58	0,006	3,9
8	A'B''C''	C''	2,5	7050 (6800)	0,86	0,004	21,2
9	C''B''A'''	A'''	3	8050 (7800)	1,72	0,005	16,2
10	B''A'''C'''	C'''	0,5	7050 (6800)	0,58	0,006	2,5

sl. 2 (u zagradama su postojeći bliži obrtaji na mašini). Dvodimenzioni pravilni početni simpleks (sa jediničnom ivicom) postavljen je prema koordinatnom sistemu tako da se vrh A simpleksa nalazi u koordinatnom početku, pa se koordinate vrha novog simpleksa izračunavaju, saglasno ovome, iz jednačine

$$x_{(k+2)} = 2x_{ic} - x_{it} = \frac{2}{k} \sum_{j=1}^{k+1} x_{ij} - x_{it} \quad (5)$$

gde je x_{it} - koordinata isključene tačke prethodnog simpleksa.



Sl. 2. Simpleksna trajektorija iz primera.

Otuda su kodirane nove tačke a' u novom simpleksu BCA'

$$x_{14} = \frac{2}{2} (0,5 + 1) - 0 = 1,5$$

$$x_{24} = \frac{2}{2} (0,86 + 0) - 0 = 0,86$$

dok se korespondentne prirodne vrednosti dobijaju iz relacije

$$x_i = \frac{x_i - x_{oi}}{w_i}, \quad i = 1, 2 \quad (6)$$

tj. iz

$$1,5 = \frac{x_1 - 2500}{2000}, \quad 0,86 = \frac{x_2 - 0,003}{0,0012}, \quad (6')$$

odakle je $x_1 = 5050$ o/min i $x^2 = 0,004$ mm/o. Na sličan način se određuju položaji novih tačaka u narednim simpleksima.

Oko tačke B'' počinje cirkulacija simpleksa, pa je ova tačka približno traženi optimum procesa: $n = 6060$ o/min i $s = 0,005$ mm/o. Na identičan način se optimizira proizvodnost procesa, geometrija alata i slično.

3. DOPUNA SIMPLEKSNOG PLANA NOVIM FAKTOROM

U složenim višefaktornim procesima postoji uvek rizik da se pri optimizacionoj analizi procesa ispusti (ne obuhvati) jedan ili više bitno uticajnih ulaznih upravljajućih faktora. Posmatra se osnovni slučaj (ostali se svode na ovaj) kada je metodom selekcije izdvojen skup od k signifikantnih faktora, a u suštini dati proces zavisi od ukupno $k + 1$ faktora, tj. $(k + 1)$ - ti faktor nije u početku analize obuhvaćen. To znači da se tačke prvobitnog k - dimenzionog simpleksa nalaze u hiperravni $x_{k+1} = d$, pri čemu je d - utvrđena bezdimenziona vrednost $(k + 1)$ - tog faktora. Dok je u gradijentnom metodu posledica dopune faktornog plana jednim faktorom dvostruko povećanje broja eksperimenata, u simpleksnom metodu dopunom simpleksa jednim faktorom povećava se svega za jedan broj eksperimenata. U bilo kom trenutku može se k - dimenzioni simpleks dopuniti jednom tačkom na $(k + 1)$ - dimenzioni simpleks. Postupak dopune je jednostavan i teče ovim redom:

- Polazi se od k - dimenzionog simpleksa i izračunava njegovo središte

$$x_{ci} = \frac{1}{k + 1} \sum_{j=1}^{k+1} x_{cj}, \quad i = 1, 2, 3, \dots, k \quad (7)$$

u $(k + 1)$ - dimenzionom prostoru.

- Kroz ovo središte povlači se normalana hiperravan (u hiperravni se nalaze sve tačke prethodnog k - dimenzionog simpleksa).

- Na normalu se, počevši od središta, nanosi visina h_{k+1} , čiji kraj definiše položaj tačke novog faktora u dopunjenom, ali sada $(k + 1)$ - dimenzionom simpleksu.

Primena ovog postupka ilustrovana je narednim primerom.

Primer 2. U početku optimizacione analize jednog procesa izdvojeno je pet bitnih upravljajućih faktora

$$\bar{x} = (\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \tau). \quad (8)$$

Postavljen je cilj optimizacije procesa: odrediti simpleksnim metodom vrednosti komponenata vektora \bar{x} koje odgovaraju maksimalnoj vrednosti funkcije cilja (kvaliteta procesa)

$$F_c = y = y(\alpha, \beta, \gamma, \lambda, \tau). \quad (9)$$

pri čemu je nepoznat oblik matematičkog modela ove funkcije. Prema apriornim informacijama greška ispitivanja (eksperimenta) iznosi 5%, dok su greške merenja eksperimenata:

$$\Delta\alpha = \pm \frac{1}{3600},$$

$$\Delta\beta = \pm 0,001,$$

$$\Delta\gamma = \pm 0,001,$$

$$\Delta\lambda = 0,001,$$

$$\Delta\tau = \pm 0,005.$$

Na osnovu postojećih znanja o procesu izabrano je težište početnog simpleksa, osnovni nivo i interval varijacije faktora (tablica 3).

TABLICA 3

FAKTOR	OZNAKA	OSNOVNI NIVO	INTERVAL VARIJACIJE
α	x_1	2,0	0,20
β	x_2	0,65	0,15
γ	x_3	0,10	0,025
λ	x_4	0,25	0,05
τ	x_5	1,20	0,20

Polazeći od jednačina transformacije

$$x_1 = \frac{x_1 - 2,0}{0,20}, x_2 = \frac{x_2 - 0,65}{0,15}, x_3 = \frac{x_3 - 0,10}{0,025} \quad (10)$$

$$x_4 = \frac{x_4 - 0,25}{0,05}, x_5 = \frac{x_5 - 1,20}{0,20},$$

gde je $x_1 = \alpha$, $x_2 = \beta$, itd., i respektivne matrice simpleksa [1], dobija se matrica 5-to dimenzionog simpleksa u prirodnim vrednostima (tablica 4).

TABLICA 4

Red. broj	SIMPLEKS	VRH SIMPLEKSA	FAKTOR						y
			α	β	γ	λ	τ	ν	
1	ABCDEF	A	2,10	0,693	0,105	0,258	1,225	800	0,760
2	ABCDEF	B	1,90	0,693	0,105	0,258	1,225	800	0,491
3	ABCDEF	C	2,00	0,564	0,105	0,258	1,225	800	0,513
4	ABCDEF	D	2,00	0,650	0,085	0,258	1,225	800	0,675
5	ABCDEF	E	2,00	0,650	0,100	0,218	1,225	800	0,693
6	ABCDEF	F	2,00	0,650	0,100	0,250	1,075	800	0,666
7	ABCDEF	B'	2,14	0,589	0,093	0,238	1,165	800	0,810
8	AB'CDEFG	G	2,04	0,633	0,098	0,247	1,190	877	

Posle izvršenih eksperimenata zaključuje se da je najmanja vrednost funkcija cilja u vrhu B simpleksa ABCDEF. Ova se tačka isključuje a koordinate nove tačke (vrha) B' simpleksa AB'CDEF izračunavaju se iz poznatih definicionih jednačina, tj. iz

$$\alpha_7 = \frac{2}{5} (2,10 + 1,90 + 2,00 + 2,00 + 2,00 + 2,00) - \left(\frac{2}{5} + 1\right) 1,9 = 2,14$$

$$\beta_7 = \frac{2}{5} (0,693 + 0,693 + 0,564 + 0,650 + 0,650 + 0,650) - \left(\frac{2}{5} + 1\right) 0,693 = 0,589$$

i tako redom za ostale tri koordinate

$$\gamma_7 = 0,93, \lambda_7 = 0,238, \tau_7 = 1,165.$$

Nakon izvodjenja eksperimenata u ovoj tački sledi fa je najmanja vrednost funkcije cilja u vrhu C simpleksa AB'CDEF. Dalji postupak se nastavlja na identičan način po simpleksnoj trajektoriji do identifikacije optimuma procesa. Neka je posle izvodjenja eksperimenata u tački B' uveden u dalju analizu procesa novi, šesti faktor (v) čija je vrednost dotada bila konstantna ($v = 800$). To je, kako je prethodno istaknuto, moguće u simpleksnom metodu. Radi toga se dopunjava prethodni simpleks AB'CDEF novim vrhom G tako da se dalja analiza nastavlja na bazi novog simpleksa AB'CDEFG, s tim što se sledeći eksperiment izvodi u dopunskoj tački G, čije se koordinate odredjuju na sledeći način. Pošto je osnovni nivo $v_0 = 800$ i interval varijacije $w_6 = 100$ biće transformacije

$$x_6 = \frac{x_6 - 800}{100}, x_6^0 = 0,$$

gde je $x_6 = v$, pa kako je u šestodimenzionom simpleksu AB'CDEFG $h = 0,765$, to se odavde dobija

$$v_8 = 800 + 100_6^{(0)} = 800 + 100 (x_6^0 + h) = 877.$$

Koordinate tačke No 8 (G) odredjuju se (na osnovu tablice 4) kao srednje aritmetičke vrednosti iz korespondentnih koordinata matrice simpleksa AB'CDEF,

$$\alpha_8 = \frac{1}{6} (2,10 + 2,00 + 2,00 + 2,00 + 2,00 + 2,4) = 2,04$$

$$\beta_8 = \frac{1}{6} (0,693 + 0,564 + 0,650 + 0,650 + 0,650 + 0,589) = 0,633$$

$$\gamma_8 = 0,098, \lambda_8 = 0,247, \tau_8 = 1,190.$$

Dalji simpleksni postupak optimizacije datog procesa odvija se na poznat način, uz respektovanje šest upravljajućih faktora procesa.

4. LITERATURA

- [1] Stanić, J., Uvod u teoriju tehnokonomske optimizacije, Četvrto dopunjeno izdanje, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- [2] G.P., Statičeskie metody issledovanija režuščego instrumenta, Mašinostroenie, Moskva, 1974.

J. Stanić, V. Majstorović

SIMPLEX METHOD OF OPTIMIZATION UNDER THE CONDITIONS OF CIRCULATION AND ADDITION OF INCOMPLETE SIMPLEXES

Summary

The simplex method optimization procedure is followed by certain cases which must be well-known in order to be practically applied. Two such cases are analyzed in this paper. They are circulation and simplex addition.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

J. Stanić, M. Milivojević, N. Ivković

MODELIRANJE I OPTIMIZACIJA REALNIH OBJEKATA
ANALITIČKIM PRETRAŽIVAČKIM METODAMA

Rezime

U radu je prikazano modeliranje i optimizacija objekta istraživanja na primeru iz prakse. Cilj je bio generisanje optimalnih vrednosti parametara za koje određena klasa legura aluminijuma i litijuma ima maksimalnu tvrdoću. Za modeliranje je korišćena savremena teorija eksperimenta i centralni kompozicioni plan četvrtog reda. Optimizacija je izvršena programskim paketom "OPTIMA" koji je razvijen na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

1. UVOD

Razvoj senzorske tehnike, modernih matematičkih disciplina i software-skih alati omogućuje upravljanje realnim objektima istraživanja.

U radu je pokazan primer off-line upravljanja tvrdoćom legure Al-Li u funkciji od vremena starenja i temperature. Za matematičko modeliranje koje predstavlja najkompleksniji deo analize, je korišćena Fišerova regresiona analiza razvijena software-ski do nivoa centralnog kompozicionog plana četvrtog reda. Optimizacija je izvršena pomoću programskog paketa "OPTIMA" namenjenog za analitičke pretraživačke metode optimizacije.

2. MATEMATICKI MODEL - PROMENE TVRDOĆE OD TEMPERATURE
I VREMENA TERMIČKOG TALOŽENJA U LEGURI Al - Li

Legura Al - Li ima veliki praktični značaj u avioindustriji, te je od izuzetnog značaja izučavanje njenog ponašanja sa različitih aspekata. Jedno od najbitnijih je upoznavanje procesa ojačavanja u funkciji signifikantnih faktora kao što su VREME TERMIČKOG TALOŽENJA, VREME STARENJA i.t.d.

prof. dr Joko Stanić, Mašinski fakultet, Beograd
dipl. inž. Milovan S. Milivojević, Mašinski fakultet, Beograd
mr. Nebojša Ivković dipl. inž., Viša tehnička škola, Užice

Za kreiranje matematičkog modela koji na adekvatan način opisuje navedeni proces, kao realni objekat optimizacije, korišćen je višefaktorni plan eksperimenta.

Najpre je izvršena analiza područja temperatura i vremena u kojima će se vršiti istraživanje. Konstatovano je da je ispitivanje najbolje vršiti u oblasti:

-temperature -175° C -205° C
 -vremena starenja - 30' -1800'

U cilju dobijanja ispitivane karakteristike matematičkim modelom oblika

$$\begin{aligned}
 y = & b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i=1}^{k-1} \sum_{j=i+1}^k b_{ij} x_i x_j + \\
 & + \sum_{i=1}^{k-2} \sum_{j=i+1}^{k-1} \sum_{l=j+1}^k b_{ijl} x_i x_j x_l + \\
 & + \sum_{i=1}^{k-3} \sum_{j=i+1}^{k-2} \sum_{l=j+1}^{k-1} \sum_{m=l+1}^k b_{ijlm} x_i x_j x_l x_m + \\
 & + \sum_{i=1}^{k-4} \sum_{j=i+1}^{k-3} \sum_{l=j+1}^{k-2} \sum_{m=l+1}^{k-1} \sum_{n=m+1}^k b_{ijlmn} x_i x_j x_l x_m x_n + \\
 & + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \sum_{i=1}^k b_{iii} x_i^3 + \\
 & + \sum_{i=1}^k b_{iiii} x_i^4 + \sum_{i=1}^k \sum_{j \neq i}^k b_{ijj} x_i x_j^2
 \end{aligned}$$

dakle, polinomijalnom funkcijom četvrtog reda, primenjen je višefaktorni način planiranja eksperimenta korišćenjem centralnog kompozicionog plana četvrtog reda.

U TABLICII I su prikazani faktori i vrednosti njihovih nivoa variranja koji su uključeni u tok eksperimentalne procedure.

Korišćenjem poznatih postavki teorije eksperimentata sprovedena je odgovarajuća eksperimentalna procedura u cilju dobijanja vrednosti ispitivane karakteristike kvaliteta (HV10) data u TABLICII II.

TABELA I

Naziv faktora	Faktor	Nivoi variranja faktora						
		0.5	4.8	10.0	15.2	20.4	25.6	30.0
Vreme starenja	X	0.5	4.8	10.0	15.2	20.4	25.6	30.0
Temperatura term. taloženja	Z	175.0	179.3	184.6	190.0	195.3	200.0	205.0

TABELA II

Redni broj	X [h]	Z [°C]	HV10
1.	30.00	205.0	102.2
2.	0.50	205.0	110.58
3.	30.00	175.0	120.33
4.	0.50	175.0	104.78
5.	25.68	200.6	153.89
6.	4.82	200.6	115.84
7.	25.68	179.4	166.92
8.	4.82	179.4	121.25
9.	0.50	190.0	82.38
10.	30.0	190.0	102.67
11.	15.25	175.0	101.53
12.	15.25	205.0	111.77
13.	10.03	190.0	149.45
14.	20.47	190.0	113.30
15.	15.25	184.7	110.49
16.	15.25	195.3	112.71
17.	15.25	190.0	113.22
18.	15.25	190.0	113.22

Nakon eksperimenata izvršena je matematička obrada rezultata nakon čega je dobijen matematički model četvrtog reda oblika

$$\begin{aligned}
 TVRDOCA(HV10) = & 110.773 + 41.121 X - 5.75646 Z - \\
 & -2.7678 X Z + 74.5718 X^2 - 12.6268 Z^2 - \\
 & - 16.9653 X^3 + 1.23819 Z^3 - \\
 & -2.98532 X Z^2 + 0.485091 Z X^2 - \\
 & - 39.7153 X^4 + 7.31082 Z^4
 \end{aligned}$$

U predzadnjoj i zadnjoj koloni TABELLE III prikazane su uporedo eksperimentalne i teorijske vrednosti dobijene iz matematičkog modela za vrednosti faktora X i Z date u prve dve kolone iste tablice.y

Potrebno je istaći da navedeni matematički model važi za kodirane vrednosti faktora (saglasno teoriji višefaktorne eksperimentalne analize) iz intervala

$$-1.414 \leq X \leq 1.414$$

$$-1.414 \leq Z \leq 1.414$$

TABELA III

Redni broj	X	Z	Eksp. vrednost	Teorijska vrednost
1	30.002	174.998	120.33	115.57
2	0.498	174.998	104.77	101.05
3	25.681	200.608	153.89	154.69
4	4.818	200.68	115.84	117.78

3. "OPTIMA" - TRST ZA LEGURU Al - Li

Programski paket " OPTIMA " obuhvata odredjivanje optimuma za sledeće pretraživačke metode:

- mrežni metod
- spiralni metod
- Gaus - Zajdelov metod
- relaksacioni metod
- EVOP - metod
- gradijentni metod
- simpleksni metod

Mrežni i spiralni metod su software-ski podržani do nivoa aplikativne primene a ostale metode su u fazu razvoja.

Na ekranu su prisutne tri zone. Levo je zona u kojoj se vrši grafička prezentacija, gore desno zona za osnovne ilustracije i dole desno zona za interaktivni rad. Interaktivno se vrši izbor definicionog domena (ne u pravom matematičkom smislu vec zbog prikaza na ekranu), oblasti pretraživanja i gustine pretraživačke mreže odnosno parametara Arhimedove spirale. Položaj i izgled izabrane pretraživačke mreže daje se zatim na ekranu gore desno. Potom se bira način pretraživanja funkcije cilja. Ponudjene su tri opcije:

- izometrija
- dimetrija
- trimetrija

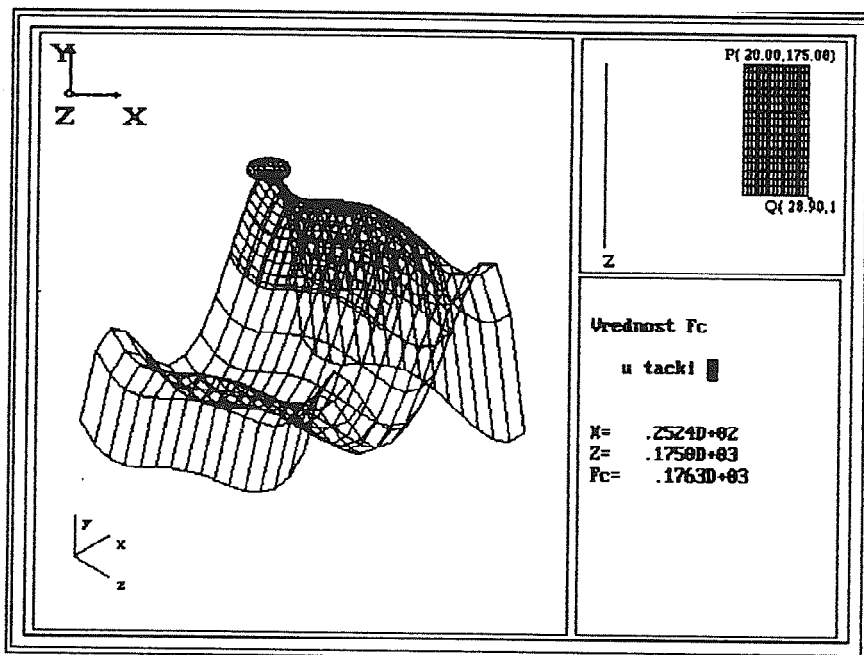
U dijalogu možemo vršiti izbor izgleda za koji nam prikaz modela najviše odgovara i prirode optimuma (min/max). U grafičkoj oblasti se najpre prikazuje funkcija cilja, granice domena i konačno samo pretraživanje uz animaciju. Programi su kreirani tako da mogu otkriti višestruki optimum i te oblasti označiti ispunjenim krugovima. Podaci o vrednostima funkcije cilja i odgovarajućih tačaka (faktora) zapisuju se u posebne datoteke a na ekranu možemo po želji dobiti i vrednosti za izabrani optimum.

Za područje adekvatnosti modela, pomoću " OPTIME " ustanovljene su optimalne vrednosto faktora sa kojima se postiže maksimalna tvdoća.

$$HV(10) = 176.3$$

a one iznose:

- temperatura $T=175^{\circ} C$
- vreme termičkog taloženja $t=25 h$ (sl.2)



sl.2 Grafički model legure Al - Li i optimalne vrednosti faktora ("OPTIMA")

4. ZAKLJUČAK

Razvijeni software za modeliranje i optimizaciju realnih objekata istraživanja između ostalih odlikuje se i sledećim osobinama:

- sprovođenje metodologije savremenih eksperimentalnih planova
- matematička potpora adekvatnosti modela
- razrada modela višeg reda i uopštavanje na višefaktorne probleme
- određivanje optimuma sa željenom tačnošću uz animaciju

Ovo su neke odrednice rezultata do kojih se stiglo na osnovu kojih smatramo da je postavljena platforma za dalji rad, odnosno da su na ovaj način trasirani putevi ka on-line upravljanju realnim procesima i sistemima .

5. LITERATURA

- [1] Stanić J., Uvod u teoriju tehnokonomске optimizacije, Mašinski fakultet, Beograd, 1988
- [2] Rogwers D. F., Adams J. A., Mathematical elements for computers graphics, McGraw Hill, New York, 1986
- [3] Ivković N., Izrada software-a za matematičko modeliranje složenih višefaktornih stohastičkih objekata istraživanja i njegova praktična primena, magistarski rad, Beograd, 1992

J. Stanic, M. Milivojevic, N. Ivkovic

**A REAL OBJECT MODELLING AND OPTIMIZATION BY MEANS OF
ANALYTICAL SCANNING METHODS**

Summary

The paper presents a real object modelling and optimization. Our goal was to find optimal parameter values which generate the maximum Al-Li alloy hardness. Modern experimental theories and the fourth level central composition plan were used for modelling. The optimization was realized by "OPTIMA" software, developed at the Mechanical faculty in Belgrade.

D. Stanivuković, S. Kecojević, M. Brkić, I. Beker*

RAZVOJ MODELA SEGMENTA BAZE PODATAKA MODULA ZA UPRAVLJANJE PROCESIMA ODRŽAVANJA

Rezime

U radu je dat prikaz principa izgradnje informacionog sistema održavanja zasnovanog na modularnom prilazu upravljanju procesima održavanja. Sagledano je mesto IS održavanja u IS preduzeća, zatim je prikazana koncepcija organizacije baze podataka IS održavanja i prikazan je princip projektovanja šeme baze podataka.

1. UVOD

Osnovni cilj funkcije održavanja je, bez obzira na karakteristike proizvodnog procesa, tehnoloških i ostalih sistema koji su predmet održavanja, sprječavanje pojava stanja u otkazu i vraćanje sistema, po pojavi stanja u otkazu, u stanje u radu, u datom vremenu i uz troškove koji su na nivou neophodnog minimuma. Definisane cilje na ovaj način zahteva, za svako preduzeće, konkretizaciju izraženu preko:

- raspoloživosti (koja predstavlja svojstvo sistema iskazano sa aspekta pouzdanosti, održavanja i integralne systemske podrške, definisano vjerovatnoćom da će sistem u posmatranom trenutku ili intervalu vremena obaviti postavljene zadatke u datim uslovima) i
- troškova održavanja.

Ostvarenje postavljenih ciljeva zahteva sistematizovan pristup projektovanju svih segmenata funkcije održavanja. U nastavku je prikazana osnovna struktura upravljačkih modula funkcije održavanja, kao i osnovi pristupa izgradnji informacionog sistema.

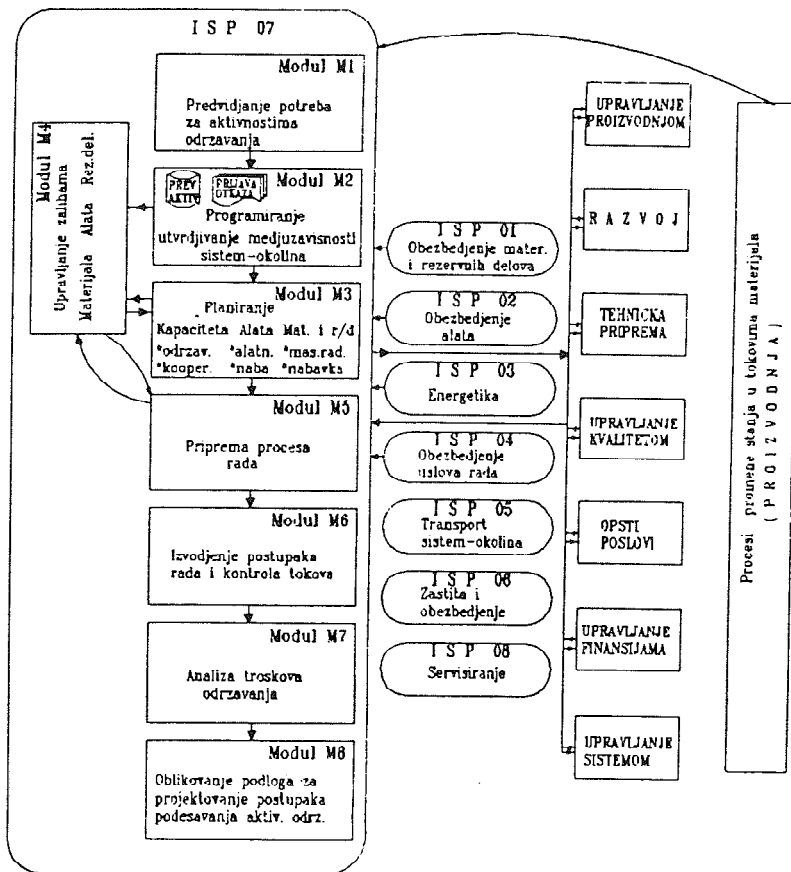
2. MODULARNI PRILAZ UPRAVLJANJU ODRŽAVANJEM

Početni korak u projektovanju funkcije održavanja na modularnom principu (slika 1) obuhvata analizu sistema, definisanje ciljeva, predviđanje potreba za održavanjem,

* Dr Dragutin Stanivuković, red. prof., Mr Slobodan Kecojević, asistent, Milan Brkić, saradnik, Ivan Beker, asistent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijske sisteme, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000:Novi Sad

analizu stepena kritičnosti tehnoloških sistema i delova sistema, izbor koncepcije održavanja i, kao krajnji cilj, definisanje programa održavanja, što je sadržano u modulu M1 - Predviđanje potreba /1/.

Podaci koje obezbeđuje program održavanja su dovoljni za definisanje potrebnih resursa održavanja, projektovanje organizacije održavanja i projektovanje ostalih modula informaciono - upravljačkog sistema održavanja, tako da je moguće pristupiti izradi godišnjih, kvartalnih, mesečnih i nedeljnih planova naknadnih i preventivnih intervencija održavanja, što je obuhvaćeno modulom M2 - Utvrđivanje međuzavisnosti.



Slika 1

Razrada operativnih planova podrazumeva PLANIRANJE (Modul M3) kapaciteta neophodnih za izvršenje aktivnosti održavanja, pri čemu se mora obezbediti: uravnoteženje odnosa opterećenje - kapacitet, minimizacija redova čekanja na intervenciju održavanja i smanjenje organizacionih i logističkih gubitaka vremena. Takođe se izrađuju planovi materijala, rezervnih delova i alata, kao i provere operativne gotovosti izvršilaca i ostalih potrebnih resursa.

Izvršenje postupaka održavanja uslovljeno je raspoloživošću neophodnih materijala i rezervnih delova, što zahteva upravljanje zalihama (Modul M4), a podrazumeva izradu planova, nabavku, skladištenje i izdavanje materijala i rezervnih delova.

Priprema intervencije održavanja obuhvata izradu radne dokumentacije: radni nalog, radne liste, trebovanje itd., kao i konačnu proveru raspoloživosti neophodnih resursa. Ove aktivnosti su obuhvaćene modulom M5 - Izvođenje postupaka održavanja.

Nekon obezbeđenja svih potrebnih resursa, moguće je pristupiti izvršenju intervencije održavanja (modul M6 - Izvođenje postupaka održavanja). Imajući u vidu da se intervencije održavanja izvode u uslovima mogućih poremećaja, neophodno je obezbediti izdvajanje i obradu podataka o stanju - toku izvršavanja aktivnosti u svakom preseku vremena, tako da ovaj modul, pored navedene aktivnosti, obuhvata i kontrolu sprovođenja intervencije, izuzimanje podataka o izvršenim aktivnostima i izmerenim vrednostima parametara održavanja po stanju.

U modulu M7 - Analiza sprovedenih postupaka se vrši analiza postupaka održavanja (analiza parametara pouzdanosti, termina preventivnih intervencija, stepena kritičnosti delova, slabih mesta, uspešnosti itd.) i na taj način stvaranja podloga za unapređenje postupaka održavanja - modul M8 - Oblikovanje podloga za projektovanje postupaka podešavanja /3/.

3. INFORMACIONI SISTEM ODRŽAVANJA

Primena sredstava informacionih tehnologija prisutna je u većini naših preduzeća (naročito većih), ali u održavanju to još nije pokazalo odgovarajuće rezultate. Poslovi održavanja, po pravilu, nisu ulazili u "visoke prioritete" prilikom automatizacije poslovanja preduzeća. Jedan od razloga za ovakvo stanje sigurno je i neadekvatan odnos prema problemu i značaju održavanja u proizvodnom sistemu.

3.1 Mesto IS održavanja u IS preduzeća

Iako se stalno govori o informacionom sistemu održavanja, on se u celovitom informacionom sistemu preduzeća pojavljuje kao informacioni podsistem sa svojim mestom i specifičnim odnosom sa drugim podsistemima IS preduzeća.

Konkretna realizacija informacionog sistema održavanja i njegova implementacija u nekom organizacionom sistemu u mnogome je zavisna od:

- tipa organizacionog sistema (preduzeće kao holding, korporacija...) i njegove veličine,
- mesta i uloge održavanja u njemu,
- prostorne strukture organizacionog sistema,
- stepena implementacije sredstava informatičke tehnologije u sistemu (informatičke kulture korisnika) i
- raspoloživog sistemskog softvera (operativni sistem i softver za rukovanje bazama podataka).

Imajući ovo u vidu ocenjeno je da ne bi bilo celishodno razvijati opšti model (rešenje) informacionog sistema održavanja do nivoa aplikativnog softvera. Stoga je u radu na razvoju opšteg modela IS održavanja akćenat stavljen na razvoj baze podataka IS uz izbor takve koncepcije baze podataka koja će obezbediti najviši moguć stepen nezavisnosti podataka i programskih rešenja.

3.2 Baza podataka informacionog sistema održavanja

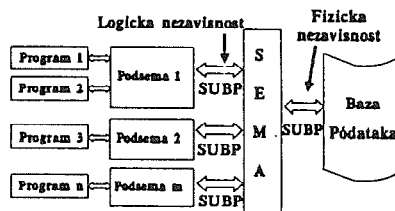
Klasična organizacija podataka (datoteke) u praksi je pokazala niz nedostataka, kao

što su nepovezanost aplikacija i redundantnost podataka kao i čvrstu povezanost programa i podataka (program vodi računa o fizičkoj organizaciji podataka, kako u opisu, tako i u proceduri).

Za razliku od klasične organizacije podataka, baza podataka omogućuje da se svi podaci jednog IS integrišu u jednu fizičku strukturu podataka, a svi programi koriste i ažuriraju podatke iz jedinstvene baze podataka uz upotrebu sistema za upravljanje bazama podataka (SUBP). Nad skupom obeležja ranijih datoteka formira se logička struktura obeležja - tzv ŠEMA BAZE PODATAKA - nad kojom se gradi fizička struktura podataka. Fizička struktura podataka može biti veoma kompleksna ali program ne vodi računa o tome. SUBP preslikava fizičku strukturu podataka (bazu podataka) na logičku strukturu obeležja, čime se značajno smanjuje zavisnost programa od organizacije podataka /7/.

Međutim, ovakav pristup rešava problem povezanosti programa sa fizičkom organizacijom podataka, ali i dalje ostaje logička povezanost programa sa bazom podataka, što, imajući u vidu da je šema baze podataka, po pravilu, kompleksna, dovodi, takođe, do niza problema uključujući i taj da se promenom šeme BP menjaju i programi. Rešenje je nađeno u uvođenju PODŠEME. Podšema predstavlja deo logičke strukture obeležja (šeme BP) dovoljan za realizaciju zadatka jednog programa. Na ovaj način postiže se LOGIČKA NEZAVISNOST programa i baze podataka, kako je to pokazano na slici 2 /7/.

Ovakav pristup omogućio je da se, uz opredeljenje za relacioni model baze podataka, projektuje šema baze podataka opšteg modela informacionog sistema održavanja.

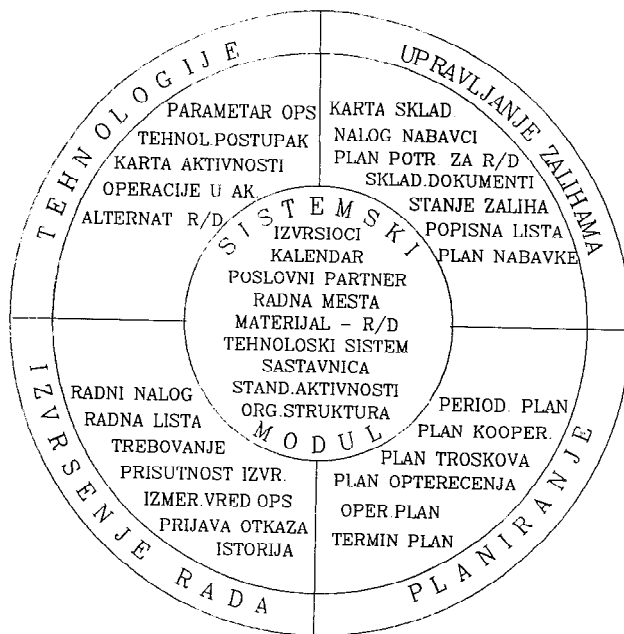


Slika 2.

3.3 Konceptija organizacije baze podataka IS održavanja

Opređeljujući se između tri moguće koncepcije organizacije BP - jedinstvene, modularne ili distribuirane - autori su se opredelili za modularnu koncepciju BP kao najpovoljniju za informacioni sistem održavanja, s tim da u odnosu na glavni informacioni sistem bude distribuirana. Ovo znači da bi BP IS održavanja bila fizički realizovana na posebnom računaru u odnosu na glavni IS (ali bi s njim predstavljala jednu logičku celinu), te da bi sama BP bila sastavljena od više modula - logičkih celina, inače fizički jedinstvene BP - što bi trebalo da omogući njenu postupnu izgradnju, saglasno definisanim prioritetima.

Na slici 3 prikazana je modularna struktura baze podataka IS održavanja /6/ sa naznakom sadržaja (entiteta koje obuhvata) pojedinih modula. Navedeni entiteti u modulima služe samo za ilustraciju sadržaja modula BP - dakle, ne predstavljaju šeme relacija baze podataka. Precizno definisanje sadržaja modula BP, pa i šema relacija, realizuje se u procesu projektovanja šeme baze podataka, o čemu će kasnije biti reči. Nad ovakvom strukturom baze podataka, uz poštovanje navedenih principa njene izgradnje, moguće je pristupiti u fazama realizaciji odgovarajućih aplikacija IS održavanja.



Slika 3.

3.4 Projektovanje šeme baze podataka

Projektovanje šeme baze podataka je kompleksan poduhvat, koji zahteva posedovanje specifičnih znanja i veština, a obim posla značajno doprinosi povećanju složenosti. Potrebno je, pored poznavanja modela podataka, vladati i metodama projektovanja (normalizacija, međurelaciona ograničenja...) i dobro poznavati realan sistem za koji se projektuje baza.

Kod kompleksnijih informacionih sistema, a informacioni sistem održavanja je sigurno takav, gde šema BP sadrži stotinak šema relacija manuelan postupak projektovanja šeme BP je praktično neizvodiv. Takvo projektovanje dugo traje, manjkavo je i, najčešće, nedokumentovano, što dovodi do značajnih problema u programiranju i eksploataciji. Upravo iz tih razloga, ovde izložen projekat šeme BP urađen je uz korišćenje IIS-CASE /8/ alata za projektovanje šeme baze podataka, koji je razvijen na Institutu za industrijske sistema (FTN - Novi Sad). Primena IIS-CASE-a pruža izuzetne pogodnosti, kao što su precizno definisan i teorijski strogo zasnovan metodološki postupak projektovanja šeme, brzo dolaženje do teorijski korektnih i praktično upotrebljivih rezultata, fleksibilnost u odnosu na izmene projekta, automatizovano dokumentovanje kompletnog projekta i automatizovanu izradu podloga za programiranje - podšeme.

Polazeći od pretpostavke da je osnovni cilj izgradnje svakog IS udovoljavanje zahtevima korisnika za podacima i da korisnici komuniciraju sa IS putem ekranskih i štampanih formi (slika dokumenta) kroz koje zadovoljavaju i svoje potrebe za podacima iskorišćena je mogućnost da se putem formi definiše skup obeležja budućeg IS i skup ograničenja budućeg šeme baze podataka što, dalje, omogućuje automatizovanu realizaciju normalizacije i projektovanje šeme baze podataka. Na izlazu se dobija skup

šema relacija baze podataka u trećoj normalnoj formi, a zatim, kroz posebnu proceduru, i podšema za svaku definisanu formu (ulaznu ili izlaznu) u sistemu.

Primer koji sledi izvod je iz projekta šeme baze podataka koji je realizovan na navedenim principima uz korišćenje IIS-CASE-a, nad skupom od 59 formi sa 253 obeležja, pri čemu je dobijeno 63 šeme relacija. Na slici 4 je prikazana forma 'Operativni plan' sa osnovnim obeležjima - atributima, istaknutim poljima - ključevima u kojoj postoje dva objekta: prvi identifikuje operativni plan i nosi podatke o rednom broju operativnog plana, dok drugi objekat identifikuje posao i tehnološki sistem. Na slici 5 je prikazan deo šeme baze podataka, koji odgovara formi 'Operativni plan', u obliku veza između šema relacija (svaki pravougaonik predstavlja jednu šemu relacija - uslovno rečeno datoteka,) , dok linija između dve šeme relacija označava logičku povezanost. Na slici 6 je prikazan primer šeme relacija sa atributima i ključevima.

DD/MM/GGGG

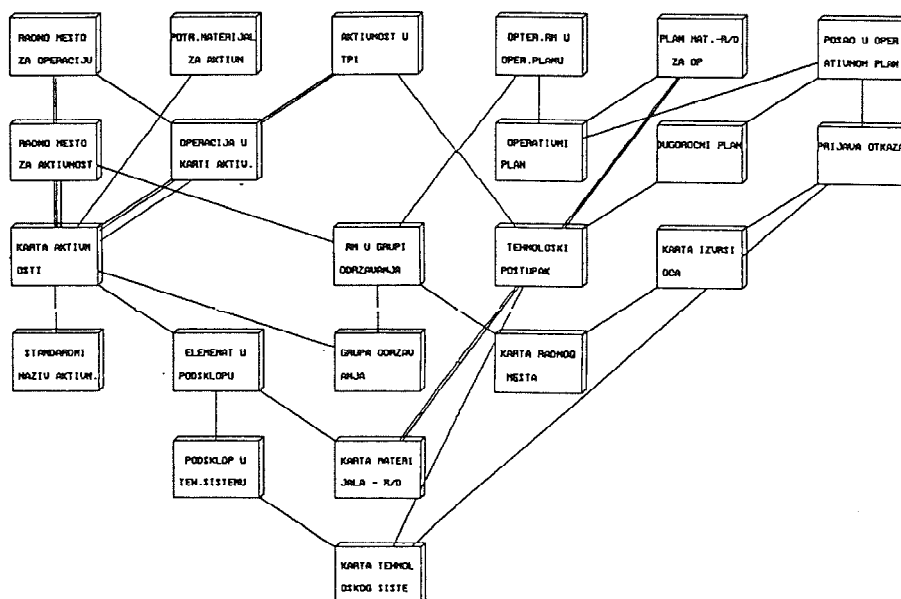
OPERATIVNI PLAN

SS:MM:SS

Period br: **RBOPLA** pocetak: DPOPL==== zavrsetak: DZAOPL====

Posao	Tehnoloski sistem	Tehnoloski postupak / prijava otkaza
IDBPOS	INUBTS= NAZTS=====	IDBTPI= / IDBPRO=
IDBPOS	INUBIS= NAZTS=====	IDBTPI= / IDBPRO=
IDBPOS	INUBIS= NAZTS=====	IDBTPI= / IDBPRO=

Slika 4.



Slika 5.

4. LITERATURA

- /1/ Kecojević, S.: PRILOG ISTRAŽIVANJU POJAVA OTKAZA I RAZVOJ POSTUPAKA ZA ANALIZU OTKAZA RADNIH SISTEMA SA STANOVIŠTA ODREĐIVANJA EFEKTIVNOSTI SISTEMA I PROJEKTOVANJA POSTUPAKA ODRŽAVANJA, magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1992.
- /2/ Kelly, A.: MAINTENANCE PLANING AND CONTROL, Butterworths, London, 1989.
- /3/ Kecojević, S., Stanivuković, D., Beker, I.: PROJEKTOVANJE FUNKCIJE ODRŽAVANJA - IIS PRILAZ, uvodni referat, 9.naučno-stručna konferencija 'Industrijski sistemi - IS 93', str.3-1 - 3-7, FTN - Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, 1993.
- /4/ Zelenović, D.: UPRAVLJANJE PROIZVODNIM SISTEMIMA, Naučna knjiga, Beograd, 1984.
- /5/ Mann, L.Jr.: MAINTENANCE MANAGEMENT, Lexington Books, D.C. Heath and Company Lexington, Massachusetts, Toronto, 1983.
- /6/ Kecojević, S., Stanivuković, D., Brkić, M., Beker, I.: UPRAVLJANJE ODRŽAVANJEM, FTN - Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, 1994.
- /7/ Mogin, P.: UVOD U BAZE PODATAKA, FTN - Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, 1989.
- /8/ Mogin, P.: IIS-CASE, alat za projektovanje šeme baze podataka, 8.naučno-stručna konferencija 'Industrijski sistemi - IS 90', str.381 - 390, FTN - Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, 1990.

Naziv sheme relacije : Operativni plan			
Atributi :			
Oznaka	Naziv	Tip	Format
DPOOPL	Datum pocetka oper.pla.	D	10
DZAOPL	Datum zavrsetka oper.pla	D	10
RBOPLA	Red.br. operativnog plan	S	2
Ključevi :			
kl : RBOPLA			
Primarni ključ :			
kp : RBOPLA			
Naziv sheme		SI	

Naziv sheme relacije : Posao u operativnom plan			
Atributi :			
Oznaka	Naziv	Tip	Format
IDBPOS	IDB posla	S	5
IDBPRO	Id.broj prijave otkaza	S	7
IDBTPI	ID broj teh.postupka int	S	7
INVBTS	Inventarski broj TS	S	7
RBOPLA	Red.br. operativnog plaa	S	2
Ključ :			
kl : IDBPOS + INVBTS + RBOPLA			
Primarni ključ :			
kp : IDBPOS + INVBTS + RBOPLA			
Naziv sheme		Strani ključ	
Prijava otkaza			
Operativni plan		IDBPRO (F.key not null) RBOPLA	
Dugorocni plan		IDBPOS+IDBTPI+INVBTS	

Slika 6.

D. Stanivuković, S. Kecojević, M. Brkić, I. Beker

DEVELOPMENT OF THE DATABASE SEGMENT FOR THE MAINTENANCE MANAGEMENT

Summary

Principles of maintenance management information system design based on modular approach are shown in the paper. The place of the maintenance information system within the factory information system is also observed and the concept of database organization and principles of database design are examined.

11/11/2023 10:11:11 AM

11/11/2023 10:11:11 AM

B. Tadić, B. Nedić

JEDNA MOGUĆNOST OPTIMALNOG PLANIRANJA ZALIIHA REZERVNIH DELOVA PROIZVODNE OPREME

Rezime

Jedan od uzroka zastoja proizvodnog procesa su otkazi pojedinih elemenata proizvodne opreme. U cilju optimalnog planiranja zaliha rezervnih delova u radu je izložen matematičko statistički model, koji za konkretan proizvodni sistem daje pouzdane pokazatelje vezane za verovatnoću otkaza kritičnih elemenata opreme. Na osnovu dobijenih pokazatelja moguće je na optimalan način donositi odluke o potrebnim zalihama rezervnih delova.

1. Uvodna razmatranja

Obezbeđenje određenog asortimana i količine rezervnih delova za određeni period rada, moguće je ako su poznate karakteristike pouzdanosti elemenata sistema koji se razmatra. Matematički modeli za proračun optimalne zalihe rezervnih delova treba da na odgovarajući način obuhvate, kako karakteristike pouzdanosti tako i logističke parametre. Da bi se sistem obezbedio sa rezervnim delovima potrebno je na odgovarajući način utvrditi kada će, odnosno u kojim periodima rada, doći do otkaza sistema zbog otkaza nekog elementa (dela) u lancu. Zbog toga je potrebno prethodno utvrditi karakteristike pouzdanosti sistema odnosno njegovih sastavnih delova, pa tek onda na osnovu njih izvršiti proračun optimalne zalihe rezervnih delova, tj. proračun sa aspekta: gubitaka u proizvodnji zbog nastalog zastoja, važnosti opreme u tehnološkom procesu, troškova nabavke, skladištenja i dr. Radi toga je neophodno utvrditi i zakone raspodele otkaza pojedinih elemenata u toku radnog veka razmatranog sistema i to za sva tri perioda pojave otkaza (period ranih, slučajnih i starosnih otkaza). Proračun količine rezervnih delova je relativno lako izvršiti ako je reč o istoj starosnoj strukturi sistema. Međutim, daleko je češći slučaj da svi sistemi u nekom trenutku po pravilu nemaju isti broj ostvarenih jedinica rada, ili pak, da u nekom sistemu svi elementi nemaju isto vreme aktivnog rada. U takvoj situaciji, gde postoji heterogena starosna struktura i različit nivo opterećenja elemenata razumljivo je, da je najverovatnija pojava i ranih i slučajnih i starosnih otkaza.

Mr Branko Tadić, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac
Mr Bogdan Nedić, dipl. inž. Mašinski fakultet, Kragujevac

U radu je izložen metod izbora zakona raspodele otkaza proizvodne opreme tj. kritičnih elemenata alatnih mašina u fabrici namenskih proizvoda. Do funkcije raspodele otkaza došlo se praćenjem 20, sa aspekta otkaza najfrekventnijih elemenata opreme. Praćenje je izvedeno u periodu od 1983-1989.godine, a model- zakon raspodele verovatnoća otkaza testiran na osnovu podataka dobijenih za period naredne tri godine (1989.-1992.).

2. Sastav proizvodne opreme - frekvencija otkaza i izbor uzorka

Elemente proizvodne opreme (mašina alatki) uglavnom čine mehaničke, hidraulične i električne komponente opreme. Funkcionalni lanci ovih komponenta predstavljaju određene pogonske, prenosne ili izvršne organe alatnih mašina. Na osnovu literaturnih podataka i izvršenih istraživanja autora uviđa se da najveću frekvenciju otkaza imaju mehaničke komponente opreme.

Frekvencija otkaza mehaničkih elemenata opreme usko je vezana sa funkcijom koju element obavlja u određenom sklopu mašine. Primera radi, navode se neki statistički podaci dobijeni praćenjem otkaza elemenata opreme. Ova ispitivanja prema literaturnim izvorima /1/, /2/ pokazuju, da kod alatnih mašina znatno više otkazuju elementi prenosnika za glavno kretanje nego elementi prenosnika za pomoćno kretanje. Tako naprimjer, u posmatranoj populaciji (praćenje izvedeno u toku pet godina) 3/4 ukupnog broja otkaza čine otkazi nastali kao posledica zamornog loma, a svi su nastali kod prenosnika za glavno kretanje.

U posmatranoj populaciji rezervnih delova alatnih mašina takođe su, sa aspekta otkaza, najfrekventniji mehanički elementi prenosnika za glavno kretanje.

Kao uzorci za statističku obradu izabrano je 20 karakterističnih elemenata, za koje se može reći da predstavljaju reprezent osnovne populacije rezervnih delova alatnih mašina FNP.

3. Izbor statističkog modela obrade podataka

Izbor statističkog modela obrade podataka prilagođen je raspoloživim podacima o otkazima i specifičnim uslovima eksploatacije elemenata opreme. Raspoloživi podaci o otkazima nisu vezani za određenu mašinu (inventarski broj mašine) kojoj pripada praćeni element. Iz tog razloga nije moguće doći do funkcije raspodele za svaki određeni element opreme. Naime, raspolaže se podatkom npr. otkaz je nastao na ožljebljenom vratilu glodalice FH2D i otklonjen je (vratilo je zamenjeno) dana 21.11.1988.godine, ali se ne zna na kojoj od 12 glodalica tog tipa je ožljebljeno vratilo zamenjeno, itd. Dakle, neki element opreme (D_I) može biti sa istom verovatnoćom ugrađen na mašinama M_1, M_2, \dots, M_n . Ako se prate otkazi elementa D_I u okviru svih mašina na kojima se isti ugrađuje, može se zaključiti:

- da promena intenziteta otkaza u sistemu koji se obnavlja na navedeni način neće imati uobičajeni karakter sa izraženim fazama ranih, slučajnih i starosnih otkaza.

Da bi se uočila izuzetno izražena analogija između Poasonovog procesa (specijalni slučaj procesa Markova) i razmatranog problema izložiće se osnovne pretpostavke i model procesa Poasona.

U Poasonovom procesu razmatra se broj događaja (otkaza) u toku vremena, pri čemu je verovatnoća jednog događaja u malom intervalu vremena Δt jednaka $\lambda \Delta t$, gde je λ konstantna vrednost. Matematičko definisanje Poasonovog procesa povlači sledeće pretpostavke:

- verovatnoća da će se izvršiti prelaz iz stanja sa (n) događaja (otkaza) u stanje sa $(n+1)$ događaja, u toku vremena Δt , iznosi $\lambda \Delta t$. Parametar λ predstavlja intenzitet otkaza i izražava se u otkazima po jedinici vremena,
- događaji su međusobno nezavisni,
- događaji su nepovratni, što znači da broj događaja uvek raste u funkciji vremena,
- verovatnoća pojave dva ili više događaja u malom vremenskom intervalu (Δt) zanemarljivo je mala.

Pošto se traži verovatnoća od n događaja u vremenu t , mora se postaviti sistem diferencijalnih jednačina koje predstavljaju verovatnoće stanja i verovatnoće prelaza. Ako se sa $P(X=n, t) = P_n(t)$ označi verovatnoća od n događaja, koji su se odigrali u toku vremena t , jasno je da će verovatnoća da se nije odigrao ni jedan događaj u vremenu $t + \Delta t$ biti jednaka proizvodu: 1) verovatnoće da se nije odigrao ni jedan događaj u vremenu t , i 2) verovatnoće da se nije odigrao ni jedan događaj u vremenu Δt , odnosno:

$$P_0(t + \Delta t) = (1 - \lambda \Delta t) P_0(t).$$

Sličnim razmatranjem može se zaključiti da se jedan događaj u intervalu vremena $t + \Delta t$ može odigrati na dva načina: 1) ili nije bilo događaja u vremenu t , pa se odigrao jedan događaj u vremenu Δt ili 2) već je bio jedan događaj u vremenu t , pa se posle toga više nije javio ni jedan događaj u intervalu vremena Δt . U vidu matematičkog izraza to se može napisati kao:

$$P_1(t + \Delta t) = P_0(t) \lambda \Delta t + P_1(t) (1 - \lambda \Delta t)$$

Dalje se neće razmatrati izvođenje Poasonovog procesa /3/, /4/ već se daje konačni izraz za verovatnoću pojave n događaja (otkaza) u toku vremena t , kao:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n e^{-\lambda t}}{n!}$$

Vreme bezotkaznog rada između bilo koja dva otkaza kod Poasonovog procesa ima eksponencijalnu raspodelu sa parametrom λ . Ova osobina Poasonovog procesa iskorišćena je pri statističkoj analizi parametara pouzdanosti i karaktera otkaza praćenih elemenata proizvodne opreme. Primena ove osobine Poasonovog procesa na dalji tok razmatranja pruža sledeće prednosti:

- izračunavanje verovatnoća po datoj formuli dosta je složeno, naročito za velike vrednosti n i t ,

- praćenjem vremena bezotkaznog rada moguće je direktno porediti statističke verovatnoće, u kojima figurišu intervali vremena bezotkaznog rada, sa verovatnoćama Poasonovog procesa preko eksponencijalne raspodele.

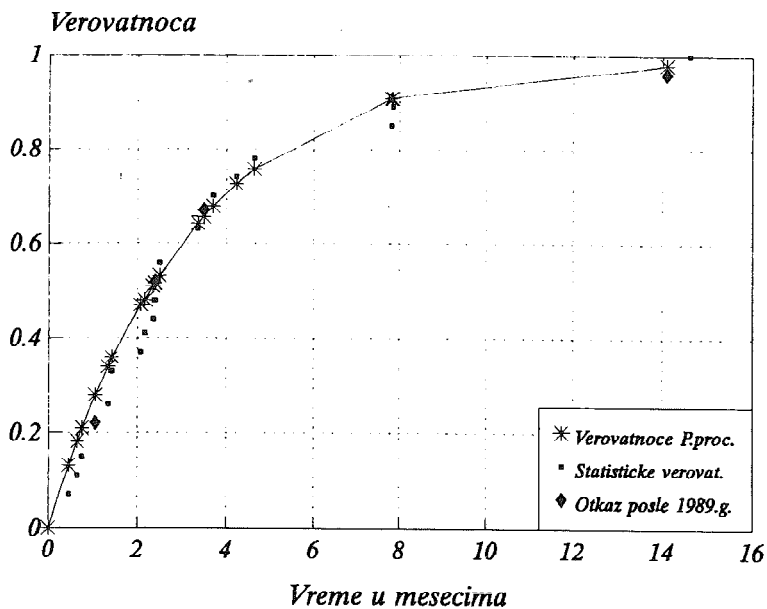
4. Rezultati statističke obrade podataka

Za sve praćene elemente izračunate su vrednosti statističkih verovatnoća otkaza $P(t)$ koje predstavljaju frekvencije pojavljivanja otkaza vezane za određene intervale vremena. Pored statističkih verovatnoća, za iste intervale, određene su i teorijske verovatnoće po Poasonovom procesu. Kao izlaz iz računarskog programa obrade podataka, za jedan element opreme (ZUPČASTI SEGMENT) u tabeli 1. dat je uporedni prikaz statističkih verovatnoća otkaza i verovatnoća dobijenih proračunom po Poasonovom procesu. Dijagramski prikaz statističkih i teorijskih verovatnoća otkaza dat je na slici 1. Na dijagramu su neprekidnom linijom predstavljene verovatnoće izračunate na osnovu Poasonovog procesa čiji su parametri određeni bez podataka o otkazima nastalim posle 03.05.1989. godine, dok su tačkama označeni momenti nastanka otkaza, uključujući i one otkaze nastale posle 03.05.1989. godine.

Tabela 1. Izračunavanje verovatnoće otkaza primenom Poasonovog procesa

vremenski interval u mesecima	statističke verovatn. otkaza (%)	verovatn. otkaza po Poasonov. procesu (%)	razlike verovatn. (%)	vremenski interval u mesecima	statističke verovatn. otkaza (%)	verovatn. otkaza po Poasonov. procesu (%)	razlike verovatn. (%)
0,0	0	0,0000	0,000	1,130	45	47,904	2,904
0,03	2	1,7160	0,284	1,131	48	47,934	0,066
0,1	5	5,6070	0,607	1,160	50	48,798	1,202
0,11	7	6,1500	0,850	1,360	52	54,379	2,379
0,12	10	6,6900	3,310	1,390	55	55,162	0,162
0,28	12	14,920	2,920	1,620	57	60,736	3,736
0,31	14	16,380	2,380	1,660	60	61,631	1,631
0,34	17	17,815	0,815	1,740	64	63,363	0,637
0,36	19	18,759	0,241	2,000	69	68,467	0,533
0,43	21	21,975	0,975	2,070	71	69,715	1,285
0,47	24	23,755	0,245	2,130	76	70,746	5,254
0,51	26	25,495	0,505	2,160	79	71,248	7,752
0,53	29	26,350	2,650	2,230	81	72,386	8,614
0,54	31	26,774	4,226	3,030	83	82,597	0,403
0,57	33	28,031	4,969	3,360	86	85,614	0,386
0,77	36	35,875	0,125	4,740	90	93,513	3,513
0,80	38	36,976	1,024	6,330	93	97,408	4,408
0,97	40	42,865	2,865	7,560	95	98,726	3,726
1,0	43	43,846	0,846	10,80	100	100,0	0,0

- intenzitet otkaza: $\lambda = 0,5770682$ (otkaza/mesecu)
 - srednje vreme bezotkaznog rada u mesecima: $T_{sr} = 1,732897$
 - koeficijent korelacije: $Kk = 0,9947367$



Slika 1. Verovatnoća otkaza

5. Zaključci

Analizom statističkih podataka o otkazima proizvodne opreme, kao i teorijskim razmatranjima /1/,/2/ vezanim za otkaze identičnih elemenata, može se zaključiti:

- otkazi nastaju prvenstveno kao posledica starenja (habanja) proizvodne opreme,
- pouzdanost praćenih elemenata opreme izrazito je niska. Tvrdnja se obrazlaže činjenicom, da se, prema rezultatima obrade podataka, u toku jedne nedelje pouzdano ($P > 90\%$) može očekivati otkaz bar jednog od 20 praćenih elemenata.
- predviđanje otkaza i planiranje zaliha rezervnih delova može se vrlo pouzdano vršiti preko Poasonovog procesa kome se izuzetno dobro pokoravaju statističke verovatnoće otkaza elemenata opreme.

Imajući u vidu troškove koji nastaju zbog zastoja mašina, cene nabavke, izrade i ugradnje elemenata može se zaključiti da u posmatranom sistemu adekvatno planiranje zaliha rezervnih delova predstavlja bitan segment upravljanja proizvodnim procesom.

6. Literatura

1. *Pronikov A.S.*, Nadjožnost mašin, Mašinstroenije, 1978.
2. *Rešetov D.N.*, Rabotosposobnost i nadjožnost detaljev mašin, Višaja škola, Moskva, 1984.
3. *Vujanović N.*, Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, Vojno izdavački i novinski centar, Beograd, 1987.
4. *Vukadinović S.*, Osnovi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Beograd, 1981.
5. *Vukadinović S.*, Elementi teorije pouzdanosti i teorije obnavljanja tehničkih sistema, Privredni pregled, Beograd, 1979.
6. *Tadić B.*, Analiza otkaza proizvodne opreme i mogući pravci povećanja njene pouzdanosti, seminarski rad iz predmeta: Pouzdanost obradnih sistema, Mašinski fakultet, Kragujevac, 1989.

B. Tadić, B. Nedić

A POSSIBILITY OF OPTIMAL MANUFACTURING EQUIPMENT SPARE PARTS STOCKS PLANNING

Summary

Some of the reasons for the production process delays are failures of individual manufacturing equipment elements. In order to have optimal spare parts stocks planning, a mathematical-statistical model which gives reliable indicators related to the failure probability of critical equipment elements for the concrete production system is presented in the paper. On the basis of obtained indicators it is possible to make optimal decisions about the necessary spare parts stocks.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Đ. Zrnić, D. Petrović*

**TRANSPORT AND STORAGE SYSTEM OF THE "GUM TRADE
HOUSE" IN MOSCOW**

Summary

The paper presents the transport and storage system project realized by the Institute of Material Flow, Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade, as a part of the international study contest for the overall reconstruction of the "GUM Trade House" Stock Co. trading house complex on the Red Square in Moscow. It is an example of how a flexible transport and storage system backup within the information system has an extremely huge area of implementation even outside the area of industry.

TRANSPORT AND STORAGE SYSTEM [1]

Transport and storage system of "GUM Trade House" is foreseen for the receipt, storage and distribution of goods to the sale zone. It is formed as unique system and includes many entities: truck approach zone, reception zone with ramps for unload of the trucks, zone for palletization, zone for transport and manipulation of electrical fork lift trucks, high bay storage, storage freezer, special storage's, zone of order-picking and sorting of goods, system of horizontal transport with automatic suspension monorail system and zone for vertical transport with lifts. (Fig. 1)

Transport system for the needs of GUM is located on cellar level (under ground) so that the trucks could approach GUM through underground passage from the direction of Kujbishev Square. Reception zone, high bay storage and order-picking zone are located behind the small block of GUM and Ilyinka St., also under ground. Other system entities are located within the frame of cellar that is located in GUM. (Fig. 2)

Goods are shipped to the storage system of GUM by trucks descending under ground using two-way transport route and come to the unloading ramps. Nine reception ramps for truck unload from the back side through special roller door and platform for the nivellation of the trucks are designed.

The unloaded goods are identified and marked (bar code) and if necessary are palletized then registered by control and information systems. Palletized goods are transported by electrical fork lift trucks to high bay storage and storage freezer. High

* Đorđe Zrnić redovni profesor, Dušan Petrović asistent, Mašinski fakultet Beograd 27. marta 80

bay storage is foreseen for location of palletized goods of general trade character. Storage is equipped with automatic storage and retrieval machines which serve storage of a capacity of 6500 pallets (Fig. 3). Pallets brought by the electrical fork lift trucks are put on roller conveyors and after dimensions test are brought within the reach of automatic storage and retrieval machines. Storage system is automatic and managed by computer network. The latest computer bar-code and RF (radio frequency) equipment are foreseen. Order-picking process takes place in zones based on principle "goods to man" (goods come from high bay storage) and "man to goods" (goods coming from palletization and from high bay storage). [2]

Order-picked goods are sorted and placed in special multipurpose cart containers. Loaded cart containers are brought within the reach of automatic suspension monorail system which transports them to the lifts. Automatic suspension monorail system moves on the trail of first and third passage located in the cellary of GUM (Fig. 4). It is completely automatic and controlled from one place with autonomous carriers and is used for transport of goods to lifts which carry goods to the wanted floor.

Control concept with a classical pyramid structure was selected. All levels have programmable controllers. The units only differ if their degree of intelligence. The tip of the pyramid (central control) manages all incoming transport jobs, the carriers in the system when they report that they are empty, and priority control in accordance with the dispatch time table. The carriers are allocated to the jobs on the following criteria: timetable and double-cycle strategy.

System of lifts is made in such manner so that each group of sale facilities formed by location of main public passages has its own lift which delivers goods using multipurpose cart containers and afterwards is delivered to each shop. Scheme of horizontal and vertical transport is given on. Empty cart containers are lowered by lifts and automatic suspension monorail system takes them back to the order-picking zone for repeated loading, and that closes the cycle.

Storage freezer is foreseen for storage of goods which are preserved in deep freezer (-18 °C), freezer (0-4 °C) and compartments for ripe (12 °C), meaning that it is the autonomous entity made of three parts. Delivery of goods to storage freezer is accomplished by electrical fork lift trucks directly from unloading. After the storage order-picking of goods is done in special part of freezer and is taken by heat insulation cart containers within the reach of automatic suspension monorail system which takes them to desired destination.

Special storages are envisaged. They are located in cellar of GUM and are intended for preservation of valuables (storage with safe deposits), fur-coats and furs (storage with special climatic conditions), tobacco (storage with permanent moisture and temperature) storage for aromatic goods etc.. Goods are delivered to these storages by electrical fork lift trucks and by automatic suspension monorail system.

In cellar of GUM on corner of the Nikolskaya St. and Vetoshny Lane foreseen for public catering and trade activities (restaurants, shops), storage for goods used in this object is located. Goods are delivered and taken away by automatic suspension monorail system, which has for this purpose the special transport truck, and further transport in this part of the object is performed by electrical fork lift trucks. Vertical transport is also performed by lifts.

The system for transport and storage designed in this way offers following advantages:

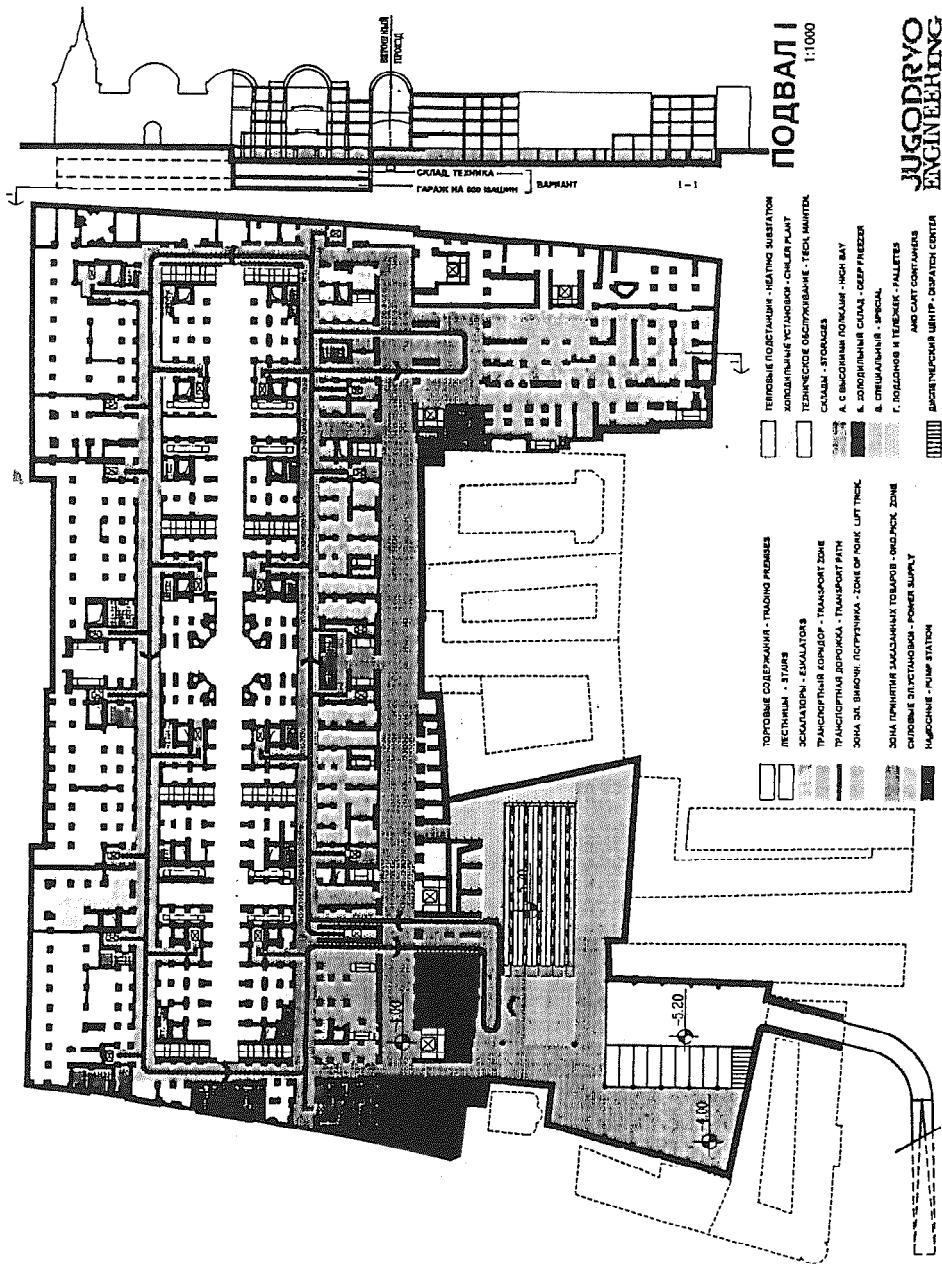


Fig. 1

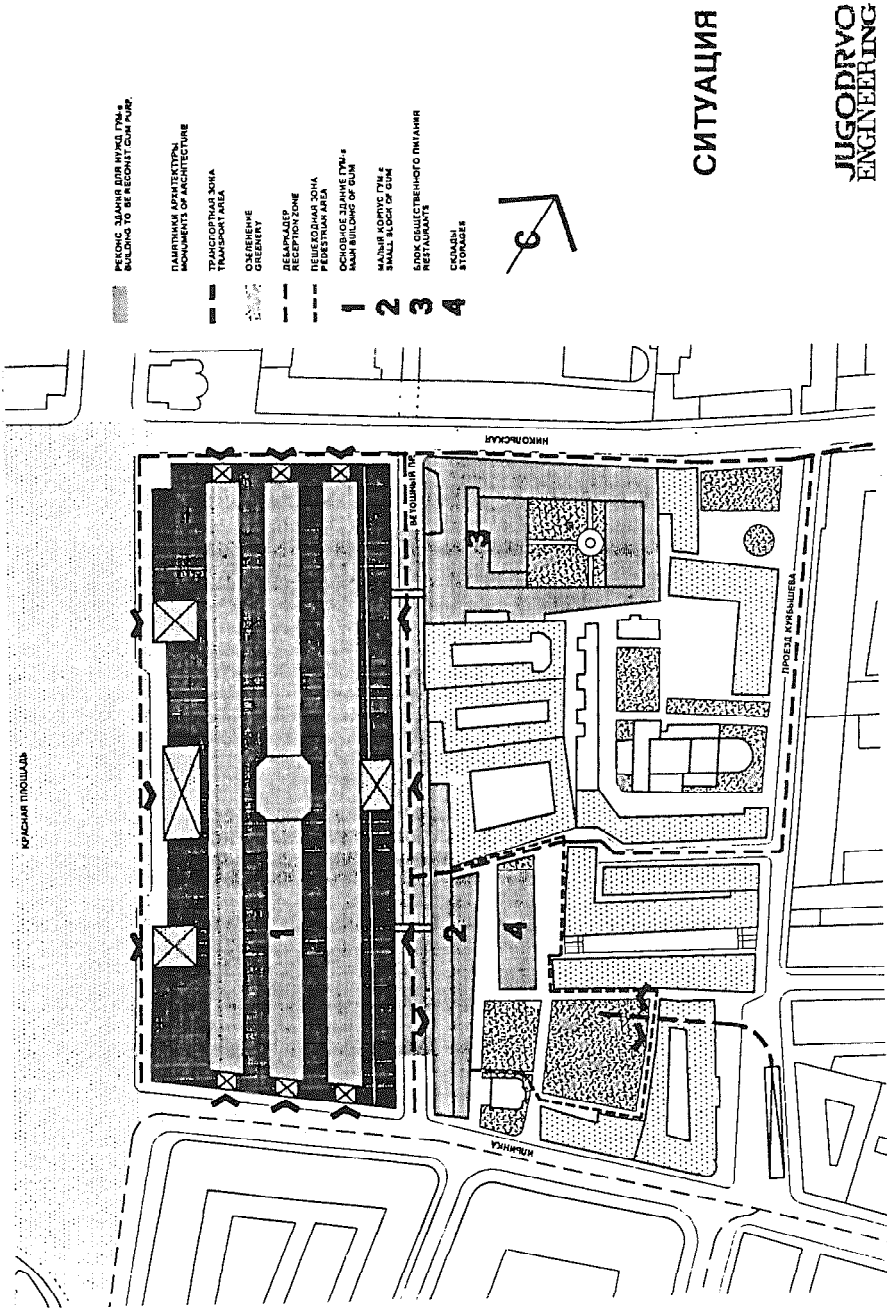


Fig. 2

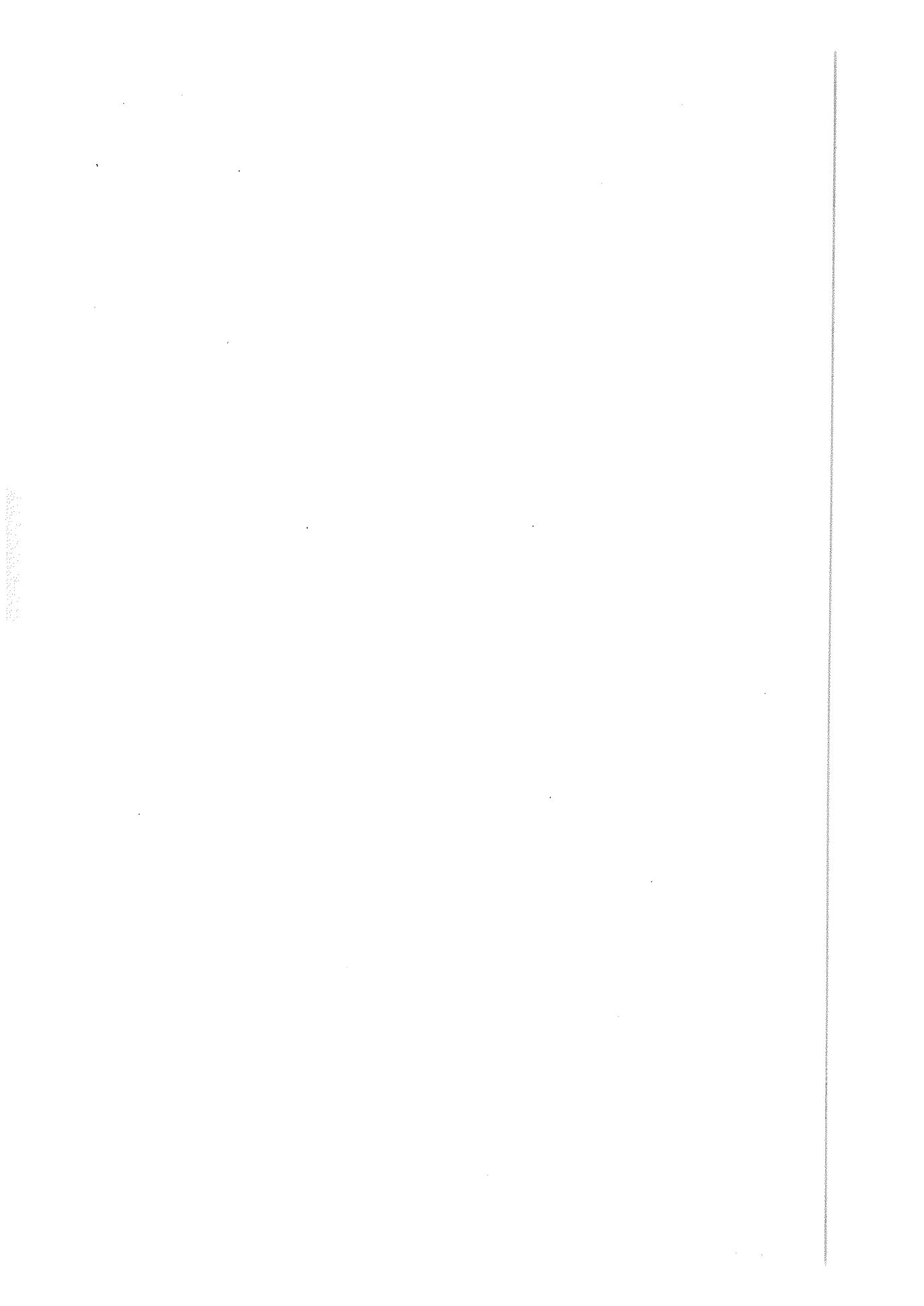
- by putting the truck approach zone under the ground near the small block of GUM and by forming the high bay storage the cellar space is released in GUM and transferred into the customer space (50% of the cellar),
- the modern storage of goods is enabled in one place with a big advantage for the use of space, minimal transport routes, with a little number of employees in the process of storage,
- the access of trucks to GUM is very facilitated by forming an underground passage. Their allocation releases the street and enables the forming of the public customer zone with commercial contents which elevates the usability of GUM, and therefore the downtown area is with less truck traffic,
- by forming a high bay storage, the capacity for storage is elevated which enables bigger commodity and security for work, opens the possibility for more equal delivery and application of the most modern labor techniques in this area which understands far better economy and speed,
- projected solution for the transport and storage system enables a short period of delivery to the wanted location from the moment of placing a request,
- the projected automatic suspension monorail system and high bay storage enables secure and reliable work of the system of distribution of goods and high security for the employees,
- estimated transport system enables the supply of the selling locations without the crossing of the flow of goods and visitors.

CONCLUSION

The project of transport and storage system was realized by Institute of Material Flow Mechanical Faculty Belgrade as a part of the international contest study for the overall reconstruction of the trading rows complex "GUM Trade House" Stock Co. on Red Square Moscow. The project entered as one of the best seven works of the whole contest. It is an example of how flexible transport and storage system backup with the information system has a extremely huge area of implementation even outside the area of industry. The presented solution with automatic suspension monorail system and its lifts and high bay storage system connected in the whole transport system is an original project solution and underlines the possibility of implementing a sophistic technical realization of a flexible transport and distribution system in a surrounding such as Red Square Moscow.

LITERATURE

- 1] Zrnčić, Đ., Petrović, D.: Contest study for the overall reconstruction of the trading rows complex "GUM TRADE HOUSE" Stock Co. on Red Square - Transport and storage system, rađeno za Jugodrvvo Engineering Cyprus Lmt., Beograd 1993.
- 2] Zrnčić, Đ.: Projektovanje fabrika, treće prošireno i dopunjeno izdanje, Mašinski fakultet, Beograd 1993.



SINTEZA SEKVENCIJALNIH AUTOMATA POMOĆU TABELE UKLJUČIVANJA

Rezime

U radu je data metoda sinteze konačnih automata sekvencijalnog tipa pomoću tabele uključivanja. Izneti su uslovi realizovanja automata i postupak formiranja tabele uključivanja koja se može realizovati. Metoda je primenjena na pneumatski sistem sa redoslednim upravljanjem sa ponavljanjem hodova pojedinih cilindara. Radi ocene efikasnosti ove metode prikazana je pneumatska šema, dobijena za isti upravljački sistem pomoću kaskadne metode.

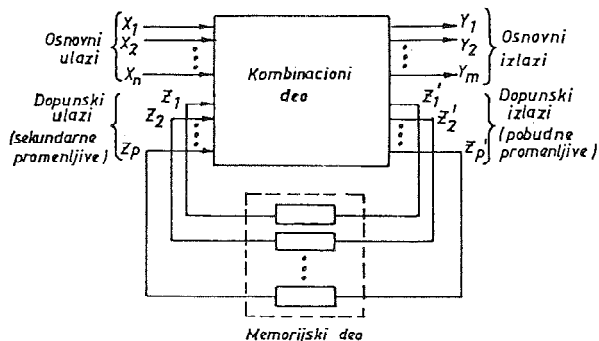
1. UVOD

Poznato je više metoda, analitičkih i empirijskih (inženjerskih), za sintezu konačnih automata sekvencijalnog tipa. Bez namere da se ulazi u analizu tih metoda, u ovom radu će biti izneta jedna analitička metoda, koja je bazirana na apstraktnom pristupu sintezi asinhronih konačnih automata, koju su 1964. god. dali V. G. Lazarev i E. I. Piil [1]. Jedna od retkih primena ove metode odnosi se na redosledno upravljanje transfer mašinama [2], dok se [3] odnosi na primenu metode kod pneumatskih sekvencijalnih sistema.

U [1] je data, pored ostalih, metoda sinteze pomoću tabele uključivanja, odn. tabele stanja i to na nivou apstraktnog modela opšteg tipa sa potencijalnim i impulsnim signalima. Šire su razmatrani automati sa impulsnim izlazima i date su kanoničke jednačine za opis impulsnih izlaza - potencijalno-impulsne forme. Ovde će biti tretirana primena metode na užu klasu sekvencijalnih automata pneumatskog tipa sa redoslednim upravljanjem, mada data pravila sinteze važe za opštu klasu upravljačkih sistema.

2. METODA SINTEZE POMOĆU TABELE UKLJUČIVANJA

Projektovanje automata (sl. 1) sa minimalnim brojem unutrašnjih stanja svodi se na prevođenje prvobitne tabele uključivanja, koja se ne može realizovati, u tabelu uključivanja koja se može realizovati uz korišćenje minimalnog broja kombinacija vrednosti dopunskih ulaznih signala, odn. sekundarnih promenljivih.



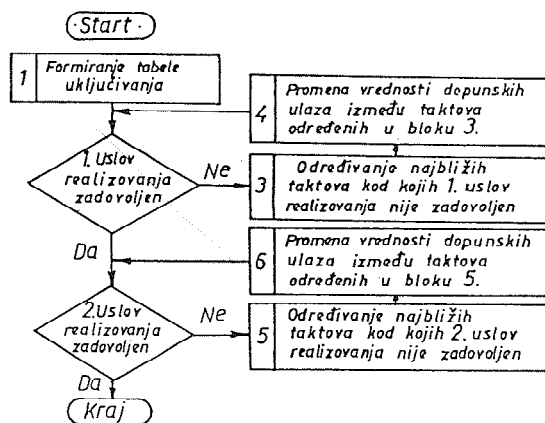
Sl. 1. Konačni automat sekvencijalnog tipa

U pogledu pristupa minimizaciji broja unutrašnjih stanja postoje dve grupe metoda. U prvoj se polazi od automata sa jednim unutrašnjim stanjem i povećava se broj unutrašnjih stanja do ispunjenja uslova realizovanja. Tu spadaju metode sinteze pomoću tabele uključivanja. U drugoj grupi metoda se uzima proizvoljan broj unutrašnjih stanja, pa se on minimizira do ispunjenja uslova realizovanja. U drugu grupu spadaju ostale metode sinteze [1].

Uslovi realizovanja automata su:

1. Različitim kombinacijama vrednosti osnovnih izlaznih signala (y_1, y_2, \dots, y_m) treba da odgovaraju različite kombinacije vrednosti osnovnih (x_1, x_2, \dots, x_n) i dopunskih (z_1, z_2, \dots, z_p) ulaznih signala.
2. Različitim kombinacijama vrednosti dopunskih izlaznih signala, odn. pobudnih promenljivih (z'_1, z'_2, \dots, z'_p) treba da odgovaraju različite kombinacije vrednosti osnovnih (x_1, x_2, \dots, x_n) i dopunskih (z_1, z_2, \dots, z_p) ulaznih signala.

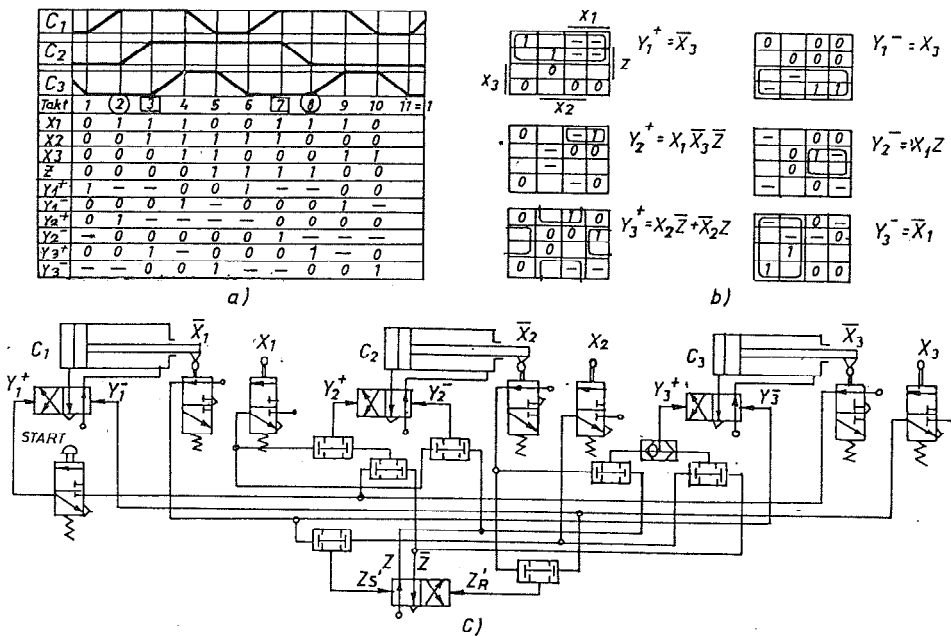
Postupak prevođenja tabele uključivanja koja se ne može realizovati u tabelu uključivanja koja se može realizovati dat je preko dijagrama toka na sl. 2.



Sl. 2. Prevođenje nerealizovane tabele uključivanja u realizovanu

3. PRIMENA SINTEZE POMOĆU TABELE UKLJUČIVANJA NA PNEUMATSKI SISTEM SA REDOSLEDNIM UPRAVLJANJEM

Primena datog postupka sinteze pomoću table uključivanja biće data na primeru redoslednog upravljanja sa tri pneumatska cilindra, čiji je dijagram kretanja dat na sl. 3a. Napajanje cilindara izvodi se pomoću bistabilnih razvodnika, a kao davači koriste se krajni prekidači, koji se aktiviraju u krajnjim položajima klipnjača. Za takav sistem prema [4] moguće je svakom cilindru umesto dve dodeliti po jednu ulaznu promenljivu. Pri tom se taktovi u kojima se klipnjača kreće ne razmatraju, već se taktovi odnose na krajnje položaje klipnjače. Ovim se smanjuje broj ulaznih promenljivih i broj taktova, što znatno uprošćava sintezu. Raspored i označavanje ulaznih i izlaznih promenljivih dat je na sl. 3c.



Sl.3. Sinteza pneumatskog sistema pomoću table uključivanje

Tabela uključivanja, formirana prema poznatim pravilima i ovde datim napomenama, data je uz dijagram kretanja na sl. 3a. Iz ove table se vidi da je automat nepotpun, jer pojedini izlazi nemaju određene vrednosti za sve kombinacije ulaza zbog funkcije bistabilnog razvodnika za napajanje. Vrednosti izlaza su neodređene i u taktovima koji se ne koriste. Ova karakteristika će imati uticaja na minimizaciju logičkih funkcija izlaza.

Iz table uključivanja može se zaključiti da se ona ne može realizovati, odn. da je sistem upravljanja sekvencijalan, jer nisu ispunjeni uslovi realizovanja u taktovima 2 i 8, kao i u taktovima 3 i 7, gde istim kombinacijama vrednosti ulaza odgovaraju

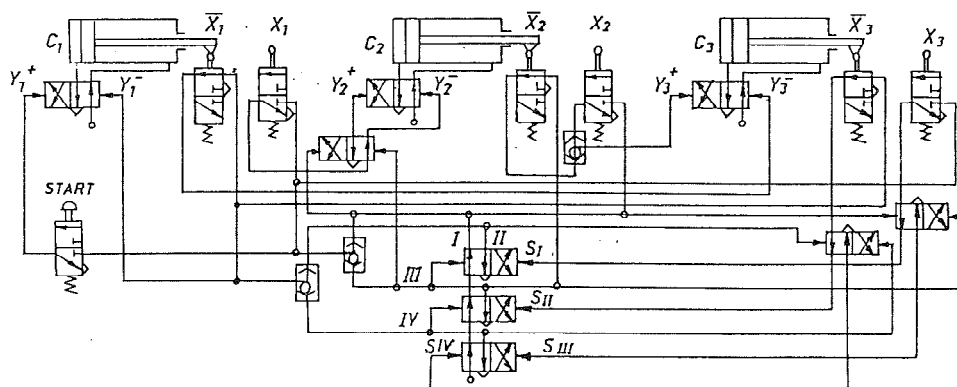
različite kombinacije vrednosti izlaza. Primenjujući postupak prevođenja tabele uključivanja koja se ne može realizovati u tabelu uključivanja koja se može realizovati (sl. 2) uvodi se dopunska ulazna promenljiva z , čija je promena vrednosti data u tabeli uključivanja (sl. 3a). Dopunski ulaz z , s obzirom na raspored taktova koji izazivaju nemogućnost realizovanja tabele uključivanja, istovremeno dovodi do ispunjenja prvog uslova realizovanja u taktovima 2 i 8, kao i u taktovima 3 i 7. Ulaz z se realizuje pomoću memorijskog elementa R-S, koji ovde predstavlja bistabilni razvodnik. Postoji preporuka [2] da se dopunski ulazi isključuju poslednjim kretanjem u ciklusu, što ovde nije zadovoljeno, ali su ispunjeni uslovi realizovanja. Prema tome, dopunske izlazne promenljive koje uključuju i isključuju memoriju, z'_S i z'_R respektivno, direktno iz tabele uključivanja biće:

$$z'_S = \bar{x}_1 x_2; z'_R = \bar{x}_2 x_1$$

Drugi uslov realizovanja za dopunske izlazne signale je ispunjen, jer posle uvođenja dopunskog ulaza z razlikuju se kombinacije vrednosti osnovnih i dopunskih ulaznih signala u svim taktovima.

Preostali deo sinteze - minimizacija logičkih funkcija osnovnih izlaza i formiranje pneumatske šeme upravljačkog sistema na osnovu logičkih funkcija osnovnih i dopunskih izlaza predstavlja šablonski postupak. Minimizacija logičkih funkcija osnovnih izlaza je izvedena pomoću Veitch - Karnaugh - ovih mapa (sl. 3b). Prazna polja u mapi odgovaraju taktovima koji se ne koriste i za njih su vrednosti odgovarajućih izlaza neodređene. Pneumatska šema, dobijena ovom metodom sinteze data je na sl. 3c. Razvodnik za start treba da bude aktiviran do 6. takta da bi se obavio ceo ciklus, a može se jednostavno rešiti da start bude impulsni signal.

Radi poređenja data je pneumatska šema dobijena pomoću kaskadne metode [4], koja se najčešće koristi u ovakvim slučajevima (sl. 4). Tipičan problem koji se javlja kod kaskadne metode kada postoji ponavljanje hodova jednog ili više cilindara ovde je rešen primenom bistabilnih razvodnika, koji se aktiviraju odgovarajućim signalima, što se vidi na sl. 4. Može se uočiti da je upravljački sistem, dobijen pomoću tabele uključivanja u prednosti u odnosu na kaskadnu metodu u pogledu broja potrebnih pneumatskih elemenata, što je potvrđeno i u većini drugih primera.



Sl. 4. Pneumatska šema dobijena kaskadnom metodom

4. ZAKLJUČAK

Metoda sinteze konačnog automata sekvencijalnog tipa pomoću tabele uključivanja je pregledna i pogodna za rad i može se koristiti kada je automat zadat sa jednom ili dve ulazno - izlazne reči (sekvencije). Istovremeni prevod više tabela uključivanja iz nerealizovanih u realizovane je otežan zbog odsustva formalnih metoda za uvođenje dopunskih ulaznih promenljivih, odn. iznalaženje minimalnog broja unutrašnjih stanja. U tom slučaju se preporučuje korišćenje drugih poznatih metoda, datih u [1]. Karakteristika ove metode je da ima opštu primenu, bez obzira na vrstu signala, vrstu korišćene memorije i vrstu realizacije. Ona u većini slučajeva zahteva manji broj elemenata za realizaciju u odnosu na često korišćenu kaskadnu metodu, što je pokazano u datom primeru i utiče na cenu i pouzdanost sistema upravljanja.

5. LITERATURA

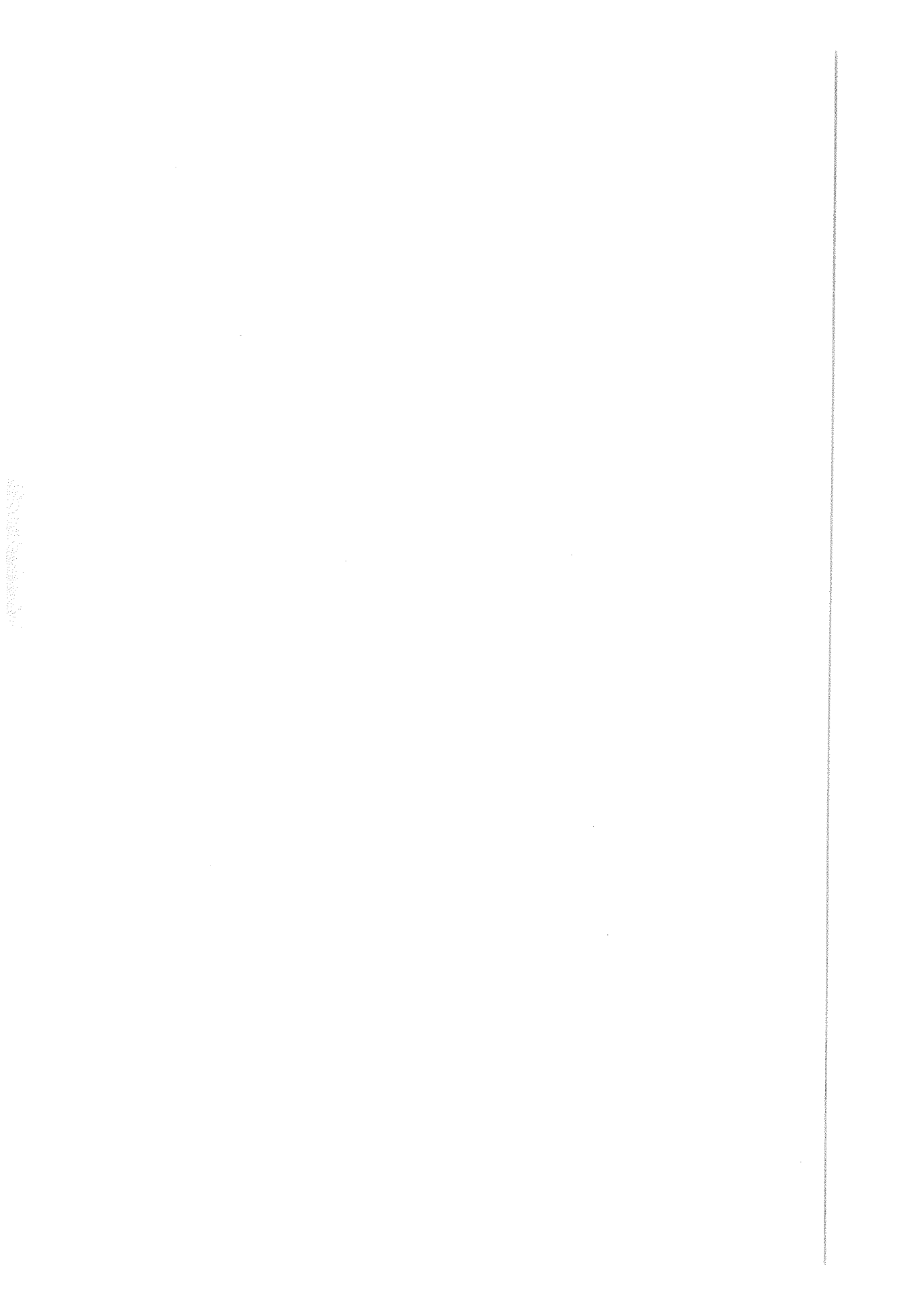
- [1] Lazarev, V. G., Pil, E. I., Sintez asinhronih konačnih avtomatov, Nauka, Moskva, 1964.
- [2] Srečković, S., Jedna metoda projektovanja automatskog upravljanja transfer mašinama, XIV Jug. konf. ETAN, Sarajevo, 1970.
- [3] Martinis, V., Opis rada stroja i sinteza upravljačkog sistema pomoću dijagrama uključivanja, Savetovanje HIPNEF, Beograd, 1980.
- [4] Zarić, S., Automatizacija proizvodnje, Mašinski fakultet, Beograd, 1984.

D. Drndarević

SEQUENTIAL AUTOMATA SYNTHESIS USING A SWITCHING TABLE

Summary

The sequential type finite automata synthesis method by using a switching table is given in the paper. The conditions for automata realization and the realizable switching table forming procedure are presented. The method is applied on the sequentially controlled pneumatic system with repeated runs of some cylinders. Another pneumatic scheme of the same control system, but using the cascade method, is presented in order to evaluate the efficiency of the method described in the paper.



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

R. Gatalo, J. Hodolić*

**TENDENCIJE RAZVOJA SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO
PROGRAMIRANJE NU MAŠINA ALATKI I SISTEMA**

Rezime

Na bazi dugogodišnjeg iskustva i praćenja problematike automatizovanog programiranja NUMA u radu se govori o tendencijama razvoja ovog vrlo bitnog područja računarom integrisane proizvodnje. Navode se aktuelni problemi koji su prisutni i daju se neki od konkretnih primera sistema. Posebno se ističe trend povezivanja sistema za automatizovano projektovanje proizvoda sa sistemima za automatizovano programiranje na bazi zajedničke baze podataka odnosno povezivanje u integralne sisteme.

1.0 UVODNE NAPOMENE

Od 1955. godine, kada je na Masačusets Institutu za tehnologiju (MIT - SAD) po prvi put realizovan jedan sistem za automatizovano programiranje (SAP) NUMA, do danas veliki broj instituta, proizvođača računara, upravljačkih jedinica pa i mašina alatki, višekoodinatnih mernih mašina i industrijskih robota, radilo je na razvoju sopstvenih rešenja SAP. Teško je govoriti o njihovom broju ali je sigurno da su mnogi od njih doživeli uspešnu primenu u praksi, neki su ostali na nivou laboratorijskih istraživanja, a od nekih se u razvoju odustalo. Svi ti sistemi u području obrade metala rezanjem su uglavnom problemski orijentisani, što znači da se odnose na problematiku programiranja NUMA, industrijskih robota i višekoodinatnih mernih mašina.

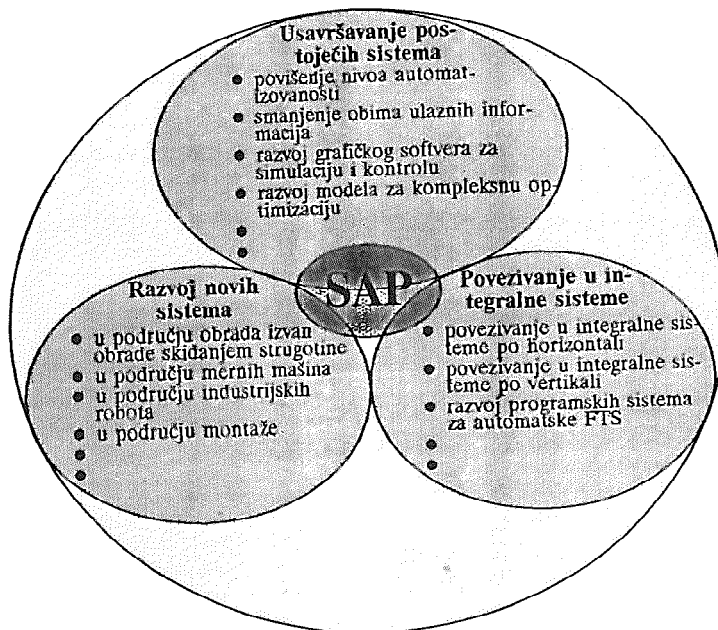
Ovaj rad pokušava da sagleda tendencije razvoja sistema za automatizovano programiranje pri čemu uvažava da postoje: mašine alatke, merne mašine, manipulacioni sistemi, transportno skladišni sistemi, upravljačko-informacioni sistemi i daleko složeniji sistemi koji su konponovani od ovakvih pojedinačnih sistema.

**2.0 PRAVCI RAZVOJA SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NU
MAŠINA ALATKI I SISTEMA**

2.1 Uvod

Kod sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških procesa i programiranje NUMA prisutna su u suštini tri pravca. To su: (slika 1)

*) Gatalo dr Ratko, dipl. ing., red. prof., Hodolić dr Janko, dipl. ing., vanr. prof., FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, Vladimira Perića Valtera 2, 21000 Novi Sad,



Sl. 1. Tendencije razvoja SAP

1. razvoj novih sistema
2. dalje usavršavanje postojećih sistema
3. povezivanje u integralne sisteme i razvoj sistema za FTS

2.2 Razvoj novih sistema

Razvoj novih sistema za automatizovano programiranje u novih rešenja je prisutan kao u slučajevima gde su već bili prisutni tako i za postupke obrade i mašine gde je numeričko upravljanje novijeg datuma. Tako se razvoj novih sistema sreće u sledećim područjima:

- u područjima obrade gde je razvoj NU tehnike kasnio u odnosu na obradu rezanjem npr. deformisanje, zavarivanje, sečenje, i dr.
- u području mernih mašina
- u području industrijskih robota
- u području montaže

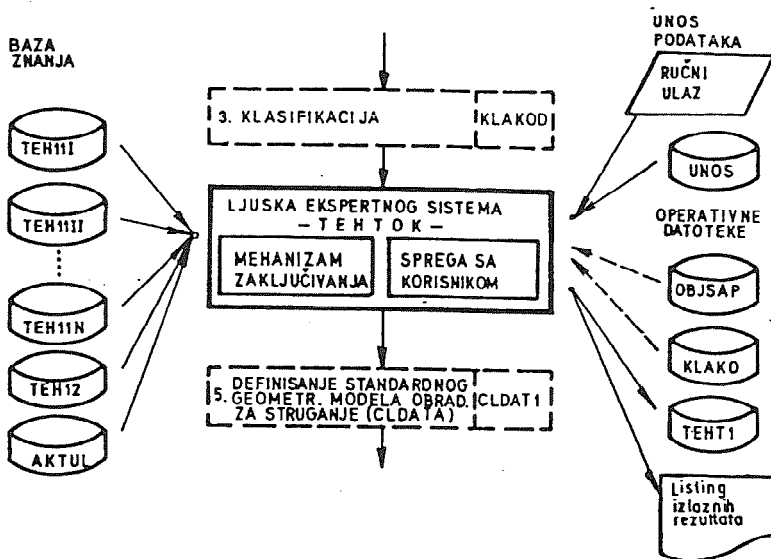
2.3 Dalje usavršavanje postojećih sistema

Dalje usavršavanje postojećih sistema ide u sledećim pravcima:

- povišenje nivoa automatizovanosti sistema kroz obuhvatanje većeg broja faza projektovanja tehnološkog procesa, što znači proširenje procesa u tehnološkom pogledu,
- smanjenje obima ulaznih informacija (minimiziranje) kroz makro instrukcije za geometriju (za ponovljive oblike fiksne strategije na bazi promene parametra),
- korišćenje iskustava grupne i tipske tehnologije za usavršavanje mogućnosti sistema u tehnološkom smislu,

- olakšanje unosa polaznih informacija uvođenjem dijaloga, menü tehnike i sl.,
- olakšanje provere polaznih informacija putem interaktivnih grafičkih sistema,
- dalji razvoj grafičkog softvera za simulaciju i kontrolu izlaznih informacija iz sistema projektovanja,
- razvoj posebnih modula za kompleksnu optimizaciju obrade na NU mašini,
- modularna gradnja procesora sistema i omogućavanje primene velikih programskih sistema na računarima, manjeg kapaciteta,
- nove organizaciono-eksploatacione metode rada (princip rada na bazi raspodele vremena - TIME SHARING); distribuirana obrada i sl.
- isključivanje postprocesorskog modula iz sistema projektovanja i njegova softverska ugradnja u NU upravljačku jedinicu mašine.

U smislu povišenja nivoa automatizovanosti tehnološkog procesa pre svega zahvaljujući savremenom trendu razvoja računarske tehnike i veštačke inteligencije, zadnjih godina istraživanja su orjentisana na projektovanje odgovarajućih ekspertnih sistema. Za sada se radi o rešenjima koja u prvom redu omogućuju projektovanje operacionog postupka, izbor mašine, odnosno alata i sl.. Na slici 2 navodi se primer rešenja jednog od modula SAPOR-S sistema koji je rešen po principu gradnje ekspertnog sistema. Radi se o modulu za definisanje operacionog postupka izrade delova rotacionog oblika.



Sl. 2. Model ekspertnog sistema za projektovanje redosleda zahvata u SAPOR - S sistemu

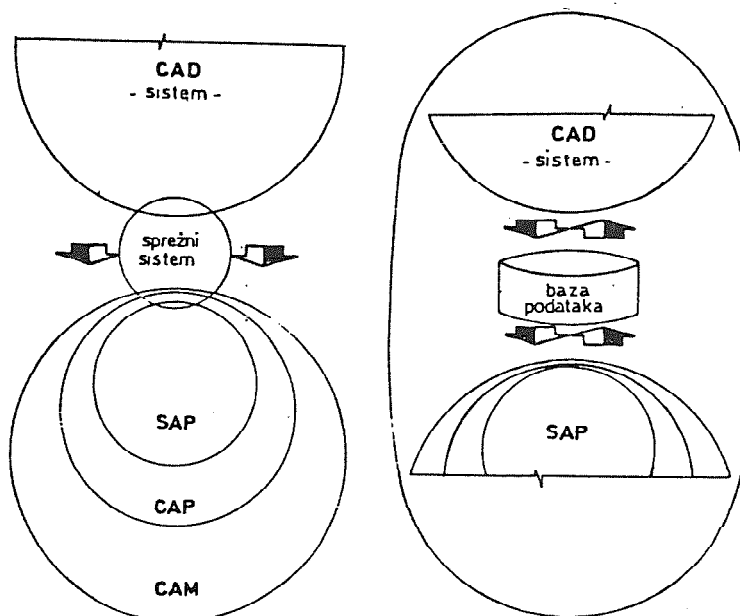
Prilazi vezani za tehnike programiranja nude se na slici 3 na osnovu razmišljanja autora iz [5]

Tehnika programiranja	Prednosti	Nedostaci	Tendencije u primeni
konvencionalno programiranje	<ul style="list-style-type: none"> rešenja sačinjena prema specifičnim zahtevima jednostavno se uklapa u postojeće okruženje 	<ul style="list-style-type: none"> vremenski zahtevno fiksni stepen automatizacije slaba prenosivost 	↘
programiranje aplikacija	<ul style="list-style-type: none"> svestrano znanje u oblasti specijalnih procesa kratko vreme odziva 	<ul style="list-style-type: none"> ograničena primena zahteva puno rada na adaptaciji - proširenju korisniku neophodno znanje programiranja 	→
tabele odlučivanja	<ul style="list-style-type: none"> široko polje primene (npr. za planiranje montaže) nisu potrebne ljsuke za programiranje ažuriranje obavlja korisnik 	<ul style="list-style-type: none"> dugo vreme odziva fiksna struktura baze znanja nedovoljna jasnoća pri donošenju odluka 	↑
ekspertni sistemi	<ul style="list-style-type: none"> rešavanje specifičnih problema fleksibilna struktura baze znanja 	<ul style="list-style-type: none"> opsežni programi teško se dolazi do moćnijih ljsuki primena zahtevaju kvalifikovani personal 	↗

Sl. 3. Programske tehnike za CAPP sisteme [5]

2.4 Povezivanje u integralne CAD/CAM sisteme

Povezivanje CAD, CAP i SAP sistema prvenstveno se izvodi u cilju korišćenja u CAD/SAP sistemu geometrijskih informacija koje su rezultat procesa konstruisanja u okviru CAD sistema.



Sl. 4. Osnovni način povezivanja CAD/SAP

U principu povezivanje CAD/SAP sistema ide u sledećim pravcima (slika 4):

- korišćenjem sprežnog sistema, (KUPLUNG, SOFTVERSKI INTERFEJS)
- integracijom kroz korišćenje zajedničke baza podataka.

Kod povezivanja na bazi sprežnog sistema sprega je moguća u jednom smeru a samo povezivanje izvodi se na bazi posebnog tzv. sprežnog programa. U zavisnosti od toga dali se vrši povezivanje SAP kod kojeg se izvorne informacije zadaju putem alfanumeričkog izvornog programa ili garfičkim interaktivnim načinom rada, kao i u zavisnosti od specifičnosti samog CAD sistema, postoje različita rešenja sprežnih sistema. Nedostaci ovakve integracije se ogledaju u sledećem [4]:

- korišćenje CAD podataka je otežano zbog različitih struktura podataka
- opsežni memorijski zahtevi
- nekonzistentnost različitih baza podataka
- nedovoljna zastupljenost tehnoloških podataka
- različito shvatanje osobnosti CAD, CAP i SAP sistema

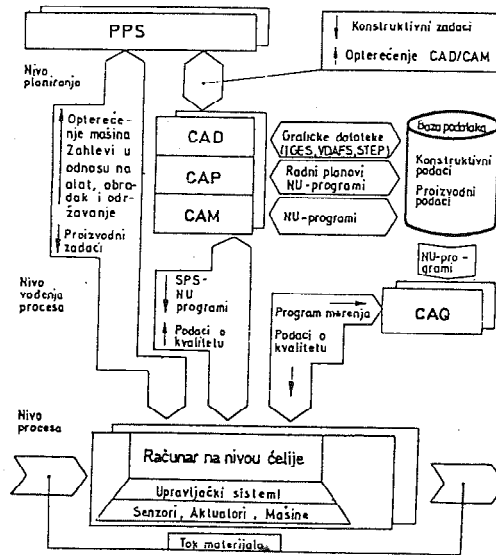
Jednostavan tok informacija kod povezivanja na bazi sprežnih sistema koji predstavljaju ograničenje interakcije SAP na podatke CAD sistema kod složenih izradaka, razvoj sprežnog sistema i njegove ograničene mogućnosti u pogledu prenosa informacija, rezultirali su razvoj a već i delimičnu primenu sistema CAD/SAP odnosno CAD/CAP, CAD/CAM, CAP/CAQ na bazi "zajedničke baze podataka". Karakteristika zajedničke baze podataka je složena struktura podataka koja je više ili manje pristupačna pojedinim sistemima. U najpovoljnijem slučaju to je jedan racionalni sistem banke podatka čija je karakteristika konzistentnosti podataka.

Pristup integracije na bazi zajedničke baze podataka obećava više od pristupa na bazi sprežnih sistema. U zajedničkoj bazi podataka neophodno je postojanje zajedničkog modela koji bi sadržao kako konstruktivne tako i podatke vezane za proizvodnju. U istraživačkim naporima na ovom planu pošlo se od proširivanja geometrijskog modela sa podacima nophodnim za projektovanje tehnologije, sa posebnim osvrtom na proširenje modela podataka i za primenu u drugim aplikacijama [3].

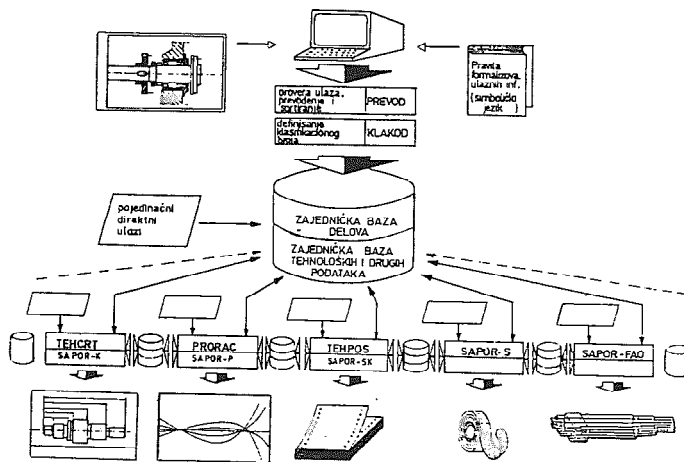
3.0 PRIMERI INTEGRACIJE POJEDINIH SISTEMA CIM-a NA BAZI ZAJEDNIČKE BAZE PODATAKA

Integracija pojedinih komponenti CAD/CAPP/CAM sistema na bazi zajedničke baze podataka je prikazano na slici 5.

Na isti način se želi ukazati na koncepciju SAPOR sistema (slika 6) koja bazira na jedinstvenoj bazi podataka a koja je koncipirana još 1988 godine [10]. Unutar SAPOR sistema osnovu za integraciju pojedinačnih sistema čine jedinstvene koncepcije formalizma za definisanje ulaznih informacija (SAPOR simbolički jezik), organizacija operativnih (radnih) datoteka kao i organizacija određenih tehnoloških dataoteka. To predstavlja preduslov za stvaranje jedinstvene baze podataka kao osnove integracije pojedinačnih sistema. Jedinstvenu bazu podataka predstavljaju provereni i prevedeni izvorni programi rotacionih delova smešteni u zajedničkoj bazi delova (podataka o delovima). Pri tome izvorni programi sadrže kompletne geometrijske informacije kao i informacije o materijalu i zahteve u pogledu termičke obrade. Za pojedine sisteme kao što su TEHCRT, TEHPOST i SAPOR-S ove informacije su, uz informacije sadržane u tehnološkim datotekama, dovoljne za projektovanje izlaznih rezultata.



Sl. 5. Integracija pojedinih sistema CIM-a na bazi "zajedničke baze podataka" [11]



Sl. 6. Integracija SAPOR programskih sistema za automatizovano projektovanje

5.0 ZAKLJUČAK

Kroz rad se želelo ukazati na određene tendencije SAP i CAD. Ograničeni prostor nije dozvolio da se da dublji i širi prikaz rezultata analize, te rad u tom smislu treba i prihvatiti.

Sigurno je da se razvoj SAP za NU mašine i sisteme kreće ka novim sistemima i ka CAD/CAM sistemima integrisanim na bazi zajedničke baze podataka, tzv. integralnim sistemima. Razvoj integralnih sistema koji treba da obezbede projektovanje proizvoda,

procesa i programiranja za te procese za različite vrste mašina još uvek je u povoju. Valja očekivati u budućnosti da će razvoj integralnih sistema, odnosno povezivanje postojećih sistema u integralne, doživeti sve veću afirmaciju.

6.0 LITERATURA

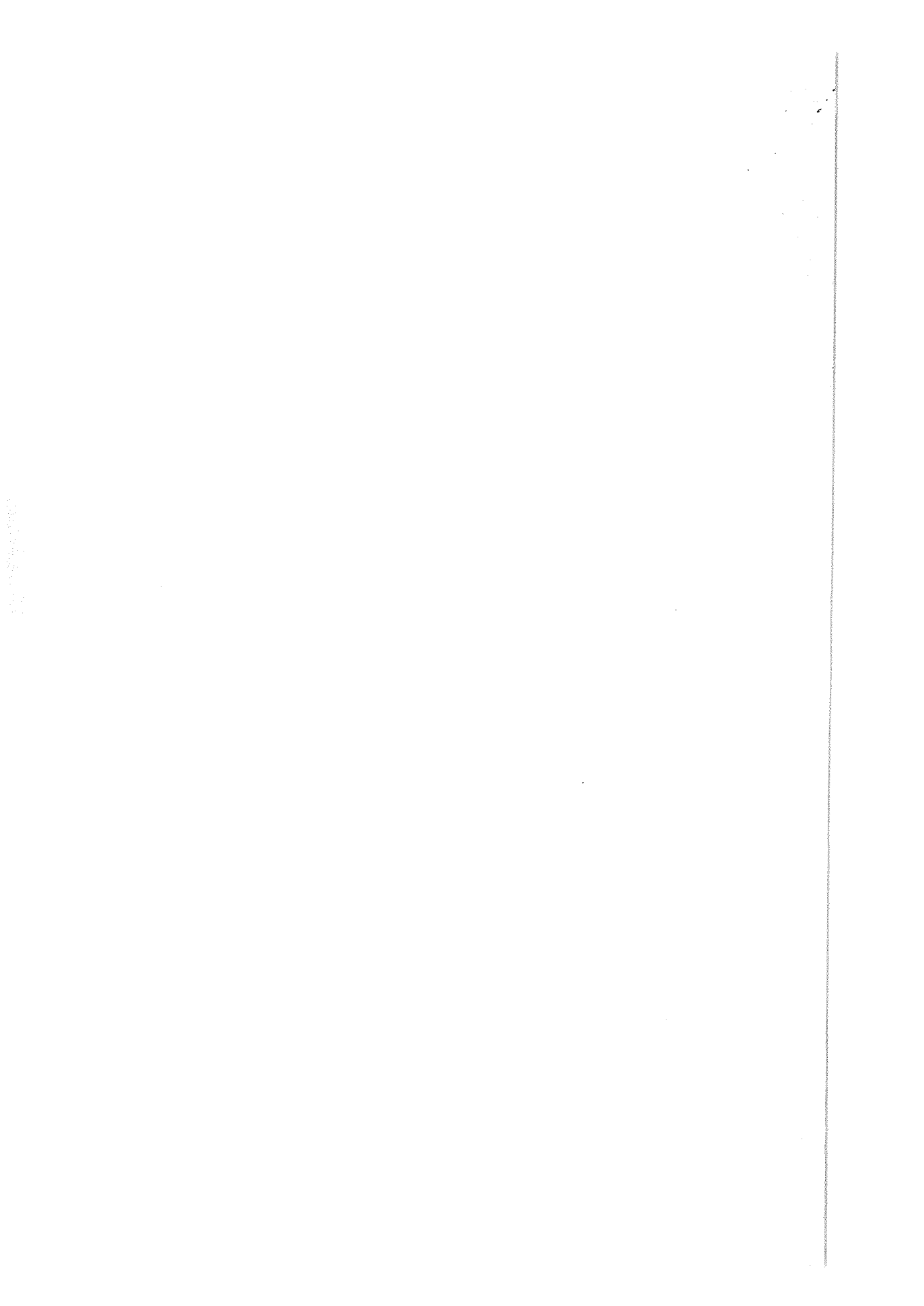
- [1] Gatalo, R.: Programski jezici za mašinsko programiranje NUMA i mogućnost stvaranja domaćeg jezika za primenu na kompjuterima manjeg kapaciteta, posvetovanje proizvodnog strojarstva, Ljubljana, 1973.
- [2] Gatalo, R.: Numeričko upravljanje mašinama alatkama i NU tehnologija - stanje i tendencije razvoja, uvodni referat, 16. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1981.
- [3] Gatalo, R., Hodolič, J.: Automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških struktura-dostignuća u razvoju i koncepcija sposvenih istraživanja za potrebe struktura za obradu rotacionih delova, 22. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Ohrid, 1989.
- [4] Eversheim, W., Schneewind, J.: Computer-Aided Process Planning - State of the Art and Future Development, Robotics & Computer - Integrated Manufacturing, Volume 10, Numbers 1/2, 1993.
- [5] Boll, G.: Entwicklungstrends von Systemen der rechnergestützten Arbeitsplanerstellung Vortrag in Rahmen des CIM - Management Workshops CAP, Winterthur (CH), 1998.
- [6] Hodolič, J., Gatalo, R., Zeljković, Ž., Lužanin, O.: Sistemi za automatizovano programiranje FI struktura - prilog uporednoj analizi, 25. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Beograd, 1994.
- [7] Hodolič, J.: Integralni prilaz postprocesiranju upravljačkih informacija u sistemu za automatizovano programiranje tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, edicija CAD/CAM, knjiga III, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, 1989.
- [8] Gatalo, R., Hodolič, J.: Veza CAD sa CAM - Ekspertni sistemi u CAD procesu, Seminar, Kranj, 1990.
- [9] Gatalo, R., Hodolič, J., Zeljković, M., Milošević, V., Konjović, Z.: Automatsko projektovanje tehnološkog procesa za mašine sa numeričkim upravljanjem u sklopu tendencija razvoja CAD/CAP/CAM sistema, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo br.2, Novi Sad, 1985.
- [10] Hodolič, J., Milošević, V., Gatalo, R.: CAD/CAM integracije, sa posebnim osvrtom na integracije u SAPOR programskom sistemu za automatizovano projektovanje, Skup o konstruiranju '88, Zagreb, 1988.
- [11] Weck, M., Geodeke, G., Reiner mann, C., Fridrich, A.: Lösungen für den Infor-tionstluss in CIM-Systemen und den Grenzen, ZWF (1987)

DEVELOPMENT TRENDS IN AUTOMATED NC PART PROGRAMMING SYSTEMS FOR NC MACHINE TOOLS AND SYSTEMS

Summary

Based on substantial experience in solving problems of automated part programming, this paper considers the developing trends in this very significant area of computer integrated manufacturing.

Actual problems are presented as well as some examples of specific systems. Special emphasis is placed on the trend of integrating the systems for automated design with the systems for automated part programming, based on shared databases, i.e. on the creation of integrated systems.



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

J. Hodolič, R. Gatalo, Ž. Zeljković, O. Lužanin*

**SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE FT
STRUKTURA - PRILOG UPOREDNOJ ANALIZI**

Rezime

U radu se analizira problematika programiranja fleksibilnih tehnoloških struktura (FTs). Daje se analiza pojedinačnih sistema za automatizovano programiranje (SAP) numerički upravljanih mašina alatki (NUMA), mernih mašina i manipulacionih sistema kao komponentata FTs sa stanovišta njihove strukture, mogućnosti, stepena razvoja i dr.

Posebno se ističe značaj povezivanja pojedinačnih SAP za komponente FTs u kompleksne SAP FTs kao i pravci dolaska do njih.

1.0 UVODNE NAPOMENE

Automatizovano projektovanje tehnoloških procesa (CAPP) i programiranje FTs smatra se ključnim za razvoj računarom integrisane proizvodnje (CIM) i predstavlja vezu između konstrukcije i proizvodnje.

Razvojem metoda automatizovanog projektovanja tehnološkog procesa odnosno metoda automatizovanog programiranja NUMA, sistema automatizovanog programiranja industrijskih robota i sistema automatizovanog programiranja višekoordinatnih mernih mašina i drugih komponentata FTs stvoreni su uslovi za brže i ekonomičnije dobijanje kvalitetnijih rešenja projektovanih tehnoloških procesa i upravljačkih programa za NU mašine alatke i NU sisteme i kada navedena sredstva postanu komponente FTs.

2.0 SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE FTs

U svetu postoji niz razvijenih programskih sistema za automatizovano programiranje (SAP), koji se po svojim mogućnosti mogu svrstati u tri grupe i to:

- sistemi koji omogućavaju računarsku obradu čisto geometrijskih informacija, odnosno obradu informacija o karakterističnim tačkama putanje alata (geometrijski orijentisani sistemi),
- sistemi koji omogućavaju računarsku obradu geometrijskih i delimično obradu tehnoloških informacija (delimično tehnološki orijentisani programski sistemi) i
- sistemi koji omogućavaju kompletnu računarsku obradu svih geometrijskih i tehnoloških informacija (tehnološki orijentisani programski sistemi).

*) Hodolič dr Janko, dipl.ing., docent, Gatalo dr Ratko, dipl.ing., redovni profesor, Zeljković Željko, dipl. ing., asistent u n.r., Lužanin Ognjan, dipl. ing., asistent pripravnik, Institut za proizvodno mašinstvo, Fakultet tehnički nauka, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića Valtera 2

Veliki broj instituta i proizvođača računara, upravljačkih jedinica pa i proizvođača mašina alatki i industrijskih robota radio je na razvoju sopstvenih modela sistema za automatizovano programiranje NU mašina alatki i NU sistema. Svi ti sistemi su uglavnom problemski orijentisani, tj. odnose se na problematiku programiranja NUMA, industrijskih robota, višekoodinatnih mernih mašina. Za ostale sisteme koji se mogu pojaviti kao komponente FTs kao što su npr. sistemi za prihvatanje i odlaganje obradaka, alata (međusklađišta, magacini alata, palete) kao i transporteri strugotine, sistemi za međusobno povezivanje FTM (transporteri, induktivna kolica i dr.) za sada nisu razvijani odgovarajući problemski orijentisani sistemi za programiranje. Ovi uređaji su razvijani na bazi fiksnog (krutog) ponašanja i tek se u zadnje vreme na ovom polju čine pokušaji da i njihove funkcije budu programabilne (npr. u okviru sistema manipulacije) čime će se povećati njihova fleksibilnost.

3.0 POJEDINAČNI SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE KOMPONENATA FTs

3.1 SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE NUMA U FTs

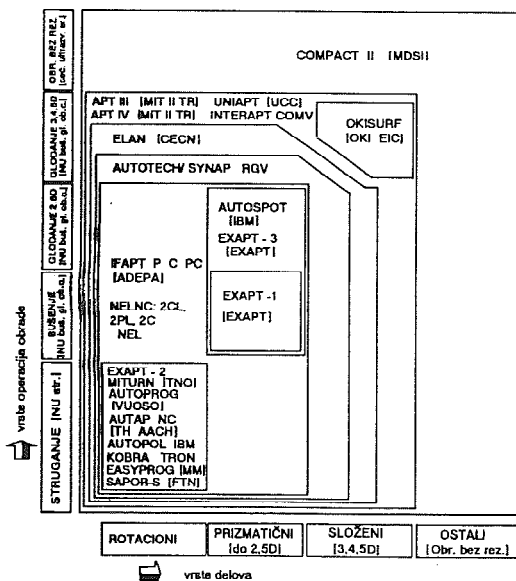
Razvoj sistema za automatizovano programiranje NUMA i njihova primena za pojedine vrste mašina bio je u skladu sa razvojem i primenom numeričkog upravljanja na mašinama alatkama za pojedine vrste obrade.

Ukupno posmatrano, navedeni sistemi su stvarani u vrlo širokom dijapazonu konfiguracije računarskih sistema i stepena automatizacije.

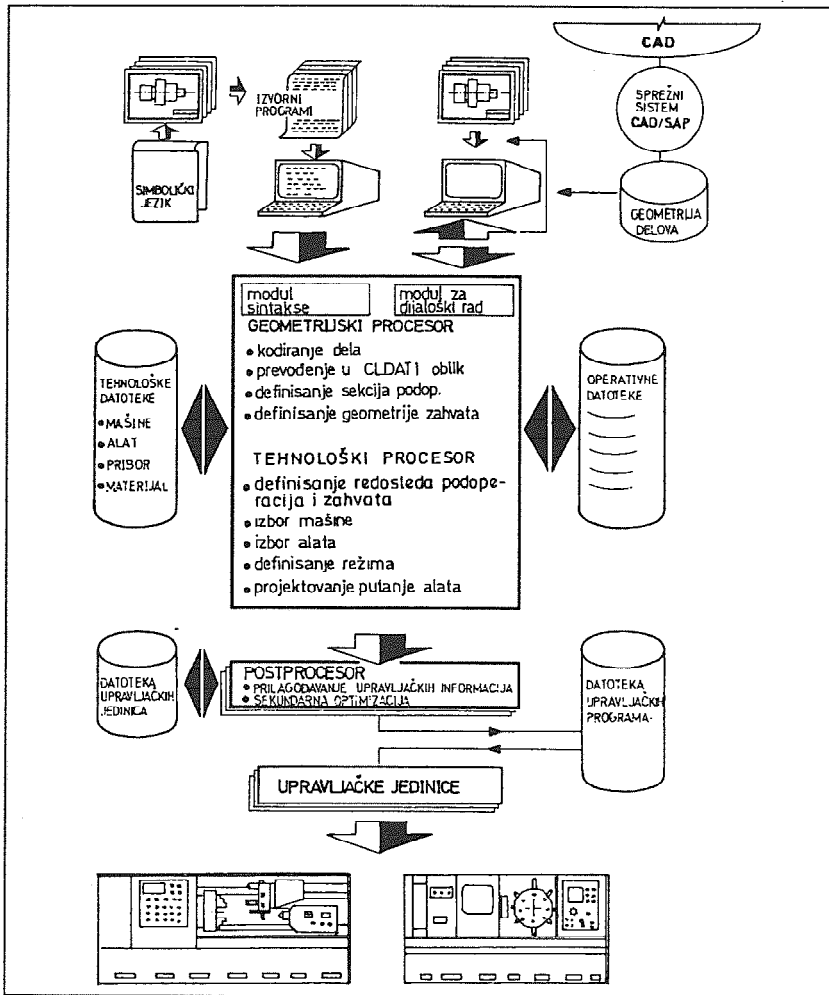
Uporedna analiza primene 20 najpoznatijih svetskih sistema za automatizovano programiranje prikazana je na slici 1, uz napomenu da je kod upoređenja dodat i domaći programski sistem SAPOR-S.

Najobuhvatniji su sistemi COMPACT II, APT, UNIAPT, INTERAPT, SYNAP i dr. Ovi sistemi su bili razvijani za različite tipove računara.

Kod najvećeg broja sistema procesor (slika 2) je isključivo geometrijski orijentisan. To znači da oni omogućavaju samo automatsku obradu geometrijskih informacija tj. definisanje putanje alata dok se sve tehnološke informacije zadaju od strane programera. Predstavnik ove grupa je APT sistem koji omogućava definisanje i vrlo komplikovanih putanja alata pri glodanju prostornih površina.



Sl. 1. Uporedna analiza sistema za automatizovano programiranje NUMA [1] [14]



Sl. 2. Osnovna struktura sistema za automatizovano programiranje NUMA

Sužavanjem geometrijskih mogućnosti i uključivanjem obrade (proračuna) i određenih tehnoloških informacija nastali su tzv. delimično tehnološki orijentisani sistemi kao što su npr. ADAPT, AUTOSPOT, AUTOPIT, EASYPROG itd.

Treća grupa sistema (potpuno tehnološki orijentisani sistemi) baziraju na rezultatima istraživanja u oblasti tipske i grupe tehnologije. Takvi su npr. MITURN, AUTOPROG i SAPOR-S. Kod njih se polazi od koncepta da se za određene klase delova mogu unapred primeniti i u posebnim datotekama memorisati tipični tehnološki postupci, čijim se izborom i aktualizacijom za uslove konkretnog dela može doći do odgovarajućeg redosleda obrade po operacijama i zahvatima. Takvi sistemi zahtevaju minimum tehnoloških informacija koje se unose kao polazne informacije od strane korisnika sistema - tehnologa projektanta.

Manji deo od razmatranih sistema se više ili manje uspešno koristi za automatizovano programiranje NUMA u FTs sa ili bez odgovarajućih proširenja ili prilagodavanja. Proširenja i prilagodavanja su obuhvaćena razvojem postprocesorskih modula za konkretne uslove, obezbeđenjem mogućnosti višekoris-

ničkog rada i zahteva koji proizilaze od strane računara za direktno i/ili distribuirano numeričko upravljanje (DNU).

3.2 SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE MERNIH MAŠINA U FTs

Nedostaci autonomne programske podrške mernih mašina u smislu njihovog korišćenja, za merne mašine različitih proizvođača i na različitim računarima sa jedne strane i zbog zahteva za boljim metodama programiranja ovih mašina kada su one instalisane u FTs, nametnuli su zadnjih godina razvoj i primenu sistema za automatizovano programiranje mernih mašina. Radi se o sistemima dislociranim u odnosu na mernu mašinu koji imaju mogućnost automatskog projektovanja potrebnih upravljačkih informacija za računare mernih mašina različitih proizvođača. Na bazi upravljačkih informacija merna mašina sa priključenim računarom je u stanju da obavi potrebno merenje i zahtevanu ocenu rezultata merenja.

Kod poređenja sistema za automatizovano programiranje mernih mašina sa odgovarajućim sistemima za automatizovano programiranje NUMA u pogledu broja razvijenih sistema i njihovog korišćenja u praksi može se konstatovati da postoji veliki jaz. Ovaj jaz malo ublažuju sistemi NCMES i SCAL koji su razvijeni za odvojeno programiranje mernih mašina. S obzirom na njihove osobine, moguće je njihovo korišćenje u DNU režimu. U grupu sistema za odvojeno automatsko programiranje mogu se svrstati i sistemi: Johanson Soft. 301, MESCAL i MFTPROG, ali sa neodgovarajućim karakteristikama u pogledu moguće primene za potrebe FTs.

Na bazi izvornog programa uz maksimalnu podršku računara omogućeno je automatsko projektovanje nezavisnih upravljačkih informacija u geometrijskom i tehnološkom delu procesora sistema prikazanog na slici 3. Projektovanje upravljačkih programa zavisnih od konkretnog rešenja višekoordinatne merne mašine, na bazi nezavisnih upravljačkih informacija, vrši se u postprocesorskom delu sistema.

Osnovni podsistemi razmatranih programskih sistema (slika 3) odgovaraju podsistemima sistema za programiranje NUMA. Razliku predstavlja donji deo slike koji se odnosi na ocenu izmerenih vrednosti i izdavanje protokola merenja. Kod višekoordinatnih mernih mašina, u slučaju njihovog pojedinačnog korišćenja (bez DNU), to se obavlja korišćenjem računara koji je opremljen odgovarajućim perifernim jedinicama, kao što su čitač perforirane trake, štampač i sl., a koji ujedno služi za upravljanje mernom mašinom. U slučaju korišćenja u FTs, s obzirom na njihov nivo automatizacije, ocenu izmerenih podataka u prvom redu bi trebao da preuzme računar za DNU.

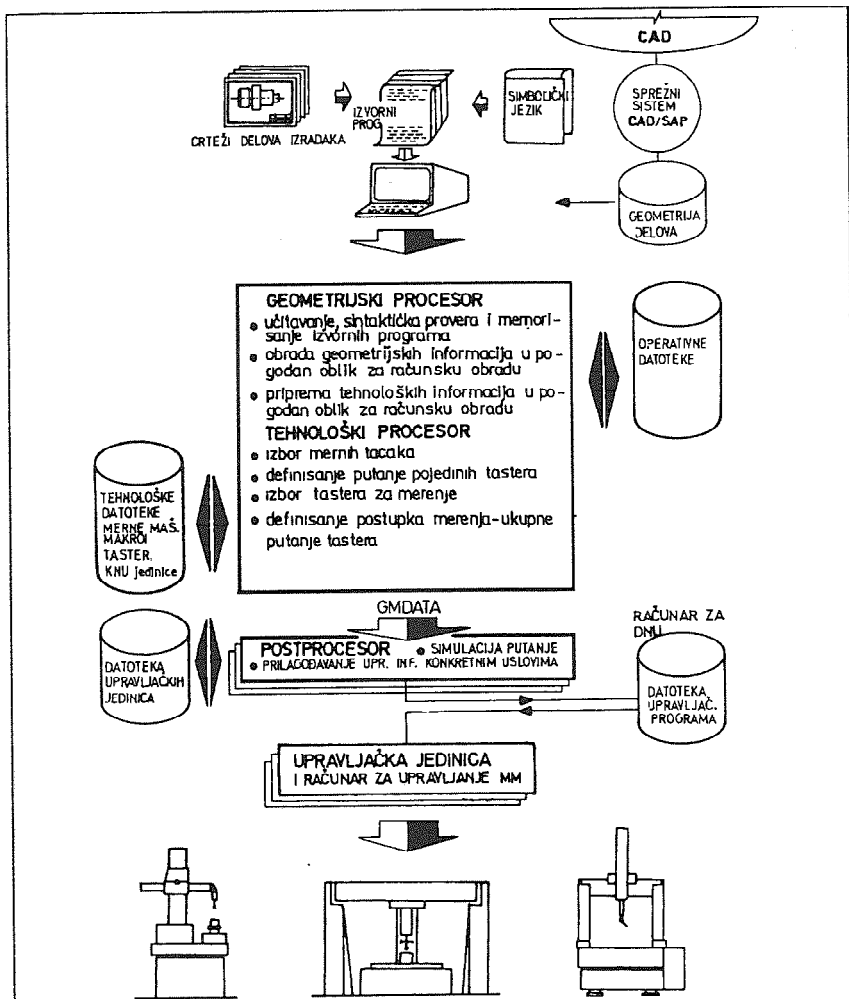
3.3 SISTEMI ZA AUTOMATIZOVANO PROGRAMIRANJE MANIPULACIONIH SISTEMA U FTs

Manipulacioni sistemi se u FTs pojavljuju na različitom nivou složenosti, kako po svojoj strukturi tako i po načinu programiranja. Unutar dve krajnosti gde su na jednoj manipulatori sa fiksnim programima (mehaničke ruke), a na drugoj mobilni inteligentni roboti sa elementima veštačke inteligencije i promenljivim upravljačkim programima čak i u toku realizacije programskog zadatka na bazi dobijenih senzorskih informacija, javlja se čitava lepeza rešenja različitih mogućnosti i karakteristika.

U odnosu na druge metode programiranja industrijskih robota sistemi za automatizovano programiranje istih imaju sledeće prednosti [5]:

- smanjuju vreme stajanja robota i NUMA (kod zajedničkog programa) zbog programiranja istog obučavanjem ili ručnim zadavanjem programa,
- povećava komfor programiranja korišćenjem moćnih računara, CAD sistema i banki podataka,
- omogućuju jednostavno korigovanje upravljačkih programa pomoću editora,
- imaju veće mogućnosti provere kolizije itd.

Prema načinu zadavanja polaznih informacija programski jezici sistema za automatizovano programiranje se mogu podeliti na dve grupe i to:



Sl. 3. Osnovna struktura sistema za automatsko programiranjeernih mašina (NCMES, SCAI-CNC, HELP)

- eksplicitni programski jezici i
- implicitni programski jezici (orijentisani na model okoline).

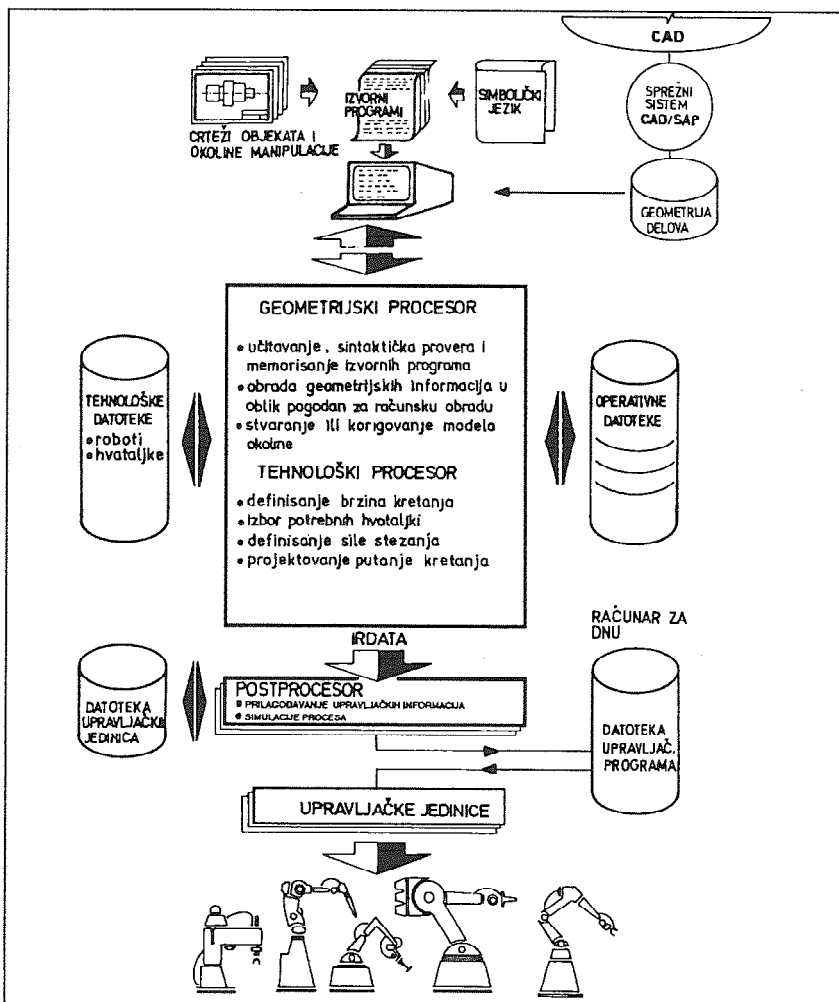
Eksplicitni programski jezici odnosno njihovi sistemi zahtevaju programiranje svakog manipulacionog koraka - pokreta, što predstavlja nedostatak ovih sistema. Drugi nedostatak ovih sistema je što zahtevaju da programer mora da zamišlja sve objekte manipulacije u prostoru. Globalno posmatrano, eksplicitni programski jezici za industrijske robote u pogledu definisanja programskog zadatka, odgovaraju metodi ručnog programiranja NUMA bez korišćenja fiksnih ciklusa. U odnosu na programiranje "obučavanjem", koje se može koristiti za potrebe radioničkog programiranja, eksplicitni programski jezici imaju neznatnu prednost. Za razliku od implicitnih jezika na čijem se razvoju intenzivno radi i koji imaju vrlo ograničenu primenu, eksplicitni programski jezici kao što su SINGLA, VAL i sl. u širokoj su primeni.

Implicitni programski jezici orijentisani na model omogućuju problemski-orijentisano definisanje manipulacionog zadatka korišćenjem informacija sadržanih

u opisu modela. Oni pretpostavljaju da su okolina manipulacionog sistema, kao i objekti manipulacije i sami sistemi manipulacije, bili opisani za vreme formiranja - gradnje modela. Opis modela podrazumeva i definisanje međusobnih prostornih odnosa: okoline, objekata manipulacije i samog sistema manipulacije. Prelaskom na obradu drugog izradka model okoline se ne mora promeniti. Podaci o modelu su registrovani u memoriji računara i na raspolaganju su svakom programu manipulacije. Oni se koriste za automatizovano definisanje putanje kretanja efektora (hvataljke) robota u procesoru automatizovanog programiranja.

Struktura implicitnih eksternih sistema za automatizovano programiranje industrijskih robota kao što su ROBEX, AUTOPASS, RPL, AL, RAPT prikazana je na slici 4, koja je izvedena na bazi [6], [7], [8].

Iako se radi o programskim sistemima sa znatnim prednostima i pogodnostima za FTs, njihova primena do sada nije dala očekivane rezultate. Pre svega pri tome se misli na mogućnost programiranja senzorski i vizuelno vođenih industrijskih robota koji sve više nalaze primenu u integrisanim sistemima kao što su FTs. U



Sl. 4. Osnovna struktura implicitnih eksternih sistema automatizovanog programiranja industrijskih robota

njihovim programima neophodna je inkorporacija informacija spoljašnjih senzora i vizuelnog sistema. Drugi problem je modeliranje složenog okruženja industrijskih robota koje se pojavljuje u FTs, a za koje su potrebni vrlo složeni algoritmi. Iz navedenih razloga "modelsko" orijentisani sistemi "off-line" se stalno usavršavaju i u njima se traže rešenja koja moraju biti veoma kvalitetna uz razuman odnos cene i performansi.

4.0 POVEZIVANJE POJEDINAČNIH SAP ZA KOMPONENTE FTs U KOMPLEKSNE SISTEME AUTOMATIZOVANOG PROGRAMIRANJA FTs

U FTs, kako je napred prikazano, moguće je koristiti sisteme automatizovanog programiranja NUMA, mernih mašina i manipulacionih sistema. Njihovim korišćenjem moguće je postići veće ili manje efekte u smislu bržeg i ekonomičnijeg dobijanja kvalitetnijih rešenja upravljačkih programa koji značajno utiču na postizanje većih efekata u proizvodnom procesu FTs. To su prilagođena i modifikovana rešenja koja nisu razvojno orijentisana za potrebe FTs i koja su opterećena određenim nedostacima.

Obim programiranja i sadržaj informacija u pojedinim izvornim programima zavisi od stepena mogućnosti projektovanja tehnoloških informacija u tehnološkim delovima procesora pojedinih SAP. Ukoliko je mogućnost automatskog projektovanja upravljačkih informacija veća manji je sadržaj ovih informacija u izvornim programima, a samim tim se i smanjuje razlika sadržaja izvornih programa za obradu, merenje i manipulaciju. To dovodi do mogućnosti obuhvatanja izvornih informacija kroz jedan kompleksan izvorni program sa redukcijom višestrukog zadavanja geometrijskih informacija.

Pored moguće integracije na nivou stvaranja tkz. kompleksnih izvornih programa postoji potreba i mogućnost integracije procesorskih delova pojedinačnih SAP. To se najčešće javlja kao pojava određenih modula u različitim problemski orijentisanim SAP pre svega u njihovim geometrijskim delovima. Slično je i kod pod-sistema koji se odnose na postprocesorski deo kao i pod-sistema operativnih datoteka preko kojih komuniciraju pojedini moduli odnosno podsistemi.

Na osnovu tih mogućnosti i određenih zahteva koje postavljaju sve prisutniji senzorski i vizuelni sistemi u FTs, postavlja se pitanje razvoja i primene kompleksnih sistema za automatizovano projektovanje tehnoloških informacija i upravljačkih programa za kompleksne FTs.

5.0 ZAVRŠNI OSVRT

U poslednje vreme veoma je prisutan intenzivni razvoj i primena FTs što se ne može reći i za razvoj SAP FTs koji predstavljaju njihovu podršku za efikasnu eksploataciju ako se isključe prilagođena rešenja SAP za programiranje NUMA.

Tome doprinosi zakasneli razvoj SAP mernih mašina i industrijskih robota. Za njihov razvoj se može reći da ide kroz iste razvojne faze kao što je to bilo sa SAP NUMA pa je za očekivati da će u dogledno vreme i kod njih biti postignuti potrebni nivo automatizacije i primene.

Zbog neujednačenog stepena razvoja FTs i odgovarajućih SAP FTs može se desiti da programiranje FTs postane usko grlo u njihovoj eksploataciji. To je posebno naglašeno zbog toga što se programiranje FTs često loše interpretira. Upravo zato se želi naglasiti da se programiranje FTs ne može svesti na programiranje NUMA jer i programi manipulacije i merenja često mogu biti veoma složeni.

6.0 LITERATURA

- [1] GATALO, R.: Numeričko upravljanje mašinama alatkama i NU tehnologija - stanje i tendencije razvoja, uvodni referat, XVI savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Mostar, 1981.
- [2] EWERSHEIM, W., KÖNIG, W., WECK, M., PFEIFER, T.: Produktionstechnik auf dem Weg zu integrierten Systemen, Aachener Werkzeugmaschinen Kolloquium (AWK), VDI Verlag, Düsseldorf, 1987.

- [3] EWERSHEIM, W., SCHNEEWIND, J.: Computer-Aided Process Planning - State of the Art and Future Development, Robotics & Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 10, No. 1/2, Pergamon Press Ltd., 1993.
- [4] HODOLIČ, J.: Integralni prilaz postprocesiranju upravljačkih informacija u sistemu za automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških sistema za obradu rotacionih izradaka, edicija CAD/CAM, knjiga 3, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, 1989.
- [5] WECK, M.: Programmiersprache für NC Handhabungsgeräte, Industrie anzeiger, 37, 1980.
- [6] WECK, M., NIEHAUS, T.: Off-Line Robot Programming via Standardised Interfaces, The Industrial Robot, 3, 1984.
- [7] BUDA, J. KOVAČ, M.: Projektovanje i prevadka robotizovanih sistemov, I. čast, Visoka škola tehnička, Strojarska fakulteta, Košice, 1987.
- [8] PRAGER, K.: Kopplung externer und interner Programmiersysteme für Industrieroboter, Dissertation, Technische Universität Berlin, 1982, Carl Hanser Verlag, München-Wien, 1982.
- [9] HODOLIČ, J., GATALO, R., ŽIVANOVIĆ, M., JANDRIĆ, Ž.: Prilog uporednoj analizi metoda programiranja fleksibilnih tehnoloških struktura (FTs), 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Novi Sad, 1992.
- [10] GATALO, R., HODOLIČ, J., ZELJKOVIĆ, Ž.: Prilog uporednoj analizi sistema za programiranje NUMA različitih nivoa automatizovanosti, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Novi Sad, 1992.
- [11] GATALO, R., HODOLIČ, J., ZELJKOVIĆ, Ž., ŽIVANOVIĆ, M.: Neki aspekti analize metoda automatizovanog i pogonskog programiranja NU mašina alatki, Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo FTN, br. 10, Novi Sad, 1993.
- [12] HODOLIČ, J., GATALO, R., ZELJKOVIĆ, Ž., LUŽANIN, O.: Prilog analizi podloga za razvoj sistema za automatizovano programiranje fleksibilnih tehnoloških struktura, V međunarodna naučno-stručna konferencija mma'94 "FLEKSIBILNE TEHNOLOGIJE", Zbornik radova, Novi Sad, 1994.
- [13] GATALO, R., HODOLIČ, J.: Automatizovano programiranje FTs - Dostignuća u razvoju i koncepcija sopstvenih istraživanja za potrebe struktura za obradu rotacionih delova, XXII Savetovanje proizvodnog mašinstva, Ohrid, 1989.
- [14] BUČAN, M.: Istraživanje i razvoj sistema za projektovanje tehnološkog procesa zasnovanog na bazi podataka iz industrije prerade metala, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1981.

J. Hodolič, R. Gatalo, Ž. Zeljković, O. Lužanin

SYSTEMS FOR AUTOMATED FM STRUCTURES - A CONTRIBUTION TO COMPARATIVE ANALYSES

Summary

The paper analyzes the area of flexible manufacturing structures (FMs) programming. It presents the analyses of standalone systems for automated programming (CAP) of numerically controlled machine tools (NCMT), measuring machines and manipulating systems as FMs components, from the standpoint of their structure, prospects for developments, etc.

The importance of integrating CAP for FMs components into a complex CAP FMs and the ways of accomplishing it are specially emphasized.

Nakić M.

STRUKTURNO PROGRAMIRANJE LOLA PROGRAMABILNIH KONTROLERA

Rezime

U radu je opisan novi, savremeni pristup programiranju familije LOLA programabilnih kontrolera koji podrazumeva uvođenje strukturnog programiranja - Sequential Function Chart (SFC). Zahvaljujući grafičkoj i strukturanoj prirodi SFC, izrada programa za složene procese upravljanja postaje znatno jednostavnija, njihovo testiranje brže, a vreme izvršavanja kraće. Realizacija SFC po nacrtu međunarodnog standarda IEC65B omogućava konkurentnost LOLA programabilnih kontrolera na svetskom tržištu.

1. UVOD

Programabilni kontroleri (PLC) su jedna od najrasprostranjenijih klasa industrijskih računara i koriste se u sve većem broju industrijskih aplikacija. Analize pokazuju da više od dvadeset godina dominira tzv. *LADDER* jezik među jezicima za programiranje programabilnih kontrolera. Tokom vremena znatno se povećala veličina ovih programa i složenost instrukcija koje izvršavaju. Razvoj sve većih i složenijih aplikacija zahteva veće mogućnosti programabilnih kontrolera, viši nivo tehničke obrazovanosti samih korisnika i efikasnije načine programiranja. Sve važnije mesto među drugim višim jezicima zauzima jezik za strukturno programiranje programabilnih kontrolera - SFC (Sequential Function Chart). SFC omogućava inženjerima strukturani format i korišćenje postojećih jezika programiranja za izvršenje kontrolnih funkcija. Zahvaljujući njegovoj grafičkoj prirodi, dobija se pregledan i lako razumljiv prikaz složenih kontrolnih procesa.

U radu je dat istorijat standardizacije SFC, objašnjeni osnovni elementi SFC i navedene njegove prednosti i nedostaci.

2. STANDARDIZACIJA SFC

Veliki broj programabilnih kontrolera raznih proizvođača i različitih performansi i raznolikost jezika za njihovo programiranje uslovlili su rad na izradi standarda za programabilne kontrolere. Korišćenje međunarodno prihvaćenog standarda za proizvod osigurava da taj proizvod zadovoljava široki spektar korisničkih potreba.

Maja Nakić, viši stručni saradnik, LOLA institut, Beograd

Prvo je Agencija za razvoj primenjene automatike (ADEPA - Agency for the Development of Applied Automation) 1979. standardizovala GRAFCET. Nazivi SFC i GRAFCET se često naizmenično koriste za opis grafičkih načina prezentacije kontrolnih sistema. IEC65B je nacrt standarda za programske jezike programabilnih kontrolera koji je izradila Međunarodna elektrotehnička komisija (International Electrotechnical Commission). Rad na standardizovanju je od početka baziran na tome da standard bude blizak većini korisnika postojećih PLC i da se zasniva na prihvaćenim industrijskim standardima za PLC programske jezike. IEC standard je rezultat mnogo godina proučavanja, diskutovanja, ispitivanja i definisanja funkcija PLC i sjedinjuje nagomilano iskustvo velikog broja ljudi iz mnogo kompanija i zemalja.

U IEC65B nacrtu standarda definisana su četiri jezika za programabilne kontrolere (*Instruction List, Ladder Diagram, Function Block Diagram, Structured Text*) i jedna organizaciona struktura. SFC je organizaciona struktura za sve IEC65B jezike. SFC elementi koriste za struktuiranje unutrašnje organizacije organizacionih jedinica programa za PLC koje odgovaraju određenim delovima kontrolnog procesa, a pisane su na jednom od standardnih jezika za PLC. Ako je jedan deo programa u formi SFC, onda kompletan program mora biti u toj formi. Ako nema delova programa predstavljenih u formi SFC, onda se ceo program izvršava kao jedna akcija unutar SFC sa jednim korakom [1].

U skladu sa pravcima razvoja u oblasti industrijskih računara u svetu u LOLA institutu je započet razvoj nove verzije sistema za programiranje LOLA familije programabilnih kontrolera visokih performansi. Pored postojećeg *ladder* programiranja, omogućeno je i SFC programiranje pogodno za složene upravljačke projekte.

3. SFC

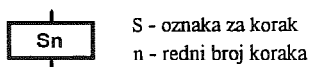
SFC je grafički metod programiranja koji pruža jednostavni prikaz obrade sekvencijalnih koraka kontrolne aplikacije. SFC programi se sastoje od koraka i prelaza medju koracima. Svaki korak sadrži logiku koja odgovara određenom delu procesa. Prelaz iza koraka sadrži logiku za odlučivanje da li će se prethodni korak ponavljati, ili će započeti sledeći korak. SFC nudi elemente koji omogućavaju izvršenje višestrukih logičkih putanja ili izabrane logičke putanje, kao i mogućnost skokova unapred ili unazad.

3.1 Elementi SFC programa

Osnovni elementi SFC programa su:

- **KORAK (STEP)**

Predstavlja stabilno stanje sistema za koje se vezuju određene komande ili akcije. Korak može biti aktivan - kada se on i njemu pridružene akcije izvršavaju ili neaktivan.



Slika 1. Grafički prikaz koraka

- **INICIJALNI KORAK**

Koristi se za kontrolu pokretanja procesa. Definiše početno stanje sistema, a komande definisane ovim korakom se izvršavaju samo jednom.



Slika 2. Grafički prikaz inicijalnog koraka

- **PRELAZ (TRANSITION)**

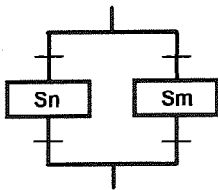
Definiše uslove koji prebacuju aktivan status sa jednog koraka na sledeći korak. Po završetku skaniranja aktivnog koraka procesor proverava uslove vezane za prelaz koji sledi iza tog koraka. Ako su uslovi prelaza ispunjeni aktivni korak se dezaktivira, a aktivira se sledeći korak. Prelaz može biti predstavljen bitom prelaska kada je potrebno testiranje jednog uslova za prelaz između koraka (za senzore, granične prekidače, tastere, interne tajmere, brojačke uslove), ili programom prelaska kada je potrebno ispunjenje više uslova da bi se prešlo sa koraka na korak.

+ T_n T - oznaka za prelaz
 n - redni broj prelaza

Slika 3. Grafički prikaz prelaza

- **USLOVNO GRANANJE (paralelne isključive putanje)**

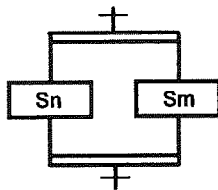
Koristi se kao ILI (OR) uslov tj. kada se samo jedna od više navedenih grana može izvršavati. Uslovi navedeni na početku svih paralelnih grana se skaniraju dok se ne ispuni jedan od njih. Tada se aktivira korak u paralelnoj grani naveden iza tog ispunjenog uslova, a ostale grane se dezaktiviraju. Korak koji sledi iza zatvaranja ovog grananja će postati aktivan samo ako je uslov prelaska iza poslednjeg koraka aktivne grane ispunjen.



Slika 4. Grafički prikaz uslovnog grananja

- **PARALELNO GRANANJE (paralelne istovremene putanje)**

Koristi se kao I (AND) uslov tj. za istovremeno izvršavanje više grana. Kada je uslov prelaska koji prethodi ovom grananju ispunjen, sve grane grananja postaju aktivne i moraju se izvršiti pre nego što se status prebaci na korak iza grananja. Paralelno grananje se koristi za sinhronizaciju delova procesa. Korak koji sledi iza grananja će se aktivirati samo ako su sve grane aktivne i prelaz iza zatvaranja grananja ispunjen.



Slika 5. Grafički prikaz paralelnog grananja

- **GOTO i LBL**

Nisu definisani u IEC65B. Koriste se za usmeravanje toka izvršenja programa. Pri izvršenju GOTO komande aktivira se korak tj. uslov koji sledi iza odgovarajuće LBL komande. Uz obe komande se navodi redni broj labela.

- **SUBDIJAGRAM**

Predstavlja važan element SFC programiranja i sličan je potprogramu. Problem upravljanja treba podeliti na manje celine za koje će inženjeri napraviti subdijagrame koji će na kraju biti pridruženi finalnoj kontrolnoj šemi.

Subdijagram se sastoji od koraka za poziv subdijagrama i od posebnog dijagrama koji sadrži korake za obradu dela procesa. Subdijagrami se mogu ugnežđjavati, biti pozvani bilo gde u programu i to neograničeni broj puta. Njihovim korišćenjem se znatno smanjuje složenost programa.



Slika 6. Grafički prikaz koraka za poziv subdijagrama

3.2 Korak

Korak je osnovni element SFC programa i obično se sastoji od kontrolnih izlaza tj. akcija koje treba izvršiti pod tim korakom.

Korak bez pridruženih akcija odgovara *wait* funkciji, tj. čekanju da uslov prelaska koji mu sledi bude ispunjen. Koristi se da omogući nastajanje spoljašnjeg događaja, kao što je pritisak tastera za start od strane operatera.

Koraku sa akcijama se pridružuje BLOK AKCIJA u kome su one navedene. Razlikuju se bit akcije i program akcije pri čemu se bit akcije koristi za direktnu kontrolu stanja jednog izlaznog uslova, a program akcije za kreiranje *ladder* programa za kontrolu složenijih akcija. Akcijama navedenim u bloku akcija pridružuju se kvalifikator akcije, setovana vrednost, sama akcija i povratna varijabla.

Kvalifikator akcije definiše način izvršenja akcije. Koristeći različite kvalifikatore, akcija se može izvršavati jednom po ulasku u korak, jednom po izlasku iz koraka, dok je aktivan korak, kontinualno dok je ne resetuje druga akcija, u toku zadatog vremena, posle zadatog vremena.

Navodjenjem ovih kvalifikatora nivo složenosti se izbacuje iz *ladder* logike i prikazuje na očigledniji način na nivou akcija u SFC [2].

Setovana vrednost se koristi se za produženje ili odlaganje stanja akcije i mora se navesti uz određene kvalifikatore. Povratnu varijablu setuje naznačena akcija kao oznaku da je akcija završena, za vremensko prekoračenje ili grešku.

3.3 Prednosti i nedostaci SFC

SFC ima značajne prednosti nad ostalim jezicima za programiranje programabilnih kontrolera.

Pored toga što pruža strukturirani format, on je i industrijski prihvaćen standard.

Posao se može raspodeliti po ljudima, što ubrzava realizaciju upravljačkog projekta.

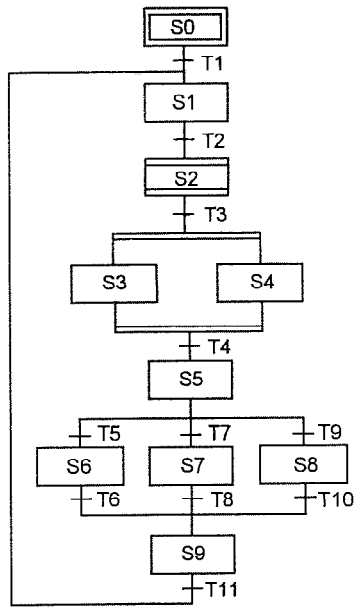
Programi za korak i prelaz medju koracima su mali i mogu zadržati *ladder* logiku.

Korišćenjem subdijagrama skraćuje se dužina programa i vreme izrade aplikacije.

SFC se može tretirati kao dijagram toka procesa. Grafička priroda SFC olakšava korisniku izolovanje problema. Obezbeđena je vizuelna indikacija statusa tokom izvršavanja programa tako što su aktivni elementi osvetljeni. Tokom testiranja statusi koraka će brzo ukazati na moguće uzroke problema, pa pri ispitivanju neregularnih situacija treba ispitivati samo aktivne korake. Zato SFC možemo posmatrati kao okruženje za efikasnije korišćenje *ladder* programa.

Izvršavanje programa je efikasnije, jer se u SFC izvršava logika potrebna za određeni deo procesa. Umesto skaniranja čitavog programa skaniraju se samo aktivni blokovi.

SFC je prvobitno razvijen za dokumentovanje kontrolnih sistema i ima opisan format. SFC programi su razumljivi, čak i ljudima koji nisu upoznati sa kontrolnim sistemima i jezicima za njihovo programiranje. SFC se često koristi i za opis procesa koji nisu kontrolni. Na slici 7. prikazan je primer SFC dijagrama.



Slika 7. Primer SFC dijagrama

U IEC65B je definisan podskup mogućnosti SFC potrebnih da on bude pravi alat za razvoj kontrolnih sistema. Neophodno je proširiti ovu definiciju da bi dijagrami mogli podržati veoma složene kontrolne procese, kao i procese u kojima mora biti jasno definisano vreme izvršenja.

Problemi sa SFC standardom su sledeći [3]:

- SFC je veoma dobar za definisanje normalnog toka kontrole, ali se dodavanjem obrade grešaka znatno povećavaju dijagrami. Neophodno je dodati alternativni metod za obradu grešaka. Složeniji sistemi obično imaju neke uslove izuzimanja, situacije u kojima normalni tok kontrole mora biti prekinut i uradjene specijalne obrade. Postoji više metoda za rešenje ovog problema, a jedan od njih je uvođenje SAFE STATE SFC koji prekida izvršenje ostalih SFC pri pojavi uslova za njegovo aktiviranje. Po izvršenju akcija zadatih u ovom SFC nastavlja se izvršavanje normalnog SFC od naznačenog koraka. Moguće je uvesti nekoliko mehanizama za kontrolu safe state SFC. Globalni safe state SFC se koristi za prekidanje globalnog SFC i svih SFC u kontrolnoj jedinici. Koristi se za značajne greške i procedure isključenja. Moguće je uvesti i nivoe safe state SFC. Za nastajanje grešaka koje nemaju uticaj na ceo sistem uvode se lokalni safe state SFC koji će prekinuti izvršavanje samo tekućeg SFC i njegovih subdijagrama.
- SFC dijagrami mogu postati vrlo složeni i nije ih uvek moguće prikazati bez ukrštanja linija, a nije data eksplicitna definicija kako to predstaviti. Ovo je moguće izbeći uvođenjem grafičkog elementa za GOTO koji nije definisan u IEC standardu.

- Definicija akcija unutar SFC koraka je nepotpuna. Deo sa jezicima unutar akcija je definisan, ali nije i redosled akcija. Potreban je metod za tačno navodjenje šta se kada dešava i za dozvolu inicijalizacija i određenih ponavljanja unutar koraka.

Bez obzira na ove nedostatke prednosti koje pruža SFC su mnogo veće i znatno olakšavaju i ubrzavaju kompletnu realizaciju složenih kontrolnih procesa.

4. ZAKLJUČAK

Uvodjenje strukturnog programiranja programabilnih kontrolera - SFC predstavlja bitnu komponentu razvoja Sistema za programiranje LOLA familije programabilnih kontrolera.

SFC je kao kontrolni alat veoma koristan inženjerima koji kreiraju upravljačku aplikaciju i onima koji rade na održavanju instaliranog sistema. Strukturana priroda SFC omogućava da se glavni projekat može raspodeliti medju inženjerima čime se smanjuje vreme realizacije programa i njegovog testiranja, a automatski i količina neophodne prateće dokumentacije.

SFC je naročito pogodan za sekvencijalne procese zato što pruža jednostavan prikaz obrade sekvencijalnih koraka kontrolne aplikacije. Izmene u sistemu je mnogo lakše vršiti, a takodje i nalaženje grešaka u programskoj logici. Samo izvršavanje programa je mnogo efikasnije jer se izvršava logika koja odgovara određenim fazama procesa. Umesto skeniranja kompletnog programa, skaniraju se samo njegovi aktivni delovi.

Time što je u Sistemu za programiranje realizovan standardizovan SFC jedinstvena terminologija i same strukture SFC znatno olakšavaju krajnjim korisnicima korišćenje LOLA kontrolera na osnovu iskustava stečenih u radu sa opremom raznih drugih proizvođača kontrolera.

5. LITERATURA

- [1] Draft 1131-1. Programmable controllers - Part 3: Programming Languages, IEC65B, International Electrotechnical Commission, 1992.
- [2] OULTON, B., Structured Programming Based on IEC 1131: Using Alternate Programming Methodologies and Languages with Programmable Controllers, IPC'93 Intelligent Manufacturing (konferencija i izložba), Zbornik radova, Detroit, Michigan, April 1993.
- [3] BRANDL, D., Life after IEC65B - Real World Programming Using Sequential Function Charts, IPC'93 Intelligent Manufacturing (konferencija i izložba), Zbornik radova, Detroit, Michigan, April 1993.

M. Nakić

LOLA PLC STRUCTURED PROGRAMMING

Summary

This paper presents a new approach to LOLA programmable controllers programming based on structured programming - Sequential Function Chart (SFC). Graphical and structured nature of SFC offers many advantages to the complex control process: it reduces the costs of the control system design, program development, commissioning and maintenance. Program execution is more efficient due to scanning active steps only.

M.Stefanović, K.Branković*

REALIZACIJA SERIJSKE KOMUNIKACIJE I DNC-a NA LOLA300 CNC-u

Rezime

Serijska komunikacija i DNC predstavljaju sastavni deo savremenih računara za numeričko upravljanje alatnim mašinama. U ovom radu je prikazana njihova implementacija na računaru LOLA300 CNC, pri čemu se komunikacija obavlja po LSV2 protokolu preko RS232 interfejsa, a kao drugi čvor se može koristiti standardni PC računar, ili čelijski kontroler sa softverskim paketom razvijenim u LOLA Institutu. Posebno su objašnjene specifičnosti realizacije uslovljene formatom programa obrade na CNC-u.

1. UVOD

Uvođenje fleksibilnih proizvodnih sistema kao višeg oblika organizacije proizvodnih procesa, kao i razvojem sistema za automatsko projektovanje tehnologije obrade (CAM) na personalnim računarima, i njihova široka primena u različitim oblastima, uslovlili su da se savremene CNC upravljačke jedinice projektuju tako da se kao obavezni deo sistema podrazumeva serijska komunikacija i DNC.

Klasičan način izrade programa obrade za CNC upravljačke jedinice - u pogonu, razvojem CAM sistema se zamenjuje izradom programa na PC računarima korišćenjem različitih programa i baza podataka razvijenih za rad u ovoj oblasti, a zatim prenosom gotovog programa na CNC. Prenos programa se obavlja po standardnom protokolu kako bi paketi razvijeni za rad mogli da budu korišćeni za različite upravljačke jedinice.

Povezivanje više upravljačkih jedinica u jednu fleksibilnu proizvodnu liniju i upravljanje sa jednog mesta pomoću čelijskog kontrolera zahtevali su da se između svake pojedine upravljačke jedinice (UJ) i kontrolera uspostavi direktna veza (DNC) preko koje kontroler može da upravlja i kontroliše rad svake UJ. I u ovom slučaju se vodi računa o standardizaciji prenosa i formata programa.

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE UJ LOLA300 CNC

LOLA300 CNC spada u savremenu generaciju upravljačkih jedinica (UJ) koje se baziraju na višeprocorskoj 32-bitnoj tehnologiji. Ovde će prvo biti opisane osnovne karakteristike UJ, a kasnije i osobine koje direktno utiču na realizaciju serijske komunikacije i DNC-a. Osnovne karakteristike su[1]:

- integrisani programabilni automat PA2000
- upravljanje do 9 osa kontrolisanih servo modulima
- komunikacija sa korisnikom preko sistema "menija" i prozora
- grafičko programiranje sa projektovanjem tehnologije po ISO6983 standardu i simulacijom obrade
- integrisani softver za programiranje i rad sa programabilnim automatom PA2000
- fleksibilnost sistema za integraciju u CIM i FMS koncept gde DNC predstavlja osnovni element

3. KONCEPT RADNE DATOTEKE

Razvojem UJ LOLA300 CNC došlo se do koncepta *WORKFILE*-a, ili radne datoteke. Pod radnom datotekom se podrazumevaju svi podaci vezani za jedan tehnološki proces, uključujući i sam program obrade. *Workfile* se sastoji od sekcija, pri čemu svaka od sekcija sadrži jednu vrstu podataka koji se definišu tokom generisanja jednog programa.

Važnije sekcije su:

- *Setup* podaci vezani za konfiguraciju mašine i osa
- *GCode* program obrade
- *Tools* alati koji se koriste u programu obrade
- *PlcPrg* program koji izvršava programabilni automat PA2000
- *Geometry* podaci vezani za geometriju komada ukoliko je program generisan korišćenjem CAPPS-a

Sekcija definisana u jednoj radnoj datoteci može se korišćenjem editorskih funkcija UJ iskopirati u drugu radnu datoteku. Ovo je značajno, između ostalog, i zbog mogućnosti da jednom definisana konfiguracija mašine, ukoliko je ostala ista, može da se iskoristi i u svakom drugom programu obrade.

Format *workfile*-a je interni format UJ LOLA300 CNC i kao takvog ga ne može koristiti ni jedna druga upravljačka jedinica. Zbog te činjenice se kod serijske komunikacije i DNC-a vodilo računa da se sekcije koje su potrebne odvoje u ASCII delove koji su razumljivi i drugim računarima.

4. SERIJSKA KOMUNIKACIJA NA LOLA300 CNC-U

Serijska komunikacija na UJ LOLA300 CNC se obavlja preko RS232 interfejsa. Pored štampanja radnog programa sa CNC-a omogućava i razmenu informacija sa drugim računarima.

Kako UJ LOLA300 koristi interni format *workfile-a*, postoji mogućnost prenosa i cele radne datoteke, kao i pojedinih sekcija. Sekcija koja se odnosi na tehnološki program, tj. *GCode* sekcija se u obliku ASCII datoteke prenosi i prima na/za drugog računara. Na taj način se program koji je generisan u nekom od paketa, može preneti na UJ i zatim se interno prebacuje u format radne datoteke funkcijama ugrađenim u operativni sistem CNC-a.

Gledajući sa korisničke strane funkcije koje su vezane za serijsku komunikaciju nalaze se u aplikaciji *Filing*, u podmeniju *Comms*, i to su:

- *Setup Serial* funkcija za konfigurisanje serijske veze
- *Print* štampanje celog programa obrade ili pojedinih sekcija
- *Load Serial* učitavanje celog programa obrade ili pojedinih sekcija
- *Save Serial* slanje celog programa obrade ili pojedinih sekcija

U Lola Institutu je razvijen programski paket, NC-EDITOR, za serijsku komunikaciju između PC i CNC računara ili neke od njegovih periferija. Osim prenosa NC programa preko standardnog RS232 interfejsa, NC EDITOR omogućava rad sa NC programima u PC okruženju[2]. Neke od osnovnih funkcija su formiranje novih NC programa, editovanje postojećih, formatiranje, konverzija u/iz EIA ili ISO koda itd. Pored komunikacije sa UJ LOLA300 CNC, NC EDITOR se može koristiti i za rad sa većinom savremenih CNC računara (BOSCH, FANUC, SINUMERIK...).

5. DNC NA LOLA300 CNC-U

DNC, neposredno numeričko upravljanje, je funkcija koja se kod LOLA upravljačkih jedinica prvi put javlja na LOLA300 CNC-u, i predstavlja neophodni deo svih savremenih CNC računara. DNC je na našoj upravljačkoj jedinici razvijen tako da poštuje standardni LSV2 protokol za komunikaciju preko RS232 interfejsa. Sve razlike koje su vezane za koncept radne datoteke su u ovom slučaju transparentne za korisnika, i sva prebacivanja u oblik *workfile-a*, ili izdvajanje pojedinih sekcija su ugrađena u operativni sistem CNC-a. Na taj način programi koji su razvijeni za rad na nadređenim računarima koji rade po LSV2 protokolu mogu da se primene i za rad sa našom upravljačkom jedinicom.

LOLA300 CNC prelazi u DNC režim aktiviranjem procesa kojim prima komande sa nadređenog računara. Ukoliko proces nije aktivan ne može se uspostaviti komunikacija.

Funkcije koje su predviđene za rad u DNC režimu su sledeće:

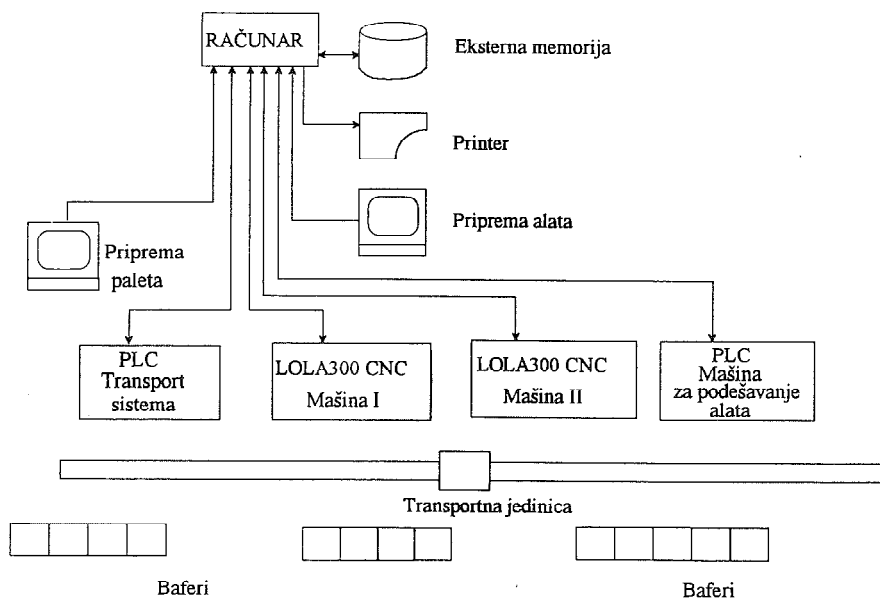
- PREGLED DIREKTORIJUMA CNC-a
- PRIJEM NC PROGRAMA NA CNC
- SLANJE NC PROGRAMA SA CNC-a
- PRIJEM PODATAKA O ALATIMA
- SLANJE PODATAKA O ALATIMA
- STARTOVANJA NC PROGRAMA
- ZAUSTAVLJANJE NC PROGRAMA
- SLANJE PORUKE GREŠKE
- BRISANJE PROGRAMA
- SLOBODNA MEMORIJA

Paralelno sa razvojem DNC-a na LOLA300 CNC-u razvijena je i podrška za DNC na strani nadređenog računara, kod nas personalnog računara, po uzoru na već pomenuti NC-EDITOR. Takođe je u okviru programskog paketa za upravljanje fleksibilnom proizvodnom ćelijom "MGV LOLA-CELLCON" razvijena podrška za DNC.

6. ĆELIJSKI KONTROLER- MGV LOLA CELLCON

MGV Lola Cellcon je softverski paket za upravljanje fleksibilnom proizvodnom ćelijom koju čine dve ili više CNC mašina alatki, automatizovani linijski transportni sistem, nekoliko pripremnih mesta i više baferskih mesta za odlaganje paleta. U okviru upravljačkog modula, za svaku od mašina radi odgovarajući procesni program pod čijom se kontrolom odvija dijalog MGV Lola Cellcon - kontroler odgovarajućeg resursa. Kako je za kontrolere alatnih mašina predviđen i naš LOLA300 CNC za svaki od UJ postoji i program za DNC po LSV2 protokolu koji zadovoljava uslove komunikacije između CNC-a i ćelijskog kontrolera[3].

Na slici je prikazan primer jedne takva ćelije kojom upravlja ćelijski kontroler sa paketom MGV Lola Cellcon, i sadrži dve mašine alatke kojima upravljaju LOLA300 CNC upravljačke jedinice.



Slika 1. Konfiguracija fleksibilne proizvodne ćelije

7. ZAKLJUČAK

S obzirom na razvoj tehnologije na polju računarskih sistema očekuje se da se u daljem razvoju upravljačkih jedinica napušta koncept razvoja glomaznih sistema za programiranje u okviru same UJ, već da se standardizacijom i razvojem programa obrade na personalnom računaru programiranje "u pogonu" zameni sedenjem u kancelariji za računarem, i prenošenjem programa na UJ, koristeći ili neki memorijski medijum, ili serijsku ili paralelnu komunikaciju. Isto tako koncept automatizovanih fabrika zahteva i korišćenje DNC-a kao nezaobilazne funkcije CNC mašina za upravljanje mašina alatki.

8. LITERATURA

- [1] LOLA300 CNC - Tehnička informacija, Lola Institut, Beograd (1991).
- [2] Ivanković S., Zdravković A. , Programski paket za transfer i manipulaciju sa programima za numerički kontrolisane mašine, Zbornik radova ETAN 1992.
- [3] Petkovska G., Hovanec M., Miković V., Opis procesnog nivoa upravljačkog softvera za ćelijski kontroler "MGV LOLA CELLCON", Novi Sad MMA, 1993.

REALIZATION OF A SERIAL COMMUNICATION AND DNC FOR THE LOLA300 CNC

Summary

Serial communication and DNC are components of modern computers for numerically controlled machine tools. This paper presents their implementation in the LOLA300 CNC control unit with the communication based on the LSV2 protocol via RS232 interface. A standard PC or cell controller with software developed at the LOLA Institute is used as the other end. Characteristics of realization which depend on CNC part program format are also given.

11/11/2023 11:11:11 AM

S. Zarić

POUZDANOST LOGIČKIH ELEMENATA

Rezime

Izložen je pristup i postupak proračuna pouzdanosti logičkih elemenata. Istaknute su osobenosti i uslovi rada, koji se bitno razlikuju od rada opštih komponenata tehničkih sistema. Kao specifičnosti navedeni su: karakter signala za ostvarivanje funkcije ulaz/izlaz i uticaj pojedinih otkaza u samom elementu na njegov ispravan rad. Za ilustraciju analiziran je pneumatički logički element, kojim se fizički realizuje funkcija logičkog sabiranja, odnosno funkcija ILI.

1. UVOD

U radu se razmatra pouzdanost logičkih elemenata u sklopu digitalnih sistema, kod kojih se za prenos i obradu informacija koriste diskretni binarni signali. Ističe se da ovi elementi rade pod specifičnim uslovima, bitno različitim od uslova rada opštih tehničkih sistema, zbog čega se analiza i postupci proračuna pouzdanosti moraju sprovesti na poseban način. Razlike se odnose kako u pogledu karaktera signala-binaran-, uslova rada, jer nema dozvoljenih odstupanja - sistem radi ili ne radi-, tako i, posebno, što pojedini otkazi u elementu ne prouzrokuju njegov otkaz-funkcija ulaz/izlaz.

2. POUZDANOST LOGIČKOG ELEMENTA

Logički element ima m ulaznih kanala za prijem binarnih signala, koji predstavljaju logičke promenljive x_i i sačinjavaju uređeni slog X_i ulaznih promenljivih x_1, x_2, \dots, x_m , koji definiše ulazno stanje i jedan izlazni kanal na kome je prisutan izlazni signal, označen logičkom promenljivom y .

U jednom trenutku na ulazu je prisutan jedna od 2^m različitih slogova $X_i = \tilde{x}_1, \tilde{x}_2, \dots, \tilde{x}_m$, $i = 1, 2, \dots, 2^m$, gde \tilde{x}_i označava binarnu vrednost signala /0,1/. Slogovima $X_0/0,0,\dots,0/$ do $X_{2^m-1}/1,1,\dots,1/$ kodirane su ulazne informacije.

* Svetislav Zarić, profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu u penziji.

Logički element u svom sklopu ima različite sastavne delove /elemente/ posredstvom kojih vrši svoju funkciju, a svaki od 2^m ulaznih slogova X_i aktivira različite sastavne elemente koji mogu, sa svoje strane, imati različite pouzdanosti. Proizilazi da logički elementi imaju različite brzine otkaza za različita ulazna stanja, zbog čega su za određivanje pouzdanosti potrebne dve grupe podataka i to:

- pouzdanost logičkog elementa za različite ulazne slogove X_i
- verovatnoća P/X_i pojavljivanja tih slogova.

Što se tiče prve grupe podataka, da bi se izračunala pouzdanost jednog logičkog elementa, potrebno je znati njegovu strukturu, jer se on posmatra kao sklop sastavljen iz odgovarajućih elemenata. Ako logički element ima m ulaznih kanala, jedan izlazni kanal i k sastavnih elemenata, koji mogu da imaju različite brzine otkaza, treba ispitati 2^k teorijski mogućih kombinacija za 2^m ulaznih slogova. Otkazi označeni sa z_j , $j=1,2,\dots,k$ imaju vrednost 1 ako je otkaz prisutan, ili 0 ako otkaza nema, a okarakterisani su brzinama otkaza $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_k$.

Kako se logički elementi grade sa visokom pouzdanošću, to su otkazi male veličine, pa će kombinacije sa više jednovremenih otkaza biti male veličine višeg reda, tako da se za proračun, sa dvojnomo tačnošću, može računati samo sa jediničnim /samo jedan otkaz u istom trenutku/. Ovo se može dopuniti i time da se radni ciklus logičkog elementa odvija vrlo brzo, što isključuje mogućnost pojave više otkaza istom trenutku.

Na osnovu ove konstatacije se 2^k mogućih kombinacija otkaza svodi na $k+1$ kombinaciju po ulaznom slogu X_i . Važno je pri ovome podvući da pouzdanost logičkog elementa ne zavisi samo od brzine otkaza λ_j , već i od uticaja otkaza na izlaz elementa, tj. od principa njegovog rada.

Što se tiče otkaza, jedinični otkazi ne moraju dovesti do otkaza logičkog elementa, što zavisi od funkcionalne zavisnosti ulaz/izlaz, odnosno od tipa logičkog elementa. Ako se uzme u obzir, da se pri različitim ulaznim stanjima, izraženih slogovima X_i , aktiviraju različiti sastavni elementi logičkog elementa, proizilazi važan zaključak da se ukupna pouzdanost mora određivati posebno za svako ulazno stanje.

Za ilustraciju postupka određivanja pouzdanosti, razmatraće se klipni razvodnik 3/2 sa jednostranim aktiviranjem i povratnom oprugom /monostabilan/, prikazan na slici 1, koji vrši funkciju logičkog elementa ILI /logičko sabiranje/, čiji je opis rada, odnosno matematički model, izražen sledećom logičkom jednačinom:

$$y = x_1 + x_2$$

Otkazi koji mogu dovesti do neispravnog rada su:

z_1 - otkaz u pilotskom klipu, gde se dejstvom signala x_1 pokreće klip razvodnika u desni položaj

z_2 - otkaz usled zaglavljivanja klipa razvodnika

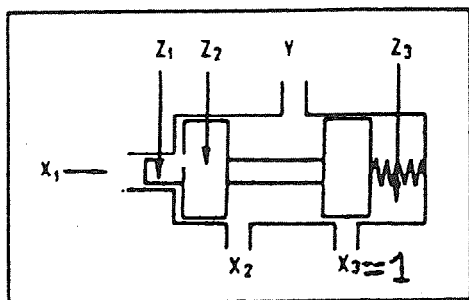
z_3 - otkaz usled pucanja opruge

Svi navedeni otkazi imaju slučajan karakter i definisani su brzina otkaza λ_j , a kako je ona, što je obično, konstantna za period normalne eksploatacije, to se pouzdanost, saglasno Teoriji pouzdanosti, sračunava iz formule:

$$R/t = \exp /-\lambda t/ \quad (1)$$

gde je t vreme za koje se proračun sprovodi.

Kao osnova za proračun služi tabela 1, za sve moguće ulazne slogove od $X_0/00/$ do $X_{2^m-1}/11/$, pri čemu promenljiva $z_j=0$ označava da nema, a $z_j=1$ da ima otkaza, dok veličina y_{nom} predstavlja izlaz ispravnog, a y' neispravnog logičkog elementa prouzrokovana otkazom.



Sl. 1

Svakom ulaznom slogu X_i odgovara $k+1=3+1=4$ kombinacija jediničnih otkaza, što je u tabeli prikazano istim brojem vrsta, dok ukupan broj vrsta tabele iznosi $/k+1/2^m = /3+1/2^2 = 16$.

U tabeli se vidi da su vrednosti izlaza ispravnog i neispravnog logičkog elementa u pojedinim vrstama različite, pa se izdvajaju dva skupa:

A_i - skup vrsta koji odgovara slogu X_i u kome je:

$$y_{nom} = y'$$

B_i - skup vrsta koji odgovara slogu X_i u kome je:

$$y_{nom} \neq y'$$

Tabela 1

x_i	x_1	x_2	z_1	z_2	z_3	y_{nom}	y'
X_0	0	0	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	1	0	1
	0	0	0	1	0	0	1
	0	0	1	0	0	0	0
X_1	0	1	0	0	0	1	1
	0	1	0	0	1	1	1
	0	1	0	1	0	1	1
	0	1	1	0	0	1	1
X_2	1	0	0	0	0	1	1
	1	0	0	0	1	1	1
	1	0	0	1	0	1	0
	1	0	1	0	0	1	0
X_3	1	1	0	0	0	1	1
	1	1	0	0	1	1	1
	1	1	0	1	0	1	1
	1	1	1	0	0	1	1

Očigledno da skup A_i odgovara skupu povoljnih događaja u smislu po pouzdanosti, jer definiše ispravan rad logičkog elementa, tako da se do pouzdanosti $R/t/$ za slog X_i dolazi sabiranjem verovatnoća realizacije veza skupa A_i . Analogno se za nepouzdanost $Q/t/$ dolazi sabiranjem verovatnoća vrsta iz skupa B_i . Koji će se od ovih skupova izabrati za proračun, zavisi od broja vrsta iz skupa A_i ili B_i . Pošto se otkazi mogu posmatrati kao nezavisni događaji, a pojavljivanje njihovih kombinacija X_s kao disjunktivi događaji, koji sačinjavaju potpuni sistem događaja, to se $Q/t/$ za vreme $0+t$ za proizvoljno ulazno stanje X_i određuje iz jednačine:

$$Q /X_i,t/ = 1 - \sum_h \prod_r R_{mr} Q_{ms} \quad (2)$$

$$h \in A_i \quad r \in a_m \quad s \in b_m$$

gde je: h - sumiranje po vrstama iz skupa A_i , r - indeks j promenljivih z_j u datoj vrsti koja pripada skupu a_m , gde su $z_j=0$, s - indeks j promenljivih z_j u datoj vrsti koja pripada skupu b_m , gde su $z_j=1$.

Verovatnoća pojavljivanja otkaza, tj. nepouzdanost logičkog elementa može se odrediti i iz jednačine:

$$Q /X_i,t/ = \sum_h \prod_r R_{mr} \prod_s Q_{ms} \quad (3)$$

$$h \in B \quad r \in a_m \quad s \in b_m$$

Koja će se od ovih jednačina koristiti, zavisi od toga koji od skupova A_i ili B_i sadrži manji broj vrsta.

Uzimajući u obzir da se u svakoj vrsti tabele 1, izuzimajući vrste u kojima nema otkaza /gde su svi $z_i=0/$, pojavljuje samo jedan otkaz, tabela 1 se može redukovati. Postupak je sledeći: za svaki jedinični otkaz, tj. kada je jedna od promenljivih $z_j=1$, a ostale $z_i=0$, zapišu se u preseku odgovarajuće vrste i kolone vrednosti izlaza y' . Time će svakom ulaznom slogu X_i , koji sadrži $k+1$ vrstu odgovarati jedna vrsta, tako da će se tabela 1 sa $/k+1/2^m$ vrsta svesti na 2^m vrsta i dobiti redukovana tabela 2.

Tabela 2

X_i	x_1	x_2	Y_{nom}	y'		
			$z_i=0$	z_1+1	z_2+1	z_3+1
X_0	0	0	0	0	1	1
X_1	0	1	1	1	1	1
X_2	1	0	1	0	0	1
X_3	1	1	1	1	1	1

S obzirom da se pri izračunavanju verovatnoće pojave otkaza, tj. nepouzdanosti, uzimaju samo jedinični otkazi, to će se jednačina /3/ izmeniti i dobiti sledeći oblik:

$$Q /X_i,t/ = \sum_{i=1}^K \prod R_i /X_i,t/ Q_s /X_i,t/ = \sum_{i=1}^K \prod R_i /X_i,t/ \frac{Q_s /X_i,t/}{R_s /X_i,t/} \quad (4)$$

Koristeći tabelu 2, nepouzdanost za svaki slog X_i iznosi:

$$\begin{aligned}
Q(X_0, t) &= Q_{2(z_2=1)} \prod_{i=1}^3 R_i + Q_{3(z_3=1)} \prod_{i=1}^3 R_i = \prod_{i=1}^3 R_i \left(\frac{Q_2}{R_2} + \frac{Q_3}{R_3} \right) = R_0 \left(\frac{Q_2}{R_2} + \frac{Q_3}{R_3} \right) \\
&= \exp\left(-\sum \lambda_j t\right) \left[\frac{1-e^{-\lambda_2 t}}{e^{-\lambda_2 t}} + \frac{1-e^{-\lambda_3 t}}{e^{-\lambda_3 t}} \right] \\
Q(X_2, t) &= R_0 \left(\frac{Q_1}{R_1} + \frac{Q_2}{R_2} \right) = \exp\left(-\sum \lambda_j t\right) \left[\frac{1-e^{-\lambda_1 t}}{e^{-\lambda_1 t}} + \frac{1-e^{-\lambda_2 t}}{e^{-\lambda_2 t}} \right]
\end{aligned}$$

Za slogove X_1 i X_3 i kada su prisutni svi otkazi, logički element daje ispravan izlaz, tako da njihove nepouzdanosti iznose:

$$Q | X_1, t | = Q | X_3, t | = 0$$

Sama pouzdanost određuje se iz jednačine:

$$R | X_p, t | = 1 - Q | X_p, t | \quad (5)$$

Logički element služi za realizaciju logičkih funkcija. Operiše sa binarnim signalima, zbog čega fizički poseduje dva stanja. Ovakav način rada uslovljava poseban pristup analizi njegove pouzdanosti, što je izloženo u priloženom radu, uz napomenu da svaki otkaz u sastavnim elementima ne mora izazvati otkaz samog elementa.

3. LITERATURA

- [1] Blahchard, S., Logistic Engineering and Management, Prentice-Hall, Inc, New Jersey, 1974.
- [2] Dombrowsi, E., Einfuhrung in die Zuverlassigkeit elektronisher Gerate und Systeme, AEG - Telefunken, 1970.
- [3] Domanicki, M., Rasčet nadežnosti logičeskih elementov i odnotaktnih sistem upravljenja, Avtomatika i telemehanika, Moskva, Tom XXVI, 1965.
- [4] Muždeka, S., Logistika - logističko inženjerstvo, Institut "Boris Kidrič", Vinča, 1981.

S. Zarić

RELIABILITY OF LOGICAL ELEMENTS

Summary

An approach and a procedure for calculating the reliability of logical elements are given in the paper. Particularities and working conditions which are essentially different from the operation of general technical systems components are pointed out. The following particularities are given: input/output function signal characteristics and the influence of an element's particular warnings on its correct operation. A pneumatic logical element used for the realization of logical addition, i.e. OR function, was analyzed as an illustration.

M. Glavonjić, M. Kalajdžić¹

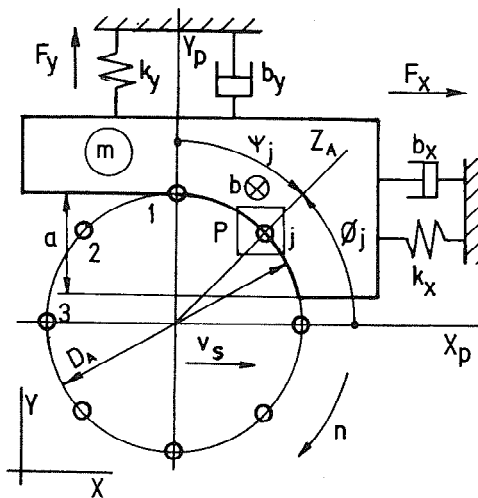
SIMULACIJA PROCESA GLODANJA

Rezime

U radu je sažeto prikazano korišćenje rezultata simulacije procesa glodanja u vremenskom domenu uključujući i razmatranje osnovne nelinearnosti procesa, koja se manifestuje izlaskom alata iz zahvata sa obratkom kada se jako poveća amplituda vibracija. Pokazan je i primer prelaska sa stabilnog na nestabilno rezanje sa prolaznim sopstvenim vibracijama sistema izmedju svaka dva uzastopna ulaska zupca u proces.

1. UVOD

Pretpostavlja se da noseća struktura ima dva upravna stepena slobode i da je proces rezanja linearan, slika 1. U zoni rezanja P sile rezanja su srazmerne tekućem preseku strugotine $a_j b$ [mm²] sa konstantnim koeficijentom k_s [N/mm²], nezavisnim od tog preseka. Zona P postoji za svaki zubac u zahvatu, numerisan sa 1, 2, 3, ..., z, kako je naznačeno na slici 1. Osa alata se kreće brzinom v_s [mm/min]. Alat je oštar i centričan sa konstantnim lučnim korakom svakog od z zubaca i brojem obrta n . Obradak je na nosećoj strukturi, koja se može pokretati samo u pravcima X i Y, sa krutostima k_x i k_y [N/m] i koeficijentima podkritičnog viskoznog prigušenja b_x i b_y [kg/s]. Pokretna masa je m [kg]. Noseća struktura je ovde jedan



Slika 1: Model procesa glodanja

¹ dr Miloš Glavonjić, van. prof., dr Milisav Kalajdžić, red. prof. Mašinski fakultet, Beograd, 27. marta 80

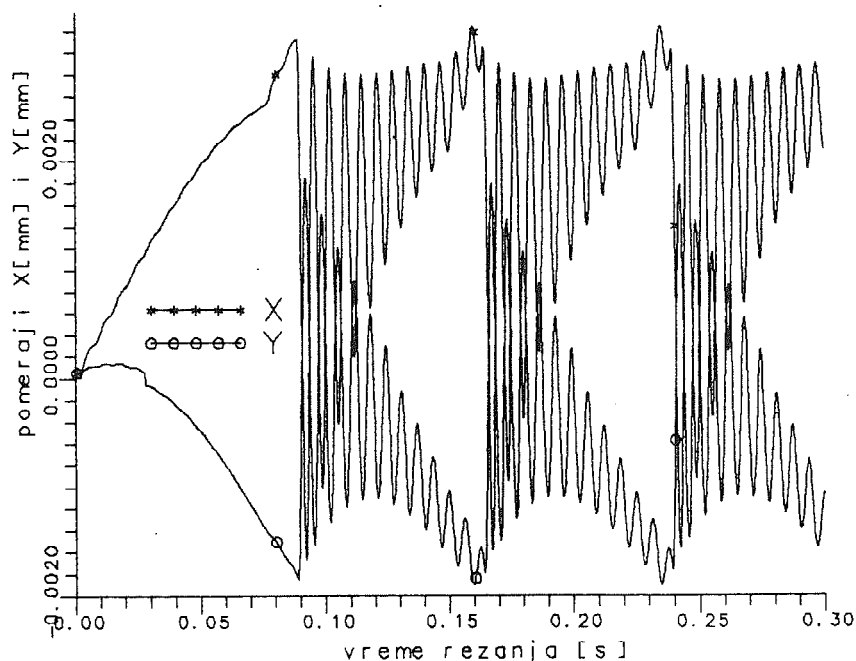
četvorkomponentni dinamometar, koji je opterećen u ravni (X,Y) i postavljen tako da su mu pravci pokretljivosti X i Y kao na slici 1 (v_s paralelna sa X, bez opterećenja i kretanja u svom pravcu Z i zanemarivim zakretanjem oko svoje ose Z)[1-3]. Za proces je bitna osa Z_A svakog uočenog zupca u zahvatu sa obratkom, po kojoj se meri tekuća dubina rezanja $a_0 = s_s \sin(\psi)$, $s_s [mm/z] = v_s / (nz)$, $\psi_j = \omega t_j$, $\omega = \pi n / 30$, $\varnothing_j = (\pi/2) - \psi_j$. Diferencijalne jednačine kretanja ovog modela su:

* prva: $m(d^2x/dt^2) + b_x(dx/dt) + k_x x = F_x$

* druga: $m(d^2y/dt^2) + b_y(dy/dt) + k_y y = F_y$

Po ovim jednačinama je napravljena simulacija kretanja modela programom [4] i detaljno tumačena u radovima [1-3]. Ovde se pokazuju rezultati simulacije u vremenskom domenu ovog modela sa sledećim parametrima: $k_s = 1500 N/mm^2$, $m = 20 kg$, $b = 2 mm$, $k_x = k_y = 1.9 \times 10^7 N/m$, $v_s = 20 mm/min$, $a = 20 mm$, $n = 100 min^{-1}$, $D_A = 100 mm$, $z = 8$, $b_x = b_y$ i podešeno tako da bezdimenzioni koeficijenti prigušenja za oba pravca oscilovanja budu po 0.06.

2. KRETANJA OSE GLODALA I NOSAČA OBRATKA



Slika 2: Zapisi pomeraja nosača obratka

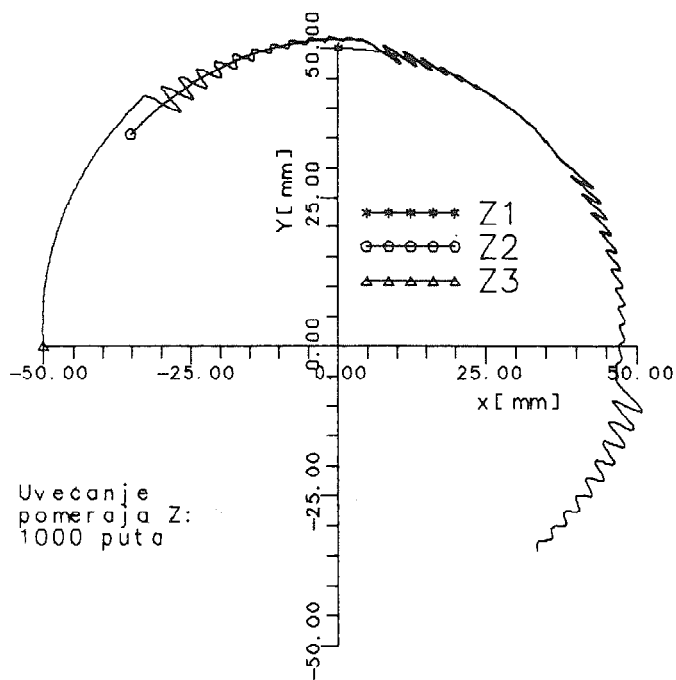
Izračunavanje sila u zoni rezanja P na slici 1 vrši se u specijalnim elementima, dopisanim u programu CSMP za ovu priliku [1-4]. Izračunava se sila rezanja na svakom zupcu, onda i ukupna, kojom je opterećen nosač obratka. Uračunava se promena tekuće dubine rezanja od oscilovanja vrha uočenog zupca, od iraga oscilovanja prethodnog zupca na tom uglu \varnothing_j i od brzine pomoćnog kretanja v_s . Ako je oscilovanje tako uspostavljeno da se izračuna a_0 negativno, onda to znači da je zubac izašao iz zahvata sa obratkom, pa se sila postavlja na

nulu. Kao rezultat simulacije ovde je korišćeno pomeranje nosača obratka u pravcima X i Y, kao posledice sila sa svih zupaca glodala u zahvatu sa obratkom. Na slici 2 su pokazani počeci zapisa $X(t)$ i $Y(t)$ za nosač obratka, do $t=0.3s$. Oni se u tom obliku nastavljaju i dalje. Uočava se ulazak drugog zupca malo pre izlaska prvog iz procesa. Tom prilikom se čini poremećaj u modelu. Posledice su vidljive kao oscilovanje u oba pravca naizgled jednakim frekvencama oko nominalnog kretanja kao posledice brzine v_s sa slike 1.

Sa tim kretanjem se može rekonstruisati relativno kretanje alata u odnosu na obradak, tako što se kretanje $X(t)$ obratka prevodi u $x_p(t)$, kretanje $Y(t)$ obratka u $y_p(t)$, dok se kretanje ose alata opisuje kao $v_s t$. Za svaki pojedinačni zupac sa rednim brojem j , prema slici 1, izraunava mu se položaj vrha pomoću koordinata (x_p, y_p) , prevodjenjem (x_p, y_p) u kretanje alata promenom predznaka:

$$x_j = v_s t - f x_p + (D_A/2) \cos(\varnothing_j) \quad \text{i} \quad y_j = -f y_p + (D_A/2) \sin(\varnothing_j)$$

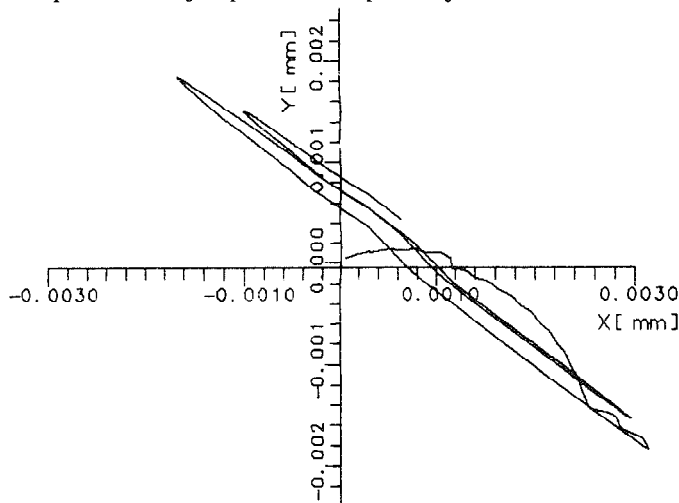
Ovde je postavljeno $j=1,2,3$, što znači da je računato samo kretanje zupaca tog rednog broja sa slike 1, radi preglednosti, ali i sa faktorom f uvećanja da bi se oscilovanje moglo uočiti. Na slici 3 pokazan je sam početak obrade za tri lučna koraka zupca, tako da prvi zupac (Z1) dostigne $\psi_1=3\pi/4$, Z2 $\psi_2=2\pi/4$ i Z3 $\psi_3=\pi/4$, sve sa uvećanjem pomeraja x_p i y_p od 1000, tako da se tragovi sva tri zupca preklapaju samo nad ψ_3 , još uvek u dodiru sa obratkom na dubini od $a=20mm$.



Slika 3: Putanje vrha zupaca broj 1, 2, 3

Može se uočiti izvesna usmerenost pravca oscilovanja, što se može bolje videti na slici 4. To je trajektorija kretanja nosača obratka, od početka obrade samo do 0.1s, gde se može uočiti početak obrade bez oscilovanja, ulazak drugog zupca u zahvat i izlazak prvog, radi čega je započelo oscilovanje. Za strugarsku obradu ovo bi bio primer nestabilnog rezanja, koje se

manifestuje slaganjem dve sinhronne oscilacije, sa frekvencom samopobudnih vibracija, po približno istom pravcu, kada je i pravac sile nepromenljiv.



Slika4: Kretanje nosača obratka u prvih 0.1s

3. PROMENLJIVOST PRESEKA STRUGOTINE

U pravcu Z_A , sa slike 1, meri se trenutna debljina strugotine uočenog zupca j , koji je u zahvatu pod svojim uglom ψ_j uz ove pretpostavke:

- * u zahvatu je jedan ili dva zupca, jer je ugao obuhvata alata prečnika 100mm i obratka sa dubinom rezanja 20mm oko 53 stepena, a lučni korak zupca je $360/8=45$ stepeni, pa drugi zubac stoji u zahvatu na oko 8 stepeni kada prvi izlazi,

- * trenutna debljina strugotine $a_{0j}=s_z \sin(\psi_j)$ podrazumeva da je debljina strugotine na $\psi_j=0$ tačno nula, čime se zanemaruje pomeranje ulaska narednog zupca za s_z od mesta ulaska prethodnog, dakle, smatra da debljina strugotine na $\psi_j=0$ jeste nominalno nula,

- * posmatraju se samo tri zupca, od kojih je prvi pred ulaskom u zahvat, kao na slici 1, pa se o tekućem preseku strugotine može doneti zaključak samo za drugi ($j=2$) u odnosu na prvi ($j=1$) i treći ($j=3$) u odnosu na drugi ($j=2$), dok prvom zupcu debljina strugotine zavisi od traga prethodnog, koji ovde nije posmatran, ili od izgleda površi za obradu.

Izračunavanje pomeranja vrha zupca j , po njegovoj osi Z_j , teče ovako:

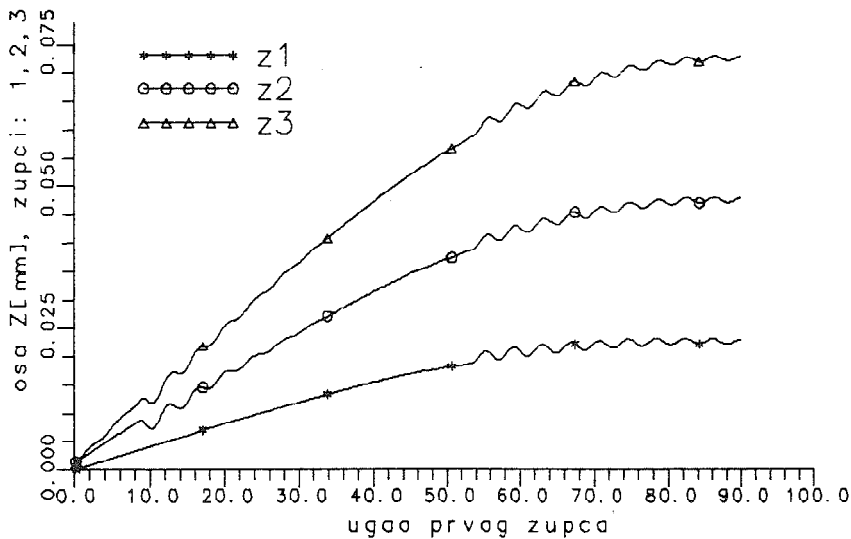
- * postavse početne vrednosti uglova \varnothing_{jp} $j=1,2,3$: $\varnothing_{jp}=(j+1)\pi/4$,

- * pušta se da vreme teče u odmercima Δt , u kojima su dobijeni zapisi x_p i y_p iz [4]: $t=m_p \Delta t$, $m_p=1,2,\dots,m_{0m}$, $m_{0m}=(2+r)m_p$, $m_1=60/(nz\Delta t)$, r je broj lučnih koraka zupca, nad kojim se izračunava debljina strugotine, u ovom slučaju bar nešto iznad 1, jer je ugao obuhvata oko 53 stepena,

- * izračunava se tekući ugao svakog zupca: $\varnothing_j=\varnothing_{jp}-\omega t$,

- * izračunava se $z_j=d_1 \cos(\varnothing_j)+d_2 \sin(\varnothing_j)$, gde je $d_1=js_z-f_j x_p(m_p)$; $d_2=-f_j y_p(m_p)$, sa f_j kao faktorom, sa kojim se može pomnožiti pomeraj od oscilovanja, da bi se mogao lakše uočiti,

- * crtaju se uporedo vrednosti za z_j od prve do vrednosti sa rednim brojem m_p potom od m_i+1 do $2m_i$ i od $2m_i+1$ do $3m_i$. Između tih linija je prostor istovetan trenutnoj debljini strugotine, koji varira oko nominalnog $s_z=0.025mm$.



Slika 5: Radijalno kretanje vrha zubaca 1,2,3

Na slici 5 je pokazan rezultat ovog računa kao da je ugao obuhvata 90 stepeni ($a=50mm$), koji sadrži i $a=20mm$. Oscilovanjem se ne gubi dodir zupca glodala i obratka. Faktor uvećanja pomeraja je ovom prilikom: $f_1=1$.

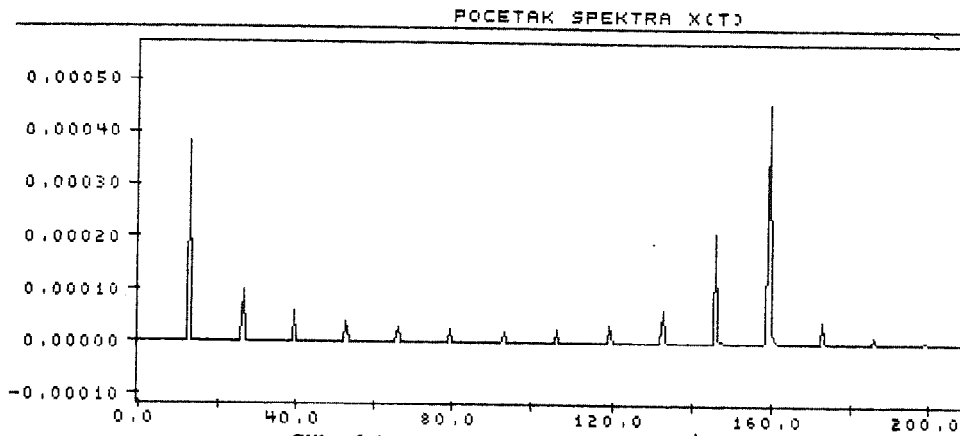
4. ZAKLJUČAK

Ova analiza se može proširiti na opis i predikciju samopobudnih vibracija u procesu (obimnog) glodanja. Tada se mogu formulisati karte stabilnosti obradnog sistema u vremenskom i frekventnom domenu[6]. Postavljeni modeli obradnog sistema za obradu glodanjem sa sprežanjem položaja bitno se razlikuju od takvog prvobitnog postavljenog za strugarsku obradu, jer se menja pravac i intenzitet sile po svakom zupcu, a da to nije posledica nestabilnog procesa. U glodanju postoje tri gradacije kretanja alata u odnosu na obradak:

* obrada bez oscilovanja, kada se obradni sistem može smatrati krutim i kada se sile na zupcima glodala menjaju samo srazmerno promeni preseka strugotine i ulaska i izlaska zubaca iz procesa, pa kretanja i nema,

* obrada sa oscilovanjem sopstvenom frekvencom mašine izmedju svaka dva uzastopna ulaska zubaca u proces, što je formalno nalik samopobudnim vibracijama u strugarskoj obradi, ali se ovde dešava ispod granice stabilnosti u karti stabilnosti i smatra se stabilnim rezanjem. Po tome se u literaturi čak predlaže da se obrada glodanjem podesi tako da frekvencia ulaska zubaca glodala u proces bude istovetna (jednoj) sopstvenoj frekvenci sistema[5-7],

* obrada sa samopobudnim vibracijama na frekvenci različitoj od sopstvenih frekvenci sistema. U ovom radu su pokazani rezultati simulacije jednog stabilnog procesa glodanja, u verziji sa oscilovanjem sopstvenom frekvencom sistema. Na slici 6 pokazan je početak spektra snage pomeraja nosača obratka po osi X, kakav je pokazan na slici 2, u kome se vidi izražena amplituda na nižoj frekvenci od oko 13Hz, kolika je od periodičnog izlaženja zubaca ($(nz/6013Hz)$) i na višoj od oko 160Hz, kolika je približno sopstvena frekvencia nosača obratka u oba koordinatna pravca[1-3].



Slika 6: Pocetak spektra signala X(t)

5. LITERATURA

- [1] Glavonjić, M., Kalajdžić, M., Tanović, Lj., Kokotović, B., Uzelac, B., Model strukture mašine alatke, V Medjunarodna naučno-stručna konferencija MMA 94, Novi Sad, 1994, Zbornik radova, knjiga I, 187-192
- [2] Kalajdžić, M., Glavonjić, M., Tanović, Lj., Kokotović, B., Uzelac, B., Model procesa glodanja, V Medjunarodna naučno-stručna konferencija MMA 94, Novi Sad, 1994, Zbornik radova, knjiga I, 285-293
- [3] Kokotović, B., Uzelac, B., Tanović, Lj., Glavonjić, M., Kalajdžić, M., Identifikacija dinamike obradnog sistema, V Medjunarodna naučno-stručna konferencija MMA 94, Novi Sad, 1994, Zbornik radova, knjiga I, 309-314
- [4] N.N., 1130 Continuous System Modeling Program, Program Description and Operations Manual, Program Number 1130-cx-13x, IBM, 1969
- [5] Smith, S., Thusty, J., An Overview of Modeling and Simulation of the Milling Process, Journal of Engineering for Industry, Vol. 113, May 1991, 169-175
- [6] Smith, S., Thusty, J., Efficient Simulation Programs for Chatter in Milling, CIRP Annals, 1993, Vol. 42/1, 463-466
- [7] Thusty, J., Ismail, F., Basic Non-Linearity in Machining Chatter, CIRP Annals, 1981, Vol. 30/1, 299-304

SIMULATION OF THE MILLING PROCESS

Summary

This paper outlines the use of the results of a time-domain simulation of a milling process including the consideration of the basic non-linearity of the process which is due to the fact that with increased vibration the tool starts to move outside of the cut. The transition between stable and unstable cutting with the transient natural vibrations per every tooth period is demonstrated.

Z. Miljković*

SIMULACIJA RADA INSEKT ROBOTA

Rezime

Insekt robot predstavlja novu generaciju inteligentnih autonomnih mikrorobota, koji svoje autonomno ponašanje iskazuju preko potpuno novog pristupa veštačkoj inteligenciji u robotici. U radu se daju rezultati istraživanja, koji kroz kompjutersku simulaciju rada insekt robota verifikuju postavljeni koncept. Simulacija rada insekt robota je realizovana korišćenjem simulacionog programskog paketa **INSEKT**.

1. UVOD

U oblasti nauke o projektovanju razvijen je koncept Inteligentnog Autonomnog Mikrorobota (**IAM**) kao nove vrste inženjerskog proizvoda [1,2,4]. Trenutno se u Laboratoriji za veštačke insekte (**Artificial Insect Laboratory**) na MIT-u (**Massachusetts Institute of Technology**) pod rukovodstvom **Prof. Rodney Brooks**-a intenzivno radi na istraživanju u oblasti inteligentnih autonomnih mobilnih robota, koji inteligentno ponašanje zasnivaju na inteligenciji insekta. Otuda i toj novoj kategoriji naziv **INSEKT ROBOT**. Inteligentno ponašanje insekt robota obuhvata elementarna ponašanja poput izbegavanja prepreka, praćenja ivice objekata, istraživanja okoline i sl. Inteligentni upravljački sistem insekt robota podrazumeva paralelan pristup svakom od elementarnih nivoa ponašanja, pri čemu viši nivoi mogu u zavisnosti od kompleksnosti zadatka (npr. montaža čipa na štampanoj ploči) uključiti i niže nivoe [3,5].

Istraživanja u **LABORATORIJI ZA VEŠTAČKE INSEKTE (Artificial Insect Laboratory)** na MIT-u (**Massachusetts Institute of Technology**) pod rukovodstvom **Prof. Rodney Brooks**-a, ukazuju na mogućnosti korišćenja tehnika za simulaciju veštačkog života pri razvijanju programa za upravljanje fizički oličenih mobilnih robota. Naime, ključne ideje koje su tim istraživanjem proverene mogu se svesti na sledeće:

- * Evolucija upravljačke strukture treba da teče paralelno sa evolucijom morfologije robota, što znači da se to može simulirati progresivnim uključivanjem većeg broja senzora i aktuatora kao što se i nivoi ponašanja razvijaju prema onim nivoima koji su već operativni;
- * Postoje realne metodološke opasnosti pri korišćenju simulacije kao sredstva za testiranje, jer da bi se razvili programi koji na kraju treba da pokrenu fizičke robote

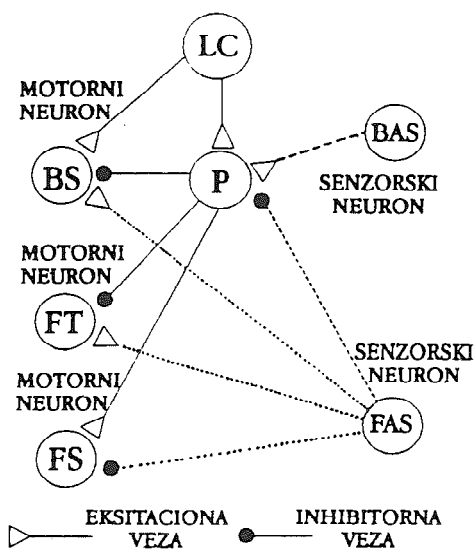
* mr Zoran Miljković, asistent, Mašinski fakultet, Beograd

izuzetna pažnja se mora posvetiti razvoju režima validnosti.

U Laboratoriji za industrijsku robotiku i veštačku inteligenciju Katedre za proizvodno mašinstvo u Beogradu razvijen je simulacioni programski paket **INSEKT** koji je kroz kompjutersku simulaciju rada insekt robota verifikovao postavljeni koncept inteligentnog autonomnog mikrorobota [4]. Ovaj rad ima za cilj da prezentira simulacioni programski paket **INSEKT** kroz osnovnu funkciju insekt robota, a to je lokomocija (kretanje) prilikom "istraživanja" objekata u radnom ambijentu. Upravljački algoritmi koji ostvaruju inteligentno adaptivno ponašanje insekt robota bazirani su na neuronskim mrežama, kao i kompjuterska simulacija rada insekt robota.

2. LOKOMOCIJA (KRETANJE) INSEKT ROBOTA

Lokomocija (kretanje) insekt robota predstavlja njegovu osnovnu funkciju, tako da neuronski lokomocioni kontroler mora da koordinira pokrete svih šest nogu robota, kako bi se ostvarilo zadovoljavajuće hodanje. Insekt robot, da bi ostvario zadatak nametnuto ponašanje (montaža čipa), mora da poseduje mogućnost da se kreće kroz radnu sredinu različitim brzinama, bez promene stabilnosti. Zato je lokomocioni kontroler robustan, tako da male smetnje hodu robota, poput kolizije sa objektima iz okoline, ne mogu ga ozbiljno ugroziti. Neuronski lokomocioni kontroler je šematski prikazan na slici 1. Neuroni na levoj strani šeme kola kontrolera su motorni neuroni koji upravljaju nogom insekt robota, dok su neuroni na desnoj strani senzorski neuroni. Prema slici 1. P predstavlja "pejsmejker" neuron čija pobudjivačka frekvencija varira ritmično, a LC je komandni neuron koji koriste svi kontroleri rada nogu insekt robota.



Sl. 1. Šematski prikaz neuronskog lokomocionog kontrolera

Eksitacione veze su prikazane kao trouglovi, a inhibitivne veze kao popunjeni crni krugovi. Osnovni centralni patern-generator je prikazan punim linijama, zatim isprekidane linije reprezentuju senzorske povratne veze i na kraju tačkaste linije prikazuju veze koje uključuju i reflekske.

3. OPIS RADA SIMULACIONOG PROGRAMSKOG PAKETA INSEKT

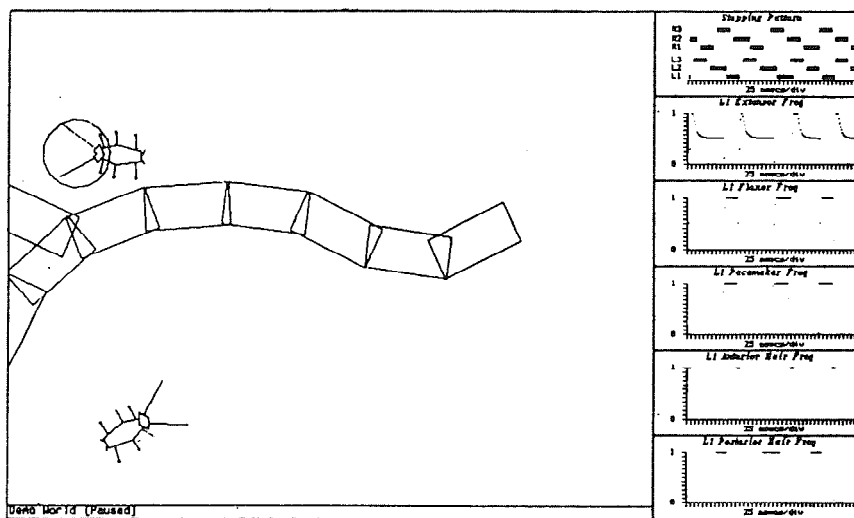
Simulacioni programski paket **INSEKT** je razvijen na osnovama koje su postavili **Pat** i **Greg Williams** u okviru software-a [6], koji je zasnovan na neuronskim mrežama. Programski paket **INSEKT** predstavlja potpuno novi pristup veštačkoj inteligenciji u robotici, urađen je u programskom jeziku **TURBO C** [7] i u odnosu na osnovni software [6] uvedeni su i kreirani novi neuroni i neuronske mreže.

Program "**INSEKT**" se aktivira pozivanjem fajla **buba.exe** koji ima zadatak da inicira izvorni program **ns87.exe**. Postoje dva tipa fajlova koji se koriste u okviru glavnog programa:

"neuron-files" koji odredjuju neuronski sistem projektovane strukture IAM i "environment files" koji odredjuju konfiguraciju okruzenja i inicijalne zahteve. Operativna verzija poseduje cetiri seta neuronskih fajlova i fajlova okruzenja: L3R3.NEU i L3R3.ENV, WANDER.NEU i WANDER.ENV, EDGE.NEU i EDGE.ENV, APP3.NEU i APP3.ENV.

U desnom delu ekrana, za svc vreme simulacije, moguće je pratiti frekventni odziv specificiranih neurona koji su u datom trenutku inicirani na aktuatorima nogu **insekt robot**. Donji deo ekrana nudi opcije rada u "single-stepping" modu, koji se startuje pritiskom na SPACE, zatim pruža uvid u simulaciono vreme za koje se svaki pokret grafički prikazuje na ekranu ("D:2" znači da je simulaciono vreme 0.020 sekundi; "D:4" znači da je 0.040 sekundi; "D:8" ... "D:16" ... "D:32" ... "D:64"), a pritiskom na ESC, u ma koje vreme, je moguć povratak u glavni meni. Broj koji se nalazi pored oznake za simulaciono vreme "D:2" označava nivo energije kojom raspolaze **insekt robot**. Maksimalna energija je data preko 999 jedinica, a za vreme simulacije nivo energije opada za po jednu jedinicu posle svakih 0.080 sekundi simulacionog vremena. Modifikacija parametara, kao to su sopstvena struja neurona, funkcionalni parametri senzora i motora, sinaptičke veze i sl. se u interaktivnom radu sa programom jednostavno izvršava.

Pored navedenih opcija, postoje i mogućnosti inicijalizacije uslova simulacije ("Initialize conditions"), pri čemu se može promeniti pozicija i orijentacija robota, kao i nivo energije. Softverski paket **INSEKT** poseduje i program za animaciju (NSPLAY.EXE) modifikovanih neuronskih fajlova, kao i program NSPRINT.EXE za stampanje neuronskih parametara koji su učestvovali u simulaciji.



Sl. 2. Prikaz ekrana simulacionog programskog paketa INSEKT

4. PRIMER PROJEKTOVANE STRUKTURE INSEKT ROBOTA

Simulacioni programski paket **INSEKT** prikazuje **insekt robot**, koji je određen preko svojih fizičkih i neuronskih parametara. **Insekt robot** fizički, a i njegov nivo inteligencije, odgovara realnom insektu, tako da precizni layout simulacionog modela, prikazan na slici 3, pruža detaljan uvid u strukturu robota.

U okviru istog koordinatnog sistema određene dužine nogu su 17, 15 i 17 za prednje, srednje i zadnje noge, respektivno. Ove dužine su određene za slučaj kada su noge podignute. Ugao rotacije u zglobu svake noge je limitiran u granicama

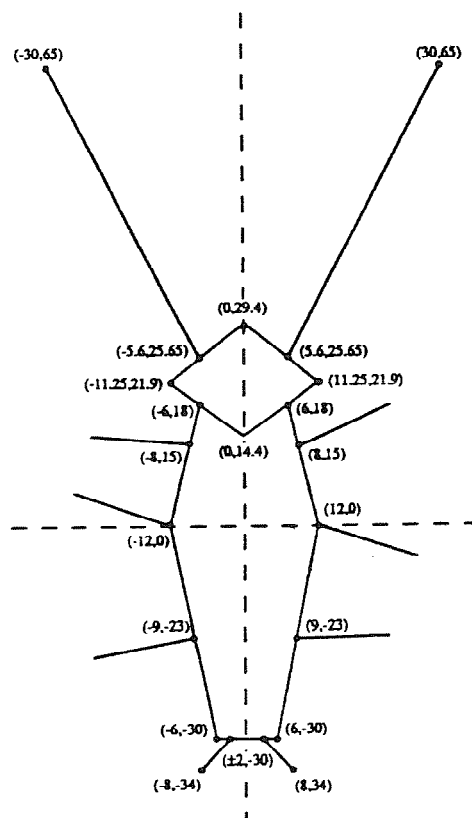
$[\pi/5, 0]$, $[\pi/12, -\pi/12]$ i $[\pi/12, -\pi/8]$ radijana za prednje, srednje i zadnje noge, respektivno. Prema konvenciji, ugao rotacije noge je jednak 0, kada je ona normalna na telo robota, pozitivan je ugao u pravcu kretanja kazaljke na satu za noge na levoj strani tela robota a za noge na desnoj strani tela je pozitivan ugao u suprotnom pravcu kretanja kazaljke na satu.

Težište cele strukture robota se nalazi u koordinatnom početku, slika 3.

Statička stabilnost robota je određena položajem težišta, u smislu da li se ono nalazi ili ne, unutar poligona koji formiraju noge koje u položaju na tlu predstavljaju oslonce strukture robota. Ukoliko se težište ne nalazi unutar poligona telo robota pada. Ako se statička stabilnost robota ne uspostavi u periodu od 40 ms, robot se vraća u stanje pre nego što je ravnoteža narušena. Kada se robot nalazi u nestabilnoj ravnoteži aktiviraju se sile čiji su vektori paralelni sa telom ili su upravni na telo robota, kako bi se izvršilo kretanje translacijom napred ili nazad ili pak kretanje rotacijom u stranu. Intenzitet "paralelnih" sila je 50, a "lateralnih" 7. Konstanta proporcionalnosti između brzine robota i "sile" je 100, a između ugaone brzine i "momenta" 5000.

Kontakt sa objektima se registruje preko "antena" koje su u paru postavljene napred i nazad. Kolidžija se detektuje kada jedna od četiri specificirane tačke (slika 3) na "antenama" zadire u fizičku prepreku. Kada se to dogodi robot se povlači u pravcu normale na ivicu sa kojom je kontakt ostvaren.

Što se neuronskih parametara tiče, svaki neuronski



Sl. 3. Precizni layout simulacionog modela

model čine sledeći parametri: membranska provodnost (G membrane), membranska kapacitivnost (C membrane), minimalna pobudjivačka frekvenca (F min), naponski prag (V_T) i pojačanje. Kompleksniji neuronski modeli (poput pacemaker-a) imaju dodatne parametre kao što su: sopstvena struja I_L i I_H (low - niska, high - visoka) i parametri regulacije T_L i T_H . Senzorski neuroni imaju takodje parametar sopstvene struje I_{senzora} , čija je veličina u funkciji od intenziteta neke fizičke vrednosti.

Veza između neurona A i B je označena simbolički $A \rightarrow B$, a težinski odnos te veze je dat u nA (nano amper, $1 \text{ nA} = 10^{-9} \text{ A}$).

Neuronski kontroler (slika 1) za svaku nogu **insekt robota** ima sledeće neuronske parametre:

Motorni neuron BS

G membrane: $0.5 \mu\text{S}$

C membrane: $10 \mu\text{F}$

V_T : 0 mV

Pojačanje: 0.1 mV^{-1}

Motorni neuron FT

G membrane: $0.5 \mu\text{S}$

C membrane: $10 \mu\text{F}$

V_T : 0 mV

Pojačanje: 0.1 mV^{-1}

Motorni neuron FS

G membrane: $0.5 \mu\text{S}$

C membrane: $10 \mu\text{F}$

V_T : -2 mV

Pojačanje: 1 mV^{-1}

Neuron LC

G membrane: $0.1 \mu\text{S}$

C membrane: $75 \mu\text{F}$

V_T : -3 mV

F min: 0.25

Pojačanje: 0.1 mV^{-1}

Pacemaker - neuron P

G membrane: $0.5 \mu\text{S}$ I_H : 20 nA

C membrane: $10 \mu\text{F}$ T_H : 75 ms

V_T : 10 mV

Pojačanje: 0.1 mV^{-1}

I_L : -10 nA

Status stopala: **AKO** je pobudjivačka frekvenca > 0 **TADA** je

stopalo na tlu dole **INACE** je stopalo gore.

Veze izmedju neurona:

$LC - BS : 5 \text{ nA}$

$BAS - P : 10 \text{ nA}$

$LC - P : 10 \text{ nA}$

$FAS - P : -15 \text{ nA}$

$P - BS : -10 \text{ nA}$

$FAS - BS : 10 \text{ nA}$

$P - FT : -4 \text{ nA}$

$FAS - FT : 10 \text{ nA}$

$P - FS : 10 \text{ nA}$

$FAS - FS : -15 \text{ nA}$

5. ZAKLJUČAK

Ovaj rad predstavlja prikaz simulacionog programskog paketa **INSEKT**, koji verifikuje postavljene koncepte **IAM** preko primitivnih funkcija kao što su kretanje duž ivice, "istraživanje" okoline i sl. Na osnovu koncepta, koji je proveren preko simulacionog paketa **INSEKT**, moguće je kreirati i projektovati fizičku strukturu insekt robota, što se i očekuje u okviru strateškog projekta Inteligentni Tehnološki Sistemi.

6. LITERATURA

- [1] **Brooks, R. A.**, New Approaches to Robotic, Science, Vol.253, pp.1227-1232, 1991.
- [2] **Beer, R.D., Chiel, H.J., Sterling, L.S.**, An Artificial Insect, American Scientist, Vol.79, pp.444-452, 1991.
- [3] **Brooks, R. A.**, A Robust Layered Control System For a Mobile Robot, IEEE Journal of Robotics and Automation, Vol. RA-2, NO.1, PP.14-23, 1986.
- [4] **Miljković, Z.**, Istraživanje i razvoj mikrorobota za montažu mehatronskih sklopova, Magistarska teza, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 1994.
- [5] **Milčić, V. R., Miljković, Z.**, Nanotehnologija, veštački život i insekt robot-novi izazov za inženjere, 15. jugoslovenski simpozijum NU-ROBOTI-FTS, Zbornik radova, pp. 77-82, Prohor Pčinjski, 1993.
- [6] **Williams, G., Williams, P.**, Nervous System Construction Kit for IBM Compatibles, Version 3.0, HarIdeas Publishing, 1991.
- [7] **Borland**, TURBO C, Version 2.0

SIMULATION OF THE INSECT ROBOT OPERATION

Summary

Insect robots present a new generation of intelligent autonomous microrobots, which express its autonomous behaviour through an entirely new approach to artificial intelligence in robotics. The results of research are given in this paper, which verify the formulated concept through computer simulation of insect robot operation. The simulation of the insect robot operation is realised using the **INSEKT** simulation programme package.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Pilipović, B. Babić*

SIMULACIJA U PROJEKTOVANJU FTS-A

R e z i m e

Polazeći od mogućnosti primene simulacije u projektovanju složenih sistema, dat je pregled razvijene software podrške i sistema za simulaciju proizvodnih sistema i fleksibilnih tehnoloških sistema (FTS-a). Detaljnije su prikazani simulacioni sistemi SIMAN/CINEMA i WITNESS sa primerima simulacionog programa i odgovarajućih izlaza. Dat je koncept i karakteristike domaćeg programskog paketa FLEXY razvijenog za potrebe projektovanja FTS-a simulacijom sa primerima sadržaja ekrana u definisanju simulacionog modela i simulacije sa animacijom.

1. UVOD

Projektovanje složenih sistema zahteva primenu različitih tehnika u cilju optimalnog definisanja strukture, karakteristika pojedinih podsistema i određivanja ponašanja ukupnog sistema u različitim uslovima eksploatacije. Provera karakteristika sistema i njegovog ponašanja na realnim sistemima je vrlo skupa i zahteva puno vremena, dok fizički modeli sistema u odgovarajućoj razmeri ne daju odgovor na dinamiku ponašanja sistema. U projektovanju poslovnih sistema, proizvodnih sistema, fabrika i pogona, pogodna tehnika je postavljanje matematičkih i logičkih modela sistema i primena računara u simulaciji ponašanja sistema pod različitim uslovima. Ne ulazeći u sve karakteristike računarske simulacije neke od ključnih prednosti primene ove tehnike su: relativno mala cena, kratko vreme provere ponašanja sistema, ponovljivost eksperimenta i mogućnost određivanja ponašanja sistema u ekstremnim uslovima [1].

Fleksibilni tehnološki sistemi, kao predstavnik savremenih proizvodnih sistema i osnova fabrika budućnosti, su vrlo kompleksni i u sebi uključuju širok spektar računarski upravljane opreme, sa visokim nivoom automatizacije proizvodnje, opsluživanja mašina, transportom i drugim funkcijama. Projektovanje fleksibilnih tehnoloških sistema zahteva od projektanta i drugih rukovodilaca i menadžera nov pristup u rešenju problema organizacije grupe proizvodnje, praćenja nivoa poslova u toku, redova čekanja, terminiranja, reagovanje sistema u slučaju otkaza nekog podsistema itd., i saglasno tome definisanje optimalne strategije upravljanja, strukture opreme i njenih performansi. S obzirom da su fleksibilni tehnološki

* Prof. dr Miroslav Pilipović, Dr Bojan Babić, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu
27 marta 80, 11000 Beograd

sistemi vrlo kompleksni i zahtevaju visoku početnu investiciju, računarska simulacija je značajan alat koji treba da obezbedi pravilan izbor parametara i strukture sistema i izbegavanje problema u njegovoj realizaciji i funkcionisanju. Glavni ciljevi računarske simulacije fleksibilnih tehnoloških sistema su: određivanje strukture, karakteristika i rasporeda opreme; određivanje stepena iskorišćenja opreme; određivanje uskih grla u sistemu; otkrivanje ključnih slabosti sistema; definisanje operativne strategije terminiranja poslova i poredjenje performansi alternativnih projektnih rešenja [2].

2. PROGRAMSKA PODRŠKA I SISTEMI ZA RAČUNARSKU SIMULACIJU

Računarska simulacija i odgovarajuća programska podrška i sistemi intenzivno se razvijaju od 60-tih godina. Hardware platforma za računarsku simulaciju je vrlo široka i kreće se od mikro i personalnih računara, preko projektantskih radnih stanica, do najvećih računara. Kod savremenih sistema intenzivna je primena računarske grafike i odgovarajući grafički terminal može biti poseban zahtev, mada po pravilu simulacioni sistemi koriste standardnu hardware platformu.

Programska podrška za simulaciju razvija se na različitim osnovama i u primeni su: jezici višeg nivoa opšte namene (FORTAN, PASCAL i sl. za specijalno razvijane aplikacije), simulacioni paketi (podprogrami) razvijani u višim programskim jezicima za potrebe simulacije, simulacioni jezici i sistemi opšte namene, simulacioni jezici i sistemi specijalne namene i interaktivni program generatori za simulaciju. Prva dva pristupa zahtevaju od korisnika programiranje u nekom od programskih jezika opšte namene, druga dva pristupa zahtevaju programiranje u simulacionom jeziku specifičnih instrukcija za funkcije simulacije. Program generatori u principu koriste interaktivan dijalog način rada i generišu automatski program za neki od simulacionih jezika ili jezike opšte namene. Programski jezici i sistemi specijalne namene pogodni su za simulaciju nekih karakterističnih sistema kao što su proizvodni sistemi, fleksibilni tehnološki sistemi i sl. Za potrebe simulacije poslovnih i proizvodnih sistema u primeni je simulacija diskretnih sistema, mada neki od sistema na tržištu imaju mogućnost i simulacije analognih odnosno hibridnih sistema.

Na tržištu je prisutan veliki broj sistema za oblast diskretne simulacije poslovnih, proizvodnih i drugih sličnih sistema. Primeri su GPSS² - jedan od prvih simulacionih sistema razvijen od strane IBM-a, SIMSCRIPT II sa modulom PC SIMANIMATION koji dodaje grafičke mogućnosti i SIMFACTORY - namenski sistem za simulaciju fabrika sa interaktivnim grafičkim mogućnostima, SLAM II i MAP/1 izvedeni sistem za simulaciju proizvodnih sistema, SIMAN sa CINEMA modulom za grafičku animaciju, SEE -WHY sa interaktivnim grafičkim mogućnostima i EXPRES program generatorom i izvedenim namenskim sistemom WITNESS, SIMON, ECSL, HOCUS itd. Detaljniji prikaz i geneza razvoja pojedinih sistema data je u [1] i [2]. U toku TEMPUS projekta [3], autori su se detaljnije upoznali sa SIMAN/CINEMA i WITNESS sistemima koji će dalje biti detaljnije prikazani.

2.1 SIMAN/CINEMA SIMULACIONI SISTEM

SIMAN je simulacioni jezik baziran na FORTRAN-u. Simulacioni jezik je sa sopstvenim rečnikom, sintaksom i gramatikom za obavljanje osnovnih funkcija simulacije. Mogu se modelirati i simulirati diskretni, kontinualni i hibridni sistemi. Specijalne funkcije

²GPSS - General Purpose Simulation System

korisnik može modelirati sopstvenim podprogramima u FORTRANU ili C jeziku i uključiti u strukturu modela SIMAN jezika. Za potrebe animirane grafike CINEMA paket omogućava potpunu grafičku podršku.

Specifičnost koncepta je da se ukupan simulacioni program sastoji iz dva odvojena dela:

- opis modela (statičke i dinamičke karakteristike sistema i globalne promenljive koje se ne menjaju u toku simulacije);
- opis uslova simulacionog eksperimenta (specifični podaci, detalji o distribucijama, detalji o statističkim podacima za evidenciju, izveštajima i sl.).

Za izvođenje različitih simulacionih eksperimenata, izmene su potrebne samo u delu uslova realizacije eksperimenta za jedan osnovni model. U slučaju da se zahteva i grafička animacija, odgovarajući opis uslova animacije daje se u trećem delu programa koji obrađuje CINEMA paket (raspored opreme, grafički simboli za animaciju itd.).

Primer programa za simulaciju rada dve mašine na kojima se obrađuje jedan deo i redovima čekanja ispred svake mašine dat je na slici 1. Odvojeni su delovi programa za definisanje modela (sl. 1. a.) i delovi programa za opis uslova eksperimenta (sl. 1. b.). Primer histograma vremena trajanja operacije dat je na slici 2., i primer dijagrama delova u redovima čekanja na slici 3. Detalji opisa jezika i sistema mogu se naći u odgovarajućim priručnicima i knjigama kao što je [4].

2.2 WITNESS SIMULACIONI SISTEM

WITNESS je namenski simulacioni sistem razvijen za simulaciju pre svega proizvodnih sistema i pogona u mašinogradnji, vazduhoplovnoj, elektro i hemiskoj industriji, mada nalazi

```

BEGIN: Primer simulacije - Siman
CREATE: 20:15:15:MARK(1);           Kreira grupu delova
ASSIGN:A(2)=RN(1,1);                Dodeljuje vreme prve operacije
ASSIGN:A(3)=RN(2,1);                Dodeljuje vreme druge operacije
;
QUEUE:1;                             Red čekanja za prvu mašinu
SEIZE:MAS1;                            Zauzima prvu mašinu
DELAY:A(2);                             Proces - prva operacija
RELEASE:MAS1;                           Oslobadja prvu mašinu
;
QUEUE:2;                             Red čekanja za drugu mašinu
SEIZE:MAS2;                            Zauzima drugu mašinu
DELAY:A(3);                             Proces - druga operacija
RELEASE:MAS2;                           Oslobadja drugu mašinu
;
TALLY:1,INT(1);                       Evidencija sistemskog vremena
TALLY:2,A(2);                          Evidencija vremena prve operacije
TALLY:3,A(3);                          Evidencija vremena druge operacije
END:

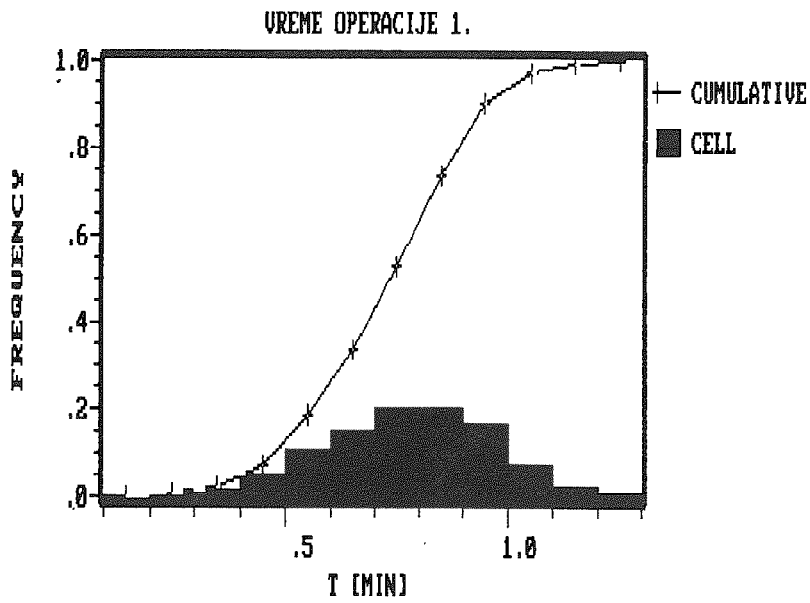
a) Definicija modela

BEGIN:
PROJECT:Primer SIMAN,M. Pilipovic,03/12/1992;
DISCRETE:100,3,2;                     Parametri simulacije
TALLIES:1,Sistemsko vreme;
      2,Vreme prve operacije,2;
      3,Vreme druge operacije,3;      Izveštaj o evidenciji
DSTAT:1,NQ(1),Red čekanja 1,4;
      2,NQ(2),Red čekanja 2,5;        Statistika sekanja
RESOURCES:1,MAS1,1;                   Definicija mašina
      2,MAS2,1;
PARAMETERS:1,0.8,0.2;                 Vreme operacije 1
      2,0.82,0.25;                    Vreme operacije 2
REPLICATE:1,0,1000;                   Trajanje simulacije
END:

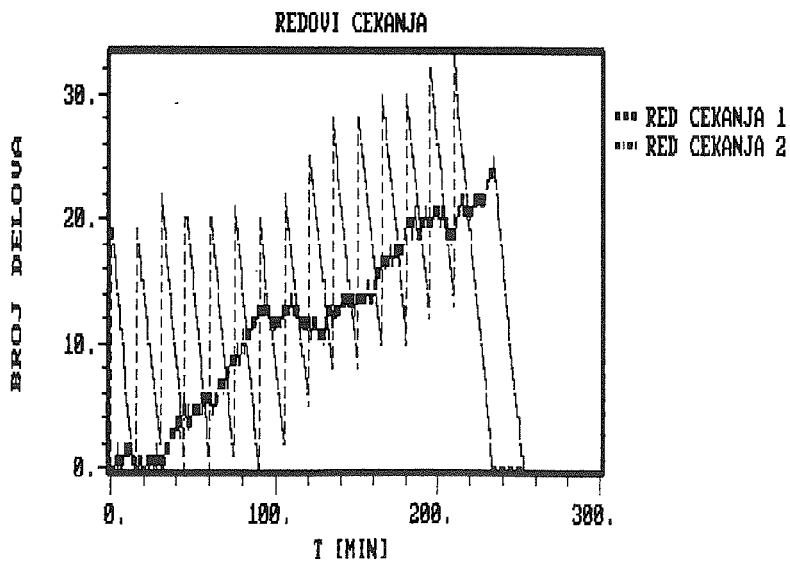
b) Definicija uslova eksperimenta

```

Slika 1. Primer programa - SIMAN



Slika 2. Histogram vremena operacije 1.



Slika 3. Dijagram redova čekanja

primenu i u drugim oblastima. Osnovna karakteristika je interaktivni dijalog - grafički način rada kako pri definisanju modela i uslova eksperimenta, tako i pri simulaciji sa animacijom. WITNESS sistem radi u Windows okruženju koristeći sistem dijalog-grafičkih prozora.

Definisanje simulacionog modela, uslova simulacionog eksperimenta, grafičkog okruženja za animaciju, statistike i izveštavanja vrši se pomoću tzv. WITNESS blokova. Postoje različite vrste blokova kao što su:

- Elementi:
 - Fizički elementi (delovi, fluidi, rezervoari, mašine, konvejeri, vozila i drugi transportni sistemi, radnici i sl.);
 - Logički elementi (atributi, promenljive, distribucije, funkcije, smene, datoteke i sl.);
- Manipulacioni elementi (pravila, izrazi, akcije i sl.).

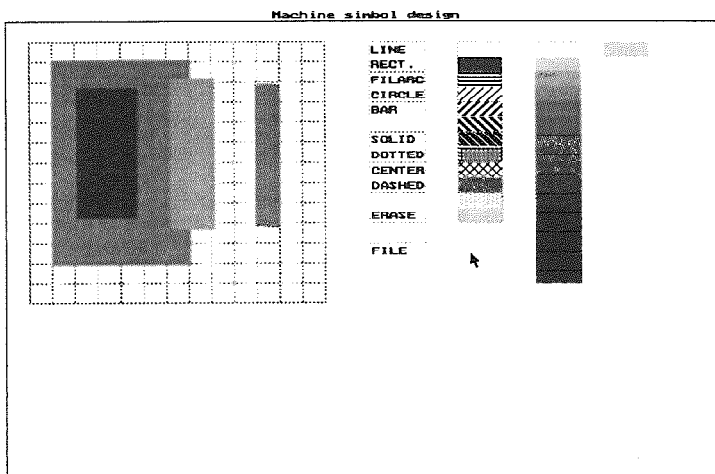
Generisanje izveštaja je automatsko za standardne statističke prikaze mada su mogući i drugi tipovi izveštaja (liste elemenata modela, sumarni i detaljni izveštaji o pojedinim elementima i sl.). Detaljniji opis mogućnosti WITNESS sistema dat je u [5] i drugim priručnicima.

3. FLEXY - SISTEM ZA SIMULACIJU I ANIMACIJU FTS-a

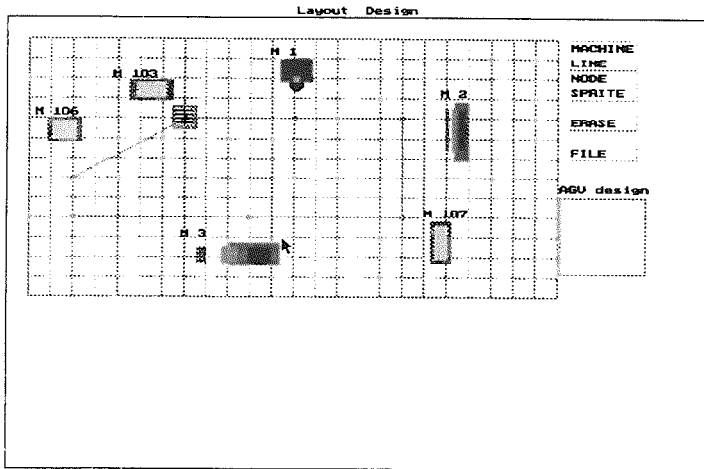
FLEXY V 3.0 predstavlja integrisano okruženje za simulaciju i animaciju FTS-a (*Integrated Simulation and Animation Environment - ISAE*). Razvijen je na Mašinskom fakultetu u Beogradu - Katedra za proizvodno mašinstvo, u okviru istraživanja realizovanih kroz magistarske i doktorske teze [6] i [7]. FLEXY sistem sadrži sledeće module:

- modul za kreiranje grafičkih simbola mašina,
- modul za formiranje rasporeda opreme,
- modul za simulaciju (bez animacije),
- modul za animaciju,
- modul za pregled/stampanje izveštaja,

Modul za kreiranje grafičkih simbola mašina predstavlja jednostavan sistem za crtanje simbola mašina koji se kasnije koriste za crtanja rasporeda opreme (slika 4.).



Slika 4. FLEXY - ekran za definisanje simbola mašina

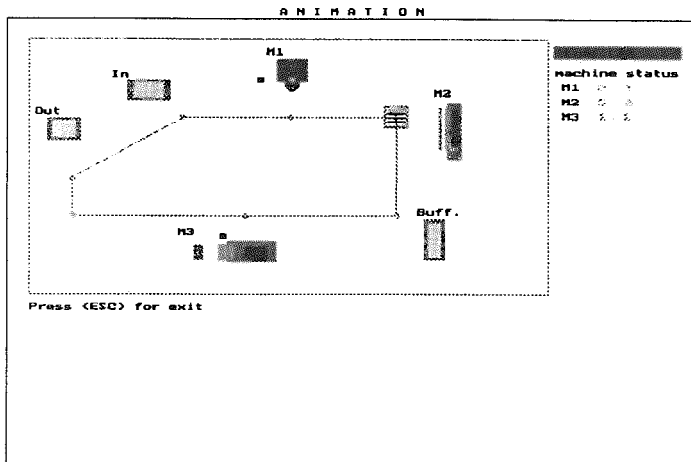


Slika 5. FLEXY ekran za definisanje rasporeda opreme

Korišćenjem osnovnih geometrijskih primitiva (prava, krug, pravougaonik, ispunjen krug, ispunjen pravougaonik) mogu se, krajnje jednostavno i brzo, kreirati potrebni simboli mašina.

Modul za kreiranje rasporeda opreme obezbedjuje funkcije potrebne za definisanje opreme FTS-a koji se simulira, čime se obezbeduju preduslovi za kasniji animirani prikaz rada posmatranog FTS-a. Osnovne funkcije koje obuhvata ovaj modul su:

- crtanje mašina (prethodno kreirani simboli mašina se raspoređuju na odgovarajuća mesta u projektovanoj strukturi FTS-a);
 - crtanje transportnih putanja;
 - crtanje čvorova u transportnoj mreži;
 - kreiranje pokretnih figura (automatski vodjena kolica i druga transportna sredstva);
- Na slici 5. prikazan je ekran modula za kreiranje rasporeda opreme.



Slika 6. FLEXY - primer simulacije sa animacijom

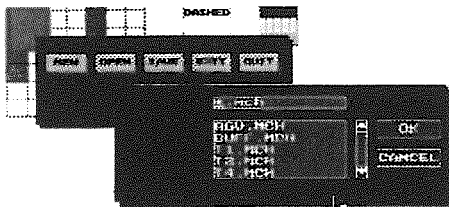
Modul za unos podataka za simulaciju je dijalog sistem koji obezbeđuje jednostavan unos i izmenu podataka kojima se opisuje simulirani sistem. Unose se podaci o delovima (veličine serija, redosled obrade, vremena obrade itd.), mašinama, transportnim sredstvima, transportnoj mreži i sl.)

Modul za simulaciju bez animacije simulira rad FTS-a i generiše numeričke pokazatelje performansi posmatranog sistema (ukupno vreme rada sistema, stepen iskorišćenja mašina i transportnog sistema, redovi čekanja i sl.). Za rad ovog modula potrebni su samo ulazni podaci koji se unose pomoću modula za unos podataka (nije potrebno crtati raspored opreme). Rezultati se mogu pregledati ili odštampati u **modulu za pregled rezultata**.

Modul za animaciju zahteva prethodno definisan raspored opreme i unete simulacione podatke. Kada se aktivira ovaj modul prvo se vrši kraća priprema podataka za animaciju i zatim sledi animirani prikaz rada posmatranog sistema. Animirani prikaz omogućava proveru unetih podataka (da li je sistem dobro opisan) i analizu ponašanja sistema tokom vremena. Na ekranu se prikazuju kretanja delova i transportnog sistema, a u statusnom delu ekrana prikazuje se status pojedinih mašina (mašina slobodna, mašina obrađuje deo, mašina u otkazu). Ilustracija animacije data je na slici 6.

Osnovne karakteristike FLEXY sistema

FLEXY sistem predstavlja kompaktan i lak za korišćenje simulacioni sistem. Svi moduli sistema su dizajnirani tako da su maksimalno okrenuti korisniku (*user friendly*). Grafički moduli obezbeđuju jednostavnu selekciju funkcija i crtanje pomoću miša. **File** funkcija u svim modulima obezbeđuje jednostavno selektovanje, otvaranje i memorisanje datoteka (slika 7.).



Slika 7. FLEXY - funkcija održavanja datoteka

FLEXY V 3.0 ima sledeće performanse:

- maksimalan broj mašina u simuliranom sistemu - 90,
- vrsta transporta - AGV kolica ili konvejer,
- maksimalan broj AGV kolica - 3
- maksimalan broj različitih delova u sistemu - 100,

Za rad FLEXY sistema potreban je računar IBM kompatibilan PC 386 ili 486 sa kolor grafičkom karticom i DOS operativni sistem.

U odnosu na druge simulacione sisteme razvijene u svetu, kao prednosti FLEXY sistema mogu se navesti mala cena, jednostavnost primene i vrlo kratka obuka sa rezultatima koji ne zaostaju za svetskim paketima. Izuzetno je pogodan za simulaciju fleksibilnih tehnoloških sistema čemu su prilagodjeni elementi i funkcije sistema. Paket je korišćen u nastavi na George Washington University (predmet ME CIM 201). Koristi se na Mašinskom fakultetu u Beogradu za vežbe iz predmeta Računarski integrisane tehnologije i Projektovanje obradnih sistem. Takodje se koristi i pri izradi idejnih projekata fabričkih postrojenja.

4. ZAKLJUČAK

Računarska simulacija je danas izuzetno značajan alat za projektovanje složenih sistema a posebno proizvodnih i fleksibilnih tehnoloških sistema. Prikazan deo raspoložive software podrške na tržištu pokazuje širok izbor sistema vrlo visokih performansi kako opšte namene tako i specijalne namene izuzetno pogodnih za projektovanje proizvodnih i fleksibilnih tehnoloških sistema. Prikazani programski paket Flexy je domaći software proizvod, savremene koncepcije, sa interaktivnim dijalog-grafičkim radom, namenski razvijen za projektovanje FTS-a, i primenjen kako u projektima za potrebe domaće industrije, tako i u obrazovanju na dodiplomskim i posle diplomskim studijama na Mašinskom fakultetu u Beogradu.

5. LITERATURA

- [1] Pidd, M., Computer Simulation in Management Science, John Wiley & Sons, New York, 1984.
- [2] Carrie, A., Simulation of Manufacturing Systems, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- [3] Balendra, R., Spasić, Ž., Milačić, V., Pilipović, M., Jovanović, T., Putnik, G., i dr., Curricula for the Training of Industrial Managers, TEMPUS JEP 2471/91, Final report, Brussels, 1992.
- [4] Pegden, C., D., Introduction to SIMAN, Systems Modelling Corporation; State College, Pennsylvania, 1985.
- [5] AT&T ISTEEL, WITNESS - Visual Interactive Simulation Software, Ref. Demo 3.0, AT&T ISTEEL Limited, 1991.
- [6] Babić, B., Razvoj ekspert sistema za koncepcijsko projektovanja FTS-a sa simulacionom mašinom, magistarski rad, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [7] Babić, B., Flexy - inteligentni ekspert sistem za projektovanje FTS-a, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.

M. Pilipović, B. Babić

SIMULATION IN FMS DESIGN

Summary

Starting from the possibility of applying simulation in designing complex systems, a review of developed software support and simulation systems for production and flexible manufacturing systems (FMS) simulation are given in the paper. SIMAN/CINEMA and WITNESS simulation systems with examples of simulation programs and respective outputs are presented in more details. The paper gives the concepts and characteristics of the domestic program package called FLEXY which was developed for FMS design by simulation, together with the examples of dialogues contents for defining the simulation model and simulation with animation.

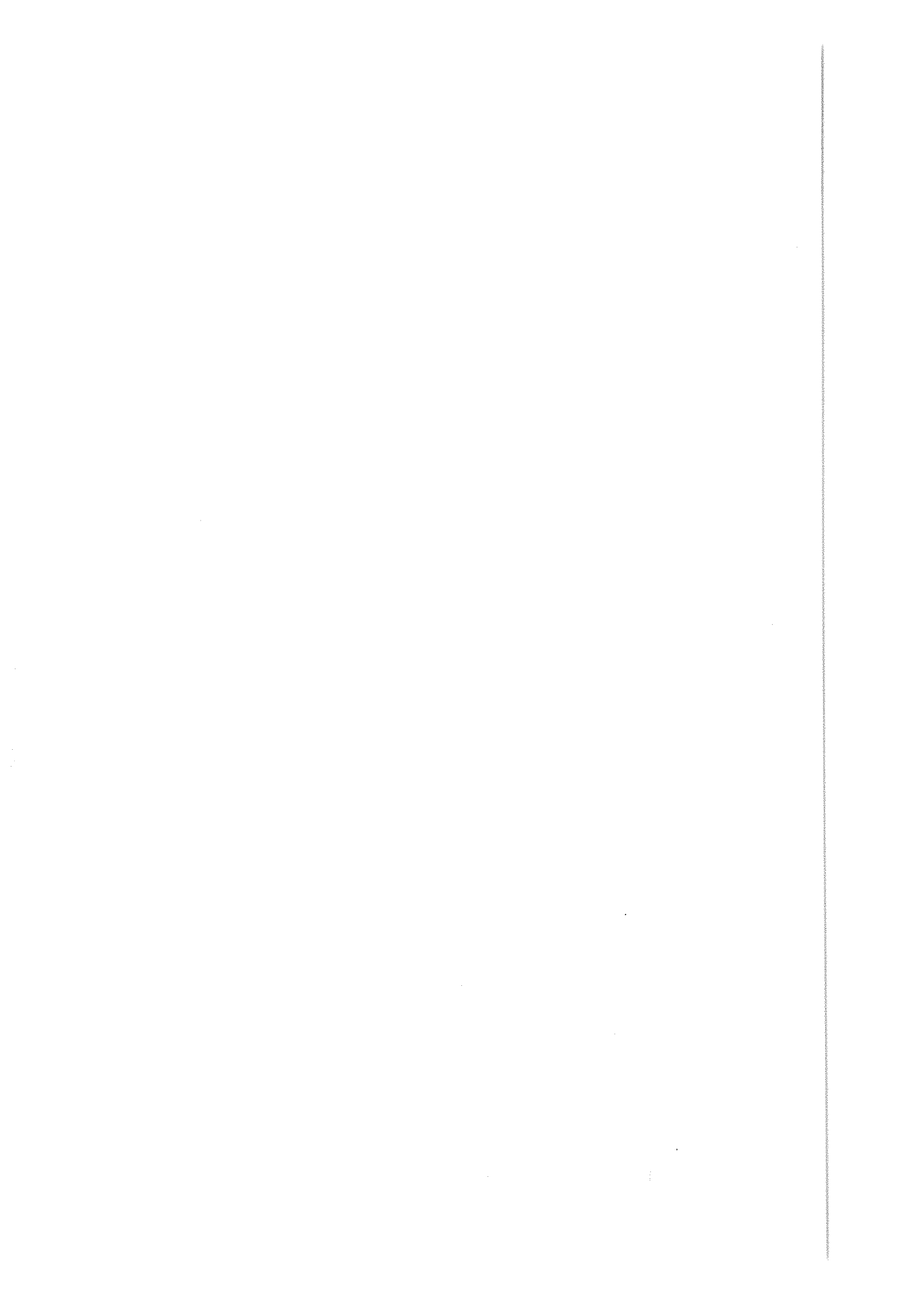
PROJEKTOVANJE PROIZVODA I TEHNOLOGIJA

Projektovanje obradnih sistema
Metode proračuna i provera
CAD/CAM/CAE sistemi

DESIGN

Machining Systems Design
Finite Elements method
CAD/CAM/CAE





25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

P, Bojović, M, Gemaljević, T, Danojlić, .:

**RAZVOJ FAMILIJE MODULA B OSE LOLA
HORIZONTALNIH OBRADNIH CENTARA**

Rezime

Jedan od osnovnih elemenata modernizacije LOLA horizontalnih obradnih centara je i modernizacija modula pomoćnog obrtnog kretanja radnog stola. Modernizacijom je omogućeno upravljanje B-osom radi ostvarivanja obrade prostornih površina na obradnim centrima. U radu je prezentirana familija modula B-ose HMC obradnih centara, sa posebnim osvrtom na rešenje kinematskog lanca i blokade prihvaćaća paleta.

1. OBRтни STOLOVI

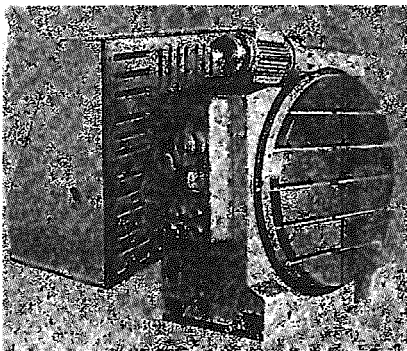
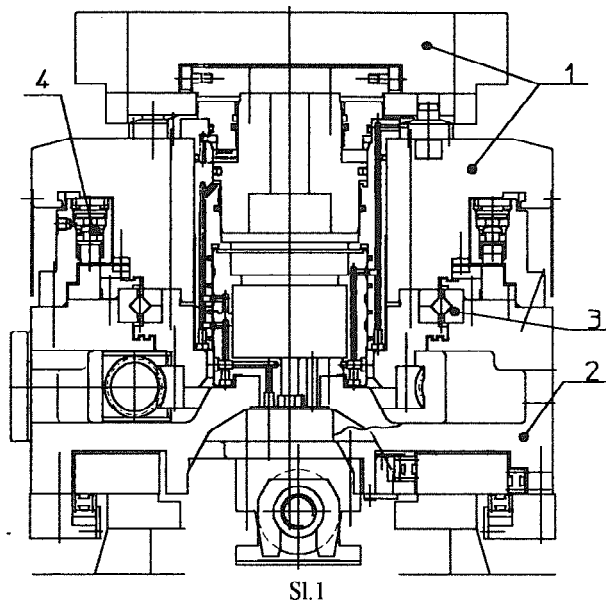
Obrtni stolovi predstavljaju pokretne module mašina alatki, koji ostvaruju pomoćno obrtno kretanje pre svega prizmatičnih radnih komada. Na prihvaćać paleta obrtnog stola dolazi paleta sa obradkom. Kod NUMA obrtni stolovi rade u automatskom režimu, a ugao rotacije prihvaćać paleta obrtnog stola predstavlja programirani pomeraj. Obrtni stolovi mogu biti sa:

- horizontalnom i
- vertikalnom osom obrtanja i
- nagibni obrtni stolovi.

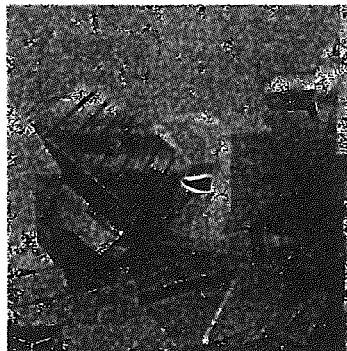
Na slici 1. prikazan je horizontalni obrtni sto, kod koga je osa obrtanja vertikalna, a na slici 2 vertikalni obrtni sto kod koga je osa obrtanja horizontalna.

Na slici 3. prikazan je nagibni obrtni sto koji ima još jednu osu oko koje se može zakretati za određen ugao. To su složeni obrtni stolovi koji omogućavaju najslabije obrade na radnom predmetu zauzimajući horizontalni, vertikalni i kosi položaj u prostoru.

Prvoslav Bojović, dipl.ing. Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd
Milenko Gemaljević, dipl.ing., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd
Toma Danojlić, dipl.ing. Lola FAM, Jugoslovenska 2, 11250 Železnik



Sl.2



Sl.3

2. HORIZONTALNI OBRтни STOLOVI

Horizontalni obrtni stolovi predstavljaju najčešće korišćene pokretne module mašina alatki, koji ostvaruju pomoćno obrtno kretanje. U strukturi LOLA obradnih centara oni predstavljaju važan modul za sintezu horizontalnih obradnih centara koji su i najčešće izvedene mašine. Razvijena je familija horizontalnih obrtnih stolova za kvadratne i pravougaone palete čija su širine 400, 500, 630 i 800 mm. Maksimalna nosivost ovih stolova se kreće od 600 do 2000 kg. Sa ovom familijom obrtnih stolova moguće je izvršiti sintezu svih članova nove familije HMC horizontalnih obradnih centara.

Kod HMC obradnih centara obrtni stolovi rade u automatskom režimu, a ugao rotacije prihvatača palete obrtnog stola predstavlja programirani pomeraj. Programira se vrednost brzine i ugao rotacije prihvatača palete. Moguća su dva režima rada obrtnih stolova kod NUMA:

- pozicioni, kod koga se rotacija prihvatača palete na zadati ugao ostvaruje periodično za prostornu orijentaciju obratka za njegovu sledeću obradu,
- neprekidni (kontinualni), pri kome je obrtanje prihvatača palete neprekidno u cilju ostvarenja pomoćnog obrtnog kretanja obratka (brzina rotacionog pomaka obratka odgovara potrebnim parametrima režima obrade.

Razlikujemo varijantna rešenja obrtnih stolova sa :

- ograničenim brojem uglova rotacije, tj. konačnim brojem pozicija prihvatača palete obrtnog stola u odnosu na njegovu noseću strukturu.
- neograničenim brojem uglova rotacije.

Kod prve vrste stolova, fiksiranje ugaonog položaja se po pravilu ostvaruje pomoći mehaničkih uređaja. Jedan od načina je pomoću sprežanja zubaca postavljenih na diskovima od kojih se jedan nalazi na nosećoj strukturi - nepokretni disk, a drugi je fiksiran za prihvatač palete - pokretni disk. To je HIRT-ovo ozubljenje. Za obrtanje prihvatača palete obrtnog stola ovakve konstrukcije, neophodno je prethodno ostvariti osno (aksijalno) pomeranje, kako bi se obezbedio potreban zazor između zuba. Posle rotacije, odnosno kružnog pozicioniranja vrši se osno pomeranje u suprotnu stranu (tj. blokada) kako bi se ostvarilo ponovo sprežanje zuba a time i fiksiranje prihvatača palete. Broj pozicija ovakvog stola i tačnost obrtanja je određena brojem i tačnošću izrade zuba. U LOLA Koroporaciji su izvedene konstrukcije sa HIRT-ovim ozubljenjem sa 360 zuba, tj. pozicija $360 \times 1^\circ$. Tačnost kružnog pozicioniranja sa zupčastim prstenovima kreće se od $3 \div 5''$. U stolove koji imaju ograničen broj pozicija, svrstavaju se i stolovi kod kojih je na prihvatač palete fiksiran podeoni disk, a na noseću konstrukciju je postavljen uređaj za fiksiranje. Stolovi sa ograničenim brojem uglova rotacije (obrtanja) mogu raditi samo u pozicionim režimima. U LOLA Koroporaciji su izvedena rešenja sa senzorima "HOTINGER" i četiri graničnika, čime je dobijeno pozicioniranje $4 \times 90^\circ$.

Osnovno konstrukciono rešenje obrtnog stola sa neograničenim brojem uglova rotacije prikazan je na slici 1. Tu se vidi presek obrtnog stola obradnog centra HMC 500. Pokretni element 1 (prihvatač palete sa paletom) rotira u odnosu na nepokretni sklop 2 (klizač obrtnog stola) preko ležaja 3. Obrtanje prihvatača palete se ostvaruje pomoću elektromotora i pužnog prenosnika. Ugaona pozicija prihvatača palete se kontroliše preko obrtnog davača, koji može da ostvari 360000 pozicija. Tačnost pozicije je $0,001^\circ$, a tačnost ponavljanja pozicije je $\pm 5''$. Sto poseduje referentni i nulti položaj.

Kad se izvrši pozicioniranje prihvatača palete za željeni ugao, dolazi do blokiranja istog preko sistema za blokadu 4. Na izvedenom rešenju HMC 500, blokada se vrši preko lamele hidrauličnim putem.

Ukoliko je konstrukcija obrtnog stola takva da se pozicija prihvatača palete ne kontroliše davačem povratne sprege (ostvaren sistem upravljanja), tačnost njegove pozicije određena je: tačnošću upravljačkog sistema CNC, tačnošću prenosa tog signala do strane pogonskog motora i kinematskih grešaka u mehaničkom prenosniku, koji se nalazi između prihvatača palete i motora. Pri promeni smera obrtanja stola, na tačnost pozicije zakretanja

prihvatača palete, pored napred navedenog, utiču i zazor i elastične deformacije u sklopovima kinematskog lanca.

Da bi se svi ovi nepovoljni uticaji izbegli, prešlo se na direktne merne sisteme (smešteni u osu obrtanja obrtnog stola) što je slučaj kod HMC 500, slika 1. Na tačnost pozicije utiče samo tačnost mernog sistema, tj. obrtnog davača. Obrtni stolovi sa praktično neograničenim brojem uglova zakretanja prihvaćaća palete, mogu raditi kako u pozicionom, tako i u neprekidnom režimu,

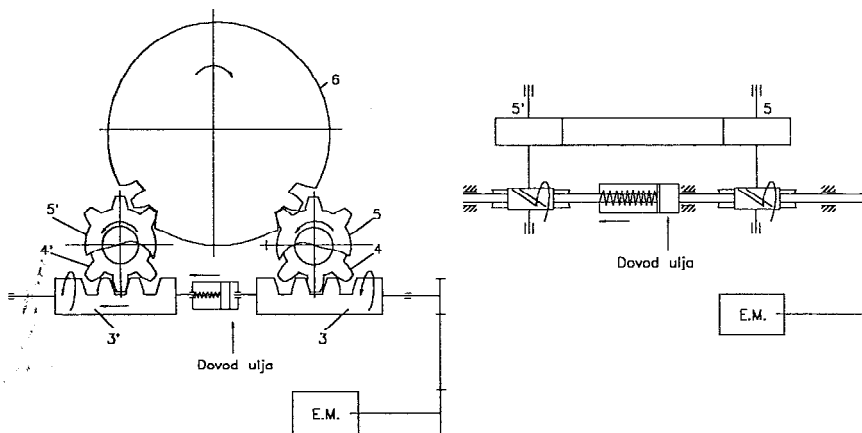
Pri ugradnji obrtnog davača u obrtne stolove, neophodno je eliminisati zapore i eventualne deformacije spoja paletnog prihvaćaća i samog davača, u suprotnom će se pojaviti greške. Zato se ugrađuju specijalne elastične spojnice za vezu između prihvaćaća palete i rotora davača.

3. PONIŠTAVANJE ZAZORA U KINEMATSKOM LANCU

Najveći uticaj na krutost kinematskog lanca pomoćnog obrtnog kretanja (tzv. B -ose) ima poslednji njegov član, a to su puž - pužni zupčanik, zbog čega je neophodno posebnu pažnju usmeriti pri izradi i ugradnji ovog kinematskog para, na sledeće:

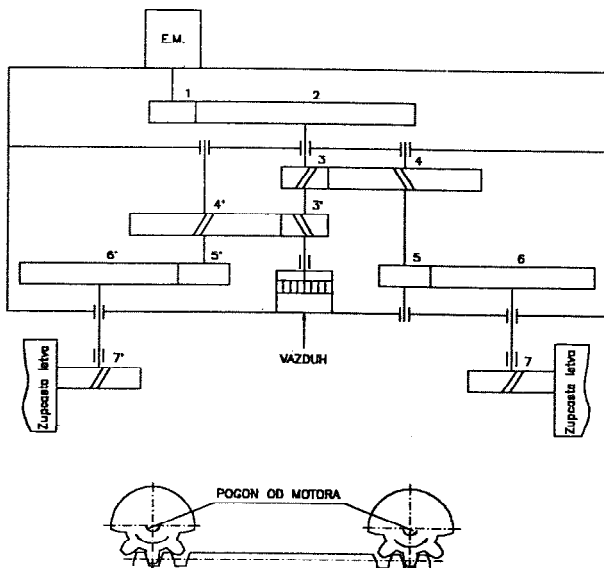
- ostvariti minimalnu osnu popustljivost puža,
- maksimalnu krutost veze između pužnog zupčanika i prihvaćaća palete i
- obezbediti mogućnost regulisanja bočnog zazora pri sprezanju puža i pužnog zupčanika.

Smanjenje zazora se može postići uvođenjem u konstrukciju pomoćnog obrtnog kretanja - drugog puža, kao na slici 4. Njegovo osno pomeranje se ostvaruje hidrauličnim putem preko obrtnog razvodnika, tako da ovaj puž deluje kao kočnica, teži da se obrne u suprotnom smeru i u dodiru su suprotni bokovi zuba u odnosu na pogonski. Za taj negativni momenat mora biti veći obrtni moment motora obrtnog stola. Ovaj sistem smanjenja tj. poništenja zazora ugrađen je na mašine tipa LOLA HBG 80.



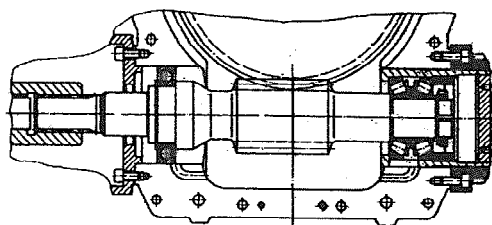
Sl.4

Na slici 5 prikazan je sistem za eliminaciju zazora preko zupčanika sa kosim zubima. Ovaj sistem poništenja zazora je ugrađen na jedinici pomaka za RAPID - platen.



Sl. 5

Treći sistem za poništenje zazora je u samoj izradi puža i pužnog zupčanika. To je takozvani DUPLEX pužni par. Na slici 6. je prikazan primer ugradnje DUPLEX pužnog para.



Sl. 6

DUPLEX pužni par omogućava podešavanje torzionog bočnog zazora sa minimalnom vrednošću. Kinematski uticaj torzionog bočnog zazora vrši se usled pomeranja puža u aksijalnom pravcu. Kod DUPLEX puževa levi i desni profil imaju različite module, a s tim u vezi i različite uglove nagiba. Kao rezultat toga su pužni zupci koji dužinom pužnog navoja postaju ravnomerno sve deblji.

DUPLEX pužni zupčanik je takođe ozubljen sa različitim modulima puža i ugla nagiba između levog i desnog profila koji su rezultat toga. Nasuprot pužu, ovde debljina zupca odnosno međuzublja međusobno po obimu ostaje ista.

Aksijalnim pomeranjem DUPLEX puža može se uticati samo na torzioni bočni zazor, pri čemu se u okviru dozvoljenog puta pomeranja, uvek omogućava potpuno besprekoran zahvat zubaca. Time je moguće torzioni bočni zazor podesiti na proizvoljno malu vrednost zavisno od radnog odnosa. Zato su ovi pužni parovi našli najveću primenu kod mašina alatki. Omogućavaju kompaktniju konstrukciju obrtnog stola, tako da merni sistem, ne mora uvek da bude smješten u osi obrtanja paletnog prihvaćaća. Na familiji LOLA HMC obradnih centara su ugrađeni ovi DUPLEX pužni parovi.

4. ZAKLJUČAK

Rešavanjem problema ugaonog pozicioniranja obrtnog stola sa dovoljnom tačnošću, kao i poništavanja zazora u kinematskom lancu dobijeno je konstrukciono rešenje modula B - ose koje uz pouzdanu blokadu palete može da se primeni na celu familiju horizontalnih obradnih centara. Takvi obrtni stolovi rade kao upravljana osa na obradnom centru i omogućavaju složene obrade na radnom predmetu u neprekidnim režimima obrade.

LITERATURA

- /1/ Gemaljević, M., Lukić, Lj., Pantelić, P.: Optimalno projektovanje LOLA obradnih centara, 10 Jugoslovenski simpozijum CIM u strategiji razvoja industrije prerade metala, zbornik radova, Kopaonik, 1991, str 45-51.
- /2/ Pantelić, P, Gemaljević, M., Lukić, Lj.,.: Istraživanje i razvoj nove generacije horizontalnih obradnih centara, 11 Jugoslovenski simpozijum CIM u strategiji razvoja industrije prerade metala, zbornik radova, Kopaonik, 1992, str 63-71.
- /3/ Gemaljević, M.: Razvoj horizontalnog obradnog centra HMC500, Inovacioni projekat I.O.676 Republičkog fonda za tehnološki razvoj, Beograd, 1992.

P. Bojović, M. Gemaljević, T. Danojlić:

DEVELOPMENT OF B - AXIS MODULES FAMILY FOR LOLA HORIZONTAL MACHINING CENTERS

Summary

One of the basic elements of modernizing LOLA horizontal machining centers is the working table auxiliary rotation modules modernization. Modernization enables B - axis control in order to realize space surfaces machining on machining centers. The paper presents the B - axis modules family for HMC machining centers, with special attention paid to the kinematic chain solution and pallets accepting blockade.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Gemaljević, I. Latinović

LOLA KONCEPT MALIH MAŠINA ALATKI ZA OBRADU REZANJEM

Rezime

Zakoni i prognoze tržišta usmeravaju jedan od pravaca razvoja LOLA korporacije na uvođenju u proizvodni program malih mašina alatki. Koncept se naslanja na postojeći proizvodni program i proširenje programa univerzalnih bušilica glodalica i malih školskih i graver mašina. Sa stanovišta upravljanja, koncept tretira ručno, poziciono i numeričko upravljanje malih mašina.

U radu je definisan pojam "malih" mašina, osnovne postavke koncepta i karakteristike pojedinih familija malih mašina alatki za obradu rezanjem.

1.0. UVODNE NAPOMENE

Postojeći proizvodni program Lola Korporacije se prvenstveno odnosi na mašine za obradu u srednjeserijskoj i velikoserijskoj proizvodnji. Razvijeno je niz familija HBG, VBG, KBG, Karusel i drugih NUMA i OC, specijalnih mašina, transfer linija i fleksibilnih obradnih sistema. Za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju razvijen je niz mašina sa zapreminskim radnim prostorom preko jedan metar kubni, kao što su BG150, BG180, PG160 i druge.

S obzirom na novonastalu, ali i raniju situaciju na jugoslovenskom tržištu može se utvrditi potreba za razvijanjem familije malih alatnih mašina za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju. Ove mašine su masovno uvožene iz inostranstva (najčešće MAHO, Deckel, Mikron i dr....), ili su ih radile neke firme iz bivše Jugoslavije.

Projekti koji su planirani i koji se već izvode iz oblasti malih mašina u LOLA korporaciji u narednom periodu su prirodan nastavak aktivnosti na projektovanju alatnih mašina, ali i prognoziranih potreba tržišta.

Milenko Gemaljević, dipl.ing., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd
Ilija Latinović, dipl.ing., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd

Makroprojekat kompjuterski podržano istraživanje, razvoj i projektovanje malih alatnih mašina za obradu rezanjem sadrži četiri vrste projekata, i to:

1. Projekte za projektovanje modula malih alatnih mašina,
2. Projekte LOW COST CNC upravljanja malim alatnim mašinama,
3. Projekte za projektovanje malih alatnih mašina i
4. Projekte podrške projektovanju malih alatnih mašina

S obzirom na ostojeće tehnološke, projektne, proizvodne i druge resurse u Lola korporaciji male alatne mašine za obradu rezanjem delimo na :

- A) male horizontalne bušilice glodalice sa paletom/radnim stolom $\leq 400 \times 400$ mm;
- B) male vertikalne bušilice glodalice sa linijskim stolom $\leq 800 \times 400$ mm;
- C) male koordinatne bušilice glodalice sa linijskim stolom $\leq 630 \times 1000$ mm;
- D) vertikalne glodalice sa linijskim stolom $\leq 250 \times 1000$ mm;
- E) male vertikalne revolver glodalice sa linijskim stolom $\leq 250 \times 1000$ mm;
- F) mini karusel strugove sa prečnikom stola ≤ 630 mm;
- G) univerzalne horizontalno vertikalne bušilice-glodalice;
- H) mini strug-bušilice;
- I) graver i školske mašine.

Shodno usvojenom tradicionalnom principu fleksibilne modularne gradnje dinamika projektovanja malih mašina se izvodi paralelno u dva pravca :

- projektovanjem ugradbenih grupa tipa modul/funk. grupa / funk. jedinica
- sintezom ugradbenih gurpa tipa modul u sisteme tipa malih mašina.

Pri tome se definišu i uvode čitav niz procedura i standarda koji se odnose na organizacionu, metodsku, informatičku, lingvističku i ostale podrške istraživanju, razvoju i projektovanju mašinskih sistema, a sve u skladu sa zahtevima standarda JUS ISO 9000. Sve ovo se postiže korišćenjem savremenih CA tehnika kao preduslovom za efikasnije i produktivnije projektovanja malih alatnih mašina.

U daljem tekstu daje se poseban osvrt na univerzalne bušilice glodalice sa horizontalnim i vertikalnim vretenom čija se prototip rešenja već nalaze u fazi realizacije u pogonima LOLA Korporacije.

2.0 UNIVERZALNE HORIZONTALNO-VERTIKALNE BUŠILICE GLODALIOCE

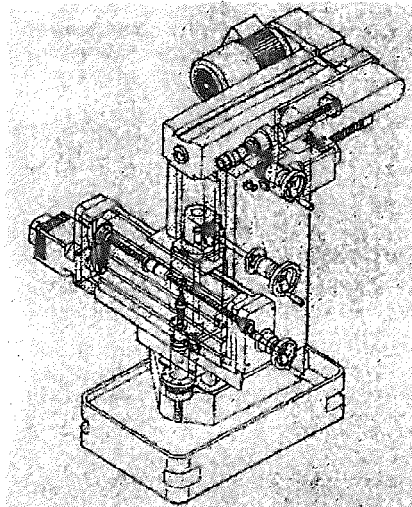
Pri uvođenju univerzalnih bušilica - glodalica sa horizontalnim i vertikalnim radnim vretenima, mora se posebno voditi računa o nekim faktorima vezanim za numeričko upravljanje, a sve u vezi upotrebe ovih mašina u maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji. Ove mašine moraju podjednako dobro biti opremljene kako za ručni, tako za programirani i kombinovani rad. U vezi toga, u okviru ovoga teksta će se opisati familija LOLA HVBG mašina. Mašinski sistem se sastoji od jeftinih delova, i njega sačinjavaju pored mašine kojom se upravlja tehnikom dijaloga - radioničko programsko radno mesto, automatski izmenjivač alata, kao i automatski izmenjivač paleta.

Pojedinačna i maloserijska proizvodnja se konceptualno sasvim razlikuju od proizvodnje u srednjim ili velikim serijama. Osnovne karakteristike maloserijske i pojedinačne

proizvodnje su često preorjentisane mašine na drugačiji oblik komada, brza promena ravnih i prizmatičnih komada obratka, veliki broj geometrijskih varijanti i raznolikost obradaka. Ove karakteristike su dovele do razvoja i usavršavanja univerzalnih bušilica-glodalica do perfekcije, koje sada mogu izaći na kraj sa pomenutim zahtevima vezanim za geometriju obratka, kao i zahtevima vezanim za radni proces. Njihova bitna karakteristika je postojanje horizontalnog i vertikalnog radnog vretena, koji omogućavaju obradu ravnih i prizmatičnih obradaka na istoj mašini (slika 1.).

Korisnici ovih mašina su takođe doprineli razvoju univerzalnosti i samostalnosti ovih mašina. Radnik na univerzalnoj glodalici radi bez detaljnog opisa kojim je isplaniran njegov posao. On takođe često radi i bez specijalnog pribora, čija je upotreba neekonomična u uslovima pojedinačne i maloserijske proizvodnje. Često su crteži polufabrikata entiteti koje radnik dobija, te je po pitanju daljeg određivanja radnih parametara radnik potpuno nezavisan. On samostalno u skladu sa svojim iskustvom bira alate, određuje frekvencu obrtaja glavnog vretena, određuje brzine posmaka, i određuje putanju alata. On takođe vodi ručno mašinu kroz kritične faze obrade.

Ova neophodna visoka fleksibilnost i univerzalnost tima mašina-čovjek je jedna od bitnih teškoća koja se javlja pri uvođenju NC tehnologije u oblast pojedinačne i maloserijske proizvodnje. Uobičajena podela poslova u jednoj klasičnoj NC organizaciji proizvodnje, na planiranje tehnološkog postupka i pisanje programa u tehnološkom birou sa jedne strane, i opsluživanje NC mašine u pogonu - sa druge strane, nije ekonomski pogodna za pojedinačnu proizvodnju. Optimalno rešenje u ovakvom slučaju bi bilo iskorišćavanje odgovarajućeg stručnog znanja radnika za mašinom, pri pripremi mašine, kao i pri pisanju NC programa.



Sl 1. Osnovna mašina familije HVBG

3.0 KONSTRUKTIVNE KARAKTERISTIKE SADAŠNJIH CNC HORIZONTALNO- VERTIKALNIH BUŠILICA-GLODALICA

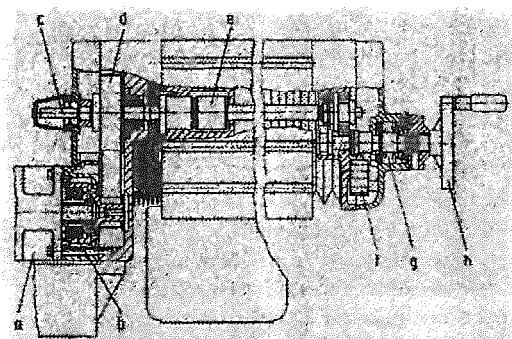
Pored uspeha koncepta univerzalnih glodalica koje su se mogle programirati i u pogonu, pojavile su se i neke teškoće, koje su sve više dobijale na težini, i koje su na kraju dovele do jedne potpuno ove konstrukcije ovih alatnih mašina. Na osnovu posebnih zahteva koji se očekuju od mašine koja radi u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, očekuje se od ovih mašina sledeće: beskompromisno uvođenje mašine kao NC mašine sa uvođenjem upravljanja oko obrtno ose radnog stola kao četvrte ose upravljanja; - uvođenje mogućnosti ručnog upravljanja mašinom pomoću ergonomski optimalno raspoređenih ručnih točkova za upravljanje, i sa visokom osetljivošću u slučajevima rada na kritičnim sekcijama obradnog postupka; - CNC memorijsko upravljanje sa velikim brojem obuhvaćenih funkcija i promptova za vođenje korisnika, potprogramima za izvođenje ciklusa glodanja i bušenja, što treba da omogući obradu komplikovanijih delova; - ugrađivanje mašine alatke u jedan automatizovani sistem snabdeven sa izmenjivačem obradaka, izmenjivačem alata, i direktnom programskom podrškom sa samo jednog mesta za programiranje i upravljanje.

Često univerzalne alatne mašine nisu zadovoljavale gore navedene zahteve. One su ili posedovale ergonomski ispravno postavljene ručne točkove, ali ne i dovoljno fleksibilan sistem za upravljanje kretanjem alata NC ili obrnuto, dobro je bilo razvijeno NC upravljanje kretanjem, ali nije dobro bilo rešeno ručno upravljanje. Često je nedostajalo i upravljanje oko ose obrtnog stola - tako značajno upravljanje za kružnu obradu prizmatičnih obradaka. Najzad, nedostajalo je i CNC upravljanje sa promptovima za pomoć korisniku pri unošenju ulaznih podataka upravljanja. Sintaksa upravljanja nekih od ovih mašina odstupa od standarda adresnog upisivanja po DIN 66025, tako da je teže racionalno organizovati timski rad na pripremi i programiranju ovakvih mašina u okviru posebne organizacione jedinice za programiranje. Jasno je da pisanje programa za određenu alatnu mašinu ima i određene granice ekonomičnosti. Najzad, mora biti uveden koncept automatizacije pojedinačne i maloserijske proizvodnje, koji će dovesti do većeg stepena racionalizacije, mogućnosti istovremenog opsluživanja više mašina, pripreme mašine off line, kao i do automatskog odvijanja procesa bez prekida u toku.

Mašina koja je prikazana na slici 1, pokazuje karakteristike strukture konzolnih horizontalno-vertikalnih bušilica glodalica mašina. Konzolni princip se karakteriše kompaktnošću mašinske konstrukcije, i u vezi sa time - dobrom pristupačnošću svim njenim delovima. Ona omogućuje optimalno postavljanje pojedinih elemenata opsluživanja, koji svi leže na dohvata ruke radniku opslužitelju. Takođe je ovde zadržana i univerzalnost konzolnih horizontalno-vertikalnih bušilica glodalica: moguće je na horizontalno radno vreteno ugraditi upravnu ili naginjuću glavu za vertikalno glodanje. Takođe postoje i varijante sa nerotirajućim konzolnim radnim stolom mašine, ili obrtnim/naginjućim stolom, koji se može i podizati. Uglovi zaokretanja ili nagiba stola se očitavaju na ekranu monitora CNC upravljanja. Kao primeri, navode se upravljani kružni sto sa podelom od po 5 stepeni, kao i NC kružni sto koji predstavlja četvrtu osu upravljanja.

Na slici 1 je prikazana mašina sa neobrotnim konzolnim stolom. Kao i svi drugi delovi koji su napadnuti silom rezanja, i modul klizača je tako dimenzionisan da može da izdrži i sile koje su 30% veće od maksimalnih radnih. Slika takođe pokazuje i optimalnu lokaciju CNC upravljačke jedinice, na kojoj se nalazi ekran kao stanica za uvid u podatke, kao i optimalna lokacija ručnih točkova namenjenih za eventualne ručne intervencije ove potpuno numerički upravljane bušilice - glodalice.

Pogled u unutrašnjost ove mašine daje više interesantnih detalja. Na slici 1 se može videti i raspored motora jednosmerne struje, koji predstavljaju pogon pomoćnog kretanja. Ovi motori direktno pokreću kuglično zavojno vreteno. Navrtka koja je prednapregnuta bez zazora, prenosi opterećenje pomoćnog kretanja na radne klizače. Motori jednosmerne struje se napajaju dovoljno 'glatkom' jednosmernom strujom preko jednog tranzistorskog pojačivača, čiji je efekat približno jednak efektu tiristorskog pojačivača. Dobra dinamička karakteristika regulacionog sistema se najbolje vidi u slučaju kružnog glodanja. Kod cirkularnog glodanja je moguće ostvariti toleranciju kružnosti po DIN 7184 ne preko 8 mikrometra. Osim u slučaju manje značajne vertikalne ose, ručni točkovi su u direktnom kontaktu sa kugličnim zavojnim vretenom. Ovim se postiže zahtevana laka pokretljivost pri pozicioniranju, kao i tačnost pri vođenju alata u toku rezanja. Pomoću jedne kočnice se sprečava proklizavanje alata u slučaju istosmernog glodanja. Utvrđivanjem točkova za ručno upravljanje, dolazi do isključivanja regulacionog kola preko jednog graničnika, tako da radnik bezbedno može da upravlja pomoćnim kretanjem pomoću motora, ili pak ručno pomoćno kretanje. Na slici 2 je prikazano pomoćno kretanje poprečne X ose, gde se mogu videti opisani elementi kretanja.



SI 2. Pomoćno kretanje poprečne X ose
a-motor jednosmerne struje; b-koliziona spojnica; c-priključak za uređaj za spiralno glodanje; d-remeni prenosnik; e-kuglično zavojno vreteno; f-krajni prekidač; g-kočnica; h- točak za ručno pomeranje

Visoke brzine rezanja, visoke frekvence obrtaja radnog vretena kao i intenzivna cirkulacija sredstva za podmazivanje iz posebnog rezervoara, zahtevaju postojanje zaštitne komore za radni prostor, koja će odgovarati standardima sigurnosti na radu. radniku olakšao rad u smislu vođenja dijaloga sa mašinom.

4.0 KARAKTERISTIKE CNC UPRAVLJANJA

CNC konzolne horizontalno-vertikalne bušilice glodalice koje treba da rentabilno rade u okruženju maloserijske i pojedinačne proizvodnje, moraju biti opremljene takvim sistemom za upravljanje koji omogućuje lako programiranje mašine, lako učenje kao i pouzdanost. Ovo zahteva veću inteligenciju sistema za upravljanje, kako bi se pomoću odgovarajućih potprograma i odgovarajućih šablona za pojedine tehnološke operacije, radniku olakšao rad u smislu vođenja dijaloga sa mašinom.

U LOLA Institutu je realizovan CNC računar niske cene LOLA 200 CNC na bazi IBM PC-kompatibilnog računara i dodatnih modula za upravljanje osama i digitalno ulazno-izlaznim modulima za spregu sa alatnom mašinom.

Osnovne karakteristike realizovanog računara LOLA 200 CNC su:

- upravljanje maksimalno 3 servo ose;
- upravljanje glavnim pogonom ili četvrtom osom;
- obrada 128 ulazna digitalna signala;
- obrada 64 izlazna signala;
- DNC komunikacija za vezu sa nadređenim računarom;
- interfejs za čitač i bušač trake;
- tvrdi disk 40 Mb za smeštanje NC programa.

LOLA 200 CNC ima 6 osnovnih režima rada: zadavanje parametara sistema, programiranje veze sa mašinom, ručni režim rada, ručno zadavanje programske linije, automatsko izvršenje programa i editovanje programa.

Upravljanje dijalogom je 2 1/2 D upravljanje kretanjem po četiri ose. Zahvaljujući cirkularnoj i linearnoj interpolaciji, kojima raspolažu dve od ukupno četiri ose mašine, raspolaže upravljačka jedinica sa potpunom korekturom putanje kretanja tačke rezanja u odnosu na radijus glodala. Zahvaljujući ovoj činjenici je sasvim dovoljno opisivanje putanje alata preko opisa konture izradka. Upravljački sistem tada određuje putanju vrha alata na osnovu podataka koje dobija od samog alata. Kod prelaza na konturi, automatski se uvode radijusi istih.

Od naročitog značaja su četiri standardna ciklusa glodanja - grubo glodanje, slobodno glodanje i fina obrada džepova, pri istosmernim ili suprotnosmernim uslovima. Za zadavanje ovih obrada takođe se koristi dijalog. Pritiskom na određeni G taster, preko ekrana se ponovo kao i kod bušenja - unose parametri konture i tehnologije. Ovde takođe odgovara koncepcija jedne reži po ciklusu obrade. Za grubo i fino glodanje upravnog džepa potrebne su samo dve programske reči, iz kojih upravljačka jedinica generiše 43 programske reči. Pored ovoga, upravljačka jedinica raspolaže potprogramima za radijuse prelaza na uglovima, kao i funkciju 'ogledala', tako da je korisnik koji programira mašinu oslobođen od izvršavanja pojedinih složenih matematičkih proračunavanja putanje.

Osim LOLA 200 CNC razvijen je i LOLA 200 MC dvoosni pozicioner koji potpuno odgovara skromnim zahtevima za upravljanjem mašinom. DNC komunikacija omogućava proveru statusa pozicije, pozicioniranje u referentnu tačku, izvršavanje blokova naredbi kao i rad u automatskom režimu.

Opisane LOLA računare moguće je koristiti za sve nabrojane male mašine u ovom radu. Na LOLA 200 CNC računaru je moguće programirati i druge tehnološke operacije - struganje, erodiranje, probijanje i autogeno sečenje osim gore navedenih na jezicima sličnim APT-u.

6.0 ZAKLJUČAK

Realizacijom LOLA mini CNC računara i pozicionera, moguće je bilo ući u razvoj malih mašina za obradu rezanjem, koje postaju sve više neophodnost na domaćem tržištu. Razvijaju se konvencionalna rešenja sa ručnim upravljanjem (kod HVBG mašina), sa pozicionim upravljanjem, CNC i kombinovano upravljanje. Ovakvo upravljanja omogućava

izradu širokog spektra struktura malih mašina za obradu rezanjem i pretstavlja ekonomično i racionalno rešenje za praksu.

Efekat racionalizacije koji se postiže korišćenjem četiri ključna elementa koncepta automatizacije (CNC bušilice-glodalice sa mogućnošću programiranja u pogonu tehnikom dijaloga, dijaloški orjentisano radno mesto za eksterno programiranje, automatski izmenjivač alata i automatski izmenjivač paleta čime dobijamo mali obradni centar) takođe se zasniva na većem iskorišćenju CNC mašine, organizaciji opsluživanja više mašina kao i brzom razvoju programa obrade.

Literatura:

1. Gemaljević, M., Lukić, Lj. Pantelić, P.: Tendencije uvođenja novih rešenja kod LOLA obradnih centara, Zbornik radova 15 jugoslpvenski simpozijum NUMA Roboti FTS, Prohor Pčinjski, 1993.
2. Gemaljević, M.: Male alatne mašine za obradu rezanjem, Makroprojekat LOLA Korporacije, Beograd, 1994.
3. Zdravković, A., Ivanković, S., Urošević, Z., Ivanović, D.: Realizacija i primena dvoosnog pozicioniranja, Zbornik radova 15 jugoslpvenski simpozijum NUMA Roboti FTS, Prohor Pčinjski, 1993.
4. Ivanković, S., Zdravković, A., Sredanović, S., Latinović, I.: Realizacija CNC računara na bazi personalnog računara, Zbornik radova 15 jugoslpvenski simpozijum NUMA Roboti FTS, Prohor Pčinjski, 1993.

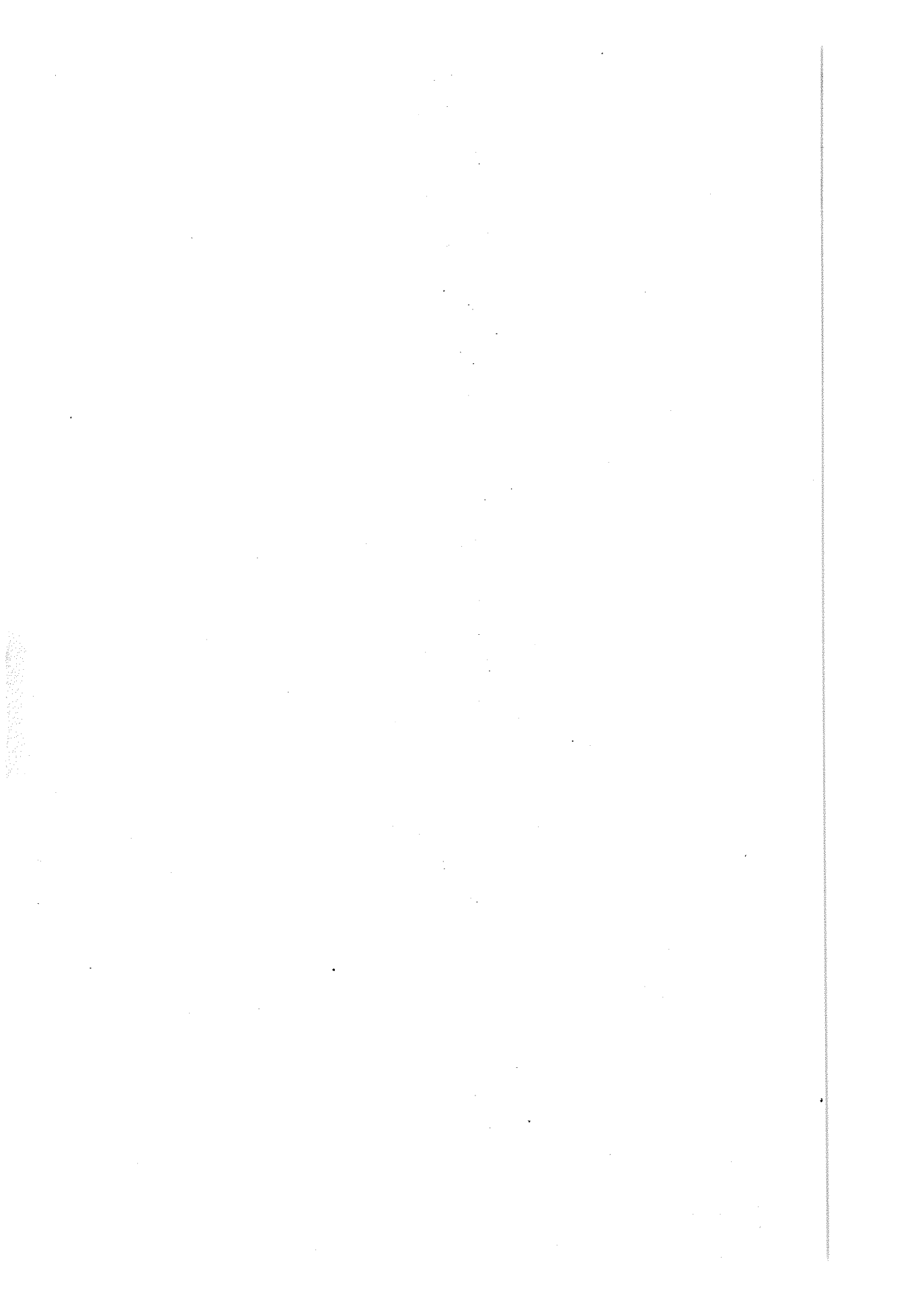
M, Gemaljević , I, Latinović :

LOLA CONCEPT FOR SMALL CUTTING MACHINE TOOLS

Summary

Market rules and forecasts directs one of the LOLA Corporation development aspects towards introducing small machine tools into the production program. The concept is based on the existing production program and the expansion of universal milling and boring machines and small school and graver machines programs. From the control viewpoint, the concept considers manual, position and numeric control of small machines.

The paper defines the "small" machines concept, the basic concept assumptions and characteristics of several families of small cutting machine tools.



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Z. Kočović, M. Gemaljević, P. Bojović, R. Radiša

**LINEARNO VOĐENJE POKRETNIH MODULA FAMILIJA LOLA
OBRADNIH CENTARA**

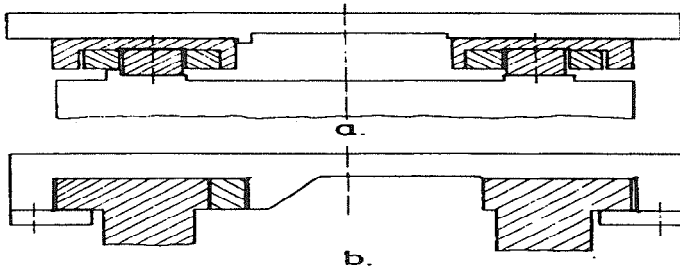
Rezime:

Kuglične klizne vodjice se koriste u mašinama alatkama zbog svojih specifičnih karakteristika: malo trenje i visoke preciznosti. Kod projektovanja mašina alatki, mora se voditi računa da izbor kliznih vodjica bude u funkciji opterećenja i maksimalne tolerisane elastične deformacije. Ovo opterećenje i deformacija su obično ekscentrični, a proizvođači kliznih vodjica ukazuju samo na vrednosti centralnog opterećenja i krutosti.

1.0. UVOD

Kod modernih mašina alatki kuglične klizne vodjice se koriste zbog svojih specifičnih karakteristika. Malo trenje i zanemarljivo lepljenje i proklizavanje omogućuju visoku tačnost pozicioniranja, kao i mali i jeftini pogonski mehanizam. Obično se koristi kod numerički upravljanih mašina alatki sa kugličnim zavojnim vretenom, kao elementom za pozicioniranje.[1]. Čak se stolovi do 400x 500 mm mogu pozicionirati rukom, ako su postavljeni na kuglične klizne vodjice. Preciznost je vrlo velika, maksimalna devijacija pokretnog stola, od idealne prave linije ne prelazi 5 μ m na 1000 mm. Upotreba kugličnih zavojnih vodjica pojednostavljuje projektovanje i proizvodnju mašina. Slika 1 prikazuje sto sa kugličnim a) i klasičnim kliznim vodjicama b). Kada se koriste kuglične klizne vodjice potrebno je obraditi 6 površina, dok je kod klasičnih potrebno 12, pri čemu se kod prvih izbegava brušenje i traži manja tačnost tolerancije položaja i oblika (ravnost, paralelnost,...), a za drugi tip vodjica je neophodno brušenje i veća tačnost obrade.

Zoran Kočović, dipl.ing.maš., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd
Milenko Gemaljević, dipl.ing.maš., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd
Prvoslav Bojović, dipl.ing.maš., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd
Radomir Radiša, dipl.ing.maš., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd



Slika 1.

Klasične klizne vodjice se moraju podmazivati i poteban je prorez za ulje, dok kuglične klizne vodjice rade bez podmazivanja i bez mrtvog hoda.

2.0. KAPACITET OPTEREĆENJA I KRUTOST

Kada se opterećenje na kliznim vodjicama povećava, smanjuje se vek trajanja, a mogu se pojaviti oštećenja. Definirano opterećenje je glavno opterećenje koje klizna vodjica može da prenese za vreme veka trajanja. Ovo opterećenje zavisi od geometrije na kontaktu između kuglica i klizne staze, materijala i njegove čvrstoće, broja kuglica pod opterećenjem i stalnosti proizvodnje.

Vek trajanja indentičnih kugličnih kliznih vodjica opterećenih i montiranih u istim uslovima je različit. To znači da nominalno opterećenje koji definiše proizvođač nije stalna karakteristika.

Ove vrednosti se određuju samo radom i iskustvom. Krutost kugličnih kliznih vodjica se određuju tačnije. Dokazane su da su glavne deformacije kod kugličnih kliznih vodjica, deformacije na kontaktu između kugličnog elementa i klizne staze.

Krutost kuglične klizne vodjice izračunate preko deformacije na kontaktu je skoro ista kao i eksperimentalno izmerena krutost. Razlika između teorije i prakse nikad ne prelaze 10 %.

3.0. PROJEKTOVANJE MAŠINE SA KUGLIČNIM KLIZNIM VOĐENJEM

Prvo se mora izračunati opterećenje kugličnih kliznih vodjica koje se sastoji od opterećenja koje se odnosi na delove mašine alatke i radnog predmeta i sila rezanja. S druge strane, elastične deformacije izazvana silom rezanja ne smeju da predju maksimalnu vrednost koja je funkcija očekivane tačnosti radnog predmeta koji se proizvodi na mašini. U praksi, sila rezanja i težina su ekscentrična opterećenja na kuglične klizne vodjice.

Nominalno opterećenje C_n , koje daje proizvođač je maksimalno opterećenje koje je moguće primeniti, kada je ovo opterećenje deluje kao centralno opterećenje na kuglične klizne vodjice, tako da je svaka kuglica pod istim opterećenjem, koje se zove maksimalno opterećenje po kuglici (F_b).

Tako za $C_n = n F_b$, gde je n broj kuglica pod opterećenjem. Krutost koja je data od proizvođača ima vrednost koja se odnosi na situaciju kada sve kuglice imaju istu deformaciju (ovo je za stalno definisano centralno opterećenje). Ova vrednost se zove "centralna krutost"

Sn. Projektant određuje vrednost ekscentričnog opterećenja i ekscentrične krutosti neophodne za kvalitetan rad mašine, ali proizvođač samo ukazuje na nominalno opterećenje C_n , i centralnu krutost (vrednost koja važi samo za centralno opterećenje) u njihovom katalogu. Projektant mašine ne može da koristi vrednosti koje daje proizvođač, direktno.

4.0. EKVIVALENTNO CENTRALNO OPTEREĆENJE I EKVIVALENTNO CENTRALNA KRUTOST

Kod ekscentričnog opterećenja kugličnih kliznih vodjica, neke kuglice će biti opterećene više nego druge. Opterećenje na većini opterećinih kuglica mora biti manje ili jednako maksimalnom opterećenju po kuglici F_b .

Umesto pretpostavke da je kuglična klizna vodjica opterećena ekscentričnim opterećenjem kuglična klizna vodjica može biti opterećena i centralnim opterećenjem. Vrednost ovog opterećenja je tako izabrana da je opterećenje svake kuglice jednako opterećenju na većini kuglica pri ekscentričnom opterećenju. Ovo centralno opterećenje se zove ekvivalentno centralno opterećenje F_c , i mora se uporediti sa nominalnim opterećenjem C_n .

Ako je:

- $F_c = C_n$ klizna vodjica može da izdrži ekscentrično opterećenje ali radi sa maksimalnim kapacitetom;
- $F_c < C_n$ klizna vodjica može da izdrži ekscentrično opterećenje, a da ne radi sa maksimalnim kapacitetom;
- $F_c > C_n$ klizna vodjica ne može da izdrži ekscentrično opterećenje.

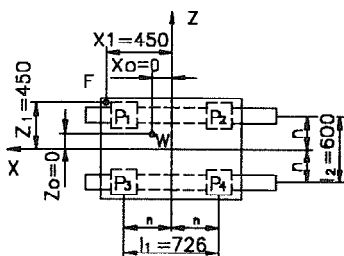
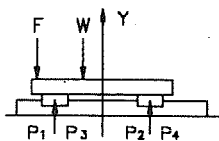
Prema tome uslov koji treba da se ispuni je $F_c \leq C_n$. Na isti način može da se odredi i ekvivalentna krutost. Ekvivalentna krutost je centralna krutost neophodna da obezbedi krutost po ekcentričnim opterećenjem koje je jednako datoj krutosti. Ekvivalentna krutost mora biti manja ili jednaka centralnoj krutosti kliznih vodjica.

5.0. PRIMER IZBORA KUGLIČNIH KLIZNIH VODJICA

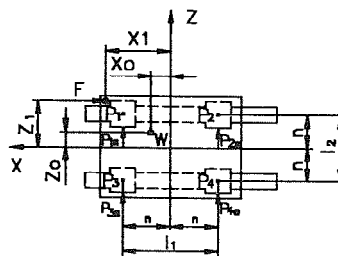
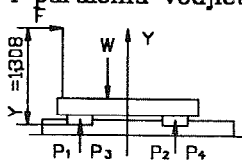
U LOLA Institutu razvijena je grupa programa za proračun i izbor kugličnih kliznih vodjica. Na osnovu maksimalnih sila rezanja i težine pokretnih delova mašine izračunavaju se ekvivalentna opterećenja na vodjicama u x , y i z pravcu. Za apsolutnu maksimalnu vrednost sila reakcije proračunato je ekvivalentno centralno opterećenje. Za Lolin obradni centar HMC630 na sledećim slikama prikazane su proračunate vrednosti za sve tri ose.

Odredjivanje reakcija oslonaca: X-osa

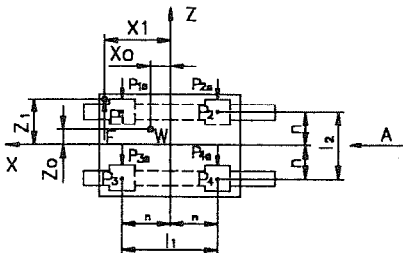
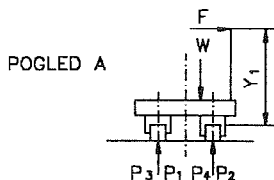
a) Sila F vertikalna



b) Sila F horizontalna i paralelna vodjicama



c) Sila F horizontalna i upravna na vodjice



a) Sila F vertikalna

$P_1 = 18,9 \text{ kN}$
 $P_2 = 9,6 \text{ kN}$
 $P_3 = 7,6 \text{ kN}$
 $P_4 = -1,6 \text{ kN}$

b) Sila F horizontalna i paralelna vodjicama

$P_1 = 18,4 \text{ kN}$ $P_{1s} = 4,6 \text{ kN}$
 $P_2 = -8,6 \text{ kN}$ $P_{2s} = -4,6 \text{ kN}$
 $P_3 = P_1$ $P_{3s} = P_{1s}$
 $P_4 = P_2$ $P_{4s} = P_{2s}$

c) Sila F horizontalna i upravna na vodjice

$P_1 = 21,2 \text{ kN}$ $P_{1s} = 8,4 \text{ kN} = P_{3s}$
 $P_2 = 21,2 \text{ kN}$ $P_{2s} = -0,89 \text{ kN} = P_{4s}$
 $P_3 = -11,4 \text{ kN}$
 $P_4 = -11,4 \text{ kN}$

Ulazni podaci za proračun dinamičke nosivosti X-ose

- željeni radni vek
- faktor opterećenja
- broj duplih hodova u minuti
- predjeni put u 1 ciklusu

$L_h = 15000 \text{ h}$
 $f_b = 0,7$
 $f = 0,66$
 $s = 1 \text{ m}$

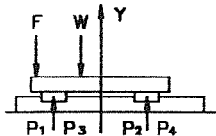
- * maksimalna reakcija oslonaca u pravcu Y ose
- * maksimalna reakcija oslonaca u pravcu Z ose
- * sračunata dinamička nosivost

$Y_r = 21,255 \text{ kN}$
 $Z_r = 8,398 \text{ kN}$
 $C = 63,799 \text{ kN}$

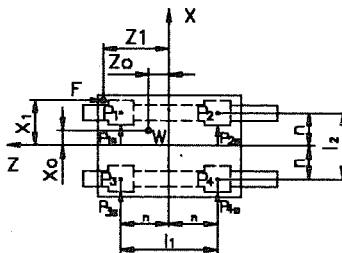
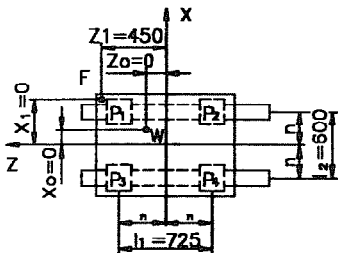
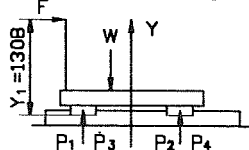
Na osnovu proračuna izabrana je kotrljajna vodjica LRSA 55 proizvođača FAG čija je dinamička nosivost $C = 89,3 \text{ kN}$

Određivanje reakcija oslonaca: Z-osa

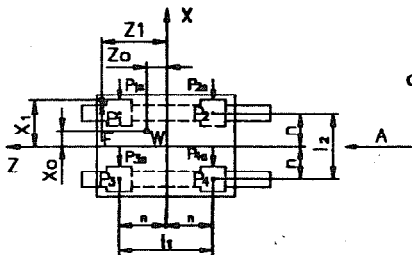
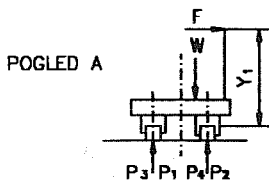
a) Sila F vertikalna



b) Sila F horizontalna i paralelna vodjicama



c) Sila F horizontalna i upravna na vodjice



a) Sila F vertikalna

- $P1=15,7 \text{ kN}$
- $P2=8,45 \text{ kN}$
- $P3=P1$
- $P4=P2$

b) Sila F horizontalna i paralelna vodjicama

- $P1=20,8 \text{ kN}=P3$
- $P2=-8,17 \text{ kN}=P4$
- $P1x=P2x=P3x=P4x=0$

c) Sila F horizontalna i upravna na vodjice

- $P1=23,7 \text{ kN}$
- $P2=23,7 \text{ kN}$
- $P3=-8,9 \text{ kN}$
- $P4=-8,9 \text{ kN}$
- $P1x=8,4 \text{ kN}=P3x$
- $P2x=-0,905 \text{ kN}=P4x$

Ulazni podaci za proračun dinamičke nosivosti Z-ose

- željeni radni vek
- faktor opterećenja
- broj duplih hodova u minuti
- predjeni put u 1 ciklusu

- $L_h=15000 \text{ h}$
- $f_b=0,7$
- $f=0,83$
- $s=0,8 \text{ m}$

- * maksimalna reakcija oslonaca u pravcu Y ose
- * maksimalna reakcija oslonaca u pravcu X ose
- * sračunata dinamička nosivost

- $Y_r=23.707 \text{ kN}$
- $X_r=8,405 \text{ kN}$
- $C=71,289 \text{ kN}$

Na osnovu proračuna izabrana je kotrljajna vodjica LRSA 65 proizvođača FAG čija je dinamička nosivost $C = 124,4$ kN

Ulazni podaci za proračun dinamičke nosivosti Y-ose

- željeni radni vek	$L_h = 15000$ h
- faktor opterećenja	$f_b = 0,7$
- broj duplih hodova u minuti	$f = 0,83$
- predjeni put u 1 ciklusu	$s = 0,8$ m
* maksimalna reakcija oslonaca u pravcu Y ose	$Y_r = 16,564$ kN
* sračunata dinamička nosivost	$C = 49,809$ kN

Na osnovu proračuna izabrana je kotrljajna vodjica LRSA 55 proizvođača FAG čija je dinamička nosivost $C = 89,3$ kN

Literatura:

- /1/ J. De Fraine: The Chice of ballslideways for machine tools, CIRP 1993, pp, 193 - 147.
- /2/ Gemaljević, M., Razvoj horizontalnog obradnog centra, Inovacioni projekat Fonda za tehnološki razvoj Srbije I.1.0676, Beograd, 1993.
- /3/ Istraživanje, razvoj i projektovanje horizontalnog obradnog centra HMC 630, Elaborat 923, Lola Institut, 1994.
- /4/ Bojović, P., Kočović, Z.: Dimenzionisanje i izbor motora pogona pomoćnih kretanja Lola obradnih centara, Jupiter, Kopaonik 1991, str.73-81.
- /5/ Gemaljević, M., Lukić, Lj., Pantelić, P.: Tendencije uvođenja novih rešenja kod Lola obradnih centara, Jupiter, 1993, Prohor Pčinjski.
- /6/ Pantelić, P., Lukić, Lj., Gemaljević, M.: Istraživanje i razvoj nove generacije horizontalnih obradnih centara tipa HMC, Zbornik radova 11 jugoslovenski simpozijum CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Kopaonik, 1992.
- /7/ Lukić, Lj., Pantelić, P., Gemaljević, M.: Nova generacija horizontalnog obradnog centra tipa HMC projektna osnova, Lola Institut, Beograd, 1992.

Z. Kočović, M. Gemaljević, P. Bojović, R. Radiša

LINEAR GUIDING MOVEMENT MODULES FOR LOLA MACHINING CENTERS

Summary

Ball slideways are used in machine tools because of their specific properties: very low friction and high precision. In machine designing, the slideway must be chosen as a function of the load and maximum tolerated elastic deformation. This load and deformation are mostly eccentric for slideways and slideway manufacturers indicate only the values of central load capacity and stiffness.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

D. Novaković, R. Gatalo, Ž. Zeljković, J. Rekecki*

**PROJEKTOVANJE KONCEPCIJE NU FT STRUKTURE I NJENIH
MODULA U SISTEMU ZA AUTOMATIZOVANO MODULARNO
PROJEKTOVANJE FT - STRUKTURA**

Rezime

U radu se razmatra problematika projektovanja koncepcije NU FT struktura kao značajnog segmenta u sistemu za njihovo automatizovano modularno projektovanje. U prvom delu rada se daje opšti pristup problematici, zatim se definišu osnovni moduli NU FT strukture nižeg nivoa složenosti kao i načini definisanja modula strukture. Na kraju se prikazuje opšta forma karakteristika modula strukture nižeg stepena složenosti i izgled baze znanja za jedan modul razvijenog ekspertnog sistema.

1.0 UVOD

Projektovanje NU FTs je vrlo kompleksan i složen proces sa značajnim nizom uticajnih faktora koji se pojavljuju u stvaranju osnovne koncepcije strukture.

Osnovni sastav strukture određenog nivoa NU FTs čine određeni sistemi koji se komponuju na bazi osnovnih modula za njihovu gradnju.

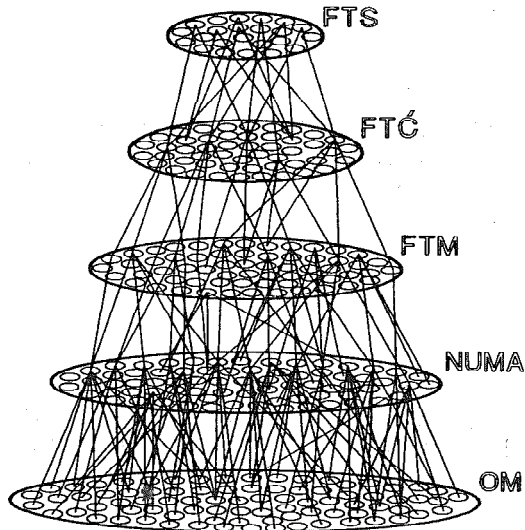
Osnovni moduli čine osnovu tehnološkog funkcionisanja sistema. Princip modularnosti gradnje je osnovna filozofija projektovanja fleksibilne tehnološke strukture bilo kog nivoa složenosti (slika 1).

FTs višeg nivoa složenosti komponuju se iz modula FTs nižeg nivoa složenosti. Modularnost je zastupljena u horizontalnim i vertikalnim nivoima FTs, što znači da su strukture na svakom nivou modularno koncipirane, odnosno da se u svakoj konstruktivnoj varijanti vodi računa o modularnosti gradnje.

Modularno komponovanje FTs podrazumeva njihovu gradnju na bazi raspoloživog fonda modula.

Modul je kompaktna celina mašinskih elemenata (delova) koji zaokružuje jednu funkcionalnu celinu. On je osnovni element komponovanja strukture.

*) Novaković Dragoljub, dipl.ing. stručni saradnik, Gatalo dr Ratko, dipl.ing., redovni profesor, Zeljković Željko, dipl. ing., asistent u nir., Rekecki dr Jožef, redovni profesor u penziji, Institut za proizvodno mašinstvo, Fakultet tehnički nauka, 21000 Novi Sad, Vladimira Perića Valtera 2



Sl. 1 Princip modularnog komponovanja struktura različitog nivoa složenosti

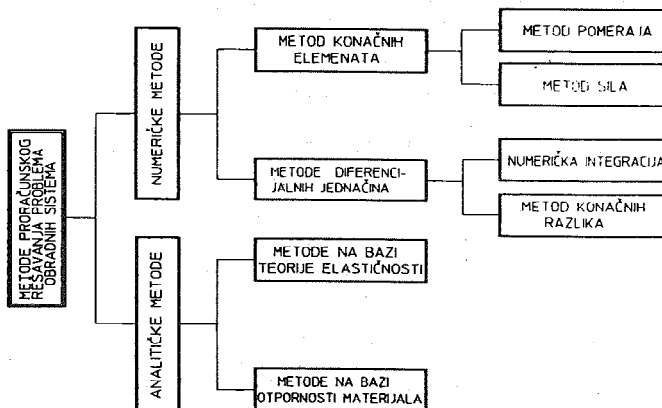
Do raspoloživog fonda modula može se doći na više načina. Jedan od načina realizovan je kroz istraživanja [2] tako da su postavljena metodologija i dobijeni rezultati izvanredna osnova za postavku automatizovanog sistema projektovanja modularno koncipiranih NU FTs.

2.0 GEOMETRIJSKO DEFINISANJE MODULA NU FT STRUKTURE

Za komponovanje modula pored tehnološke i kinematske analize potrebno je definisati i geometrijske karakteristike modula. Geometrijsko definisanje modula može se vršiti na dva načina:

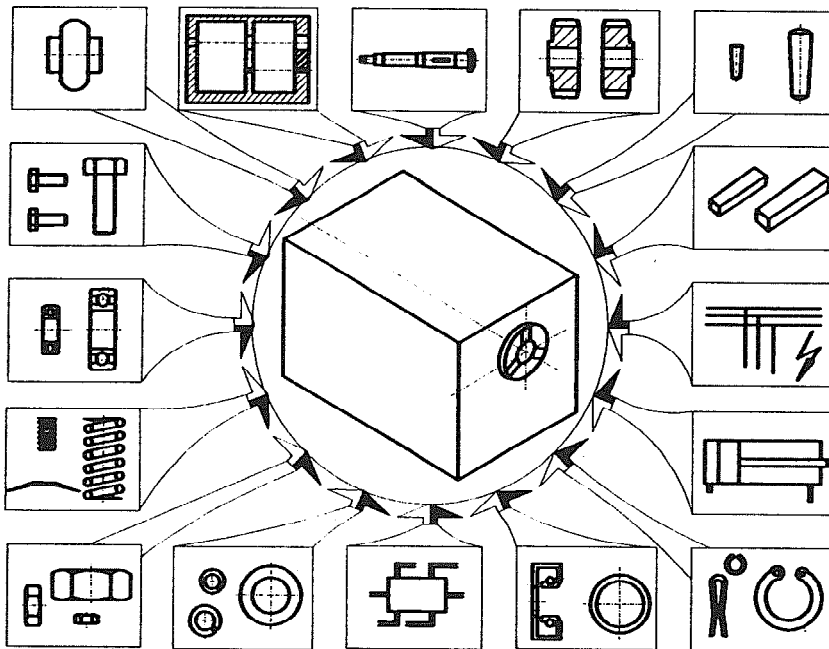
- proračunskim metodama i
- iskustvenim metodama.

Proračunsko definisanje modula mašinskog sistema podrazumeva postavljanje proračunskih metoda (slika 2) kojima se dimenziono definišu pojedini strukturni elementi modula i sami moduli.



Sl. 2 Proračunske metode rešavanja problema NU FTs

Modul, kao kompaktna celina funkcionalno objedinjenih mašinskih elemenata (delova), se može strukturno rasčlaniti na elemente sopstvene strukture. Na slici 3 je prikazan modul vreteništa kao strukturna celina funkcionalno objedinjenih elemenata (delova) sopstvene strukture.



Sl. 3 Modul vreteništa struga kao strukturna celinu delova

U okviru obradnih sistema postoji familija modula različitih dimenzionih karakteristika, a samim tim postoji i familija modula i delova modula. Dimenzije delova diktiraju dimenziju modula.

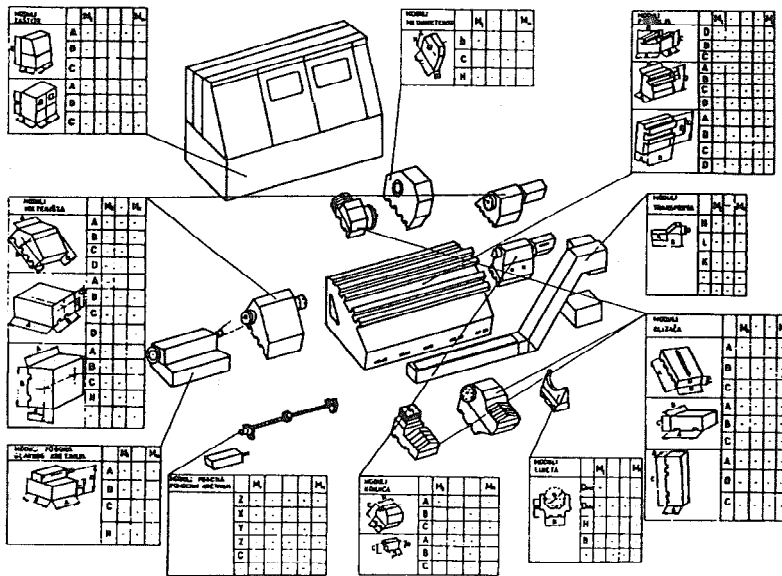
Opređenje za određenu dimenziju dela vrši se na bazi proračunskog toka kako geometrijskog proračuna tako i moći nošenja elemenata. Procesi proračuna i provere su pogodni za automatizaciju.

Iskustveno definisanje modula mašinskog sistema podrazumeva analizu izvedenih i primenjenih modula i na bazi toga postavljanje empirijskih formula za dimenziono definisanje pojedinih strukturnih elemenata i samih modula.

Za primenu bilo koje od ovih metoda neophodno je definisati module strukture i elemente (delove) samih modula.

Primer komponovanja strukture strugarskog obradnog sistema iz modula strukture prikazan je na slici 4.

Iskustvena metoda definisanja familije modula predstavlja primenu metoda analize i sinteze nad izvedenim sistemima i na toj bazi stvaranje novih sistema.



Sl. 4 Modularno komponovanje strugarskog obradnog sistema na bazi raspoloživog fonda modula

3.0 OPŠTE GEOMETRIJSKE KARAKTERISTIKE OD ZNAČAJA ZA KONCEPT AUTOMATIZOVANOG MODULARNOG PROJEKTOVANJA NU FTs

Na dovoljno uopštenim principima, za razvoj koncepta automatizovanog modularnog projektovanja, razvijen je koncept modula FTs nižeg nivoa složenosti, kao što su strugarski obradni sistemi. Moduli su definisani prvo u opštoj formi (slika 5), a zatim su na toj osnovi formirane konkretne veličine modula na bazi kojih su izgrađene baze znanja o modulima u sistemu za njihovo automatizovano modularno projektovanje.

Karakteristične dimenzije modula su od značaja za proces uklapanja (kombinovanja) sa drugim modulima odnosno one određuju modul u familiji veličina modula.

Karakteristične dimenzije modula napisane su u opštoj formi. Ova opšta forma u obliku u kojem je napisana i to npr. za koso postolje:

A/ A_1, A_2, \dots, A_n

B/ B_1, B_2, \dots, B_n

H/ H_1, H_2, \dots, H_n

E/ E_1, E_2, \dots, E_n

$E_a/ E_{a1}, E_{a2}, \dots, E_{an}$

$E_b/ E_{b1}, E_{b2}, \dots, E_{bn}$

$a/ a_1, a_2, \dots, a_n$

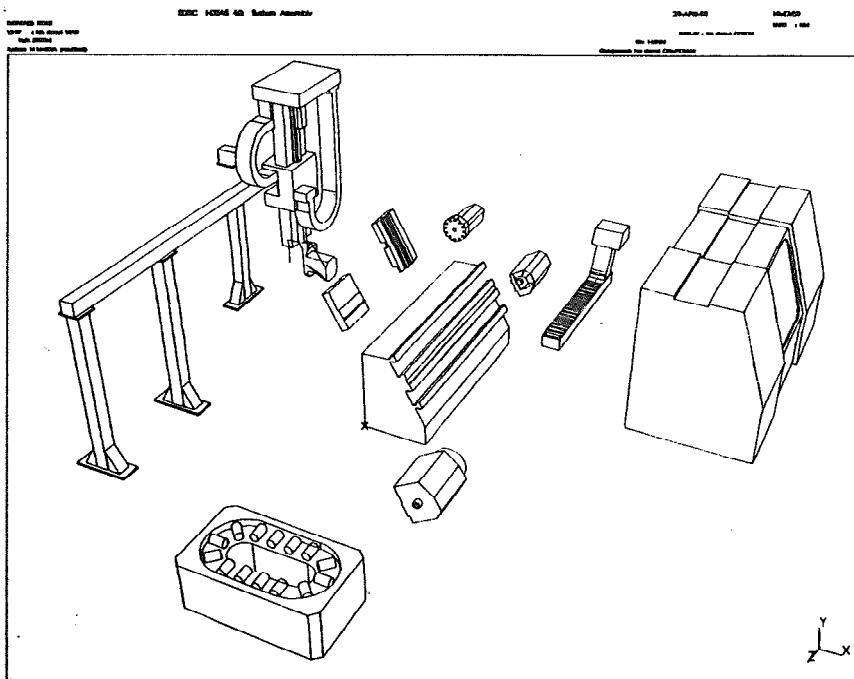
predstavlja osnovu iz koje se gradi familija od M_1, \dots do M_n modula ove klase postolja.

Na bazi ovako definisanih modula u SAMP se projektuju NU FT strukture određenog nivoa složenosti.

MODULI . P O S T O L J A						
NAZIV MODULA	SKICA MODULA	KARAKTERISTIČNE DIMENZIJE	SISTEM KOMPONOVANJA	OZNAKA/SIMBOL		
KOSO POSTOLJE		A A ₁ , A ₂ , ..., A _n	STRUGARSKI OBRADNI SISTEMI SA KOSIM POSTOLJEM	PK / A, B, H, E, . E ₁ , E ₂ , L, L ₁		
		B B ₁ , B ₂ , ..., B _n				
		H H ₁ , H ₂ , ..., H _n				
		E E ₁ , E ₂ , ..., E _n				
		E ₁ E ₁₁ , E ₁₂ , ..., E _{1n}				
		E ₂ E ₂₁ , E ₂₂ , ..., E _{2n}				
d d ₁ , d ₂ , ..., d _n						
MODULI . V R E T E N I Š T A						
VRETENIŠTE RAVNO		A A ₁ , A ₂ , ..., A _n	STRUGARSKI OBRADNI SISTEMI SA RAVNIM I KOMBINOVANIM POSTOLJEM	VR / A, B, C, H, 		
		B B ₁ , B ₂ , ..., B _n				
		H H ₁ , H ₂ , ..., H _n				
		C C ₁ , C ₂ , ..., C _n				

Sl. 5. Segment razvijenog koncepta definisanja modula NU FT struktura nižeg nivoa složenosti - moduli postolja i vreteništa strugarskog obradnog sistema

Na slici 6 je ilustrovan primer strukture fleksibilnog tehnološkog modula (FTM) dobijenog korišćenjem razvijenog SAMP na CAD radnoj stanici.



Sl. 6 FTM prikazan sa prostorno raspoređenom strukturom modula

4.0 ZAKLJUČCI

FTs kao sistemi velike složenosti mogu se projektovati na različite načine. Opređenje i filozofija ovog rada je koncept modularnog projektovanja koji pruža izuzetnu pogodnost za automatizovano rešavanje. Za potrebe postavljenog koncepta razvijene su na dovoljno uopštenim principima baze modula sa opštim geometrijskim karakteristikama modula, kao i načinima njihovog simboličkog označavanja i geometrijskog prikazivanja uz pomoć simbola.

Za postavljeni model razvijen je fond modula na osnovu koga se dolazi do projektovanih rešenja FTs različitih nivoa složenosti.

U okviru postavljenog koncepta potrebno je raditi na dogradnji baze znanja o FTs i njihovim modulima.

5.0 LITERATURA

- [1] NOVAKOVIĆ, D.: Automatizacija modularnog projektovanja numerički upravljanih fleksibilnih tehnoloških struktura na bazi mašina za struganje, Magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1994.
- [2] REKECKI, J., JANOŠI, J., GATALO, R., BRAUHLER, J., NAĐABONJI, G., ZELJKOVIĆ, M., BOROJEV, LJ., HODOLIĆ, J.: SISTEM STRUGOVA - Konceptija razvoja i konstrukciona rešenja familije horizontalnih strugova za oblast prečnika obrade od 450 do 2000 /mm/, elaborat, (rađeno za potrebe FAMIL POTISJE iz Ade), Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad, 1982.
- [3] NOVAKOVIĆ, D., ZELJKOVIĆ, Ž., GATALO, R.: Koncept ekspertnog i grafičkog sistema za automatizovano modularno projektovanje numerički upravljanih fleksibilnih tehnoloških struktura, V. Međunarodna naučno-stručna konferencija mma'94 "FLEKSIBILNE TEHNOLOGIJE", Zbornik radova, Novi Sad, 1994.
- [4] GATALO, R., NOVAKOVIĆ, D., REKECKI, J.: Prilog razvoju sistema za automatizovano projektovanje modularno koncipiranih numerički upravljanih fleksibilnih tehnoloških struktura za obradu rotacionih delova, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, Novi Sad, 1992.
- [5] AVERJANOV, O. J.: Modulares Princip des Aufbaues von Maschinen, Fertigungstechnik und Betrieb, Vol. 11, Berlin, 1987.
- [6] ВАСИЛЬЕВ, А. Л.: Модульный принцип формирования техники, Издательство стандартов, Москва, 1989.

D. Novaković, R. Gatalo, Ž. Zeljković, J. Rekecki

CONCEPT DESIGN OF NC FM STRUCTURE AND ITS MODULES IN A SYSTEM FOR AUTOMATED MODULAR DESIGN OF FM STRUCTURES

Summary

The paper reviews the problems related to the NC FM structures concept design, since these structures represent a significant segment of the system for their automated modular design. The first part deals with some basic considerations, defines the basic modules of FM structures of lower complexity levels as well as methods for their definition.

The final part presents the characteristics of structural modules in a general form. An example of a solution developed using the automated modular NC FM design system is presented in the form of the exploded view of the module structure.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

P. Popović, D. Temeljkovski, Lj. Perić*

ANALIZA KONCEPCIJSKIH REŠENJA POGONSKOG SISTEMA
ZAVOJNIH PRESA VARIJABILNOG MOMENTA INERCIJE ZAMAJCA

Re z i m e

Zavojne prese koje se tretiraju u ovom radu, a u kojih je kinematički deo pogonskog mehanizma zavojni mehanizam, doživele su, naročito zadnjih decenija, razvoj velikog broja različitih koncepcijskih rešenja. Na osnovu matematičkog broja mogućih varijanti koncepcijskih rešenja obezbedjenja potrebne energije formiran je kompleksni model. Na ovaj način od 27 teorijskih varijanti, dolazi se do 4 realnih. Za analizu je izabrana jedna od mogućih realnih varijanti sa promenljivim momentom inercije izvršnog zamajca.

1. UVOD

Koncepcijska rešenja mašina za obradu materijala deformisanjem, od njihove pojave pa do današnjeg dana, u suštini, pretrpele su veoma male, može se slobodno reći, neznatne promene. Takodje je poznato, što potvrđuju sva istraživanja u ovoj oblasti, da su energetske stepeni iskorišćenja ovih mašina veoma niski i da postoji veoma, nedozvoljeni za savremeni razvoj i stepen stanja tehnike uopšte, visok stepen neusaglašenosti mogućnosti mašine za obradu deformisanjem potrebama procesa obrade deformisanjem /1/.

Zavojne prese, koje se tretiraju u ovom radu, a u kojih je kinematički deo pogonskog mehanizma zavojni mehanizam, doživele su - naročito zadnjih decenija - razvoj velikog broja različitih koncepcijskih rešenja /2/. Tako su pored raznih varijanti pogonskih mehanizama sa frikcionim prenosima, razvijeni različiti tipovi hidrauličkih, pneumatskih, električkih i kombinovanih pogonskih mehanizama.

Medjutim, svi oni nisu suštinski izmenili princip obezbedjenja i prenosa potrebne energije za izvršenje procesa deformisanja materijala /3/, jer raspoloživa kinetička energija se dobija iz rotirajućeg zamajca konstantnog momenta inercije, pri čemu važi osnovna jednačina:

$$E_k = 0,5 \cdot J_z \cdot \omega^2 = C \cdot \omega^2 \quad (01)$$

gde su: J_z - moment inercije zamajca nepromenljive vrednosti za određenu mašinu ($J_z = \text{const}$);

* Dr Predrag Popović, redovni profesor u penziji, Mašinski fakultet Nišu
Dr Dragan Temeljkovski, docent, Mašinski fakultet u Nišu
Mr Ljubisa Perić, šef projeknog biroa, MIN-AGH, Gadzin Han

- C - konstanta, može se reći karakteristika za određenu presu ($C = 0,5 \cdot J_z$) i
 ω - ugaona brzina zamajca, a koja se menja po vrednostima u toku jednog radnog ciklusa - varijabilna vrednost ($\omega \neq \text{const}$).

Konstantnost momenta inercije zamajca je jedan od osnovnih razloga niskog energetskeg stepena iskorišćenja, pa je ovo bio razlog koji je podstakao istraživanja u smeru traženja takvih konceptijskih rešenja pogonskih sistema ovih mašina, koja će prvenstveno obezbediti veći stepen iskorišćenja uložene energije, pa se u ovom radu daju neki rezultati tih istraživanja.

2 KOMPLEKSNI MODEL ZAVOJNIH PRESA

Ako se izvrši raščlanjivanje jednačine (01) i podje od toga da je moment inercije funkcija mase (m) i prečnika (D), tj. da je:

$$J_z = m \cdot \left(\frac{D}{2}\right)^2 \quad (02)$$

to se jednačina (01) može napisati u obliku:

$$E_k = 0,125 \cdot m \cdot D^2 \cdot \omega^2 \quad (03)$$

Kako kinetička energija, definisana jednačinom (03), zavisi od tri parametra (k=3) - mase (m), prečnika (D) i ugaone brzine (ω) - koji mogu imati tri različite vrednosti (n=3) - za sve parametre (0, const i $\neq \text{const}$), dobija se broj mogućih vrednosti kinetičke energije:

$$V_n^k = n^k = 3^3 = 27 \quad (04)$$

Tablica T-1. Klasifikacija varijanti konceptijskih rešenja

KOMPLEKSNI MODEL	VARIJANT	D	m	J_z	ω_z	E_k	E_r	
	01	0	0	0	0	-	-	
	02				= const			
	03				$\neq \text{const}$			
	04		= const		0			0
	05							= const
	06							$\neq \text{const}$
	07		$\neq \text{const}$		0			0
	08							= const
	09							$\neq \text{const}$
	10	= const	0	= const	0	+	-	
	11				= const			
	12				$\neq \text{const}$			
	13		= const		= const			0
	14							= const
	15							$\neq \text{const}$
	16		$\neq \text{const}$		$\neq \text{const}$			0
	17							= const
	18							$\neq \text{const}$
	19	$\neq \text{const}$	0	0	0	-	-	
	20				= const			
	21				$\neq \text{const}$			
	22		= const		$\neq \text{const}$			0
	23							= const
	24							$\neq \text{const}$
	25		$\neq \text{const}$		$\neq \text{const}$			0
	26							= const
	27							$\neq \text{const}$

Ako se, još, energija koja se troši na izvršenje procesa obrade materijala deformisanjem obeleži sa (E_r), tada se na osnovu sprovedene analize može ormirati veliki broj različitih modela, pa se analizom i sintezom svih mogućih varijanti dolazi do tablice T-1 i kompleksnog modela prikazanog u njoj, definisanog od prof. P. Popovića u radu /4/.

Punom linijom u tablici T-1 su uokvirene realne varijante, a na osnovu kriterijuma da obe energije moraju biti: $E_k \neq 0$ i $E_r \neq 0$. Na ovaj način se od 27 teorijskih varijanti, dolazi do 7 realnih. Obzirom da kretanje pritiskivača zavisi od rotacije zavojnog vretena, odnosno rotacije izvršnog zamajca ugaonom brzinom (ω) koja se menja od $\omega = \omega_n$ do $\omega = 0$, jer se pritiskivač u periodu obrade (t_{ob}) kreće brzinom $V = V_0$ do $V = 0$, te se od 27 teorijskih varijanti dobijaju samo 4 praktično realne varijante (15, 18, 24 i 27).

Pregledom do danas izvedenih koncepcijskih rešenja pogonskog mehanizma zavojnih presa, dolazi se do zaključka da sva poznata rešenja spadaju u varijantu (15) ($D = \text{const.}$, $m = \text{const.}$, $J_z = \text{const.}$ i $\omega_z \neq \text{const.}$). Međjutim, može se izvesti zaključak da bi se genезom novih koncepcijskih rešenja sa varijantama (18, 24 i 27) omogućilo znatno povećanje energetskog stepena iskorišćenja u ovih mašina.

Varijanta (24) ($D \neq \text{const.}$, $m = \text{const.}$, $J_z \neq \text{const.}$ i $\omega_z \neq \text{const.}$) je rasmatrana u radovima /5, 6, 7 i 8/, i rezultati teorijskih i eksperimentalnih istraživanja mogućnosti primene takvog koncepcijskog rešenja zavojne prese sa varijabilnim momentom inercije zamajca su pokazali opravdanost istraživanja i povećanje ukupnog tehničko-tehnološkog stepena iskorisćenja.

3. KOMPLEKSNI MODEL VARIJANTE 18

Nadalje će biti prikazana neke konstrukcije pogonskog sistema zavojne prese sa varijabilnim momentom inercije zamajca, koji po tablici T-1. pripadaju varijanti (18), pri čemu je:

$$D = \text{const.} \quad (05)$$

$$m = m(t) \neq \text{const.} \quad (06)$$

$$\omega_z = \omega_z(t) \neq \text{const.} \quad (07)$$

$$J_z = J_z(t) \neq \text{const.} \quad (08)$$

Ovaj novi pogonski mehanizam treba da ima veliki odnos raspoloživog maksimalnog i minimalnog momenta inercije ($J_{z \min} \leq J_z = J_z(t) \neq \text{const.} \leq J_{z \max}$), pa samim tim i veliki odnos raspoložive maksimalne i minimalne energije na pritiskivaču prese.

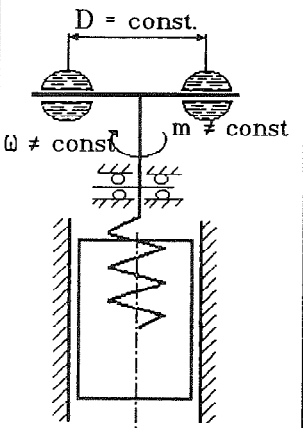
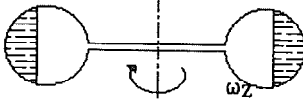
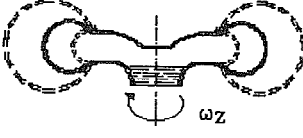
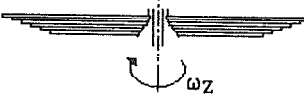
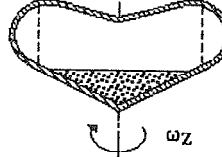
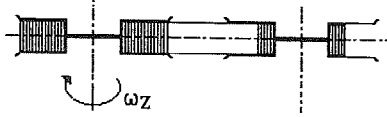
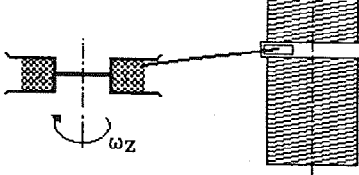
Na osnovu opšteg kompleksnog modela zavojnih presa (tablica T-1.) izveden je kompleksni model varijante 18., pri čemu su u tablici T-2. data neka novo predložena rešenja izvršnog zamajca:

- fluidni zamajac;
- turbozamajac;
- zamajac sa stepenastom promenom masa;
- zamajac sa metalnim prahom ili kvarcnim peskom,
- zamajac sa kombinovanim kaišnim prenosnikom i
- zamajac sa čeličnim užetom i dobošem.

4. MODEL POSTAVLJENOG KONCEPCIJSKOG REŠENJA

Na slici 1. šematski je prikazan pogonski mehanizam zavojne prese varijabilnog momenta inercije zamajca. Prikazan pogonski sistem sastoji se, u osnovi, iz dva zamajca:

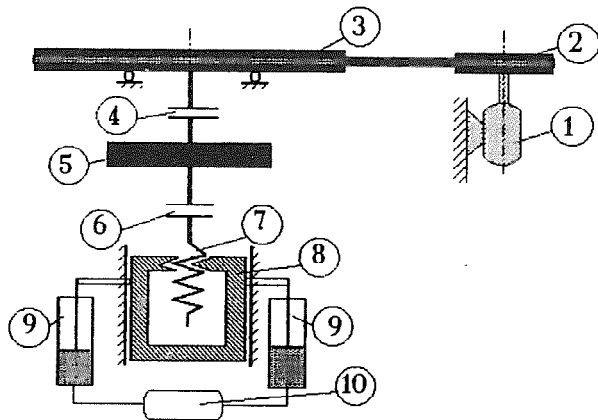
Tablica T-2. Klasifikacija konceptijskih rešenja varijante 18

KOMPLEKSNI MODEL VARIJANTE 18	TIP ZAMAJCA	SKICA IZVRŠNOG ZAMAJCA
 <p>$D = \text{const.}$ $\omega \neq \text{const.}$ $m \neq \text{const.}$</p>	Fluidni zamajac	
	Turbozamajac	
	Zamajac sa stepenastom promenom masa	
	Zamajac sa metalnim praškom ili kvarcnim peskom	
	Zamajac sa kombinovanim kaišnim prenosnikom	
	Zamajac sa čeličnim užetom i dobošem	

- stalnorotirajućeg zamajca nepromenljivog momenta inercije (poz. 3) i
- izvršnog zamajca varijabilnog momenta inercije (poz. 5).

Kretanje i energija pogonskog elektromotora (poz. 1) prenosi se preko kaišnika (poz. 2) i kaiša na stalnorotirajući zamajac. Kad se želi aktivirati kretanje pritiskivača prese (poz. 8), aktivira se spojnica (4), čime se vrši akumulacija određenog (željenog) nivoa energije u izvršnom zamajcu [spojnica-kočnica (poz. 6) u ovoj fazi je isključena]. Po dostizanju

željenog nivoa energije, tj. kada izvršni zamajac dostigne odgovarajuću vrednost momenta inercije, isključi se spojnica (poz. 4) i aktivira se spojnica (poz. 6). Na taj način dolazi do spajanja zamajca (poz. 5) i zavojnog vretena (poz. 7). Za vreme kretanja pritiskivača prese naniže u pneumatiskim cilindrima (poz. 9) se akumulira dovoljna količina energije za vrsanje pritiskivača u gornji položaj posle obavljenog radnog hoda. Pneumatski rezervoar (poz. 10) ima zadatak da spreči znatniju promenu pritisaka neumatskoj instalaciji.



Slika 1.

Kao što je već rečeno, zavojne prese su mašine za obradu materijala deformisanjem u kojih se pogonska energija elektromotora pretvara u koristan rad posredstvom zavojnog mehanizma. Dosadašnja konstruktivna rešenja zavojnih presa odlikuju se vrlo niskim stepenom korisnog dejstva, tj. koriste veliku količinu električne energije u odnosu na dobijeni rad na pritiskivaču. U klasičnih elektro zavojnih presa najveći gubici su u nestacionarnom radu elektromotora jer se on dva puta ubrzava iz stanja mirovanja do nominalne brzine menjajući, pri tome, smer okretanja. Znatan gubitak se javlja u povratnom hodu pritiskivača usled obrtanja zamajca.

Prednosti novog pogonskog sistema (slika 1.), koji se tretira u ovom radu, su, uopšteno, sledeće:

- primena običnog trofaznog asihronog elektromotora koji u celom ciklusu rada prese radi u stacionarnom režimu rada;
- stalnorotirajući zamajac se u celom ciklusu okreće u jednom smeru;
- spojnica (poz. 4) se aktivira pri minimalnom momentu inercije izvršnog zamajca, čime se obezbeđuje veliki stepen korisnosti pri prenosu energije i
- jednostavna regulacija energije udara.

5. ZAKLJUČAK

Na osnovi svega do sad iznetog u ovom radu mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Formirani kompleksni model neosporno je nametnuo razmišljanja i usmerio istraživanja u pravcu iznalaženja konceptijski sasvim novih pogonskih mehanizama zavojnih presa, što bi trebalo da dovede sa jedne strane do povećanja njihovog energetskog iskorišćenja, a sa druge fleksibilnog - programski upravljano - doziranja potrebne energije, te time opšteg povećanja kvaliteta ovih vrsta mašina.

2. Zbog malih vrednosti momenta inercije izvršnog zamajca u kritičnim periodima rada pogonskog sistema, brzina rotacije izvršnog zamajca nije ograničavajući faktor, kao što je u poznatih tipova ovih mašina.
3. Kako se za povratni hod izvršnog dela mašine koriste pneumatski elementi pri minimalnom momentu inercije izvršnog zamajca, to stalnorotirajući zamajac ne menja smer obrtanja,
4. Primenjeno precizno doziranje energije preko varijabilnog momenta inercije izvršnog zamajca sigurno neće moći da se sprovede klasičnim upravljačkim sistemima koji se primenjuju u zavojnih presa, te se planira primena mikroprocesorskog praviljačkog sistema sa kojim Mašinski fakultet u Nišu, koji proučava nove pogonske sisteme zavojnih presa ima pozitivno iskustvo. /7/.
5. Na bazi ovih i ranije sprovedenih istraživanja, stvorene su dovoljno pouzdane i neophodne podloge za realizaciju realne zavojne prese novog konceptijskog rešenja.

6. LITERTATURA

- /1/ P.Popović: Ukupni stepen tehničko - tehnološkog iskrišćenja mašina za obradu deformisanjem kao pokazatelj stanja i perspektive razvoja sredstava rada za obradu materijala deformisanjem. Zbornik radova IV seminara BIAM 78, Zagreb, 1980.
- /2/ A.Bočarov: Zavojne prese. Mašinstroenie, Moskva, 1976.
- /3/ P.Popović, D.Domazet, D.Temeljkovski: Prilog uporednoj analizi energetskog dela pogonskog mehanizma zavojnih presa. Zbornik radova III jugoslovenskog simpozijuma "Mašine i mehanizmi-Univerzitetska istraživanja i primena u industriji, Mostar, 1980.
- /4/ P.Popović, D.Temeljkovski: Prilog rasmatranju problema konceptijskih rešenja zavojnih presa. Casopis "Obrada deformisanjem u mašinstvu", Novi Sad, 1989.
- /5/ P.Popović, D.Temeljkovski: New Conception of Screw Press. Proceedings of the First International Conference on Research and Design of metal Forming Machines, May, 1989, Beijing, China.
- /6/ D.Temeljkovski: Zavojne prese sa varijabilnim momentom inercije zamajca. Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, 1990, Niš.
- /7/ P. Popović, D. Temeljkovski, M. Jurković: Program Control Available Energy of the Screw Press with the Flywheel Inertia Variable Moment. Proceedings of the Second International Conference on Automation, robotics and Computer Vision (ICARCV '92), 1992. Singapore.
- /8/ D. Temeljkovski, P. Popović, V. Šolaja (1): Screw Presses with the flywheel Inertia Variable Moment, 43rd CIRP GENERAL ASSEMBLY, 1993. Edinburg, Scotland, UK.

P. Popović, D. Temeljkovski, Lj. Perić

ANALYSIS OF THE CONCEPTUAL SOLUTION OF SCREW PRESSES WITH THE FLYWHEEL INERTIA VARIABLE MOMENT DRIVING MECHANISM

Summary

Screw presses which have a screw mechanism as a kinematic part of the driving mechanism faced a great number of conceptual solutions in the past, and especially in the last decades. A complex model was generated on the basis of the mathematical number of possible variants of conceptual solutions for the required energy supply. In this manner, four real variants were obtained from 27 theoretical ones. One of the possible real variants having the executive flywheel inertia variable moment was chosen for analysis.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Albijić R., Kalajdžić M., Bošković V.*

DINAMIKA OBRADNIH CENTARA

REZIME

U radu su pokazani rezultati računске i eksperimentalne identifikacije familije obradnih centara. Savremeni razvoj alatnih mašina sve više ide i pravcu povećanja produktivnosti, tačnosti i kvaliteta obrađene površine. Samopobudne vibracije predstavljaju ključni limitirajući faktor u ispunjenju ovih zahteva. Još u fazi projektovanja alatnih mašina je neophodno poznavanje njihovih budućih statičkih i dinamičkih performansi, koje dalje podležu eksperimentalnoj verifikaciji na izvedenim mašinama. Ovo podrazumeva primenu savremenih matematičkih, eksperimentalnih ili integralnih matematičko-eksperimentalnih metoda baziranih na korišćenju merno-računarske opreme. U radu je pokazana primena ovih metoda u fazama projektovanja i testiranja obradnih centara.

1. UVOD

Produktivnost, tačnost i kvalitet obrađene površine su prioritetni zahtevi koji se danas postavljaju u razvoju i proizvodnji modernih alatnih mašina kojima svakako pripada i familija obradnih centara. Povećana produktivnost podrazumeva veću instalisanu snagu i veće brzine rezanja, što vodi povećanju intenziteta generisanih statičkih i dinamičkih sila rezanja koje se zatvaraju u nosećoj strukturi alatne mašine. Minimalni broj stezanja radnog predmeta je diktiran zahtevima povećane tačnosti, što za posledicu po pravilu ima značajno povećanje dužine alata, čija nedovoljna dinamička krutost može biti uzrok nastanka jakih samopobudnih vibracija koje u velikoj meri mogu ugroziti tehnološki kapacitet mašine. Kvalitet obrađene površine, pored kinematskih i tehnoloških parametara je u velikoj meri funkcija dinamičkih performansi ukupnog obradnog sistema - mašina /alat/ proces rezanja. Samopobudne vibracije u fazi intenzivnijeg porasta, pored tačnosti i kvaliteta obrađene površine, ugrožavaju iskorišćenje nominalne snage pogonskog motora. Pri tome se veliki deo snage troši na energiju vibriranja, pa se i pri malom kapacitetu skinute strugotine dolazi do iskorišćenja nominalne snage. S druge strane, zahtevi ekonomičnosti idu u pravcu minimalnog utroška materijala, odnosno najmanje težine mašine,

* Mr Radomir Albijić, dipl. ing., LOLA INSTITUT, Beograd
Dr Milisav Kalajdžić, dipl. ing., red. prof. Mašinskog fakulteta u Beogradu
Vojkan Bošković, dipl. ing., LOLA INSTITUT, Beograd

pod pretpostavkom da je zadržana njena visoka dinamička krutost. I na kraju se postavljaju zahtevi u pogledu maksimalnog skraćanja vremena njenog razvoja i smanjenja obima potencijalnih intervencija u postrazvojuom periodu.

Ispunjenje navedenih zahteva, koji su kao što se vidi u najvećoj meri međusobno oprečni, predstavlja težak razvojni zadatak, koji podrazumeva korišćenje savremenih inženjerskih postupaka u fazi projektovanja i testiranja alatnih mašina koji mogu biti matematičke, eksperimentalne ili integralne matematičko-eksperimentalne prirode. Prvi su bazirani na metodu konačnih elemenata, drugi na modalnoj analizi, a treći na strukturalnoj modifikaciji. Sadržaj ovog rada je usmeren prema istraživanju dinamičkog ponašanja familije obradnih centara proizvodnje LOLA Korporacija, Beograd, pri čemu je prikaz rezultata dat za obradne centre HBG50 i HMC500. Prezentirani rezultati se odnose na dinamički proračun strukture obradnih centara, eksperimentalnu verifikaciju njihovih strukturalnih parametara i njihovo dinamičko ponašanje u različitim režimima rezanja. Oni su deo dugoročnog programa, orijentisanog prema istraživanju dinamičkih fenomena kompleksnih mašinskih objekata, koji je šire opisan u [4].

2. STATIČKI I DINAMIČKI PRORAČUN NOSEĆE STRUKTURE

Da bi prethodni zahtevi bili zadovoljeni praktično je neophodno poznavanje statičkih i dinamičkih performansi obradnih centara još u fazi njihovog projektovanja. U toku rada na projektu su korišćeni danas relevantni programi za konačne elemente instalirani na jakoj računarskoj podršci [5]. Izvedena je detaljna računaska analiza statičkog i dinamičkog ponašanja obradnog centra HBG50 i njegovih vitalnih komponenti. Računski modeli vertikalnog stuba i celog obradnog centra su pokazani u [2]. Model obradnog centra sa 1348 čvorne tačke je formiran od 1257 diskretizovana elementa oblika ploča, zapreminskih elemenata i štapova. Proračun je izveden za 2 varijante od kojih se prva odnosi na vezu obradnog centra sa potpuno krutom podlogom, a drugom je uzet u obzir elastični uticaj betonske ploče. Vrednosti sopstvenih frekvenci f_r (Hz) za kompletnu strukturu obradnog centra su date u tabeli 1. U tabeli su paralelno date vrednosti za krutu i elastičnu varijantu fundamenta. Pored sopstvenih frekvenci, kao izlaz iz dinamičkog proračuna su dobijeni korespondentni glavni oblici oscilovanja. Sopstvene frekvence i pripadajući oblici oscilovanja predstavljaju bazu ulaznih podataka za definisanje u odgovarajućem matematičkom algoritmu dinamičkih deformacija strukture za bilo koje zadato dinamičko opterećenje, pri čemu najveći značaj imaju dinamičke deformacije obradnog centra pod dejstvom dinamičkih sila kojima se simulira proces rezanja.

Tabela1

Broj moda	Kr. veza f_r (Hz)	Elastična veza f_r (Hz)	Priguš ξ (%)	Greška Δ (%)	
1	53.9	56.1	53.7	11.15	4.4
2	89.2	67.4	63.4	10.57	6.3
3	119.5	119.2	114.2	5.98	4.4
4	151.1	142.7	128.3	6.27	11.2
5	171.7	161.8	163.2	2.53	-0.8
6	234.7	243.6	231.1	2.26	5.4
7	299.4	253.8	262.2	6.64	-3.2
8	309.9	284.2	283.9	4.12	0.1
9	340.6	292.8	292.8	3.03	0.0
10	346.1	308.2	306.4	3.95	0.6

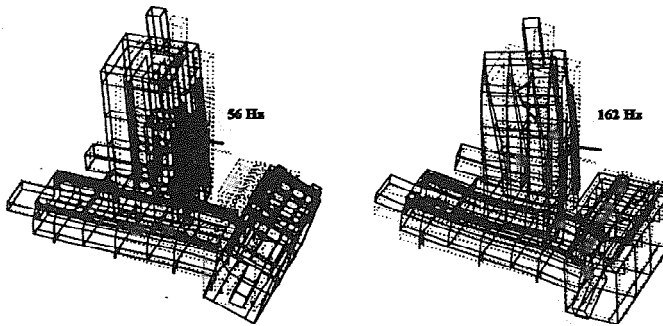
Tabela2

Broj moda	Kr. veza f_r (Hz)	Elastična veza f_r (Hz)	Priguš ξ (%)	
1	70.3	154.0	153.6	0.41
2	172.6	154.4	229.4	0.54
3	195.6	274.2	236.5	0.54
4	295.3	338.7	367.7	0.40
5	357.9	398.9	376.6	0.36
6	418.3	443.1	429.7	0.32
7	476.1	622.9	597.7	0.29
8	685.4	683.0	772.1	0.24
9	708.4	714.0	778.2	0.20
10	725.6	805.5	791.4	0.22

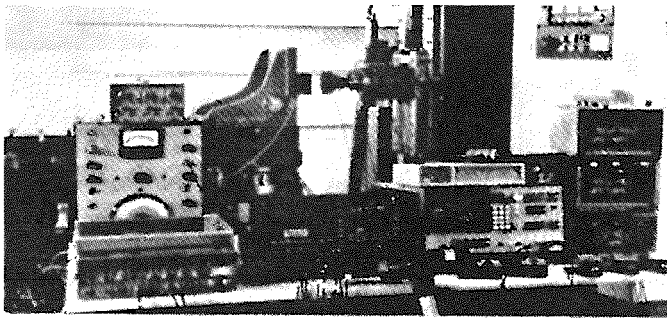
Na sl.1 su pokazana 2 karakteristična oblika oscilovanja obradnog centra, dobijena u varijanti kojom je uzet u obzir elastični uticaj betonske ploče, a koji odgovaraju sopstvenim frekvencama 56 i 162 Hz. Prvi predstavlja karakteristično otvaranje obradnog centra, a drugi ima karakter torzione deformacije stuba. Uporedo sa dinamičkim proračunom je izveden i

statički proračun obradnog centra. Simulacijom statičkih komponenti sila rezanja, za više tipskih vrsta obrade, su dobijene kompletne statičke deformacije obradnog centra iz kojih su proizašle korespondentne vrednosti statičkih krutosti, koje predstavljaju bitan kvalitativni pokazatelj alatne mašine.

Sagledavanje parcijalnih uticaja pojedinih strukturalnih celina u ukupnoj deformaciji obradnog centra se nameće kao jedan od prioritarnih zadataka. U tom cilju su izvedeni nezavisni statički i dinamički proračuni svih osnovnih komponenti obradnog centra. U tabeli 2 je dat pregled vrednosti sopstvenih frekvenci vertikalnog stuba f_r (Hz), koji ima dominantan uticaj, kako u statičkom tako i u dinamičkom ponašanju obradnog centra.



Sl.1 Karakteristični računski oblici oscilovanja - OC HBG50



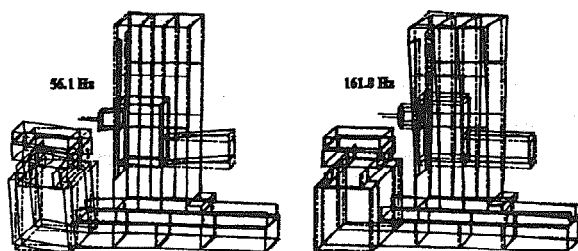
Sl.2 Organizacija eksperimentalnog ispitivanja obradnog centra HMC500

Pokazane vrednosti sopstvenih frekvenci su date za 2 slučaja graničnih uslova. Prve vrednosti se odnose na stub sa graničnim uslovima koji simuliraju vezu stuba sa postoljem, a druge na stub slobodno postavljen u prostoru, oslobođen od bilo kakvih graničnih uslova. Parcijalni rezultati statičkog i dinamičkog proračuna stuba su ranije dati u [2].

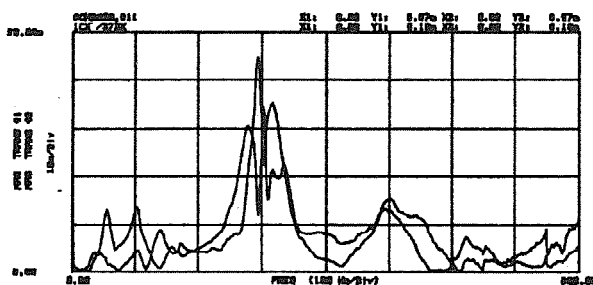
3. EKSPERIMENTALNA VERIFIKACIJA STRUKTURALNIH PARAMETARA

Eksperimentalna verifikacija strukturalnih dinamičkih parametara složenih objekata je danas uglavnom bazirana na postupku modalne analize. Ovaj metodološki pristup podrazumeva korišćenje savremene merno-računarske opreme i pratećeg softvera [6]. Teorijske osnove i širi praktični prikaz ovog postupka su dati u [3].

Obradni centri HBG50 i HMC500 i njihove osnovne komponente su bili predmet detaljnog eksperimentalnog ispitivanja. Na sl.2 je pokazan izgled obradnog centra HMC500 sa pratećom merno-računarskom opremom snimljen u fazi njegovog ispitivanja. Pregled i detaljniji opis korišćene merno-računarske opreme je dat u [2,3]. Kao izlaz iz metodološkog postupka modalne analize su dobijene sopstvene frekvence f_e (Hz), modalna prigušenja ξ (%) i modalni oblici oscilovanja $\{x\}$. Eksperimentalne vrednosti sopstvenih frekvenci i modalnih prigušenja za obradni centar HBG50 su date u tabeli 1. U tabeli su uporedno date računске (f_r) i eksperimentalne vrednosti sopstvenih frekvenci (f_e) i procentualna vrednost njihovog odstupanja $\Delta=100(f_r-f_e)/f_e$. Odstupanja su relativno mala, manja od 6.5% za sve sopstvene frekvence izuzev jedne, za koju odstupanje iznosi 11.2%.



Sl.3 Karakteristični eksperimentalni oblici oscilovanja - OC HBG50

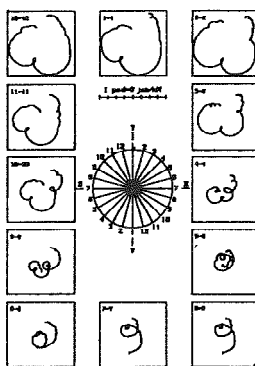


Sl.4 Prenosne funkcije Hxx i Hxz - glavno vreteno OC HBG50

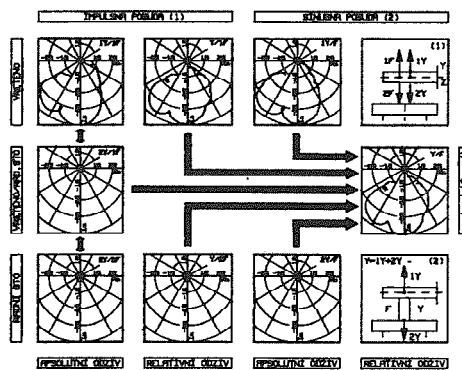
Na sl.3 su pokazani izgledi 2 oblika oscilovanja obradnog centra dobijena kao rezultat njegove eksperimentalne verifikacije. Ovi oblici, u potpunoj sličnosti sa računskim oblicima pokazanim na sl. 1, se odnose na karakteristično otvaranje obradnog centra i torzionu deformaciju njegovog stuba. Komparativnim poređenjem dinamičkih deformacija dobijenih računskim, sl. 1, i eksperimentalnim putem, sl.3, evidentna je potpuna sličnost. Eksperimentalni model obradnog centra formiran od 238 tačaka je pokazan u [2]. Modalni parametri obradnog centra su dobijeni na bazi 650 prenosnih funkcija snimljenih postupkom impulsne pobude.

Rezultati eksperimentalnog ispitivanja stuba obradnog centra su dati u tabeli 2., koja pored eksperimentalnih vrednosti sopstvenih frekvenci f_e (Hz) sadrži i eksperimentalne vrednosti modalnih prigušenja ξ (%) i korespondentne vrednosti sopstvenih frekvenci dobijenih računskim putem f_r (Hz).

Metodološki pristup modalne analize je baziran na prenosnim funkcijama, kojih po pravilu ima mnogo više nego tačaka u eksperimentalnom modelu. Svaka od ovih prenosnih funkcija je definisana u odnosu na par tačaka i par mernih pravaca, pri čemu se jedna polovina para uvek odnosi na lokacijski položaj sile, a druga na položaj odzivnih vibracija. U dinamici alatnih mašina svakako najveći značaj imaju prenosne funkcije koje se odnose na tačke vrha alata i radnog predmeta. Dinamičko ponašanje alatnih mašina u procesu rezanja je u najvećoj meri određeno karakterom ovih prenosnih funkcija. Na sl. 4 je prikazan par prenosnih funkcija snimljenih na kraju glavnog vretena obradnog centra HBG50 (pravci-x,z), a ispitivanja su pokazala da je ovaj oblik potpuno tipski za celu familiju obradnih centara. Sa aspekta samopobudnih vibracija, od više istaknutih komponenti relevantan značaj imaju modovi u frekventnom dijapazonu 250-350 Hz.



Sl.5 Prenosne funkcije na vretenu OC u funkciji polarnog ugla



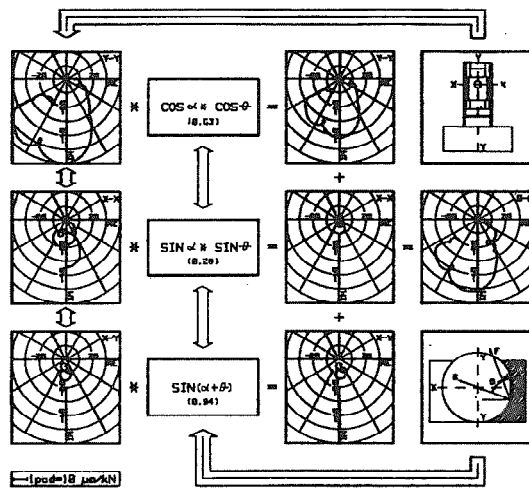
Sl.6 Konceptualne mogućnosti definisanja relevantne prenosne funkcije - OC HMC500

Oblik prenosne funkcije u velikoj meri zavisi od mernog pravca. To najbolje ilustruju prenosne funkcije pokazane na sl.5, koje se sve odnose na kraj glavnog vretena obradnog centra HMC500, ali su snimljene u 12 različitih polarnih pravaca koji leže u ravni upravnoj na osu vretena. Kao što se vidi u ovom frekventnom dijapazonu dominantan uticaj ima vertikalni pravac (y-y), dok je amplituda prenosne funkcije u horizontalnom (x-x) pravcu jako mala. Sa aspekta dinamičkog ponašanja alatne mašine merodavne su prenosne funkcije, koje se odnose na ukupnu relativnu deformaciju između vrha alata i radnog predmeta nastalu pod dejstvom aktivnih i reaktivnih sila u procesu rezanja. Na sl.6 su pokazane različite mogućnosti za njeno definisanje u zavisnosti da li je primenjen koncept impulsne ili sinusne pobude, s jedne , i da li registrovane vibracije imaju apsolutni ili relativni karakter, s druge strane. Sve ove varijante su paralelno realizovane pri ispitivanju obradnog centra HMC500, pri čemu su dobijeni skoro identični rezultati. Svaka od ovih varijanti ima svoje prednosti i mane. Rezultati pokazani na sl. 6 se odnose na pomenuti obradni centar.

4. DINAMIČKA IDENTIFIKACIJA U PROCESU REZANJA

Vrlo značajan segment istraživanja je bio okrenut prema interakciji strukturalnih dinamičkih parametara i parametara procesa rezanja. Ukupno dinamičko ponašanje obradnog centra u procesu rezanja zavisi od strukturalnih dinamičkih performansi mašine, geometrije alata, tehnoloških parametara obrade i vrste materijala. Identifikacija dinamičkog ponašanja obradnog centra HMC500 u procesu rezanja je paralelno izvedena po računskoj i

eksperimentalnoj osnovi. Računski pristup je u potpunosti baziran na orijentisanim prenosnim funkcijama koje u obzir uzimaju geometriju alata i tehnološke parametre procesa rezanja. One su uvek definisane u odnosu na 2 relevantna pravca, od kojih jedan odgovara pravcu rezultirajuće sile rezanja, a drugi pravcu obrađene površine. Veliki praktični problem predstavlja varijacija ovih pravaca u različitim tehnološkim operacijama. Međutim, orijentisana prenosna funkcija se za bilo koji položaj sile rezanja i bilo koji pravac obrađene površine može dobiti na osnovu prenosnih funkcija prethodno određenih za 2 međusobno upravna pravca-Hxx, Hyy i Hxy. Na sl.7 je prikazan izgled orijentisane prenosne funkcije definisane za uslove čeonog glodanja ($\phi D=125$ mm, $B=100$ mm, $Z=7$) na obradnom centru HMC500, sl.2. Na slici su pokazani i izgledi 3 prenosne funkcije snimljene u 2 međusobno upravna pravca-Hyy, Hxx i Hxy, koje su poslužile kao osnova za definisanje orijentisane prenosne funkcije. Na slici su takođe, za konkretnu operaciju čeonog glodanja pokazani pravci dejstva sile (F) i orijentisane površine (s), u odnosu na koje je i definisana orijentisana prenosna funkcija.

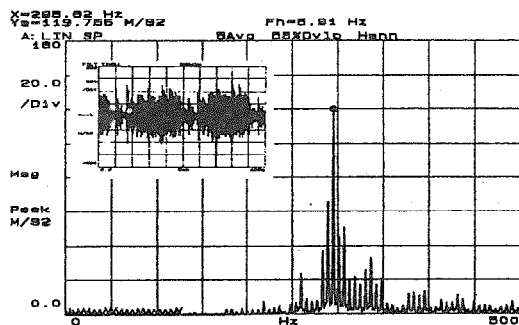


Sl.7 Konceptualni postupak definisanja orijentisane prenosne funkcije za operaciju čeonog glodanja - OC HMC500

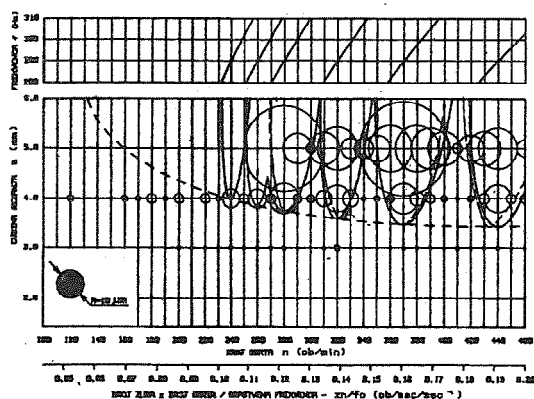
Orijentisana prenosna funkcija je poslužila kao osnova za izradu računске karte stabilnosti obradnog centra. Razvijen je matematički algoritam sa računarskom implementacijom za definisanje relevantnih karti stabilnosti. Paralelno sa računskim putem, izvedena je eksperimentalna verifikacija dinamičkog ponašanja obradnog centra HMC500, sl. 2, u procesu rezanja. Eksperiment je koncentrisan na čeono glodanje kao najreprezentativniju operaciju sa aspekta dinamičke stabilnosti. Pri ispitivanju su korišćeni radni predmeti dimenzija $100 \times 100 \times 150$ mm, napravljeni od materijala Č.4734. Rezanje je izvedeno sa glodačkom glavom $\phi D=125$ mm, koja je imala $Z=7$ zuba, sa ugrađenim pločicama od tvrdog metala. Eksperiment je realizovan pri konstantnom koraku $s_z=0.25$ mm/z, sa promenljivim brojem obrta u rasponu $n=100-460$ ob/min i promenljivom dubinom rezanja $\delta=1-6$ mm. Broj obrta je variran sa korakom $\Delta n=10$ ob/min, a dubina rezanja sa $\Delta \delta=1$ mm. Za registrovanje dinamičkog ponašanja obradnog centra je korišćeno 10 piezoelektričnih pretvarača vibracija raspoređenih na njegovim karakterističnim mestima. Organizacija ispitivanja je pokazana na sl.2. Primenjen je postupak simultanog registrovanja svih mernih veličina sa paralelnom obradom signala u

vremenskom i frekventnom domenu. Na kraju je kao referentna veličina uzet zapis vibracija snimljen u horizontalnom pravcu na kućištu prednjeg ležaja glavnog vretena.

Na sl. 8 je pokazan zapis vibracija snimljen u nestabilnom režimu rada, $n=370$ ob/min, $\delta=5$ mm. On pokazuje frekvencu generisanih samopobudnih vibracija, koja svoje izvorno poreklo ima u modu, $f=293$ Hz, čiji dominantan uticaj je registrovan pri strukturalnom ispitivanju obradnog centra, sl.2.



Sl.8 Vremenska funkcija i frekventni spektar vibracija snimljeni u režimu nestabilnog rezanja $n=370$ ob/min, $\delta=5$ mm



Sl.9 Izgled računске i eksperimentalne karte stabilnosti za operaciju čeonog glodanja - OC HMC500

Na sl.9 je prikazana karta dinamičke stabilnosti obradnog centra nacrtana na bazi rezultata dobijenih u okviru opisanog eksperimenta. Na karti su naznačena područja stabilnog i nestabilnog rada obradnog centra. Ucertani krugovi imaju značenja amplituda komponente koja odgovara samopobudnim vibracijama, a kreće se u dijapazonu 285-315 Hz. Naknadno su izvedena dopunska ispitivanja obradnog centra u cilju potpunije identifikacije izraženog moda na 293 Hz. Utvrđeno je da on predstavlja dinamičku deformaciju celine prenosnik/motor i da svoje poreklo ima u nedovoljnoj dinamičkoj krutosti ovog sklopa, te su u pravcu eliminacije ovog problema preduzete odgovarajuće mere. Na sl.9 je u komparativnoj formi, pokazana karta dinamičke stabilnosti obradnog centra dobijena alternativnim računskim putem. Evidentno je skoro potpuno poklapanje računске (isprekidana linija) i eksperimentalne karte stabilnosti (puna linija), što ukazuje na veliku mogućnost korišćenja računskih karti u izboru stabilnih režima rada.

Sa razvojem obradnih centara sa velikim brojem obrta, koji ide do nekoliko desetina hiljada, problem dinamičke stabilnosti imperativno izbija u prvi plan [1]. Verovatno rešenje, o čemu danas postoje ozbiljna istraživanja, ide u pravcu realizacije strategije adaptivnog upravljanja što će u narednom periodu biti jedna od istraživačkih aktivnosti ovog programa. Današnji koncepti adaptivnog upravljanja su uglavnom bazirani na dijagnostici unapred odabranog signala i prepoznavanju komponenti koje pripadaju kategoriji samopobudnih vibracija, uz istovremenu korekciju parametara režima rezanja sve do njihove potpune eliminacije. To je praktično samo nadgradnja današnjeg nivoa, koji je u najkraćim crtama prezentiran u ovom radu.

5. ZAKLJUČAK

U radu su pokazane mogućnosti praktične primene savremenih računsko-eksperimentalnih metoda u identifikaciji i poboljšanju statičkih i dinamičkih performansi obradnih centara, a sve u cilju podizanja njihovog kvalitativnog nivoa i konkurentne sposobnosti na današnjem tržištu. U radu su za kompletne strukture obradnih centara i njihove vitalne komponente pokazani rezultati dobijeni u paralelnom računskom i eksperimentalnom pristupu. Ispitivanjem je obuhvaćena dinamika kompletnog obradnog sistema u koji ulazi mašina, alat, radni predmet i proces rezanja. Jedan deo programa istraživanja je bio okrenut prema interakciji strukturalnih dinamičkih karakteristika mašine i parametara procesa rezanja. Pri tome, modalni parametri predstavljaju karakteristiku mašine, a geometrija alata je sadržana u obliku orijentisanih prenosnih funkcija. Na bazi poznavanja jednih i drugih dobijeno je kompletno dinamičko ponašanje obradnih centara u svim vrstama i režimima obrade, sa mogućnostima njihovog optimalnog izbora.

6. LITERATURA

- [1] Smith S., Tlustý J., Stabilizing Chatter by Automatic Spindle Speed Regulation, Annals of the CIRP Vol. 41/1/1992.
- [2] Albijanić R., Kalajdžić M., Practical Application of Experimental and Mathematical Modal Analysis on Machine Tools, 7th IMAC Analysis Conference, Las Vegas, 1989.
- [3] Albijanić R., Modalna analiza u dinamičkoj identifikaciji mašinskih konstrukcija, LOLA Saopštenja, 21 (1986) 30.
- [4] Albijanić R., Dinamika mašina-naša dosadašnja iskustva, LOLA Saopštenja, 22 (1987) 31.
- [5] CAEDS GFEM and IFES User's Guides
- [6] ENTEK Analysis Software, Instruction Manual, 1987.

DYNAMICS OF THE MACHINING CENTERS

The paper gives results of calculated and experimental identification of a family of machining centers. Modern development of machine tools advances in the direction of increased productivity, accuracy and quality of the machined surface. Chatter tendency represent a key limiting factor in fulfilling these requirements. It is necessary to be familiar with the machine tools' future static and dynamic performances even during their design phase. These performances will be subject to experimental verification on realized machines. This assumes application of modern mathematical, experimental and integral mathematical-experimental methods based on using measuring-computer equipment. The paper shows application of these methods in design and test phases for machining centers.

Albijanić R., Kalajdžić M.*

KONCEPT PODSTRUKTURA U PRORAČUNU I EKSPERIMENTALNOJ VERIFIKACIJI ALATNIH MAŠINA

REZIME

U dinamičkoj identifikaciji kompleksnih struktura koncept podstruktura vrlo često ima značajne komparativne prednosti u odnosu na postojeće tradicionalne prilaze. Njegova primena poseban značaj ima u domenu alatnih mašina, čija strukturalna konfiguracija je podložna velikim promenama. U radu su pokazane osnove za dva primenjena matematička algoritma, čija verifikacija po računskoj i eksperimentalnoj osnovi je izvedena na nekoliko praktičnih primera. Dobijeni rezultati ukazuju na visoku tačnost primenjenog metodološkog pristupa.

1. UVOD

Sa razvojem savremene memo-računarske opreme koncept podstruktura ima sve veći značaj u dinamičkoj analizi složenih struktura. Suština ovog postupka je da se kompleksna struktura podeli na određeni broj prirodnih celina ili podstruktura i da svaka od njih bude predmet detaljnog dinamičkog proračuna, odnosno eksperimentalne verifikacije.

Rezultati dinamičkog ponašanja parcijalnih komponenti, bez obzira da li su dobijeni u matematičkom, eksperimentalnom ili integralnom matematičko-eksperimentalnom pristupu, predstavljaju bazu za definisanje dinamičkog ponašanja ukupne strukture. Vrlo često ovaj metodološki pristup ima značajne komparativne prednosti u odnosu na klasična rešenja u kojima se kompleksna struktura tretira kao jedna celina. Razlozi za širu primenljivost ovog pristupa su mnogobrojni. Pojedine celine kompleksnih objekata mogu da se projektuju i proizvode u različitim fabrikama, pa postoji potreba da se na različitim lokacijskim položajima izvodi matematička i eksperimentalna analiza njihovog dinamičkog ponašanja. Pri tome je vrlo važna potpuna komplementarnost matematičkih i eksperimentalnih rezultata. U dinamičkoj identifikaciji podstruktura jedan od ova dva alternativna pristupa može biti proizvoljno primenjen, a da to nema nikakvog uticaja na rezultate dinamičkog ponašanja ukupne strukture.

* Mr Radomir Albijanić, dipl.ing., LOLA INSTITUT, Beograd,
Dr Milisav Kalajdžić, dipl.ing., red. prof. Mašinskog fakulteta u Beogradu.

S druge strane, ovaj pristup omogućuje daleko detaljniju i rafiniraniju analizu dinamičkog ponašanja velikih struktura, obzirom da se kapacitet raspoložive memo-računarske opreme usmerava prema delovima strukture, a ne njoj kao celini. Modifikacijske promene u toku razvoja obično prate ograničeni deo strukture, pa se neophodna analiza okrece samo prema nekim komponentama, a ne strukturi kao celini, čime se postižu značajne uštede i skraćuje vreme analize. U razvoju familije mašina obično jedan broj osnovnih komponenti se menja, a druge ostaju iste. Ove druge omogućuju formiranje biblioteke rezultata standardnih podstrukture.

Koncept podstrukture poseban značaj ima u analizi dinamičkog ponašanja alatnih mašina [1, 2, 3]. Sa promenom relativnog položaja pojedinih celina menja se konfiguracija alatne mašine i sa njome i njeni dinamički parametri [2]. Primena klasičnog pristupa na veći broj mogućih konfiguracijskih varijanti bi predstavljalo vrlo skupo i dugotrajno rešenje. Koncept podstrukture za dinamičku analizu alatnih mašina i svih mašina promenljive konfiguracije upravo predstavlja idealan metodološki pristup. Polazeći od navedenih razloga postojeći program istraživanja dinamičkih fenomena, postavljen u Institutu na dugoročnoj osnovi, je poslednjih godina značajno proširen u ovom pravcu.

Istraživanja su paralelno izvedena po matematičkoj i eksperimentalnoj osnovi, a neki od praktičnih rezultata dobijenih po oba metodološka pristupa su dati u ovom radu. Primenjeni matematički algoritam je dosta kompleksan i preobiman za prezentaciju u ograničenim okvirima kakve ima ovaj rad, te iz tih razloga njegov detaljan prikaz nije dat ovde nego su naznačene samo njegove osnovne postavke.

2. OSNOVE PRIMENJENOG METODOLOŠKOG KONCEPTA

U teorijskom razmatranju se polazi od osnovnih jednačina kretanja koje se za svaku pojedinačnu komponentu ili podstrukturu mogu napisati u obliku

$$\begin{bmatrix} M_{ii} & M_{ic} \\ \ddots & \ddots \\ \ddots & \ddots \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \ddot{x}_i \\ \vdots \\ \ddot{x}_c \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} K_{ii} & K_{ic} \\ \vdots & \vdots \\ K_{ci} & K_{cc} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_i \\ \vdots \\ x_c \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_i \\ \vdots \\ f_c \end{Bmatrix} \quad (1)$$

gde su vektori pomeranja $\{x\}$ i sila $\{f\}$ i odgovarajuće matrice masa $[M]$ i krutosti $[K]$ napisane u funkciji dve grupacije tačaka, od kojih se jedna, označena sa indeksom (c), odnosi na tačke u kojima je razmatrana podstruktura vezana sa drugim celinama, a druga označena sa indeksom (i) se odnosi na preostale tačke te iste podstrukture. Pri rešavanju sličnih jednačina po pravilu se sistem fizičkih koordinata transformiše u sistem generalizovanih ili modalnih koordinata, pri čemu transformaciona matrica daje relaciju vezu između ovih koordinata. Modalne koordinate daju višestruku komparativnu prednost pošto je njihov broj po pravilu daleko manji od pripadajućeg broja fizičkih koordinata. Osim što je sistem višestruko redukovan, jednačine u njemu po nepoznatim imaju nespregnutu formu što ga tehnički čini lako rešivim.

U osnovi postoje dva globalna metodološka pristupa u konceptu podstrukture sa nizom njihovih modifikacijskih varijanti. Oni se međusobno razlikuju samo po formi transformacione matrice. U principu vektori transformacione matrice predstavljaju karakteristične dinamičke oblike oscilovanja posmatrane strukture. Forme dinamičkih vektora za dva konceptualna pristupa su pokazane u narednom delu.

2.1 Metodološki pristup 1

Transformaciona matrica je u ovom pristupu formirana kao kombinacija elastičnih $[\phi_{im}]$ i statičkih modova $[\phi_{ic}]$.

$$\begin{Bmatrix} \dot{x}_i \\ \vdots \\ \dot{x}_e \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \phi_{im} : \phi_{ie} \\ \vdots \\ O : I \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} q_m \\ \vdots \\ x_e \end{Bmatrix} \quad (2)$$

Modalni vektori u prvoj matrici $[\phi_m]$ su dobijeni pod pretpostavkom $\{x_e\}=\{0\}$ i $\{\dot{f}_i\}=\{0\}$, što praktično znači da je pomeranje strukture ograničeno u tačkama veze. Pod ovim uslovima osnovna jednačina kretanja (1) prelazi u

$$[M_H] \{\dot{x}_i\} + [K_H] \{x_i\} = \{0\} \quad (3)$$

čija transformaciona matrica $[\phi_m]$

$$\{x_i\} = [\phi_m] \{q_m\} \quad (4)$$

predstavlja matricu modalnih vektora koji ulaze u širu transformacionu matricu (2).

Druga vrsta modalnih vektora $[\phi_{ie}]$ u transformacionoj jednačini (2) imaju karakter statičkih modova. Oni su dobijeni pod uslovom oslobođenih graničnih uslova u tačkama međusobne veze, ali pod pretpostavkom da je masa zanemarena u osnovnoj jednačini (1).

$$\begin{bmatrix} K_H : K_{ie} \\ \vdots \\ K_{ei} : K_{ee} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} x_i \\ \vdots \\ x_e \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 0 \\ \vdots \\ f_e \end{Bmatrix} \quad (5)$$

pa je

$$\{x_i\} = -[K_H]^{-1} [K_{ie}] \{x_e\} \quad (6)$$

odnosno

$$[\phi_{ie}] = -[K_H]^{-1} [K_{ie}] \quad (7)$$

2.2 Metodološki pristup 2

U ovom metodološkom pristupu tačke u lokacijskoj zoni međusobne veze imaju potpuno slobodan tretman, što praktično znači da nema nikakvog ograničenja u njihovom kretanju, te osnovna jednačina kretanja posmatrane podstrukture ima klasičnu formu

$$[M] \{\ddot{x}\} + [K] \{x\} = \{f_e\} \quad (8)$$

koja se preko poznate transformacione veze

$$\{x\} = [\phi_m] \{q_m\} \quad (9)$$

a imajući u vidu ortogonalne osobine matrice $[\phi_m]$

$$[\phi_m]^T [M] [\phi_m] = [I] \quad (10)$$

$$[\phi_m]^T [K] [\phi_m] = [\omega^2] \quad (11)$$

može prevesti u sistem modalnih koordinata

$$\{\ddot{q}_m\} + [\omega^2] \{q_m\} = [\phi_m]^T \{f_e\} \quad (12)$$

Na potpuno identičan način se može napisati jednačina kretanja za drugu podstrukturu, pa se na osnovu njih dolazi do jednačina kretanja zbirnog sistema sastavljenog od komponenti (A) i (B).

$$[I] \begin{Bmatrix} A\ddot{q}_k \\ \dots \\ B\ddot{q}_k \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} A\omega_{nk}^2 & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & B\omega_{nk}^2 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Aq_k \\ \dots \\ Bq_k \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} A\phi_{ek}^T & 0 \\ \dots & \dots \\ 0 & B\phi_{ek}^T \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} Af_c \\ \dots \\ Bf_c \end{Bmatrix} \quad (13)$$

Ovako napisana jednačina se odnosi na sistem podstruktura koje još uvek nisu dovedene u fizičku vezu. Jednačine kretanja fizički spregnutog sistema se dobijaju tako što se u matematički algoritam uvode uslovi kompatibilnosti za zajednički sistem (A+B).

$$\{Af_c\} = -\{Bf_c\} \quad (14)$$

$$\{Ax_c\} = \{Bx_c\} \quad (15)$$

2.3 Komparativna analiza primenjenih metodoloških pristupa

Oba metodološka pristupa imaju svoje komparativne prednosti i nedostatke. Prvi metodološki pristup je baziran na poznavanju osnovnih matrica masa i krutosti za svaku individualnu komponentu. Dinamički oblici oscilovanja u transformacionoj matrici odgovaraju graničnim uslovima u kojima je ukleštenje podstrukture izvedeno u tačkama koje leže u zoni kontaktne površine preko koje se ostvaruje veza sa drugom podstrukturom. Statički modalni vektori u istoj transformacionoj matrici odgovaraju deformacionom obliku podstrukture za slučaj zadatog jediničnog pomeraja određene tačke na kontaktnoj površini. To praktično znači da treba naći onoliko statičkih vektora koliko ima tačaka na kontaktnoj površini. Sve ovo upućuje na zaključak da je ovaj metodološki pristup vrlo pogodan u matematičkom proračunu baziranom na metodu konačnih elemenata, a da nije uopšte pogodan u eksperimentalnoj identifikaciji, gde bi korektno ostvarenje navedenih graničnih uslova vodilo velikim praktičnim problemima.

U drugom metodološkom pristupu ne postoji problem graničnih uslova u zoni kontaktne površine, budući da je ona oslobođena bilo kakvih dopunskih ograničenja. U jednačinama kretanja zajedničkog sistema umesto matrica masa i krutosti figurišu modalni parametri sistema, što sve upućuje na zaključak da je ovaj metodološki pristup u najvećoj meri okrenut prema eksperimentalnoj identifikaciji, a daleko manje prema matematičkom proračunu.

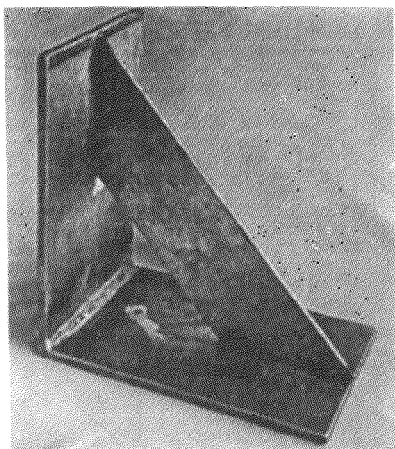
3. PRIMERI PRAKTIČNE PRIMENE

Testiranje i šira primena prvog metodološkog pristupa je prvo izvedena na primeru ukrućenog ugaonika, a zatim na mnogo kompleksnijem primeru obradnog centra HBG50, proizvodnje LOLA Korporacija, i njegovih osnovnih komponenti: vertikalni stub, postolje stuba, postolje radnog stola i prenosnik za glavno kretanje. Za svaku od osnovnih komponenti ovih struktura su prvo izvedeni kompletni dinamički proračuni, koji su zatim predstavljali osnovu za proračun različitih celina analiziranih struktura.

Na sl.1 je pokazan izgled ukrućenog ugaonika sa dimenzijama osnovnih stranica 296x200x10.4mm, i debljinom rebra 5.3mm. Paralelno je izvedena računaska identifikacija i eksperimentalna verifikacija dinamičkih parametara pojedinih komponenti ugaonika i njega kao celine. Sve analize su date za slučaj prostorno oslobođenih graničnih uslova.

U tabeli 1 su prikazane računske vrednosti sopstvenih frekvenci f (Hz) za pojedine komponente ugaonika dobijene primenom metoda konačnih elemenata. U tabeli 2 su u komparativnoj formi date računske i eksperimentalne vrednosti za ukrućeni ugaonik, kao i

procentualno odstupanje računskih i eksperimentalnih vrednosti. Greške su manje od 3%. U tabeli su date 2 kolone računskih vrednosti. Prva se odnosi na rezultate proračuna u kome je ugao nik tretiran kao celina, a druga na rezultate dobijene primenom koncepta podstruktura. Razlike između ovih vrednosti su skoro minimalne, što pokazuje visoku tačnost ovde prezentiranog metodološkog pristupa.



Sl. 1 Izgled ukrućenog ugaonika

Tabela 1.

Mod	Ploča 1	Ploča2	Rebro
1-6	0	0	0
7	579	579	250
8	628	628	499
9	1340	1340	752
10	1390	1390	975
11	1670	1670	1480
12	1910	1910	1540

U tabeli 3 je dat pregled sopstvenih frekvenci za 3 kapitalne komponente obradnog centra HBG 50. U principu proračun ukupne strukture može biti izveden u jednom ili u više koraka. U prvom slučaju u proračun se istovremeno ulazi sa rezultatima prethodno dobijenim za sve podstrukture i proračun se izvodi u jednom koraku. U drugom slučaju proračun počinje sa 2 komponente pa im se u svakom narednom koraku dodaje po jedna komponenta do nivoa ukupne strukture.

Tabela 2.

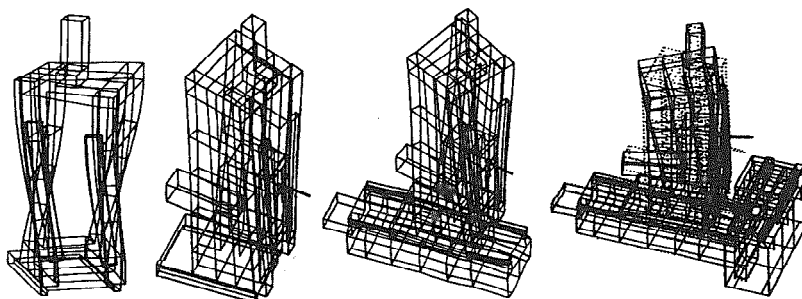
Broj moda	Rač (1) (Hz)	Rač (2) (Hz)	Eksp(3) (Hz)	Δf (%)
1	303.8	304.0	306.8	-0.9
2	325.1	324.0	328.9	-1.1
3	436.0	434.0	449.5	-3.0
4	989.2	810.0	989.4	0.0
5	1004.0	929.0	1008.0	-0.4
6	1062.0	990.0	1068.0	-0.5

Tabela 3.

Broj moda	Vert. stub	Uzd. postolje	Popr. postolje
1	70.3	314.0	182.2
2	172.5	462.9	251.3
3	195.5		304.7
4	295.3	535.6	464.7
5	357.9	661.3	549.3
6	418.3	751.8	574.2

Na sl. 2 su pokazani karakteristični oblici oscilovanja za nekoliko strukturalnih celina obradnog centra. Kao što se vidi stubu je prvo pridodat prenosnik za glavno kretanje, zatim postolje stuba i na kraju postolje sa radnim stolom, što u ukupnom čini kompletnu strukturu obradnog centra. Ovakvo dobijeni rezultati su u granicama 8% u odnosu na rezultate dobijene pri klasičnom proračunu obradnog centra tretiranom kao jednoj celini.

I konačno, u tabeli 4. je za tri grede dat pregled sopstvenih frekvenci paralelno dobijenih računskim i eksperimentalnim putem. Greda poprečnog preseka 30x20mm i dužine 2000mm (greda 1 + greda 2) je presečena na dve grede dužine 1300mm (greda 1) i 700mm (greda 2).



Sl. 2 Izgled karakterističnog torzionog oblika oscilovanja za 4 različite celine obradnog centra

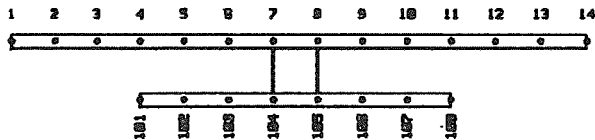
Tabela 4.

Broj moda	GREDA 1		GREDA 2		GREDA 1 + GREDA 2			
	Rač.	Eksp.	Rač.	Eksp.	Rač (1)	Rač (2)	Rač (3)	Eksp.
1	62.5	62.1	215.2	212.7	26.4	25.6	27.1	27.0
2	172.0	170.5	590.8	583.0	72.8	71.1	72.9	72.5
3	336.7	333.6	1153.9	1134.2	142.6	142.0	143.0	141.5
4	555.4	549.8	1902.8	1855.9	235.4	233.0	237.5	233.4
5	827.9	819.2	2837.4		351.2	348.0	354.5	348.4

Prvo su računskim putem određene sopstvene frekvence f (Hz) za sve tri grede posebno, pa su dobijene vrednosti verifikovane eksperimentalnim putem. Jedne i druge vrednosti su date u kolonama - 1, 2, 3, 4, 5 i 8 tabele 4. Računski i eksperimentalni rezultati za gredu 1 i gredu 2 su zatim poslužili za dobijanje rezultata celovite grede (greda 1 + greda 2). U tu svrhu su primenjena dva različita matematička algoritama, čiji rezultati su dati u kolonama 6 i 7. tabele 4. Prva od njih je dobijena po osnovu računskih, a druga po osnovu eksperimentalnih rezultata. Jedni i drugi imaju veliku podudarnost sa rezultatima dobijenim za celovitu gredu što još jednom potvrđuje ranije izneti zaključak izveden u pogledu tačnosti primenjenog metodološkog pristupa.

I konačno, metodološki pristup po čisto eksperimentalnoj osnovi je proveren na još jednom primeru, sl.3. Opet su za osnovu novog objekta poslužile iste grede, $L_1=1300$ mm (GREDA 1) i $L_2=700$ mm (GREDA 2), ali sada paralelno postavljene jedna u odnosu na drugu na međusobnom rastojanju 110 mm. Grede su međusobno kruto povezane sa 2 dopunske grede, postavljene na međusobnom rastojanju 100 mm.

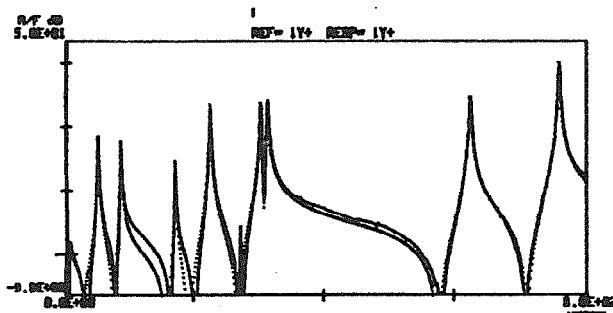
U prvom koraku je izvedeno eksperimentalno ispitivanje ovako formiranog sistema. Korišćen je standardni postupak impulsne pobude. Broj i raspored tačaka u formiranom eksperimentalnom modelu je pokazan na sl.3. Eksperimentalne vrednosti dobijene kao rezultat ovog ispitivanja, imale su karakter referentnih vrednosti. U tabeli 5 su date vrednosti sopstvenih frekvenci - f_e (Hz) dobijenih ovim putem.



Sl.3 Sistem međusobno spojnih greda

Tabela 5.

Broj moda	Eksperiment		Eksper./Proračun		Δf (%)
	f_p (Hz)	ξ_p (%)	f_r (Hz)	ξ_r (%)	
1	50.8	1.2	48.14	2.1	-5.2
2	87.3	0.59	93.8	0.38	7.4
3	172.1	0.319	167.7	0.78	2.5
4	226.4	0.261	257.6	0.54	13.7
5	303.5	0.215	305.7	0.54	0.7
6	313.5	0.321	301.2	0.30	-3.9
7	625.4	0.215	561.4	0.31	-10.2



Sl.4 Uporedni prikaz prenosnih funkcija dobijenih eksperimentalnim i računskim putem

U narednom koraku je primenjen koncept podstruktura sa prethodno razmatranim gredama kao osnovnim parametrima. Modalni parametri za pojedine grede, tabela 4, su predstavljali osnovu za dobijanje dinamičkih parametara ukupnog sistema, sl.3. Vrednosti sopstvenih frekvenci - f_r (Hz) dobijenih u ovom integralnom matematičko-eksperimentalnom pristupu su date u tabeli 5. U tabeli 5 su u komparativnoj formi pokazane vrednosti sopstvenih frekvenci dobijenih po eksperimentalnoj i matematičkoj osnovi. U ovoj tabeli su, takođe, date i vrednosti procentualnog odstupanja - Δf (Hz) između ovih sopstvenih frekvenci.

I konačno, na sl.4 su u uporednoj formi pokazane 2 prenosne funkcije koje se odnose na isti par tačaka - $1Y/1Y$. Prenosna funkcija ucrtana punom linijom je dobijena eksperimentalnim putem, te ima referentni karakter, a prenosna funkcija ucrtana isprekidanom linijom je dobijena matematičkim putem u konceptu podstrukture. Očigledno je skoro potpuno njihovo poklapanje.

4. ZAKLJUČAK

U radu su prikazane mogućnosti široke praktične primene koncepta podstrukture u dinamičkoj identifikaciji složenih objekata. Ovaj metodološki pristup u velikom broju slučajeva ima velike komparativne prednosti u odnosu na postojeća tradicionalna rešenja. U radu su pokazane osnove za 2 komplementarna matematička algoritma, od kojih je jedan više orijentisan računskoj, a drugi eksperimentalnoj identifikaciji kompleksnih objekata. Detaljni matematički algoritmi nisu dati iz razloga prostornog ograničenja ovog rada. Verifikacija pokazanih metodoloških pristupa je izvedena na realnim primerima manje i veće strukturalne složenosti. U svim primerima kao baza su korišćeni rezultati paralelno dobijeni računskim i eksperimentalnim putem. Izvedeno je komparativno poređenje rezultata dobijenih tradicionalnim putem i primenom koncepta podstrukture. Odstupanja su minimalna što govori o visokoj tačnosti i velikom praktičnom značaju primenjenog metodološkog pristupa.

5. LITERATURA

- [1] Albijanić R., Kalajdžić M., Practical Application of Experimental and Mathematical Modal Analysis on Machine Tools, 7th International Modal Analysis Conference, Las Vegas, 1989.
- [2] Albijanić R., Bošković V., Uticaj pomerljivih masa u dinamičkoj identifikaciji alatnih mašina, V Međunarodna naučno-stručna konferencija, mma '94., Novi Sad, 1994.
- [3] Albijanić R., Bošković V., Primeri korišćenja integralnih matematičko-eksperimentalnih metoda u dinamičkoj analizi mašinskih sistema, Teška mašinogradnja, Kruševac/Vrnjačka Banja, 1993.

SUBSTRUCTURE CONCEPT IN MACHINE TOOLS CALCULATION AND EXPERIMENTAL VERIFICATION

Summary

In the dynamic identification of complex structures the substructures concept often has significant comparative advantages over the existing traditional approaches. Its implementation has special significance in the domain of machine tools, whose structural configuration is subject to extensive changes. The paper shows bases for the two implemented mathematical algorithms, whose verification both on calculation and experimental basis was performed on several practical examples. Obtained results show high accuracy of the applied methodological approach.

S. Andrijašević*

PROJEKTOVANJE HIDRO-PULS SISTEMA U FREKVENTNOM DOMENU

Rezime

Razvojna istraživanja i analiza uticaja parametara na dinamičko ponašanje hidrauličnog pulsatora bazirana su na postavljenom matematičkom modelu sistema. Na osnovu amplitudno frekventne karakteristike formiran je hidropuls dijagram, koji omogućava izbor prečnika hidrocilindra za klasu ispitivanih sistema, okarakterisanih statičkom krutošću. Izbor se vrši preko krive koja odgovara maksimalnoj frekvenciji. U radu je analiziran uticaj karakteristika napojnog servorazvodnika na kvalitet ostvarene pobudne sile hidropuls sistema.

1. UVOD

Hidropuls sistemi se koriste pri dinamičkim ispitivanjima kao stabilni generatori sile, koja se menja po nekoj prostoperiodičnoj, najčešće sinusnoj funkciji. Odlikuju se robusnom i kompaktnom konstrukcijom, te mogućnošću proizvodjenja sile većeg intenziteta. Hidrocilindar i servorazvodnik, kao posebno značajni elementi hidropulsatora, realizuju se u specijalnim izvođenjima. Međutim, i hidroagregat sa instalacijom i upravljački sistem takođe moraju da zadovolje zahteve režima rada ovih sistema. Hidroagregat osim zahteva za višim radnim pritiskom treba da obezbedi dobro hlađenje hidroulja i održavanje njegove radne temperature. Pritisak napajanja mora biti stabilan, a hidroudari u sistemu se prigušuju hidroakumulatorima sa gasom na ulaznoj i izlaznoj struji fluida. Upravljački sistem treba da ostvari kontrolisanu promenu sile, prema žoljenom zakonu promene, zbog čega se koristi senzor sile. U nekim primenama u sistemu regulisanja je zatvorena sprega i po sili i po poziciji.

Karakteristike servorazvodnika i parametri hidrocilindra utiču na dinamičko ponašanje hidropuls sistema i predstavljaju limitirajući faktor kvaliteta pobudne sile i amplitude ostvarenih oscilacija. Procenjujući značaj ove sprege u prvoj fazi razvojnih istraživanja postavljen je njen matematički model. U diferencijalnoj jednačini ponašanja figurišu konstruktivni parametri, pomoću kojih se radna površina, radna zapremina i pokretna masa hidrocilindra izražavaju funkciji prečnika klipa hidrocilindra. Analiziran je uticaj parametara na amplitudno frekventnu karakteristiku $A(\omega)$. Posebno je interesantna kriva konstantne amplitude za graničnu, tj. maksimalnu frekvenciju hidrauličnog pulsatora $A(\omega_{\max})$. Prema formiranom dijagramu vrši se izbor prečnika klipa cilindra.

*Slobodan Andrijašević, dipl.ing., Lola Institut, Kneza Višeslava 70a, Beograd.

2. DIFERENCIJALNA JEDNAČINA PONAŠANJA SISTEMA

Posmatramo uticaj otklona klipova razvodnika na kretanje klipa hidrocilindra, sl.1. Protok hidroulja kroz razvodnik može da se predstavi linearnom funkcijom [1]:

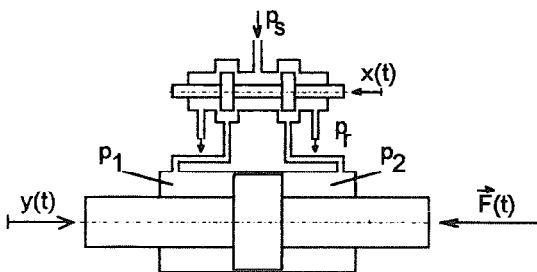
$$q(t) = k_q x(t) - k_c p(t), \quad (1)$$

gde je,

k_q -koeficijent pojačanja protoka

k_c -koeficijent pritiska

$$p = p_1 - p_2 \approx p_1.$$



Sl.1.

Protok kroz razvodnik čine: protok hidrocilindra, protok curenja i protok za kompenzaciju stišljivosti hidroulja. Prema jednačini kontinuiteta [2] ima se:

$$q(t) = A \frac{dy(t)}{dt} + C_c p(t) + \frac{V}{B} \frac{dp(t)}{dt}, \quad (2)$$

gde je,

A-radna površina klipa hidrocilindra

C_c -koeficijent curenja

B-zapreminski modul stišljivosti

V-ukupna zapremina komore cilindra i voda od razvodnika do cilindra.

Prema uslovu dinamičke ravnoteže sila sledi:

$$p(t)A = m \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + \mu \frac{dy(t)}{dt} + F(t), \quad (3)$$

m-ukupna pokretna masa hidrocilindra

μ -koeficijent viskoznog trenja

F(t)-reaktivna sila ispitivanog objekta.

Sledeći korak u postavljanju matematičkog modela je uvođenje konstruktivnih parametara i to na sledeći način:

$$A = k_1 D^2 \quad ; \quad V = k_2 D^2 \quad ; \quad m = k_3 D^2, \quad (4)$$

D-prečnik klipa hidrocilindra.

Smenjivanjem jednačina (1) i (3) u (2) i posle uvođenja konstruktivnih parametara dobija se:

$$\frac{k_2 k_3 D^2}{B} \frac{d^3 y(t)}{dt^3} + (c k_3 + \frac{k_2 \mu}{B}) \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + (k_1^2 D^2 + \frac{c \mu}{D^2}) \frac{dy(t)}{dt} = k_1 k_q x(t) - \frac{c}{D^2} F(t) - \frac{k_2}{B} \frac{dF(t)}{dt}, \quad (5)$$

$$c = C_c + k_c.$$

Ako ispitivani sistem predstavimo masom M , prigušenjem b i statičkom krutošću C , funkcija sile dobija sledeći oblik:

$$F(t) = M \frac{d^2 y(t)}{dt^2} + b \frac{dy(t)}{dt} + Cy(t). \quad (6)$$

Nakon diferenciranja i smenjivanja u (5) dobijamo diferencijalnu jednačinu ponašanja pulsatora:

$$(K_{bm} + K_{b3}D^2) \frac{d^3 y}{dt^3} + (K_{bc} + K_{mc} \frac{1}{D^2}) \frac{d^2 y}{dt^2} + (k_1 D^2 + K_{\mu c} \frac{1}{D^2} + K_{b1}C) \frac{dy}{dt} + K_{c1} \frac{C}{D^2} y = k_g x, \quad (7)$$

$$K_{bm} = \frac{k_2 M}{k_1 B}; K_{b3} = \frac{k_2 k_3}{k_1 B}; K_{bc} = \frac{k_2(\mu + b)}{k_1 B} + \frac{k_3 c}{k_1}; K_{mc} = \frac{cM}{k_1}; K_{\mu c} = \frac{c(\mu + b)}{k_1}; K_{b1} = \frac{k_2}{k_1 B}; K_{c1} = \frac{c}{k_1}.$$

3. AMPLITUDNO FREKVENTNA KARAKTERISTIKA

Frekventnu karakteristiku sistema dobijamo iz količnika Furijeovih transformacija izlazne i ulazne veličine[3]:

$$F(j\omega) = \frac{Y(j\omega)}{X(j\omega)} = \frac{k_g}{(a_0 - a_2 \omega^2) + j(a_1 \omega - a_3 \omega^3)}, \quad (8)$$

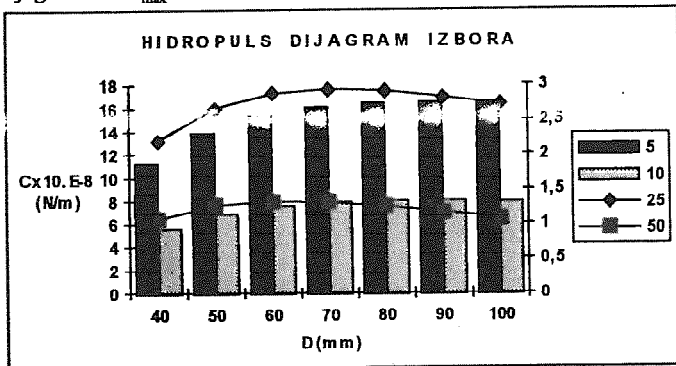
odakle dobijamo da je moduo frekventne karakteristike:

$$A(\omega) = |F(j\omega)| = \frac{k_g}{\sqrt{a_3 \omega^6 + (a_2^2 - 2a_1 a_3) \omega^4 + (a_1^2 - 2a_0 a_2) \omega^2 + a_0^2}}, \quad \text{gde je} \quad (9)$$

$$a_0 = K_{c1} \frac{C}{D^2}, \quad a_1 = k_1 D^2 + K_{\mu c} \frac{1}{D^2} + K_{b1} C,$$

$$a_2 = K_{bc} + K_{mc} \frac{1}{D^2}, \quad a_3 = K_{bm} + K_{b3} D^2.$$

Sada konstruišemo krive $A(\omega_{max}) = const$, odnosno $\bar{C} = C(A(\omega_{max}), D)$. Na sl.2. je prikazan dijagram za $\omega_{max} = 314 \text{ rad/sec}$.



Sl.2.

Primećujemo da sa povećanjem prečnika D hidrocilindra iznad 70 mm ne dobijamo značajnije povećanje amplitude. Štaviše, za niže vrednosti krutosti C dolazi do opadanja amplitude. Daleko efikasniji način povećanja amplitude je podizanje pritiska sistema p_{sta} , sl.1. Povećanje napojnog pritiska direktno se odražava preko povećanja koeficijenta protoka k_q , jednačina (9).

4. UTICAJ KARAKTERISTIKA SERVORAZVODNIKA

Frekventna karakteristika servorazvodnika u ovim razmatranjima nije analizirana. Proizvođači je obavezno daju u prospektnim materijalima. Povećanje nazivnog protoka utiče na povećanje slabljenja u amplitudno frekventnoj karakteristici, pa i ovo treba uzeti u obzir prilikom izbora servorazvodnika. U nastavku će biti analiziran uticaj koeficijenta protoka k_q , koeficijenta curenja C_c i koeficijenta pritiska k_c razvodnika na proizvedenu silu pulsatora $F(t)$. U tom cilju prenosnu funkciju ispitivanog sistema obeležićemo sa $W(s)$, tj.

$$W(s) = \frac{Y(s)}{F(s)}. \quad (10)$$

Kada izvršimo Laplasovu transformaciju diferencijalne jednačine (5) i zamenimo $F(s)$ iz (10) dobićemo prenosnu funkciju koja opisuje uticaj otklona razvodnika na proizvedenu silu:

$$\frac{F(s)}{X(s)} = \frac{k_1 k_q}{\left(\frac{c}{D^2} + \frac{k_2}{B} s\right) [1 + k_3 D^2 s^2 W(s)] + \left[ck_3 s^2 + \left(k_1 D^2 + \frac{cM}{D^2}\right)s\right] W(s)} \quad (11)$$

Pojačanje je jednako:

$$K = \lim_{s \rightarrow 0} \frac{F(s)}{X(s)} = \frac{k_1 k_q D^2}{c}, \quad (12)$$

gde je prema (5), $c = C_c + k_c$.

Sa povećanjem unutrašnjeg curenja C_c treba očekivati opadanje pojačanja K . Međutim, ukoliko hidroagregat može da za $C_c^* = C_c + \Delta C_c$ obezbedi povećani protok pri istom radnom pritisku, onda je prema (2):

$$q^*(t) = q(t) + \Delta C_c p(t). \quad (13)$$

Prema (1) je :

$$q^*(t) = k_q x(t) - k_c^* p(t) = q(t) - \Delta k_c p(t), \text{ pri čemu je } k_c^* = k_c + \Delta k_c. \quad (14)$$

Izjednačavanjem izraza za $q^*(t)$, imamo:

$$\Delta k_c = -\Delta C_c. \quad (15)$$

Obzirom na (12) zaključujemo da neće doći do promene pojačanja K . Zato će se linearnost protoka u funkciji otklona razvodnika poboljšati, jer se smanjuje k_c u jednačini (1). Curenje u sistemu, dakle poboljšava linearnost i kvalitet proizvedene sile. U hidropuls sistemima je iz ovih razloga povećano unutrašnje curenje.

.ZAKLJUČAK

Postavljena diferencijalna jednačina ponašanja i izvedena frekventna karakteristika od koje se koristi u postupku projektovanja hidrauličnog pulsatora. Na osnovu modula frekventne karakteristike formiran je hidropuls dijagram. Analiza uticaja curenja bez odgovarajućeg matematičkog modela, teško je izvodljiva. Na kraju treba skrenuti pažnju na uticaj stišljivosti hidroulja, koji kod hidropuls sistema mora biti uzet u obzir. Sile viskoznog curenja u diferencijalnoj jednačini (3) mogu da se zanemare.

5. LITERATURA

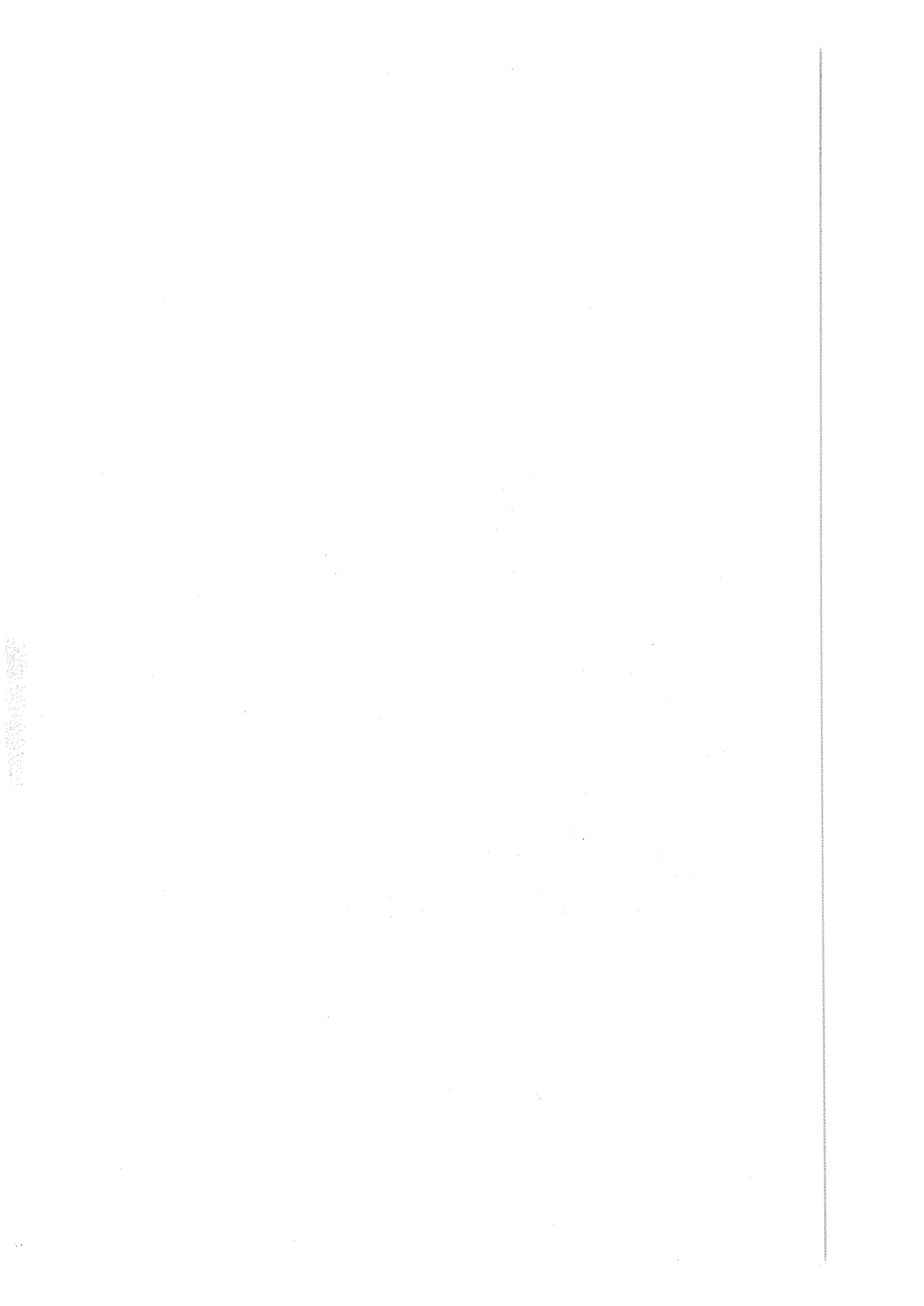
- 1] Merritt, H., Hydraulic Control Systems, John Wiley & Sons, New York, 1967.
- 2] Sekulić, M., Osnovi teorije automatskog upravljanja, Naučna knjiga, Beograd, 1976.
- 3] Milojković, B., Grujić, Lj., Automatsko upravljanje, Mašinski fakultet, Beograd, 1977.

Š. Andrijašević

HYDRO-PULSE SYSTEM DESIGN IN THE FREQUENCY DOMAIN

Summary

Research and analysis of the parameter influence on the dynamic behavior of the hydro-pulse system are based on the defined mathematical model. A hydro-pulse diagram was formed on the amplitude frequency characteristic, which enables the selection of the hydrocylinder diameter for the examined system class characterized by static stiffness. The selection is based on the graph which corresponds to the maximum frequency. The paper analyzes the influence of the servo valve characteristics on the quality of the effective hydro-pulse system force.



P. Dragičević*
T. Pijevac**

ANALIZA UTICAJA OBLIKA I TIPA KONAČNIH ELEMENATA NA TAČNOST REŠENJA PO MKE

REZIME

U radu je prikazan uticaj oblika i tipa konačnih elemenata na tačnost rešenja. Primer koji je dat urađen je na deset načina sa tri programska paketa za strukturnu analizu. Izvršena je komparacija svih rezultata sa teoretskim i data ocena tačnosti rešenja po MKE.

1.0. UVOD

Strukturna analiza konstrukcija spada u savremene metode dizajniranja i proračuna. Zbog sve većeg broja programa neophodno je poznavanje tačnosti rešenja korštenog programskog paketa i faktora koji utiču na istu.

Rešenja koja se dobijaju po MKE, u opštem slučaju su približna ili aproksimativna rešenja, zato je nužna teoretska i eksperimentalna verifikacija paketa. U radu je prikazan samo jedan od načina takvog testiranja programa za MKE, čija se rešenja upoređuju sa teoretskim rešenjem datog problema. Testiran je programski paket COSMOS [5], [6] i [7].

* P. Dragičević, istraživač saradnik, LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd

** T. Pijevac, istraživač saradnik, LOLA Institut, Kncza Višeslava 70a, 11030 Beograd

Kao primer za testiranje uzeto je rešavanje jednog istog problema (sl.1), koji je modeliran sa različitim gustinama mreže i tipovima konačnih elemenata . Mogućnost komparacije rešenja dobijenih korištenjem različitih programa daje potpuniju ocenu tačnosti rezultata i uticaja pojedinih faktora na izbor modela i rada raspoloživog programskog paketa.

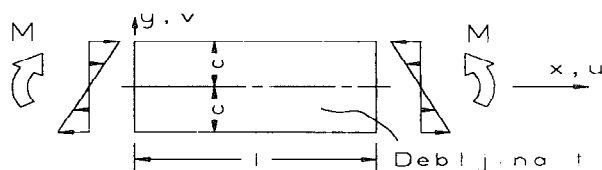
2.0. MODELIRANJE PROBLEMA

Za testiranje je zadat tanki elemenat u x-y ravni, koji je na jednom kraju učvršćen (sl.1), a na drugom slobodnom kraju opterećen sa dve sile, tako da je efekat opterećenja na konstrukciji u obliku konstantnog momenta (sl.2). Potrebni podaci koji opisuju problem su sledeći:

$$l = 1.2 \text{ m} \quad c = 0.06 \text{ m} \quad t = 0.00254 \text{ m} \quad E = 207 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$V = 0.25 \quad G = 82.8 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$EI = 75.71231 \times 10^3 \quad M = 120 \text{ Nm}$$



sl. 1.

Podaci za granične uslove su:

$$u = v = 0 \quad \text{za } x = 0, \quad y = -0.06 \text{ m}$$

$$u = 0 \quad \text{za } x = 0, \quad y = 0.06 \text{ m}$$

Cilj testiranja je izračunati pomeranje tačke "A" (sl.3) u pravcima x i y analitički i pomoću programa za strukturnu analizu , nakon čega dobijene rezultate međusobno uporediti. Teoretsko rešenje pomeranja tačke "A" u pravcima u i v za dato opterećenje može se lako dobiti i ono iznosi:

P. Dragičević*
T. Pijevac**

ANALIZA UTICAJA OBLIKA I TIPA KONAČNIH ELEMENATA NA TAČNOST REŠENJA PO MKE

REZIME

U radu je prikazan uticaj oblika i tipa konačnih elemenata na tačnost rešenja. Primer koji je dat uradjen je na deset načina sa tri programska paketa za strukturnu analizu. Izvršena je komparacija svih rezultata sa teoretskim i data ocena tačnosti rešenja po MKE.

1.0. UVOD

Strukturna analiza konstrukcija spada u savremene metode dizajniranja i proračuna. Zbog sve većeg broja programa neophodno je poznavanje tačnosti rešenja korštenog programskog paketa i faktora koji utiču na istu.

Rešenja koja se dobijaju po MKE, u opštem slučaju su približna ili aproksimativna rešenja, zato je nužna teoretska i eksperimentalna verifikacija paketa. U radu je prikazan samo jedan od načina takvog testiranja programa za MKE, čija se rešenja upoređuju sa teoretskim rešenjem datog problema. Testiran je programski paket COSMOS [5], [6] i [7].

* P. Dragičević, istraživač saradnik, LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd

** T. Pijevac, istraživač saradnik, LOLA Institut, Kneza Višeslava 70a, 11030 Beograd

Kao primer za testiranje uzeto je rešavanje jednog istog problema (sl.1), koji je modeliran sa različitim gustinama mreže i tipovima konačnih elemenata . Mogućnost komparacije rešenja dobijenih korištenjem različitih programa daje potpuniju ocenu tačnosti rezultata i uticaja pojedinih faktora na izbor modela i rada raspoloživog programskog paketa.

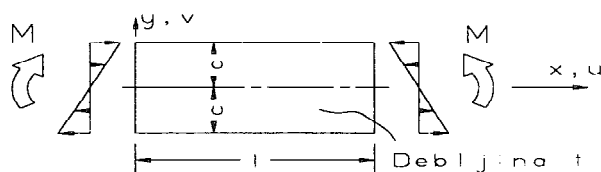
2.0. MODELIRANJE PROBLEMA

Za testiranje je zadat tanki elemenat u x-y ravni, koji je na jednom kraju ucvršćen (sl.1), a na drugom slobodnom kraju opterećen sa dve sile, tako da je efekat opterećenja na konstrukciji u obliku konstantnog momenta (sl.2). Potrebni podaci koji opisuju problem su sledeći:

$$l = 1.2 \text{ m} \quad c = 0.06 \text{ m} \quad t = 0.00254 \text{ m} \quad E = 207 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$V = 0.25 \quad G = 82.8 \times 10^9 \text{ N/m}^2$$

$$EI = 75.71231 \times 10^3 \quad M = 120 \text{ Nm}$$



sl. 1.

Podaci za granične uslove su:

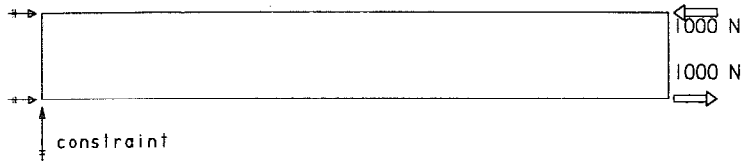
$$u = v = 0 \quad \text{za } x = 0, \quad y = -0.06 \text{ m}$$

$$u = 0 \quad \text{za } x = 0, \quad y = 0.06 \text{ m}$$

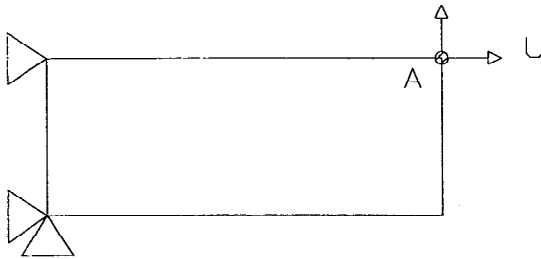
Cilj testiranja je izračunati pomeranje tačke "A" (sl.3) u pravcima x i y analitički i pomoću programa za strukturu analizu , nakon čega dobijene rezultate međusobno uporediti. Teoretsko rešenje pomeranja tačke "A" u pravcima u i v za dato opterećenje može se lako dobiti i ono iznosi:

$$u = -0.1141 \times 10^{-3} \text{ m}$$

$$v = 0.1141 \times 10^{-2} \text{ m}$$



sl.2.



sl.3.

2.1. PRIMENA PROGRAMA ZA STRUKTURNU ANALIZU

Zadati primer rešen je pomoću tri programska paketa za strukturnu analizu: MSC/NASTRAN (Version 63A), ANSYS (Revision 4.1), [3] I COSMOS7 (Version V84.1) [6]. Za modeliranje problema korišteni su membranski elementi kod prva dva programska paketa, dok su kod trećeg korišteni samo pločasti elementi. Tipovi korištenih elemenata bili su:

(I) MSC/NASTRAN

QUAD4, TRIA3, QUAD8, TRIA6

(II) ANSYS

STIF 42 (4 -čvorni elemenat)

STIF 42 (3 -čvorni trouglasti elemenat)

STIF 82 (8 -čvorni čevorouglasti elemenat)

STIF 82 (6 -čvorni trouglasti elemenat)

(III) COSMOS7

PLATE (4 -čvorni elemenat)

PLATE (3 -čvorni elemenat)

PLATE (6 -čvorni elemenat)

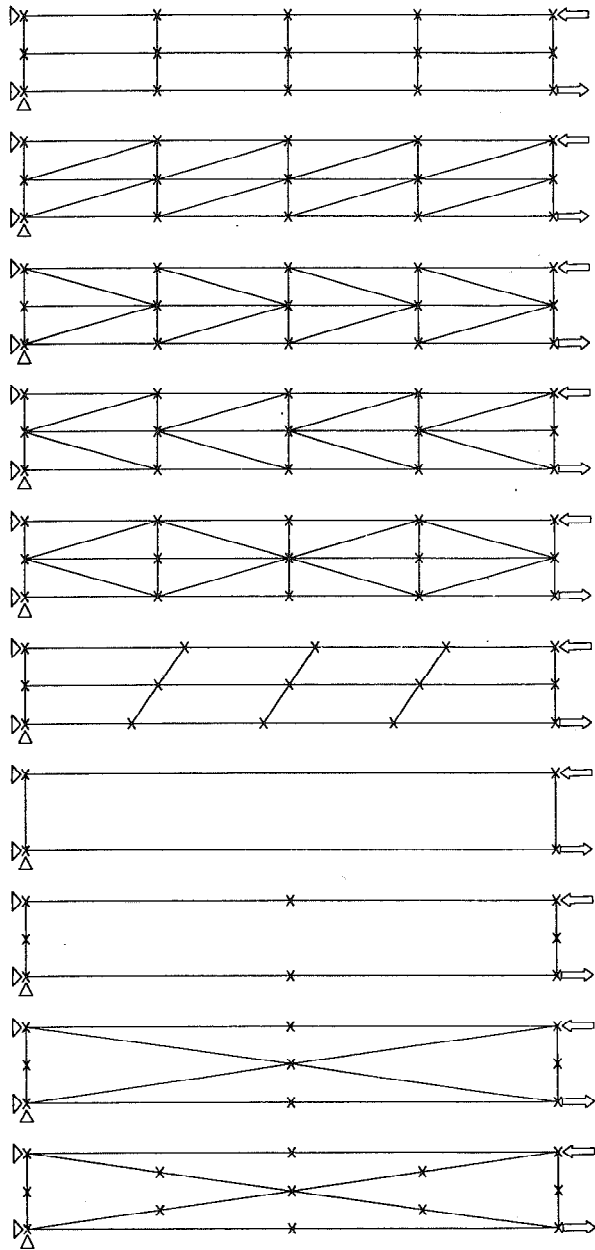
PLATE (8 -čvorni elemenat)

3.0. REZULTATI PRORAČUNA PO MKE

Na slici 4. prikazano je deset modela mreže konačnih elemenata koji su korišteni za modeliranje problema definisanog na slici 1. Momenat M prave dve koncentrične sile od po 1000 N kao što je prikazano na slici 2.

Tablela 1 prikazuje pomeranje tacke "A" dobijene pomoću metode konačnih elemenata (MKE) sa tri programska paketa i sa promenljivim modelima mreže konačnih elemenata. Odnos između izračunate i teoretske vrednosti prikazan je u tabeli 2, gde je korektna vrednost ovog odnosa jednaka jedinici.

Radi preglednosti podataka iz table 2 isti su prikazani grafički na dijagramu D1. Uočljivo je da sva tri programska paketa za modele od 2 do 5 imaju ista odstupanja koja su dosta velika. Međutim, važno je podvući da za model 8 sva tri paketa imaju korektno rešenje. Kada je u pitanju analiza rezultata proračuna, onda treba naglasiti da u primeni COSMOS paketa nisu korišteni membranski elementi. COSMOS ima takodje u svojoj biblioteci membranske elemente, ali su u ovom testiranju primenjeni pločasti zbog njihove šire primene kod rešavanja realnih problema.



sl. 4.

Model No.	ANSYS		NASTRAN		COSMOS 7	
	U	V	U	V	U	V

Tabela 1

1	-.114116E-3	.114116E-2	-.112245E-3	.112245E-2	-.361666E-4	.289328E-3
2	-.127127E-4	.127224E-3	-.127228E-4	.127228E-3	-.150927E-4	.120751E-3
3	-.127198E-4	.127058E-3	-.127198E-4	.127058E-3	-.150860E-4	.120540E-3
4	-.127198E-4	.127337E-3	-.127198E-4	.127337E-3	-.150879E-4	.120882E-3
5	-.130536E-4	.130536E-3	-.130536E-4	.130536E-3	-.156518E-4	.125237E-3
6	-.931536E-4	.927265E-3	-.242765E-4	.242765E-3	-.146687E-4	.146686E-3
7	-.114116E-3	.114116E-2	-.106984E-3	.106948E-2	-.288085E-5	.288095E-4
8	-.114116E-3	.114116E-2	-.114116E-3	.114116E-2	-.118227E-3	.118225E-2
9	-.187145E-5	.187145E-4	-.187145E-5	.187145E-4	-.195019E-5	.194018E-4
10	-.310382E-5	.310382E-4	-.114116E-3	.114116E-2	-.118091E-3	.118083E-2

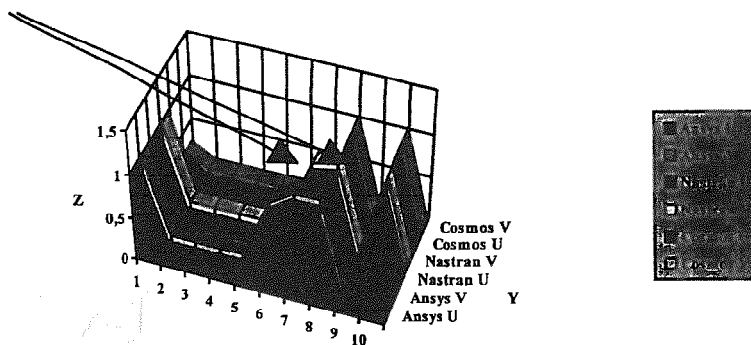
Odnos = Izračunato / Po teoriji:

Model No.	ANSYS		NASTRAN		COSMOS 7	
	U	V	U	V	U	V

Tabela 2

1	1,0001	1,0001	0,9837	0,9837	0,3169	0,2535
2	0,1114	0,1115	0,1115	0,1114	0,1322	0,1058
3	0,1115	0,1114	0,1115	0,1144	0,1322	0,1056
4	0,1115	0,1110	0,1115	0,1116	0,1322	0,1059
5	0,1144	0,1114	0,1144	0,1144	0,1371	0,1097
6	0,8164	0,8126	0,2120	0,2120	0,1285	0,1285
7	1,0001	1,0001	0,9376	0,9376	0,0252	0,0252
8	1,0001	1,0001	1,0001	1,0001	1,0361	1,0361
9	0,0164	0,0164	0,0164	0,0164	0,0171	0,0170
.10	0,0272	0,0272	1,0001	1,0001	1,0349	1,0349

Dijagram D1



4.0. ZAKLJUČAK

Opšti zaključak iz predhodnog testa je, da rezultati analize u velikoj meri zavise od načina modeliranja same konstrukcije. Drugim rečima bez obzira na raspoloživi programski paket za strukturnu analizu, vrlo je važno koliko je korisnik paketa osposobljen za njegovo korišćenje. Veći broj sličnih testova i testova koji su eksperimentalno verifikovani omogućuju optimalno modeliranje realnih problema i korektnu analizu sa raspoloživim programskim paketom.

5.0. LITERATURA

- [1] Brebbia C. A., Finite element systems, Springer - Verlag, 1982, Berlin.
- [2] Sekulović M., Metod konačnih elemenata, Gradjevinska knjiga, 1984, Beograd.
- [3] Robinson J., Braam H., Bakker D., Some MSC/NASTRAN and ANSYS element evaluations, Finite element news, 1984, Issue No 4.
- [4] Bathe K. J., Finite - element procedures in engineering analysis, Prentice Hall, 1982.
- [5] MODEL - Users manual, Structural Research & Analysis Corporation, Santa Monica, California, 1984.
- [6] COSMOS7 - Users manual, Structural Research & Analysis Corporation, Santa Monica, California, 1984.
- [7] POST - Users manual, COSMOS7 Post - processor, Structural Research & Analysis Corporation, Santa Monica, California, 1984.

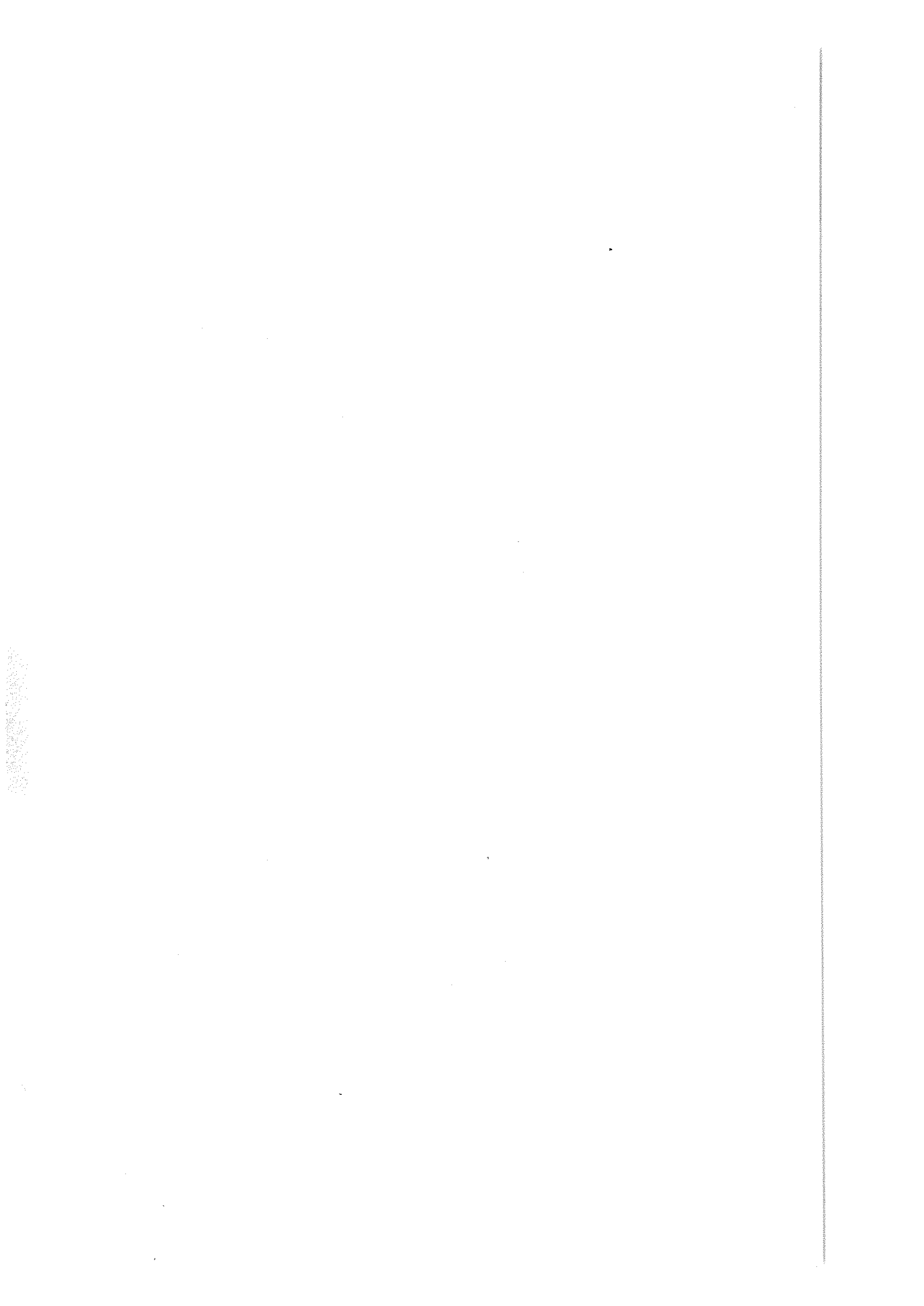
P. Dragičević

T. Pijevac

PRESENTATION OF THE INFLUENCE OF SHAPE AND TYPE OF ELEMENTS ON THE SOLUTION EXACTNESS ACCORDING TO FEM

Summary

The paper presents the influence of the shape and type of elements on the solution exactness. The given example was modelled in ten ways using three structural analysis packages. All the results were compared with the theoretical results and the estimation of the solution exactness according to FEM was given.



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

D.Drăgulescu, M.Toth Tașcău

DYNAMIC STUDY OF A WELDING ROBOT

Abstract

The dynamic model of the welding robot points out the relationships between active forces and driving moment acting in joints and the velocities and accelerations of links. The differential equations of the motion were obtained using the Lagrange's equations. The dynamic equations of the motion have been solved in the direct problem and in the reverse one. The graphics of the laws of variation with respect to time of accelerations, velocities and mechanical elements (forces and moments) acting in joints are represented.

1. INTRODUCTION

In welding process there are utilized the robots that can pursue a predetermined trajectory analytically described. Imposing a certain law of movement in each joint it is very important to establish the laws of variation with respect to time of the active mechanical elements in the respective joint.

A welding robot, with 3 degrees of freedom, destined to the automatic submerged arc welding was studied (figure 1).

There are known:

- constructive parameters l_i ($i=1, \dots, 4$);
 - masses m_i of translational and rotational modules, including the welding head (the end effector);
 - moments of inertia of the robot's modules including the welding head;
 - positions of the centers of gravity for all modules with respect to their attached coordinate frames;
 - the real system of forces, acting to the welding head, expressed with respect to its attached coordinate frames.
-

Doina Drăgulescu, prof.dr.eng, Technical University, Piața Victoriei nr.2, 1900 Timișoara, România

Mirela Toth Tașcău, asist.eng, Technical University, Piața Victoriei nr.2, 1900 Timișoara, România.

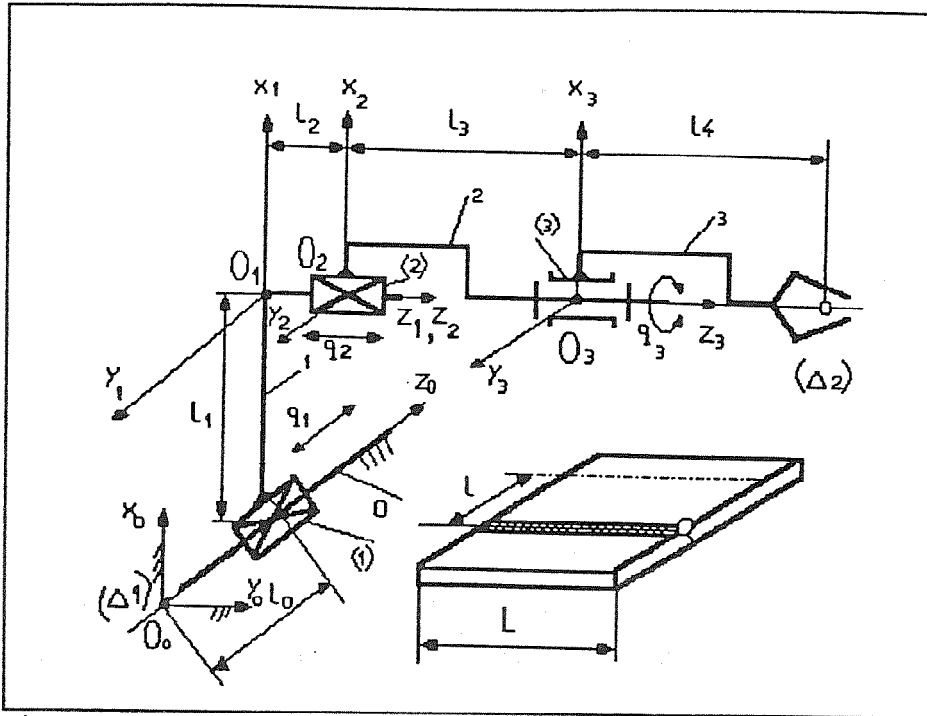


Figure 1

2. JOINT TORQUES AND FORCES

To describe the robot's motion, the analysis of the active elements in the joints is necessary. So, if a general system of forces ${}^{03}\{\tau_{03}\}$ to the end effector is done and the jacobian matrix J of the robot is known [1], the matrix of the mechanical elements acting in joints can be written:

$$\{Q\} = J^T {}^{03}\{\tau_{03}\} \quad (1)$$

For the particular case of the automatic submerged arc welding only the translational motion of the end effector along the weld and the advance motion of the wire into the joint are performed. So, the particular form of the matrix $\{Q\}$ is:

$$\{Q\} = \{ -F_s \sin q_3 \quad F_s \quad 0 \} \quad (2)$$

In the real case, the elements of the matrix (2) must be corrected with the friction forces and torques acting in links. The friction constants are functions of nominal area of the contact

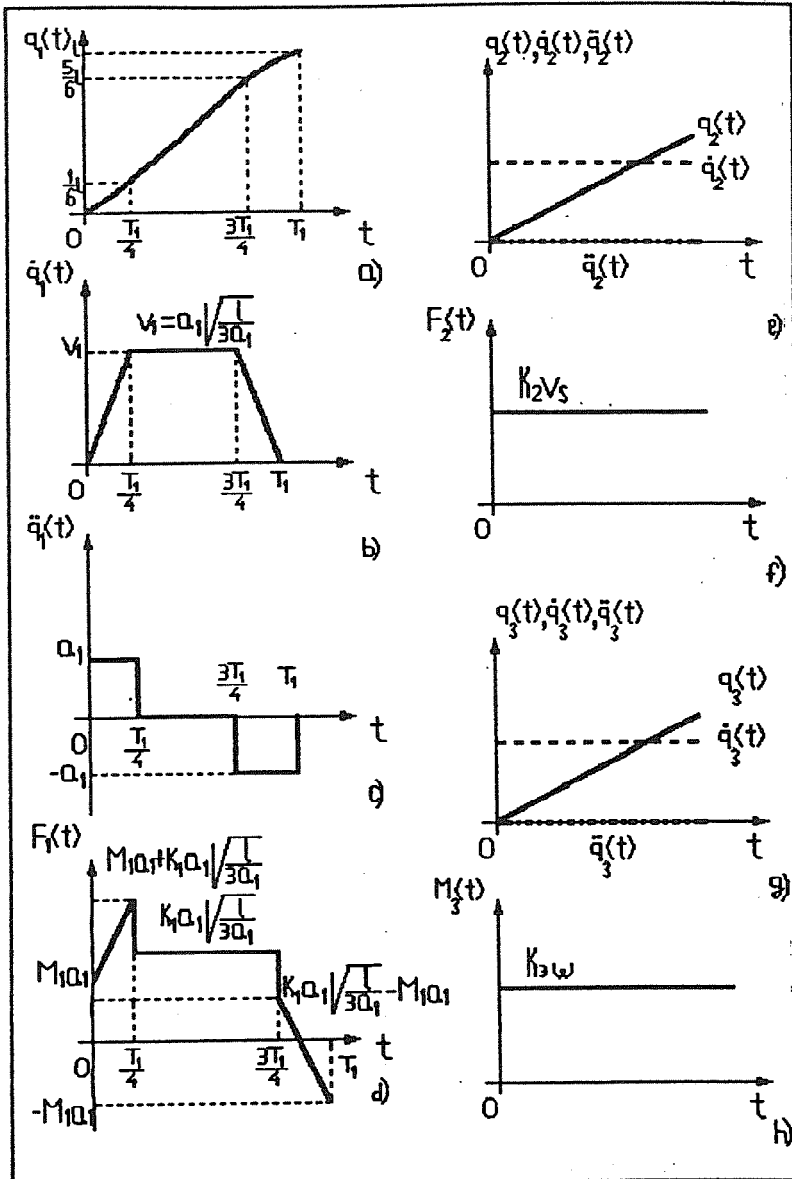


Figure 2

surfaces, dynamic viscosity and thickness of the thin skin of lubricant [2].

3. JOINT COORDINATES

Using Lagrange's equations written for the studied robot, the differential equations of the robot are:

$$\begin{aligned} \ddot{q}_1 \sum_{i=1}^4 m_i &= F_1 - k_1 \dot{q}_1 \\ \ddot{q}_2 \sum_{i=2}^4 m_i &= F_2 - k_2 \dot{q}_2 \\ \ddot{q}_3 \sum_{i=3}^4 J_{A2(1)} &= M_3 - k_3 \dot{q}_3 \end{aligned} \quad (3)$$

where:

- F_1 , F_2 and M_3 are, in the same order, the elements of the (2) {Q}-expression;

- $J_{A2(1)}$ are the moments of inertia of the module 3 and the welding head 4 of the robot, with respect to the (A_1) axis.

Generally, the direct solving of the problem is important. That is to say, the laws of movement are imposed and the active mechanical elements will be determined [3].

If the motion between two successive welded beams must be produced in a time T_1 with the acceleration diagram as shown in figure 2c, the velocity and the law of movement for the joint 1, obtained by integration with respect to time, are represented in the figures 2b and 2a. From the first differential equation (3) it was possible to obtain the expression of the active force F_1 necessary to realize the respective law of movement. This force is represented in the figure 2d.

In the same way the active elements F_2 and M_3 were obtained. The corresponding diagrams are represented in the figures 2f and 2h.

4. CONCLUSIONS

The proposed method for the study of the welding robot TTR can be utilised for any robot. It is interesting to note that every robot's module occurs distinctly and independently.

5. REFERENCES

- [1] Drăgulescu, D., Toth Taşcău, M., Kinematic and dynamic study of a welding robot. Second European Conference on Joining Technology Proceedings, Florence- Italy, 1994, 893-901.
- [2] Pascovici, M., Lubrificația. Prezent și perspectivă. Editura Tehnică, București- România, 1985.
- [3] Paul, R., Robot manipulators. Mathematics, Programming and Control. The MIT Press, Cambridge, England, 1982.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Lj. Đorđević *
D. Domazet
M. Trajanović
P. Popović

PRIMENA METODA KONAČNIH ELEMENATA NA REŠAVANJE PROBLEMA TEMELJA KOVAČKIH MAŠINA

Rezime

Kovački čekići u procesu oblikovanja izradaka, proizvode velike udarne impulse, koji u pojedinačnom ili serijskom delovanju, izazivaju pojavu vibracija i opterećenje svih elemenata koji čine vibracioni sistem. U radu su prezentirani rezultati ispitivanja opterećenja temelja čekića, klasičnog postavljanja mašina udarnog dejstva, a u smislu identifikacije kritičnih naprezanja, kritičnih deformacija i pomeranja.

1. UVOD

Problem nalaženja racionalnih metoda projektovanja i oblikovanja temelja mašina je jedan od najstozrenijih problema na koji nailaze projektanti mašina, pored ostalih problema koji su pri tome prisutni u fazi projektovanja mašina, uređaja i postrojenja. Pri projektovanju temelja mašina udarnog dejstva, i svih ostalih mašina, mora se voditi računa o nekim važnim detaljima, a posebno o vrstama opterećenja kovačkih čekića.

1.1. VRSTE OPTEREĆENJA

Opterećenja temelja mašina radilica, a i mašina za obradu deformisanjem nastaju kao rezultat neuravnoteženih inercijalnih sila, odnosno kao posledica oblika kretanja pojedinih mehanizama i njihovih sastavnih elemenata, koji izvode mehaničke operacije u okviru tehnološkog procesa, zbog koga je mašina projektovana i instalirana.

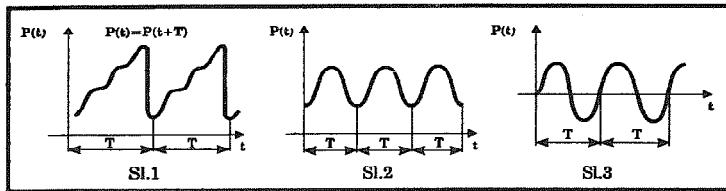
Kretanja koje proizvode inercijalne-poremećajne sile, mogu biti rotaciona ili translatorna. I kod jednog i kod drugog kretanja javljaju se ove sile, koje izazivaju pored deformacija elemenata sistema, i pojavu vibracija u njima.

Konstruktori se sreću najčešće sa sledećim oblicima dinamičkih opterećenja:

1.1.1. PERIODIČNA OPTEREĆENJA

Ponavljaju se u jednakim vremenskim intervalima (T), koji predstavlja period opterećenja (sl.1).

*Dr Ljubodrag Đorđević, docent Mašinskog fakulteta u Kraljevu
Dr Dragan Domazet, red. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu
Mr Miroslav Trajanović, asistent Mašinskog fakulteta u Nišu
Dr Predrag Popović, red. prof. Mašinski fakultet u Nišu



Posebni slučaj periodičnog opterećenja jeste harmonijsko periodično opterećenje (sl.2). Kada je srednja vrednost ovog opterećenja nula, ono se naziva oscilatorno opterećenje (sl.3). Harmonijsko opterećenje stvaraju mašine i mehanizmi koji rotiraju (elektromotori, zamajci itd.).

1.1.2. UDARNA OPTEREĆENJA

1.1.2.1. POJEDINAČNI IMPULSI

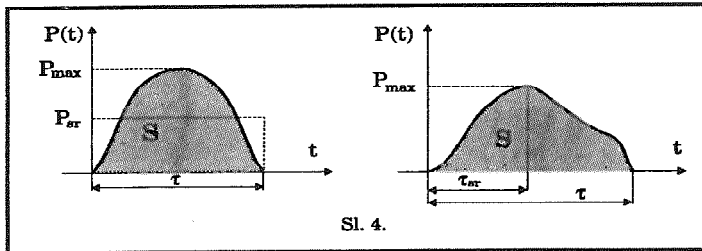
Impulsnim opterećenjem nazivamo kratkotrajno opterećenje velikog intenziteta koje ne menja smer dejstva. Oblik impulsa može biti različit (Tabela 1.).

Tabela 1.

Br.	Oblik impulsa	Vremenski interval	Pobudni impuls	Pomeranje
1.		$0 \leq t \leq \tau$ $\tau \leq t$	$P(t) = P_0 \frac{t}{\tau}$ $P(t) = P_0$	$Z_{(t)} = \frac{2P_0}{k} \left[\frac{t}{\tau} - \frac{\sin \omega t}{\omega \tau} \right]$ $Z_{(t)} = \frac{P_0}{k} [1 - \cos \omega t]$
2.		$0 \leq t \leq \tau$ $\tau \leq t$	$P(t) = P_0 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)$ $P(t) = P_0$	$Z_{(t)} = \frac{P_0}{k} \left[1 - \frac{t}{\tau} - \cos \omega t + \frac{\sin \omega t}{\omega \tau} \right]$ $Z_{(t)} = \frac{P_0}{k} \left[\frac{\sin \omega(t-t_1)}{\omega \tau} + \frac{\sin \omega t}{\omega \tau} - \cos \omega t \right]$
3.		$0 \leq t \leq \tau$ $\tau \leq t$	$P(t) = P_0 \sin \frac{\pi t}{\tau}$ $P(t) = 0$	$Z_{(t)} = C \sin(\lambda t + \varphi) + \frac{P_0 \sin \omega t}{m(\lambda^2 - \omega^2)}$
4.		$0 \leq t \leq \tau$	$P(t) = \frac{P_0}{2} \left(1 - \cos \frac{2\pi \cdot t}{\tau}\right)$	$Z_{(t)} = \frac{S}{m\lambda} \sin \lambda t$
5.		$0 \leq t \leq \frac{\tau}{2}$ $\frac{\tau}{2} \leq t \leq \tau$ $\tau \leq t$	$P(t) = 2P_0 \frac{t}{\tau}$ $P(t) = 2P_0 \left(1 - \frac{t}{\tau}\right)$ $P(t) = 0$	$Z_{(t)} = \frac{2P_0}{k} \left[\frac{t}{\tau} - \frac{\sin \lambda t}{\lambda t} \right]$ $Z_{(t)} = \frac{2P_0}{k} \left[1 - \frac{t}{\tau} - \frac{\sin \lambda t}{\lambda t} + \frac{2}{\lambda t} \sin \lambda \left(t - \frac{\tau}{2}\right) \right]$ $Z_{(t)} = \frac{P_0}{k} \left[\frac{8 \sin^2 \frac{\lambda \tau}{4}}{\lambda \tau} \cdot \sin \left(t - \frac{\tau}{2}\right) \right]$

1.1.2.2. OBLIK POJEDINAČNIH IMPULSA KOVAČKIH ČEKIĆA

Kovački čekići u procesu deformisanja, u trenutku udara bata čekića o otkovak, stvaraju udarne impulse, za čije potpuno definisanje moramo znati njihov oblik, vreme trajanja i metod određivanja njihove veličine (sl.4).



Slika 4. -Karakteristike udarno-impulsnog opterećenja.

Veličina impulsa može se odrediti ako se izračuna površina S :

$$S = \int_0^{\tau} P(t) \cdot dt = P \int_0^{\tau} f(t) \cdot dt = P_{sr} \cdot \tau \quad (01)$$

Za vrlo male vrednosti $\frac{\tau}{T_m}$, može se vrednost impulsa odrediti preko :

$$S = \int_0^{\tau} P(t) \cdot dt = m \cdot \dot{Z}_s \quad (02)$$

U gornjem izrazu brzina \dot{Z}_s je:

$$\dot{Z} = \dot{Z}_s \cdot \sin \lambda t = \frac{S}{m\lambda} \sin \lambda t = \lambda \cdot \sin \lambda t \cdot \int_0^{\tau} \frac{P(t) \cdot dt}{K} \quad (03)$$

K - krutost podloge

λ - sopstvena ugaona brzina

\dot{Z}_s - brzina mase m pod uticajem dejstva impulsa S

U praktičnim razmatranjima za pojedinačne impulse velikog intenziteta, vreme trajanja impulsa τ uzima se :

$$\tau \leq 2.5 \cdot T_m \quad (04)$$

T_m - period sopstvenih oscilacija

U prisutnim istraživanjima razlikuju se dva karakteristična slučaja :

- za nagle impulse uzima se

$$\tau < 0.1 \cdot T_m \quad (05)$$

- za kratkotrajne impulse

$$Z(t) = \frac{V_s}{\lambda_z} e^{-\rho t} \sin \lambda_z t \quad (06)$$

Vrednost za τ može da se odredi na tri načina i to u zavisnosti od veličine impulsa S ili njegove maksimalne vrednosti P_0 , odnosno oblika funkcije: $f(t) = \frac{P(t)}{P_0}$, pri čemu je:

T_{mm} - najmanja vrednost perioda sopstvenih oscilacija

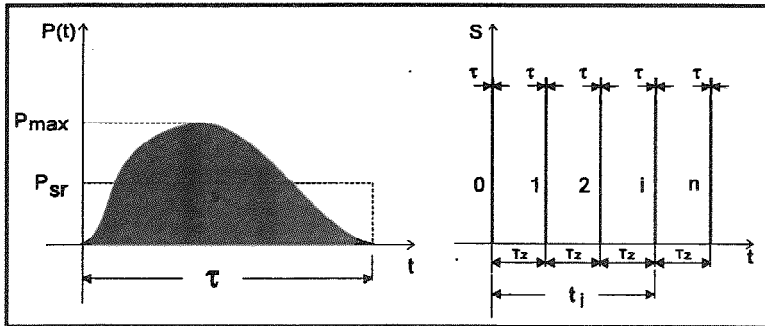
T_{m1} - najveća vrednost perioda sopstvenih oscilacija

Za sistem sa jednim stepenom slobode uzima se da je $T_{mm} = T_{m1}$, a za sisteme sa više stepena slobode kretanja sa dovoljnom tačnošću može se uzeti :

$$T_m = 0.05 T_{m1} \quad (07)$$

1.1.2.3 OBLIK SERIJE IMPULSA KOVAČKIH ČEKIĆA

Karakteristika procesa dinamičkog oblikovanja na kovačkim čekićima jeste delovanje na izradak pojedinačnim impulsima - udarima ili serijom impulsnih udara, koje potpuno može da definiše veličina impulsa S , kao i vremenski interval koji definiše poste koliko vremena se novi impuls pojavljuje, odnosno vreme dejstva impulsa na izradak (sl. 5).



Sl. 5 Oblik serije impulsa kovačkih čekića

Prvi impuls koji se pojavljuje i čije dejstvo analiziramo do drugog impulsa može se prikazati jednačinom:

$$z_{1,2} = \frac{S}{m \cdot \lambda} \cdot \sin \lambda t \quad (08)$$

Jednačina kretanja posle dejstva n -tog impulsa može se tretirati na dva načina:

$t = n \cdot T_z$	$t > n \cdot T_z$
$Z_t = \frac{S}{m \cdot \lambda} \sum_{i=0}^{n-1} \sin(n-i)\lambda \cdot T_z \quad (09)$	$Z_t = \frac{S}{m \cdot \lambda} \sum_{i=0}^n \sin(t-t_i)\lambda \quad (10)$

t_i - vreme između prvog i i -tog impulsa

U praktičnim razmatranjima može se koristiti izraz (10) za $t > n \cdot T_z$, formulisan od strane KRILOVA:

$$Z_t = \frac{S}{m\lambda} \cdot (C \cdot \cos \lambda t + D \cdot \sin \lambda t) \quad (11)$$

gde su:

$$C = \frac{\sin(n+1) \cdot \pi \cdot \frac{T_z}{T_m} \cdot \sin(n \cdot \pi) \cdot \frac{T_z}{T_m}}{\sin \pi \frac{T_z}{T_m}} \quad (12)$$

$$D = \frac{\sin(n+1) \cdot \pi \cdot \frac{T_z}{T_m} \cdot \cos(n \cdot \pi) \cdot \frac{T_z}{T_m}}{\sin \pi \frac{T_z}{T_m}} \quad (13)$$

T_z - period sopstvenih oscilacija

T_m - period oscilacije sistema pod uticajem udarnog impulsa

Izraz za C i D koristi se ako je $T_z/T_m < 1$

U slučaju kada $T_z \rightarrow T_m$, odnosno $T_z/T_m = 1$, jednačina koja definiše kretanje postaje :

$$Z_t = \frac{S}{m\lambda} (n+1) \cos \lambda t \quad (14)$$

koja pokazuje neograničeni rast amplitude u zavisnosti od broja impulsa n .

Najveća vrednost amplitude oscilatornog sistema je:

$$Z_t = \frac{S_0}{m_s \lambda_{m_s}} \quad (15)$$

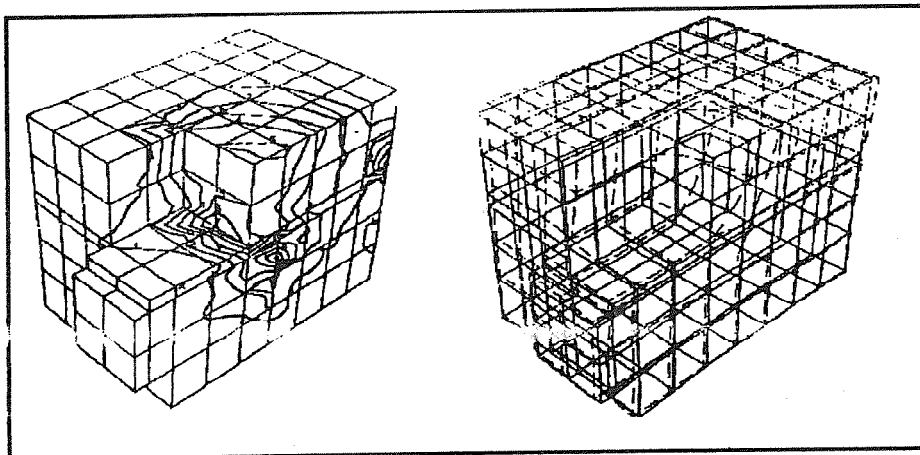
Amplituda oscilatornog sistema sa uključnim prigušenjem, što se u realnim uslovima događa, izračunava se po obrascu :

$$Z(t) = \frac{V_s}{\lambda_z} e^{-\mu t} \sin \lambda_z t \quad (16)$$

2. ANALIZA POMERANJA I OPTEREĆENJA BLOKA TEMELJA

Bloкови temelja kod mašina udarnog dejstva su najopterećeniji delovi u oscilatornom sistemu, s obzirom na vrstu i oblik opterećenja. Predmet ove analize jeste sagledavanje kritičnih opterećenja i pomeranja bloka temelja, uz pomoć METODA KONAČNIH ELEMENATA (MKE) (The Finite Element Method). Mr Miroslav Trajanović je u računskom centru Mašinskog fakulteta u Nišu, izvršio neophodnu pripremu kako bi se ovakva analiza mogla da sprovede.

Blok temelja može da se podeli na četiri dela koji su međusobno isti kako sa stanovišta geometrije tako i sa stanovišta opterećenja. MKE definiše se mreža četvrtine temelja koja sadrži 1457 čvorova, a pored toga i ulazni podaci koji se odnose na veličinu i vrstu opterećenja, podaci koji uzimaju u obzir karakteristike armirano-betonske strukture od koje je blok napravljen (modul elastičnosti, gustina, itd.) a iza toga uz pomoć računarskog programa I-DEAS-BERSAFE, dobijaju rezultati MKE analize koji su prezentirani na (sl.6).



Sl. 6. -Rezultati MKE analize (ekvinaponske linije i pomeranja)

Analiza pokazuje u kojim zonama bloka temelja imamo maksimalna pomeranja, a u kojim zonama kritična opterećenja, o čemu treba voditi računa prilikom projektovanja bloka temelja i postavljanja armature u zonama sa kritičnim opterećenjem.

Posle određenog vremena moguće je da dođe do pucanja bloka u oblasti gde se javljaju kritična opterećenja, kao što je bio slučaj sa kovačkim čekićem MPM -5000, u IMK "14 OKTOBAR" u Kruševcu, zbog čega je čekić bio van proizvodnje preko 60 dana.

3. ZAKLJUČAK

Sprovedena analiza pokazuje koliko je problem koji je razmatran složen i interdisciplinaran . Pored poznavanja problematike koju tretira dinamika konstrukcija javljaju se problemi posebno vezani za udarna -- impulsna opterećenja i njihovo definisanje posebno u pogledu veličine ivremena dejstva . Postavljanje i definisanje matematičkog modela, i u odnosu na njega, uz određene aproksimacije, proračunskog modela predstavljaju posebni problem jer se sanjegovim uspešnim rešavanjem stvaraju nužne pretpostavke da računarski programi koji prate ovu problematiku mogu da daju odgovarajuće rezultate.

Rezultati koji su dobijeni iniciraju i razmišljanja o novim konceptijskim rešenjima blokova temelja kod kojih bi armirano betonska konstrukcija bloka mogla da se zameni nekim pogodnijom materijalom uz odgovarajuće promene primenjenih prigušnih i opružnih elemenata.

LITERATURA :

- [1] ĐORĐEVIĆ LJ.: Razvoj metoda za proračun i projektovanje temelja mašina udarnog dejstva, Doktorska disertacija , Niš- 1990- str 289.
- [2] ĐORĐEVIĆ LJ. POPOVIĆ P. SATTELMEIR K. KRSTIĆ M.: Prilog razmatranju problema temelja mašina za obradu deformisanjem, CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala , Kopaonik 92 , Zbornik radova str. 87 - 94.
- [3] ĐORĐEVIĆ LJ. POPOVIĆ P. SATTELMEIR K. KRSTIĆ M.: Prilog razmatranju problema direktne amortizacije čekića, 24. savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, septembar 1992., Novi Sad ,Zbornik radova - knjiga I str. 2. 103 – 2. 110.
- [4] LIPINSKI J.: Fundamenty pod maszyny , Arkady - Warszawa 1985 . str- 688.
- [5] LEVY J. P. D. WILKINSON: The component Element Method in Dynamics, With application earthquake and vehicle engineering, Mc Graw-HillInternational Book Company, New York, 1976. str. 363.
- [6] DOMAZET D.: TRAJANOVIĆ M. MANIĆ M.: Uvod u računarski integrisane proizvodne sisteme knjiga 1. Naučna knjiga , Beograd 1989. str.375.

Lj. Đorđević
D. Domazet
M. Trajanović
P. Popović

APPLICATION OF THE FINITE ELEMENTS METHODS FOR SOLVING THE FORGING MACHINES FOUNDATION PROBLEMS

Summary

During the product shaping process, forge hammers produce strong impact pulses which, either by single or serial action, provoke vibrations and loading of all the elements of the vibration system. This paper presents the hammer loading testing results, using a classical installation of machines causing impact effects, with a purpose of identifying critical stresses, deformations and displacements.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

N. Faur*

**CONSIDERATIONS REGARDING THE STRESS
STATE IN THE SHEARING PINS OF THE
SAFETY CLUTCHES**

Abstract

In this paper there are presented some of the results obtained by the authors regarding the analysis of the stress state in the shearing pins of the safety clutches. The theoretical study of the stress state has been done by means of a method of analysis with finite elements, which has permitted to make evident the stresses at the base of the slot in case of the pins with stress concentrator.

The theoretical results obtained by the finite elements analysis have experimentally checked in laboratory.

1. INTRODUCTION

The design of some gearings which takes into account the overloads during operation, in all working conditions leads inevitably to their oversizing or when they are not taken into consideration to their taking out of operation. In these conditions the use of some safety clutches in the mechanical gearings determines the machine operation in absolute certainty free of failuers. The shearing pins, according to fig.1, provided with stress concentrator increase the safety degree of the clutch and of the machine. The knowlege of the stress state in the shearing area of the pin on analytical way is very difficult because of the stress concentration presence.

Because of these reasons, in the design stage the stress state of the pin was determined by means of an analysis method with finite elements. The solution adopted on the basis of this calculus has been subsequently clucked after the prototype performance, by means of experimental tests.

In this paper there are presented some of the results obtained by authors, in the theoretical study as well as the experimental one regarding the stress state in the shearing pins of the safety clutches.

* Faur Nicolae, Eng. Lecturer, Technical University of Timisoara

2. THE ANALYSIS WITH FINITE ELEMENTS.

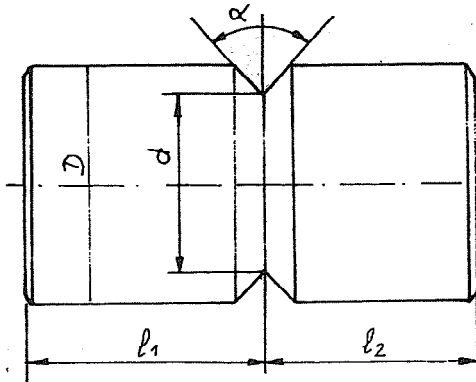


Fig.1. The diagram for the shearing pin

The calculus model for the finite elements analysis has been elaborated simulating the pure shearing phenomenon of the pin with this device according to fig.2. Having in view the loading character, the study has been done by means of numerical analysis of a pin half. The distributed loads p_1 and p_2 representing the normal pressure between the shearing device surfaces, and the pin are calculus values obtained on the basis of the cylindrical surfaces

contact theory, admitting, for the contact pressure, the distribution according to a cosinusoidal law, fig.2. Finally there is obtained the relation:

$$p_1 = 2/3 \cdot (F/l_1, D) \text{ [N/mm}^2 \text{]} \quad (1)$$

From the balance condition there is obtained:

$$p_2 = p_1 (l_1/l_2) \text{ [N/mm}^2 \text{]} \quad (2)$$

where F represents the shearing force, l_1 and l_2 are the pin lengths according to fig.1 and D represents the outside diameter of the pin. There has been studied the behaviour of the pins made from different types of steel.

In the analysis with finite elements, there have been used isoparametrical three dimensional elements, with eight knots per element and three liberty degrees, per knots (the liberty degrees are represented by the components of displacements u , v and w according to the three orthogonal directions represented by the systeme of cartezian axes XYZ). For the pin with the dimensions: $D = 12$ mm, $d = 8,5$ mm, $l_1 = 12$ mm, $l_2 = 8,5$ mm, $\alpha = 60^\circ$, the stress state obtained by means of numerical calculus, using COSMOS/M program is synthetically in figures 3, 4. The curves numbered from one to seven in these figures, represent the curves of equal stress, corresponding to the values indicated in the legend.

There is distinguished for all the components of the stress state represented in figures 3,4,1, the existance of the phenomenon of stresses concentration at the notch base, executed in the plane in which is produced the shearing.

The theoretical coefficient of tangential stress concentration $\alpha_{\tau_{xy}}$ for the studied case was:

$$\alpha_{\tau_{xy}} = \tau_{\tau_{xy\max}} / \tau_{\tau_{xy\text{nom}}} = 1.46$$

(3)

where: $\tau_{\tau_{xy\max}}$ represents the tangential stress $\tau_{\tau_{xy\max}}$ from the shearing section calculated by the finite elements method;

$\tau_{\tau_{xy\text{nom}}} = 2F/3\pi d$ represents the nominal max. tangential stress. There has been taken into consideration the simulated shearing of two sections, produced by F force.

As in the analysis with finite elements the input data have been introduced under parametrical form, with the same calculus model there have been also analyzed other dimensional variants of pins, having in view, the effect of stresses con-

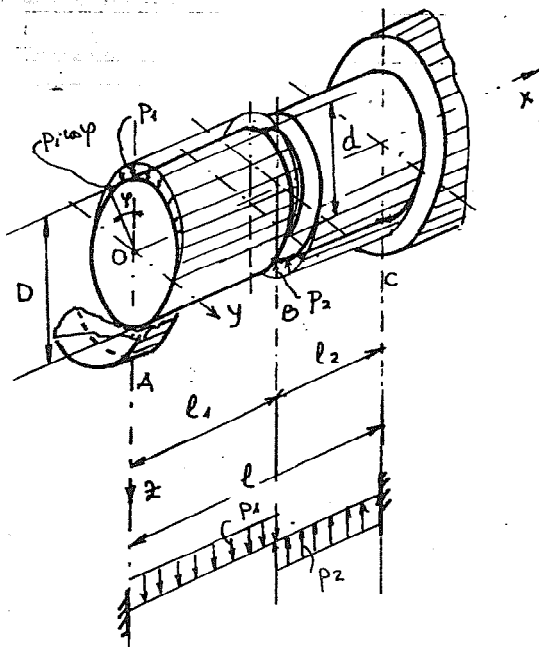


Fig.2. Sketch of the used calculus model

centration produced by the presence of the notch in V form, on the whole circumference of the section in which the shearing is produced. The input parameters have been according to fig.1 the diameters "D", "d", angle "α" of the notch from shearing plane as well as the pin steel quality.

3. EXPERIMENTAL TESTINGS

The experimental tests have been performed on a tensile test machin, using a pure shearing device. For different dimensional types of shearing pins subject to tests, there has been determined the force F where has been produced the shearing phenomenon, in the two sections of simultaneous shearing. As the pins have been performed by alloyed steel which presents an elastic behaviour up to tearing, there could be determined the theoretical coefficient of stresses concentration, given by the relation (3) where the tangential maximum stress $\tau_{\tau_{xy\max}}$ has been determined by shearing test of the pins with concentration (fig.1) and the nominal tangential stress $\tau_{\tau_{xy\text{nom}}}$ has been determined in similar conditions, but by pins shearing without stress concentrator. In fig.5 there has been represented the variation of the maximum tangential stress depending on the ratio d/D for an alloyed steel for which have been performed the experimental tests.

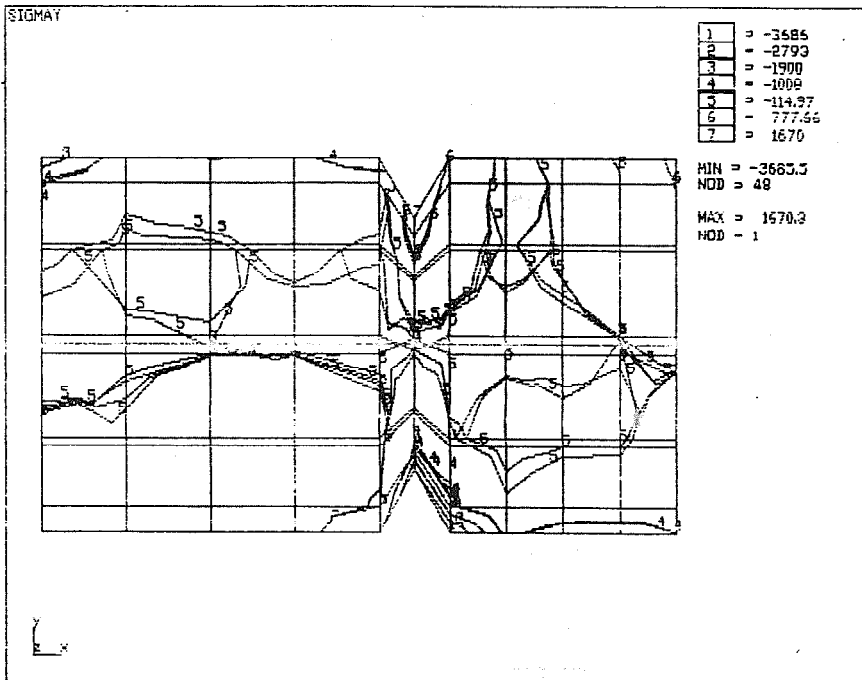
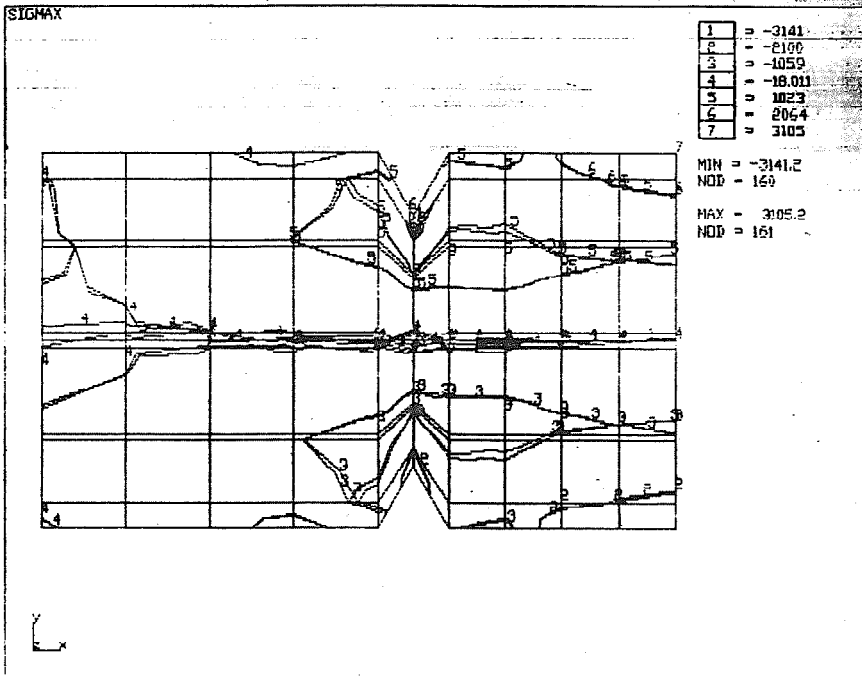


Fig.3. The distribution of the equal stress curves for σ_x , σ_y

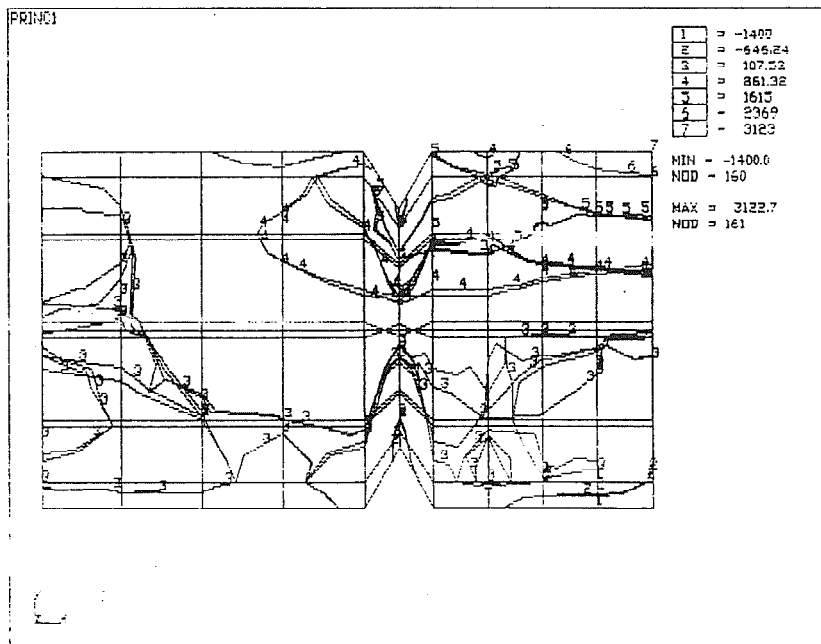
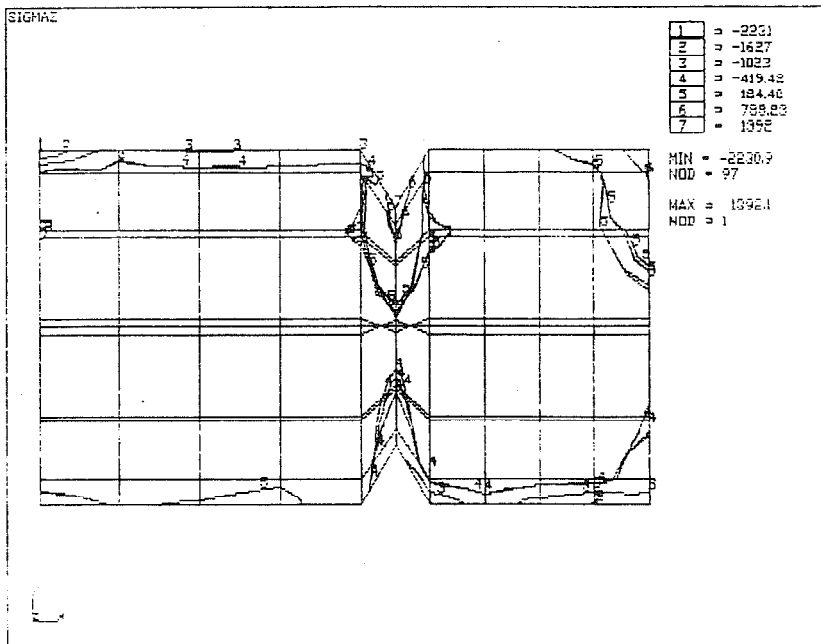


Fig.4. The distribution of the equal stress curves for σ_z , σ_1

4. CONCLUSIONS

As a consequence of the study performed for the determination of the stress state in the shearing pins from the safety clutches there are detached the following conclusions:

- the used analysis model with finite elements, allows the correct chose in the design stage of the type dimension of used pin;

- the theoretical results detached from the analysis with finite elements have been confirmed by the experimental tests performed in laboratory

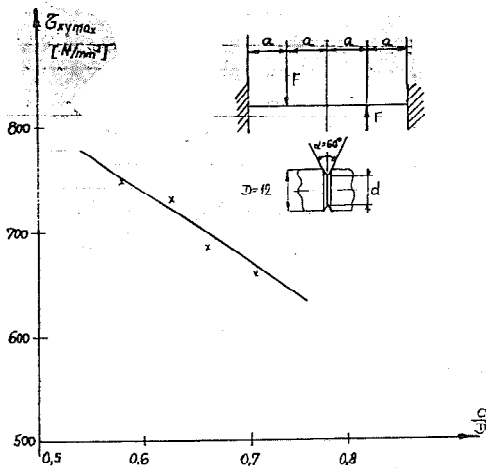


Fig.5. The variation of max. tangential stress depending on the ratio d/D for alloyed steel.

with in certain tests of pure shearing.

- the dispersion amplitude, $\Delta\tau_{xy\max} = \tau_{xy\max} - \tau_{xy\min}$, has been in much less limits in case of pins without concentrator. For this reason, there is recommended the use of shearing pins with stress concentrator for the safety clutches;

- the experimental tests have made evident that the dispersion amplitude $\Delta\tau_{xy\max}$ is much less in case in which the pins are made of steel with low content of carbon related to the case of alloyed steel subject to some thermal improving treatments.

5. REFERENCES

- [1] Buzdugan, Gh., Blumenfeld, M., Calculul de rezistență al pieselor de mașini, Editura tehnică, București, 1966.
- [2] Constantinescu, I.N. ș.a., Calcule de rezistență a structurilor de mașini și utilaje, Editura tehnică, București, 1984.
- [3] x x x User guide, COSMOS/M, Structural Research and Analysis Corporation (SRAC) Santa Monica, Version 1.6, March 1990.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

J. Jovičić *

ANALIZA UTICAJA VITOPERENOSTI NA NAPONSKO-DEFORMACIONO STANJE SPIRALNE BURGIGE

Rezime

U radu su dati neki rezultati analize uticaja vitoperenosti na naponsko-deformaciono stanje spiralne burgije. Metodom konačnih elemenata modelirane su spiralne burgije raznih uglova relativnog vitoperenja, a dobijeni rezultati ukazuju na činjenicu da se pri proračunu ovakvih elemenata mora uzeti u obzir međusobna povezanost savijanja, uvijanja i deformacija u aksijalnom pravcu.

1. Uvod

Brojna teorijska razmatranja [1], [2] i eksperimentalni rezultati [3], ukazuju na činjenicu da (relativni ili apsolutni) ugao vitoperenja utiče na naponsko-deformaciono stanje vitoperenih greda. Spiralna burgija spada u grupu vitoperenih greda konstantnog ugla vitoperenja, nesimetričnog poprečnog preseka.

Osim teorijskih rezultata i eksperimentalnih provera, u novije vreme, razvojem računarske opreme, numeričke metode dobijaju sve veći značaj i mesto u oblasti modeliranja, projektovanja i ispitivanja u raznim granama tehnike.

U radu su prikazani neki rezultati numeričke analize određivanja uticaja vitoperenosti na naponsko-deformaciono stanje spiralne burgije.

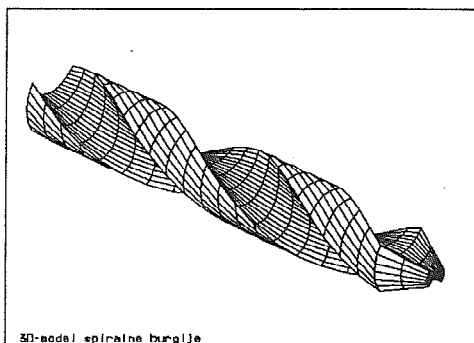
2. Analiza metodom konačnih elemenata

Numerička analiza uticaja vitoperenosti na naponsko-deformaciono stanje spiralne burgije izvršena je metodom konačnih elemenata.

Modelirane su spiralne burgije (sl.1) sa uglovima relativnog vitoperenja od 18°, 25° i 30°. Svi modeli su na jednom svom kraju uklješteni, a na

* Mr Jovan Jovičić, asistent Mašinskog fakulteta, 27. marta 80 Beograd

slobodnom kraju opterećeni (u oblasti elastičnih deformacija), u jednom slučaju jednakim momentom uvijanja, a u drugom slučaju jednakim momentom uvijanja i aksijalnom silom pritiska.



sl.1

3. Rezultati numeričke analize

Naponsko stanje (maksimalni glavni napon), spiralne burgije pri čistom uvijanju, u zavisnosti od relativnog ugla vitoperenja, prikazano je na sl.2, za koreni presek i na sl.4 za središnji presek, dok su na sl.3 i sl.5 date raspodele napona u korenom, odnosno središnjem preseku spiralne burgije jednovremeno izložene uvijanju i aksijalnoj sili pritiska, u zavisnosti od relativnog ugla vitoperenja. (Vrednosti napona izražene su u N/mm^2). Raspodela napona na slobodnom kraju u mnogome zavisi od načina na koji je opterećenje zadato, pa stoga ta oblast nije razmatrana.

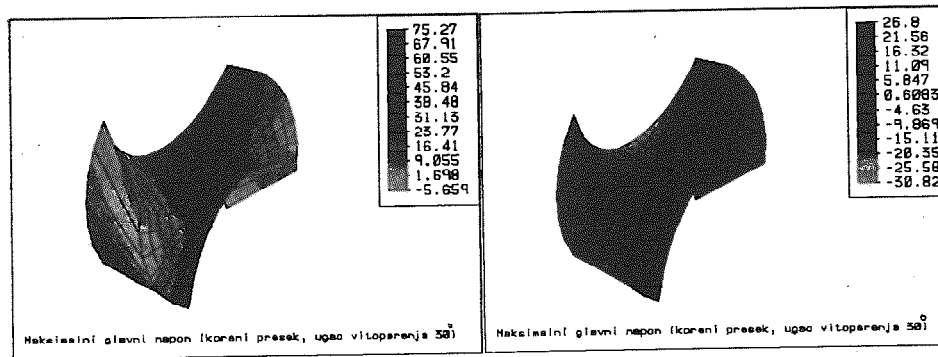
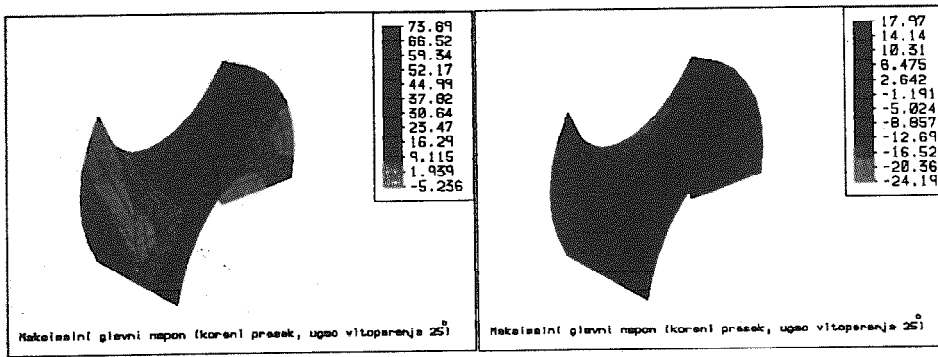
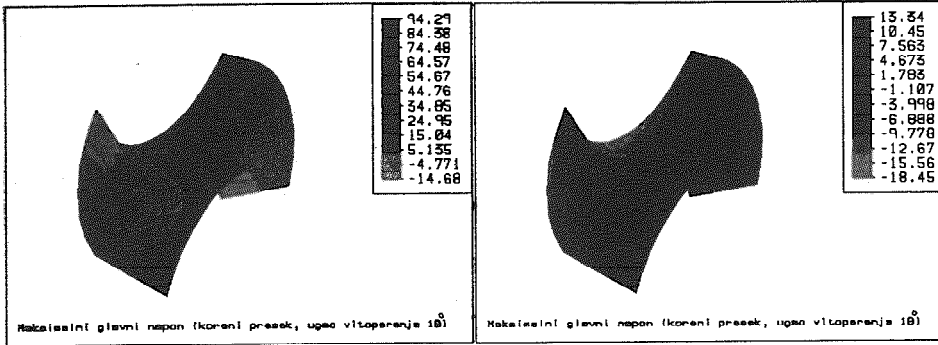
Očigledna nesimetrija napona u korenom preseku potiče od pojave dodatnih napona usled ometenog uvijanja, a može se uočiti i promena oblasti maksimalnog opterećenja preseka sa promenom ugla vitoperenja.

Kod središnjeg preseka naponska slika odražava dosta ravnomerno stanje naprezanja, a maksimalni naponi se javljaju na obodima manjih strana (sličnu zakonitost, da se maksimalni naponi kod izduženih profila nalaze na oko $1/4$ od ose preseka, dobio je još Sen-Venan).

Na prethodno opisanim slikama jasno se vidi deplanacija poprečnog preseka spiralne burgije pri uvijanju, a na sl.6 i sl.7 prikazane su njene deformacije (25 puta uvećane) u zavisnosti od relativnog ugla vitoperenja pri čistom uvijanju, odnosno uvijanju kombinovanom sa aksijalnim naprezanjem. Osenčene oblasti predstavljaju položaj modela pre deformacije.

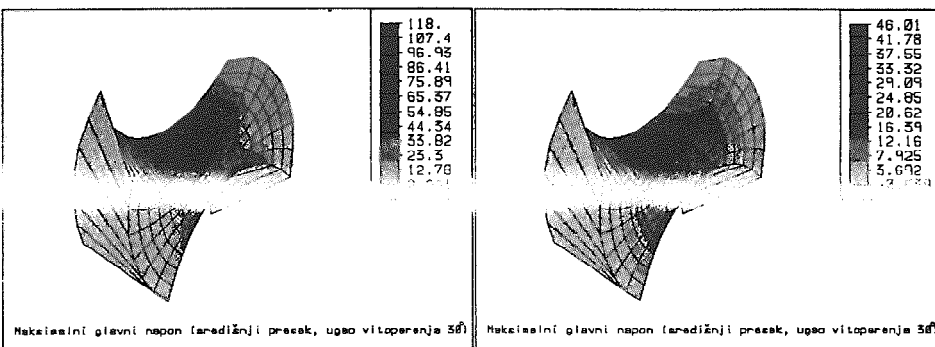
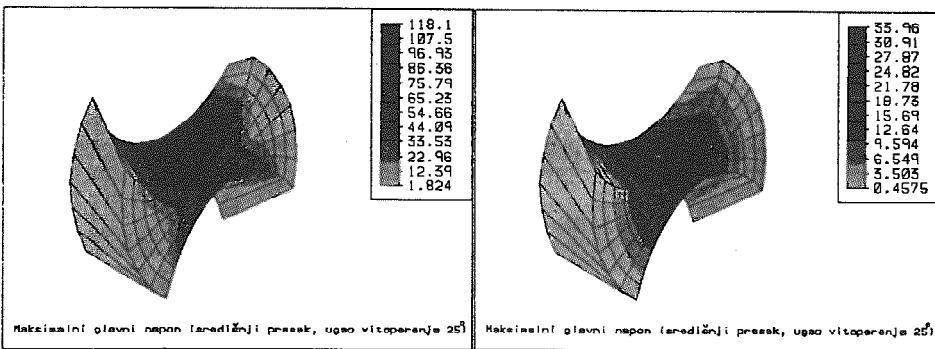
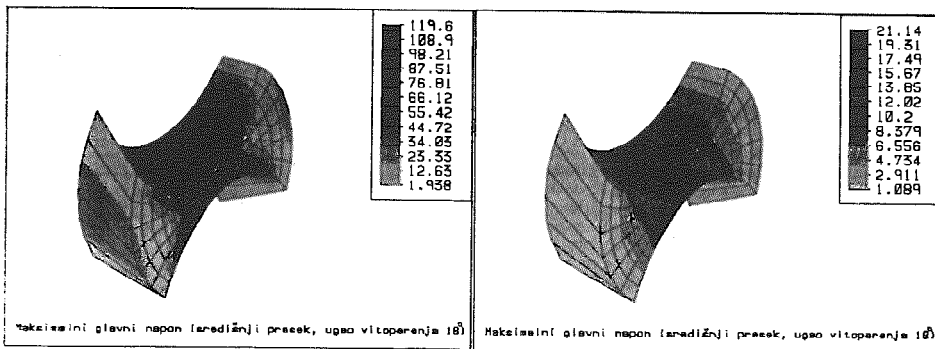
Na osnovu sl.6 i sl.7 a i na osnovu dobijenih rezultata za pomeranja tačaka poprečnog preseka može se zaključiti da se usled nesimetrije poprečnog preseka javlja veza među deformacijama, tako da se kao posledica uvijanja (moment uvijanja je u ovom slučaju bio negativnog matematičkog smera), burgija izdužuje, tj. dolazi do njenog "razvijanja", dok se poprečni presek smanjuje [1], [2]. Ta pojava se povećava sa porastom relativne vitoperenosti.

Pri istovremenom dejstvu momenta uvijanja i aksijalne sile pritiska, deformacije su, kao i naponi (sl.3 i sl.5) mnogo manje.



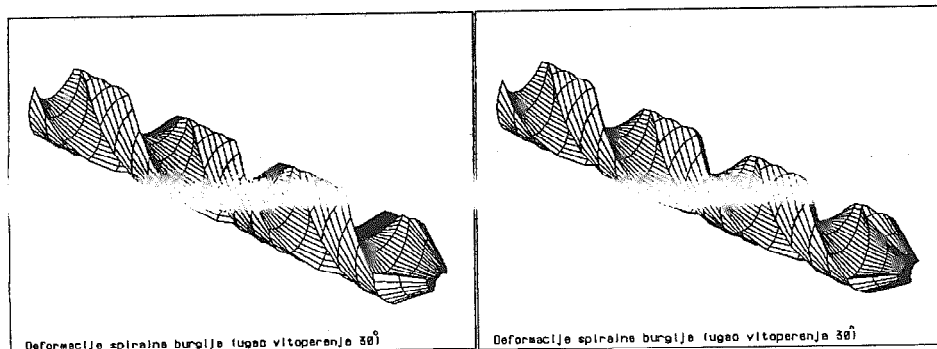
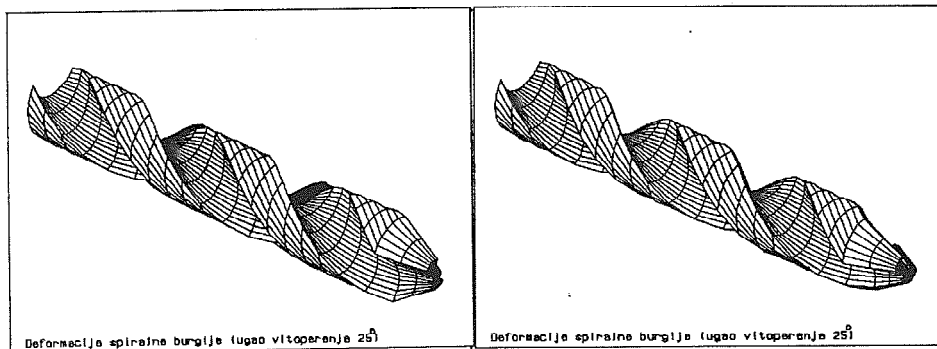
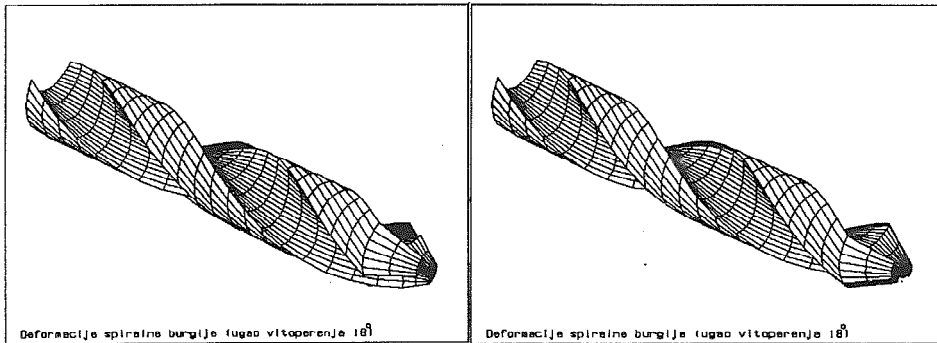
sl.2

sl.3



sl. 4

sl. 5



sl.6

sl.7

4. Zaključak

Na osnovu analize rezultata numeričkih primera, očigledno je da ugao vitoperenja utiče na naponsko-deformaciono stanje vitoperenih greda u koje spada i spiralna burgija. Pri tome aksijalna sila i moment uvijanja izazivaju pojavu dopunskih komponenti naprezanja: aksijalna sila dopunski tangencijalni napon, a moment uvijanja dopunski normalni napon istezanja ili pritiska (kako je u radu prikazano). Usled ovih dopunskih napona u poprečnom preseku spiralne burgije javlja se normalni napon radijalnog pravca koji uslovljava promenu njenog prečnika.

Može se zaključiti da se pri proračunu naponsko-deformacionog stanja spiralne burgije mora uzeti u obzir uticaj vitoperenosti što kao posledicu ima međusobnu povezanost savijanja, uvijanja i deformacija u aksijalnom pravcu.

5. Literatura

- [1] Jovičić, J., Analiza uticaja vitoperenosti grede na naponsko-deformaciono stanje i njene vibracione karakteristike, Magistarski rad, 1993.
- [2] Jovičić, J., Analiza uticaja vitoperenosti na naponsko-deformaciono stanje grede pri uvijanju, Naučno-stručni skup Vazduhoplovstvo '93, Zbornik radova, Beograd 1993.
- [3] Filipov, G.V., Režušci instrumenti, Lenjingrad, 1981.

J. Jovičić

STRESS-STRAIN ANALYSIS OF THE SPIRAL DRILL

Summary

The paper considers some results of the stress-strain analysis concerning the spiral drill. Spiral drills having various initial twisting angles are modelled using the finite element method. The obtained results show that in addition to bending, twisting and axial deformations must be considered.

N. Komarica *

**TEMPERATURNNO POLJE KAO FUNKCIJA NELINEARNE
RASPODELE TEMPERATURE U KONAČNIM ELEMENTIMA
OBLIKA KUBNE PARABOLE KOD ELEMENATA MAŠINA**

Rezime

Rad obuhvata proračun temperaturnog polja metodom konačnih elemenata, primenom nelinearne raspodele temperature u trouglastom konačnom elementu oblika kubne parabole. Element sadrži devet čvorova sa toliko temperatura u njima. Izvedene su odgovarajuće matrice za usvojeni element. Teoretski rezultati su primenjeni za određivanje temperaturnog polja tanke ploče, kakve se nalaze kao elementi mašina alatki za koju su poznata analitička rešenja i numerička zasnovana na linearnoj teoriji. Rezultati su upoređeni, odakle je vidljivo u kojoj meri nelinearna teorija utiče na tačnost rezultata.

1. UVOD

Razvoj računarske tehnike je omogućio i razvoj numeričkih metoda koje su našle široku primenu u rešavanju temperaturnih polja kod vitalnih elemenata mašina i njihovih sklopova, od jednostavnih do najsloženijih geometrijskih oblika. Tu je metoda konačnih elemenata (MKE) uspešno primenjiva. Tamo gde složenost matematičkog aparata otežava ili onemogućava primenu analitičkih metoda, MKE se može sa sigurnošću primeniti na rešavanje problema sa raspodelom temperature po konačnim elementima različitih tipova. Primena nelinearne teorije ima opravdanje u odnosu na linearnu u tačnijim rezultatima pri daleko grubljoj mreži, a naročito kod temperaturnih polja koja nastaju usled izvora toplote većeg intenziteta. Tu je najpogodnije primeniti oblik nelinearnosti drugog i trećeg stepena. Pri tome je moguće uzeti (jedna od varijanti) trouglasti element sa tri, šest ili devet čvorova. U ovom radu je definisana nelinearnost u obliku kubne parabole (polinom od devet članova) sa devet čvorova u elementu.

* Novko Komarica, van. prof., FTN Novi Sad, Trg D. Obradovića 6.

2. REŠAVANJE NESTACIONARNOG PROBLEMA PROVOĐENJA TOPLOTE

Nestacionarna diferencijalna jednačina provođenja toplote u dva koordinatna pravca x, y glasi:

$$k \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q = \rho c \frac{\partial T}{\partial t}, \quad (1)$$

gde su: T - temperatura,
 Q - izvor toplote,
 k - koeficijent provodljivosti,
 c - specifična toplota,
 ρ - gustina i
 t - vreme.

Uzet je opšti granični uslov da je na konturi površine zadata konvekcija:

$$k \frac{\partial T}{\partial n} = -h(T - T_o). \quad (2)$$

gde je: n - normala na površinu,
 h - koeficijent prelaza toplote na okolinu i
 T_o - temperatura okoline.

Za jednačinu (1) se ne može definisati tačan funkcional zbog nestacionarnog člana $\sum \partial T / \partial t$. Formiran je funkcional približne tačnosti, tako što se član $\partial T / \partial t$ pri traženju izvoda po T (minimiziranja) smatra "zamrznutim":

$$I_p \approx \int_A \left\{ \frac{k}{2} \left[\left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right)^2 \right] + QT + \rho c \frac{\partial T}{\partial t} \right\} dA \quad (3)$$

i za granični uslov (2),

$$I_G = \int_{S_2} \frac{h}{2} (T - T_o)^2 ds \quad (4)$$

Minimum funkcionala $I = I_p + I_G$ čini izvornu jednačinu za primenu MKE,

$$\frac{\partial I}{\partial T} = \sum_{e=1}^E \frac{\partial I}{\partial \{T\}^e} = \sum_{e=1}^E \left\{ \begin{array}{c} \frac{\partial I}{\partial T_1} \\ \cdot \\ \cdot \\ \frac{\partial I}{\partial T_N} \end{array} \right\} = 0 \quad (5)$$

gde je: E = broj elemenata kontinuuma,
 N - broj čvorova elementa,
 $\{T\}^e$ - vektor čvornih temperatura elementa.

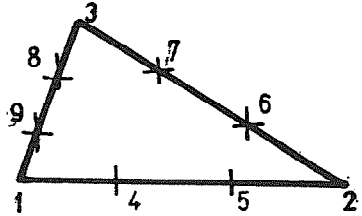
Da bi se dobilo rešenje izraza (5) potrebno je predhodno definisati i izračunati matricu interpolacije. Za njeno rešenje se mora pretpostaviti funkcijska raspodela temperature po konačnom elementu. Često u praksi nije dovoljno uzeti da je ta raspodela linearna, posebno tamo gde se javljaju veliki temperaturni gradijenti. U ovom radu je uzet element u obliku trougla, po čijoj površini se temperatura prostire u obliku kubne funkcije:

$$T = c_1 + c_2x + c_3y + c_4x^2 + c_5xy + c_6y^2 + c_7x^3 + c_8(x^2y + xy^2) + c_9y^3 = \{a\} \{c\}^T \quad (6)$$

gde je: $\{a\}$ - matrica polja,
 $\{c\}$ - matrica konstanti.

$$\{a\} = \{1, x, y, x^2, xy, y^2, x^3, x^2y + xy^2, y^3\} \quad (7)$$

Matrica konstanti sledi iz uslova da matrica polja sadrži u čvornim tačkama čvorne vrednosti koordinata x_N, y_N ($N=1,2,\dots,9$) i temperatura takođe čvorne vrednosti $\{T_1, T_2, \dots, T_9\} = \{T\}^e$. Tačke 1, 2, 3 su temena trougla, dok 4, 5, 6, 7, 8, 9 se nalaze na trećini dužine odgovarajuće stranice sl.1.



Slika 1. Usvojeni konačni element

Dalje sledi: $\{c\} = [a_k]^{-1} \{T\}^e$, gde je $[a_k]$ granična vrednost matrice polja.

$$T = \{a\} \{c\}^T = \{a\} [a_k]^{-1} \{T\}^e = [b]^e \{T\}^e,$$

$$[b] = \{a\} [a_k]^{-1}. \quad (8)$$

Matrica $[b]$ predstavlja matricu interpolacije elementa. Pri konvertovanju matrice $[a_k]$ ne dobiju se elementi matrice u obliku razlika koordinata, a u nekim slučajevima je i singularna. Da bi se to izbeglo rešenje je nađeno tako što je matrica polja definisana preko površinskih koordinata l_1, l_2, l_3 , koja je analogna sa (7):

$$\{a\} = \{1, l_1, l_2, l_1 l_2, l_2 l_3, l_3 l_1, l_1 l_2^2 - l_2 l_1^2, l_2 l_3^2 - l_3 l_2^2, l_3 l_1^2 - l_1 l_3^2\} \quad (9)$$

Matrica $[a_k]$ sledi iz uslova kada se u (9) stave vrednosti koordinata čvorova i to:
 č.1: $l_1=1, l_2=l_3=0$; č.2: $l_2=1, l_1=l_3=0$; č.3: $l_3=1, l_1=l_2=0$; č.4: $l_1=1/3, l_2=2/3, l_3=0$; č.5:
 $l_1=2/3, l_2=1/3, l_3=0$; č.6: $l_2=1/3, l_3=2/3, l_1=0$; č.7: $l_2=2/3, l_3=1/3, l_1=0$; č.8: $l_3=1/3,$
 $l_1=2/3, l_2=0$; č.9: $l_1=1/3, l_3=2/3, l_2=0$;

Dalje sledi računanje izvoda funkcionala I po čvornim temperaturama za usvojeni element. Iz jednačina (5), (8) odnosno (9) se dobije:

$$\frac{\partial I}{\partial \{T\}^e} = \int_A k \left(\frac{\partial [b]}{\partial x} \frac{\partial [b]}{\partial x} + \frac{\partial [b]}{\partial y} \frac{\partial [b]}{\partial y} \right) dA \{T\}^e + \int_A Q [b]^T dA +$$

$$+ \int_A \rho c [b]^T [b] dA \frac{\partial \{T\}^e}{\partial t} + \int_{S_2} h [b]^T [b] dS \{T\}^e - \int_{S_2} h T_o [b]^T dS = 0$$

ili kraće napisano:

$$\left([K^P]^e + [K^K]^e \right) \{T\}^e + [R]^e \frac{\partial \{T\}^e}{\partial t} + \{F^P\}^e - \{F^K\}^e = 0 \quad (10)$$

Nakon diferenciranja, množenja i numeričke integracije, koristeći integral oblika:

$$\int_A r_1^n r_2^m r_3^p dA = 2A \frac{m! n! p!}{(m+n+p+2)!}$$

dobiju se konačni oblici matrica (10), koje su 9×9 reda.

3. NUMERIČKI PRIMER

Izračunato je stacionarno temperaturno polje tanke čelične ploče kvadratnog oblika, debljine δ , sl.2.

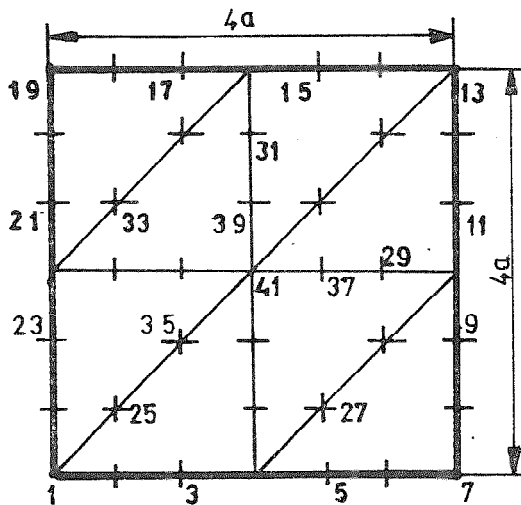
Poznato je: Temperature u tačkama 1 do 24,
 $\{T_1, T_2, \dots, T_{24}\} = \{0, 0, 0, 0, 0, 0, 33, 66, 100, 66, 33, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 17, 33, 50,$
 $33, 17\}$, $k=0,37$ (W/cm°C), $\delta=0,3$ cm, $a=5$ cm, $Q=0$. Ploča je podeljena na 8 elemenata -
 trouglova dimenzija $2a \times 2a$, sa 41 čvorom.

Izračunat je temperaturni vektor za čvorne tačke 25 do 41.

$\{T_{25}, T_{26}, \dots, T_{41}\} = \{14,3; 15,0; 25,9; 30,0; 44,9; 26,6; 15,8; 14,0; 19,2; 26,8; 18,2;$
 $18,8; 37,4; 30,1; 19,6; 25,3; 24,8\}$.

Poznati ANALITIČKI rezultati (tačni) /5/ su:

$\{T_{25}, T_{26}, \dots, T_{41}\} = \{14,6; 15,4; 26,5; 30,4; 44,7; 26,5; 15,4; 14,6; 18,9; 26,7; 18,9; 19,1;$
 $37,3; 30,4; 19,1; 25,1; 24,3\}$.



Slika 2. Diskretizacija ploče na konačne elemente

Rezultati dobijeni MKE pri linearnoj raspodeli po elementima /3/ za isti primer glase:

$\{T_{25}, T_{26}, \dots, T_{41}\} = \{13,5; 16,0; 24,1; 29,0; 43,2; 24,2; 14,0; 12,8; 18,0; 25,4; 17,7; 17,7; 36,1; 28,9; 17,8; 24,0; 22,8\}$.

3.1. ZAKLJUČAK

Dati primer pokazuje da su rezultati dobijeni MKE po nelinearnoj teoriji bliži analitičkim (tačnim) vrednostima od MKE koja je zasnovana na linearnoj raspodeli temperature po elementima. Ovu metodu treba primenjivati tamo gde se zahtevaju precizniji rezultati.

4. LITETARURA

- /1/ Fenner, R. T., Finite Element Methods for Engineers, London, 1975.
- /2/ Prelog, E., Metod končnih elementov, Ljubljana, 1975.
- /3/ Komarica, N., Određivanje temperaturnog polja pri linearnoj raspodeli temperature po konačnim elementima, II jugoslovenski simpozijum o metodi konačnih elemenata i računarskom projektovanju, Maribor, 1979, 187-196.
- /4/ Komarica, N., Analiza toplinskih naprežanja pri nestacionarnom toplinskom toku, doktorska disertacija, Zagreb, 1979.
- /5/ Bohte, Z., Numerička analiza, Ljubljana, 1974.

**THE TEMPERATURE FIELD AS A FUNCTION OF NON LINEAR
TEMPERATURE DISTRIBUTION WITHIN THE MACHINE PARTS
FINITE ELEMENTS HAVING A CUBIC PARABOLA FORM**

Summary

In this paper we are concerned with the temperature field calculation by using the non linear temperature distribution of the cubic parabola form in a triangular finite element. The element contains nine nodes with corresponding temperatures. The corresponding matrices were generated for adopted finite elements. Theoretical results were applied for determining a thin plate temperature field. Thin plates are elements of machine tools structures whose analytical solutions based on linear theory are already known. By comparing the results it is easy to conclude that the accuracy of the results is influenced by the non linear theory.

Б. МИЛИСАВЉЕВИЋ, М. ЗЕЉКОВИЋ*

**ПРИМЕНА ХОПФОВЕ БИФУРКАЦИЈЕ НА ПРОБЛЕМ САМОПОБУДНИХ
ВИБРАЦИЈА ПРИ РЕЗАЊУ**

Резиме

У овом раду се посматрају самопобудне вибрације при ортогоналном резању на моделу са једним степеном слободe. Добијен је гранични циклус. Испитани су услови настанка Хопфове бифуркације.

1. УВОД

Појава самопобудних вибрација при резању давно је уочена и помоћу различитих математичких модела разматрана [9], [7]. Због великих тешкоћа које се јављају при математичком моделовању самопобудних вибрација велики број истраживача се бавио и експерименталним методима за идентификацију динамичког понашања обрадног система. Разликују се два концепта:

- а) детерминистички;
- б) стохастички.

Сваки од њих има своје предности, односно недостатке. Што се тиче самог настанка самопобудних вибрација све развијене теорије се могу подвести под два принципа:

- регенеративни ефект;
- спрегнути облици вибрација.

Како је настанак самопобудних вибрација генерисан дејством самог процеса резања и механичке структуре машине, то је исти врло тешко дефинисати за све операције и услове при обради. Један од најпростијих модела је ортогонално резање. Полазећи од модела попречног стругања ножем чија је ширина сечива већа од дубине резања, у раду се разматра математички модел са једним степеном слободe, који је увео А.П. Соколовски [9].

У овом раду ће се овај познати модел третирати применом савремених математичких метода, ради дубљег схватања природе физичког процеса.

*) др Бранко М. МИЛИСАВЉЕВИЋ, доцент; мр Милан В. ЗЕЉКОВИЋ, асистент; Факултет техничких наука, Нови Сад, Трг Д.Обрадовића 6

2. ПОСТАВКА ПРОБЛЕМА

Посматраће се модел самобудних вибрација са једним степеном слободe, чија је схема дата на сл.1. На врх ножа делује сила резања:

$$P = R - \gamma \dot{y} + A \frac{\dot{y}}{v} + B \left(\frac{\dot{y}}{v} \right)^2 + C \left(\frac{\dot{y}}{v} \right)^3 . \quad (1)$$

еластична сила, пропорционална отклону од равнотежног положаја,

$$R + c y , \quad (2)$$

вискозна отпора, која представља сумарни утицај нееластичних отпора,

$$b \dot{y} . \quad (3)$$

Овде су: R - сила резања када нема вибрација, γ - коефицијент дубине резања, v - брзина резања, A, B, C - позитивне константе, експериментално одређене, c - коефицијент еластичности система нож-носач алата, b - коефицијент пригушења система нож-носач алата.

Ако је m редукована маса система нож-носач алата, диференцијална једначина кретања овог система тада гласи:

$$m \ddot{y} = P - (R + c y) - b \dot{y} . \quad (4)$$

Сменом (1) - (3) у (4) добија се нелинеарна диференцијална једначина:

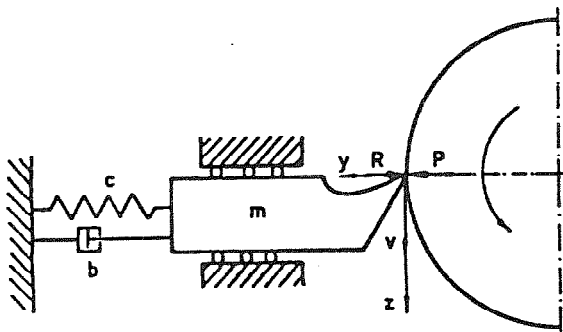
$$\ddot{y} + \omega_0^2 y - \alpha \dot{y} - \beta \dot{y}^2 + \gamma \dot{y}^3 = 0 . \quad (5)$$

где су уведене ознаке:

$$\omega_0^2 = \frac{c + \gamma}{m} , \quad \alpha = \frac{A - bv}{mv} , \quad \beta = \frac{B}{mv^2} , \quad \gamma = \frac{C}{mv^3} .$$

Осим тога, увешће се следећа ознака:

$$f = \alpha \dot{y} + \beta \dot{y}^2 - \gamma \dot{y}^3 \quad (6)$$



Слика 1. Схема система нож-носач алата

3. САМОБУДНЕ ВИБРАЦИЈЕ

Самобудне вибрације овог еластичног система обрађивали су многи аутори на различите начине; [4],[7],[9]. У овом раду одредиће се гранични циклус самобудних вибрација.

Самопобудне вибрације се јављају у нелинеарним дисипативним системима. Постојање граничних циклуса уочио је А. Поенкаре, а на њихову везу са самопобудним вибрацијама указао је А. А. Андронон, који је увео појам самопобудних вибрација. Гранични циклус за системе са једним степеном слободе је затворена крива у фазној равни, тј. у (y, \dot{y}) - равни. Гранични циклус (limit cycle, предельный цикл) је главно обележје периодичних самопобудних вибрација. Егзистенција самопобудних вибрација у неком систему одређује се према линеаризованој једначини процеса. Линеаризацијом једначине (5) добија се:

$$\ddot{y} - \alpha \dot{y} + \omega_0^2 y = 0 .$$

Услов да се у посматраном систему јављају вибрације и да је реч о самопобудним вибрацијама је:

$$0 < \omega_0^2 - (\alpha/2)^2 \quad ; \quad 0 < \alpha \quad , \quad (7)$$

односно:

$$\frac{\Lambda}{2m\omega_0 + b} < v < \frac{\Lambda}{b} \quad . \quad (8)$$

Услови (7) казују да је равнотежни положај $(0,0)$ овог система у фазној равни нестабилни фокус. Систем врши самопобудно периодично кретање. Када у првом изразу (7) важи знак једнакости, тада је тачка $(0,0)$ - нестабилни чвор, а кретање система је аперодично. Када у другом изразу (7) важи знак једнакости, тада је равнотежни положај $(0,0)$ - центар, а кретање система је периодично; [5].

3.1 ОДРЕЂИВАЊЕ ГРАНИЧНОГ ЦИКЛУСА

Посматраће се самопобудне вибрације система када су чланови који садрже брзину и мали. Амплитуда a и фаза ψ одредиће се методом Богољубова-Митропољског. Нека је $\psi = \omega_0 t + \mathcal{V}$ тражена фаза самопобудних вибрација. Решење једначине (5) тражи се у облику $y = a \cos \psi$. Прве апроксимације величина a и ψ , односно \mathcal{V} , налазе се помоћу интеграла:

$$\frac{da}{dt} = - \frac{1}{2\pi\omega_0} \int_0^{2\pi} f(a \sin \psi, -a \omega_0 \cos \psi) \sin \psi \, d\psi ,$$

$$\frac{d\theta}{dt} = - \frac{1}{2\pi\omega_0} \int_0^{2\pi} f(a \sin \psi, -a \omega_0 \cos \psi) \cos \psi \, d\psi , \quad \frac{d\psi}{dt} = \omega_0 + \frac{d\theta}{dt} .$$

Применом ових интеграла на израз (6) добија се:

$$\frac{da}{dt} = \frac{1}{8} \left(4 \frac{\Lambda - bv}{m} - 3 \frac{a^2 c \omega_0^2}{mv^2} \right) \frac{a}{v} = \frac{1}{8} \phi(a) , \quad \frac{d\theta}{dt} = 0 .$$

Стационарни режим принудних вибрација добија се из услова:

$$\frac{da}{dt} = 0 \quad , \quad \frac{d\theta}{dt} = 0 . \quad (9)$$

Друга једначина је идентичка нула, а прва има два решења:

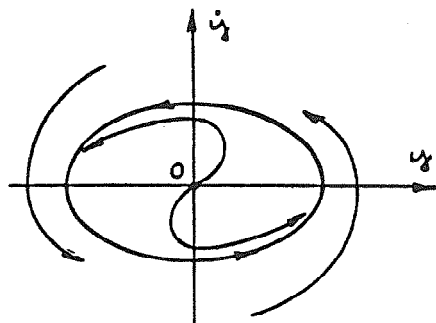
$$a_0 = 0 \quad ; \quad a_0 = \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\Lambda - bv}{c} \frac{v}{\omega_0}} . \quad (10)$$

Прво решење у (10) представља равнотежно стање, а друго решење је стационарна амплитуда самопобудних вибрација. Друга једначина у (9) даје почетну фазу: $\mathcal{V} = \text{constans}$. На основу овога се може казати да је фаза самопобудних вибрација у првој апроксимацији за стационарни режим: $\psi = \omega_0 t + \text{constans}$, тј кружна фреквенција је $\omega_1 = \omega_0 = \omega$.

На основу овога се, према првој апроксимацији, за стационарно стање може писати:

$$y = a_0 \cos \psi + \text{чланови вишег реда}; \quad \dot{y} = -a_0 \omega_0 \sin \psi + \text{чвр}. \quad (11)$$

Изрази (11) представљају параметарске једначине граничног циклуса посматраног проблема самопобудних вибрација (в.сл.2).



Слика 2. Стабилни гранични циклус

3.2 СТАБИЛНОСТ СТАЦИОНАРНИХ СТАЊА

Стабилност стационарних стања, граничног циклуса и равнотежног положаја, одређује се посматрањем понашања решења једначине

$$\frac{da}{dt} = \frac{1}{8} \Phi(a) \quad (12)$$

у околини $a = a_i + \Delta a$ тих стационарних стања, где су: $a_i = a_0, a_p$.

Прво се функција $\Phi(a)$ развија у ред по Δa , затим се одбаце нелинеарни чланови, јер је Δa , по претпоставци мало. Потом се решавањем једначине (12) долази до решења:

$$\Delta a = C \exp\left(\frac{1}{8} \frac{d\Phi}{da_1} t\right); \quad C = \text{constans} > 0. \quad (13)$$

Стационарно стање $(0,0)$ представља равнотежно стање, које је нестабилно, јер је при $a_1 = a_0$ функција (13) растућа. Гранични циклус је стабилан, јер је при $a_0 = a_p$ функција (13) опадајућа. Пошто је равнотежно стање нестабилно, а гранични циклус стабилан, у разматраном систему јављају се самопобудне вибрације, преко мексе самопобуде (в.сл.3).

4. ХОПФОВА БИФУРКАЦИЈА

Теорија бифуркација и њене примене у разним областима технике, физике, биофизике могу се видети, на пример, у [1], [2], [3], [6], [8], [10]. У овом раду се овај теоријски концепт примењује на конкретни технички проблем.

Једначина (5) се, помоћу сиене $x_1 = y, \quad x_2 = \dot{y}$, преводи у систем једначина првог реда:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 = f_1(x_1, x_2), \\ \dot{x}_2 &= -\omega_0^2 x_1 + \alpha x_2 + \beta x_2^2 - \gamma x_2^3 = f_2(x_1, x_2). \end{aligned} \quad (14)$$

Величине α, β, γ зависе од брзине резања v , која се узима за параметар бифуркације: $\mu = v$. Једначине (14) сада су

$$\dot{x}_1 = x_2 = f_1(x_1, x_2; \mu) ; \quad \dot{x}_2 = f_2(x_1, x_2; \mu) . \quad (15)$$

и у векторском облику:

$$\dot{x} = f(x, \mu) , \quad (16)$$

где су:

$$x = (x_1 \ x_2)^T , \quad f = (f_1 \ f_2)^T .$$

Из услова $f_1=0, f_2=0$, налази се стационарна тачка система једначина (15), тј.:

$$x_0(\mu) = x_0(v) = (x_{10}, x_{20}) = (0, 0).$$

Јакобијан једначине (16), односно система једначина (15) у стационарној тачки је:

$$\Lambda(v) = \left[\frac{\partial f_j}{\partial x_k} \right]_{2 \times 2} (0) = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -\omega_0^2 & \alpha \end{bmatrix} . \quad (17)$$

Сопствене вредности Јакобијана (17) су:

$$\lambda_{1,2} = \rho(v) + i \omega(v) ; \quad \rho(v) = \frac{\alpha}{2} , \quad \omega(v) = \sqrt{\omega_0^2 - [\rho(v)]^2} .$$

Критична вредност параметра $\mu_c = v_c$ добија се из услова: $\text{Re } \lambda_1 = 0$ и износи:

$$v_c = \frac{A}{b} . \quad (18)$$

Сопствене вредности Јакобијана на критичној вредности параметра су:

$$\lambda_1 = i \omega_0 = \lambda_1(v_c) , \quad \lambda_2 = -i \omega_0 = \lambda_2(v_c) .$$

При критичној вредности брзине (18) у посматраном систему може да дође до појаве Хопфове бифуркације; [3], [6], [8], [10].

4.1 УСЛОВ ЕГЗИСТЕНЦИЈЕ ХОПФОВЕ БИФУРКАЦИЈЕ У ПОСМАТРАНОМ СИСТЕМУ

Користиће се рецептура дата у [10]. Да би се установило да ли при вредности параметра (18) постоји Хопфова бифуркација у посматраном систему, који описује једначина (16), потребно је да буду испуњени следећи услови:

- I $\lambda_1(v_c) = \overline{\lambda_2(v_c)}$;
- II $\text{Re } \lambda_1'(v_c) = \alpha'(v_c) \neq 0$;
- III $\text{Im } \lambda_1(v_c) = \omega(v_c) \neq 0$.

Први услов је, очигледно, испуњен. Како је

$$\alpha'(v_c) = \frac{d\alpha}{dv}(v_c) = -\frac{b^2}{2m\lambda} \neq 0$$

и други услов је испуњен. Вредност $\omega(v_c) = \omega_0 \neq 0$, тако да је и трећи услов егзистенције испуњен. Услови I, II, III су испуњени, према томе у овом систему се јавља Хопфова бифуркација; [2], [6], [8], [10].

4.2 ПЕРИОДИЧНА РЕШЕЊА

Применом стандардне процедуре [6],[10] одређен је период решења једначине (16) при $v = v_c$, Флокеов експонент и периодична решења те једначине. Флокеов експонент је тест стабилности периодичних решења једначине (16); [1],[2],[3],[6],[8],[10]. Изостављањем детаља процедуре дају се крајњи резултати.

Период решења једначине (16) је:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} \left[1 + \frac{5b^4 B^2}{12m^2 A^4} \epsilon^2 + O(\epsilon^4) \right], \quad (19)$$

$$\epsilon^2 = \frac{4A}{3b\omega_0^2 C} (v - v_c) + O((v - v_c)^2).$$

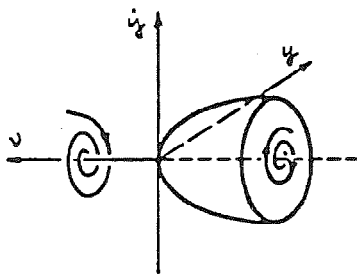
Флокеов експонент је:

$$\beta_2 = - \frac{3b^3 \omega_0^2 C}{4mA^3} < 0 \quad (20)$$

је негативан и сведочи о асимптотској орбиталној стабилности периодичних решења. Периодично решење једначине (16) при $v = v_c$ гласи

$$x(t) = \begin{bmatrix} x_1(t) \\ x_2(t) \end{bmatrix} = \epsilon \begin{bmatrix} \cos \frac{2\pi t}{T} \\ \frac{1}{\omega_0} \sin \frac{2\pi t}{T} \end{bmatrix} - \epsilon^2 \frac{bC}{6m\omega_0 A^2} \begin{bmatrix} \cos \frac{4\pi t}{T} \\ \frac{1}{\omega_0} \sin \frac{4\pi t}{T} \end{bmatrix} + O(\epsilon^3). \quad (21)$$

Изрази (19)-(21) представљају решење проблема Хопфове бифуркације разматраног модела са Сл.1. Бифуркација која се овде јавља приказана је на Сл.3 у простору (v, \dot{y}, y) , где је $v = v - v_c$.



Слика 3. Хопфова бифуркација

5. ПРИМЕР

Коришћење добијених резултата приказане се на конкретном примеру са нумерички вредностима [4]: $m = 16,4$ [kg], $c = 2,97 \cdot 10^6$ [N/m], $r = 2,5 \cdot 10^6$ [N/m], $b = 644$ [kg/s], $A = 670$ [N], $B = 1200$ [N], $C = 2150$ [N], $v = 0,5$ [m/s]. Самопобудне вибрације: Кружна фреквенција при првој апроксимацији износи $\omega_0 = 577,5$ [1/s] = $= 91,9$ [Hz]. Амплитуда стационарног режима је: $a_0 = 4,02 \cdot 10^{-4}$ [m]. Хопфова бифуркација: Како је $\epsilon^2 = 1,9345 \cdot 10^{-9} v + O(v^2)$, према (19) је период вибрација:

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} (1 + 3,68 \cdot 10^{-6} \cdot v + O(v^2)).$$

6. ЗАКЉУЧЦИ

Гранични циклус (сл.2) разматраног система указује на чињеницу да у режиму самопобудних вибрација отклон врха ножа од нултог положаја увек постоји. Ово има утицаја на тачност израде и храпавост обрађене површине при обради. Хопфова бифуркација у систему показује како се креће врх ножа у фазној равни. Променом брзине резања систем може да се преведе у режим, који опусује стабилни фокус (в. сл.3).

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] В.И. Арнольд: ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ГЛАВИ ТЕОРИИ ОБЫКНОВЕННЫХ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ, Москва, Наука, 1978.
- [2] В.И. Арнольд, В.С. Афраймович, Ю.С. Ильяшко, Л.П. Шильников: ТЕОРИЯ БИФУРКАЦИЯ, Динамические системы - 5, Итоги науки и техники, Москва, ВИНИТИ, 1986.
- [3] J. Gukenheimer, Ph.Holmes: NONLINEAR OSCILLATIONS, DYNAMICAL SYSTEMS AND BIFURCATIONS OF VECTOR FIELDS, New York, Springer-Verlag, 1983.
- [4] Ю. А. Клих, Л. Ф. Василенко: РЕЗОНАНСНЫЕ ЯВЛЕНИЯ В ОДНОЙ АВТОКОЛЕБАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЕ, у: Рассеяние энергии при колебаниях механических систем, ред. Г.С Писаренко, стр.21-24, Киев, Наукова думка, 1968.
- [5] П.С. Ланда: АВТОКОЛЕБАНИЯ В СИСТЕМАХ С КОНЕЧНЫМ ЧИСЛОМ СТЕПЕНЕЙ СВОБОДЫ, Москва, Наука, 1980.
- [6] J.E. Marsden, M. McCracken: THE HOPF BIFURCATION AND ITS APPLICATIONS, New York, Springer-Verlag, 1976.
- [7] Я.Г. Пановко: ОСНОВЫ ПРИКЛАДНОЙ ТЕОРИИ УПРУГИХ КОЛЕБАНИЙ, Москва, Машгиз, 1957.
- [8] R. Seydel: FROM EQUILIBRIUM TO CHAOS, New York, Elsevier, 1988.
- [9] А.П. Соколовский: КУРС ТЕОРИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ, Москва, Машгиз, 1947.
- [10] B.D. Hassard, N.D. Kazarinoff, Y.-H. Wan: THEORY AND APPLICATIONS OF HOPF BIFURCATION, Cambridge, Cambridge University press, 1981.

APPLICATION OF HOPF BIFURCATION TO THE SELF-EXCITED VIBRATION PROBLEM IN TURNING OPERATION

Summary

Recent advances in self-excited vibrations and Hopf bifurcation theory have led to new insights into the turning operation. The limit cycle and period of the self-excited vibrations are determined, as well as the Floquet exponent and the periodic solutions of the turning operation bifurcating equation. These factors have implications on the exactness and stability of the turning operation.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

N.Negut, M.Hluscu, I.Vintilescu *

STRESSES AND STRAINS IN THE STRENGTH
STRUCTURE OF A ROLLING BRIDGE

Abstract

In the paper is presented the computation of the loads, stresses and strains in the strength structure of a rolling bridge, using a finite element computing program.

From the analysis of the results obtained is found that the strength structure may be optimized from dimensional point of view, for the purpose of reducing the weight.

1. INTRODUCTION

The stress and strain analysis by classical methods for strength structures which exhibit closed contours is very difficult, and assumes a great amount of calculations. The means of automatic data processing and specialized computer programs are allowing high accuracy and speed in solving such problems.

The paper presents the COSMOS/M finite element computer program using for determination of the stresses and strains in the strength structure of a rolling bridge, which has the strength elements (the rods and the traverses) beams of caisson type cross-sectional area and variable height on some parts (fig.1).

2. STRENGTH STRUCTURE MODELLING

45 finite elements of type BEAM3D (three dimensional beam) were used for structure (frame) modelling.

The geometrical characteristics for the cross-sectional areas of these elements differentiates them, so the elements sets that resulted could be shown in table 1.

Sets no.III...VIII are corresponding to the rods parts that have a variable height, and were assimilated to finite elements of step variable rigidity. Geometrical characteristics were determined as follows:

- area:

$$A(x) = 2.B.6 + 2.6.H(x) \quad (1)$$

* N.Negut, M.Hluscu, I.Vintilescu, Technical University of Timisoara

- axial moment of inertia :

$$I_z(x) = 2 \cdot [h^3 B / 12 + [H(x) / 2 + h / 2] \cdot B \cdot h] + 2 \cdot [H'(x) \cdot B / 12] \quad (2)$$

$$I_y(x) = 2 \cdot [h \cdot B^3 / 12] + 2 \cdot [h \cdot H(x) / 12 + H(x) \cdot h \cdot (162/x)^2] \quad (3)$$

- torsional moment of inertia :

$$I_t(x) = 4 \cdot h \cdot \{(B+h) \cdot [H(x)+h]\}^2 / \{2 \cdot [B+H(x)]\} \quad (4)$$

where: $H(x) = 600 + 162x/2334$

The external loadings are shown in figure 2.

Table 1. Geometrical characteristics of cross-sectional areas

No.elem.set (elements)	B [mm]	H [mm]	A [mm ²]	I _z [mm ⁴]	I _y [mm ⁴]	I _t [mm ⁴]
I(1,2,...,10)	425	600	12156	6,531e8	2,313e8	4,168e8
II(11,...17,45)	350	762	13200	10,22e8	1,903e8	4,441e8
III(19,...,22)	350	614	11568	6,351e8	3,636e8	3,451e8
IV(23,...,26)	350	642	11898	7,042e8	1,69e8	3,651e8
V(27,...,32)	350	669	12224	7,77e8	1,744e8	3,846e8
VI(33,...,36)	350	695	12544	8,525e8	1,796e8	4,04e8
VII(37,...,40)	350	722	12863	9,357e8	1,848e8	4,235e8
VIII(41,...,44)	350	749	13138	10,01e8	1,901e8	4,432e8

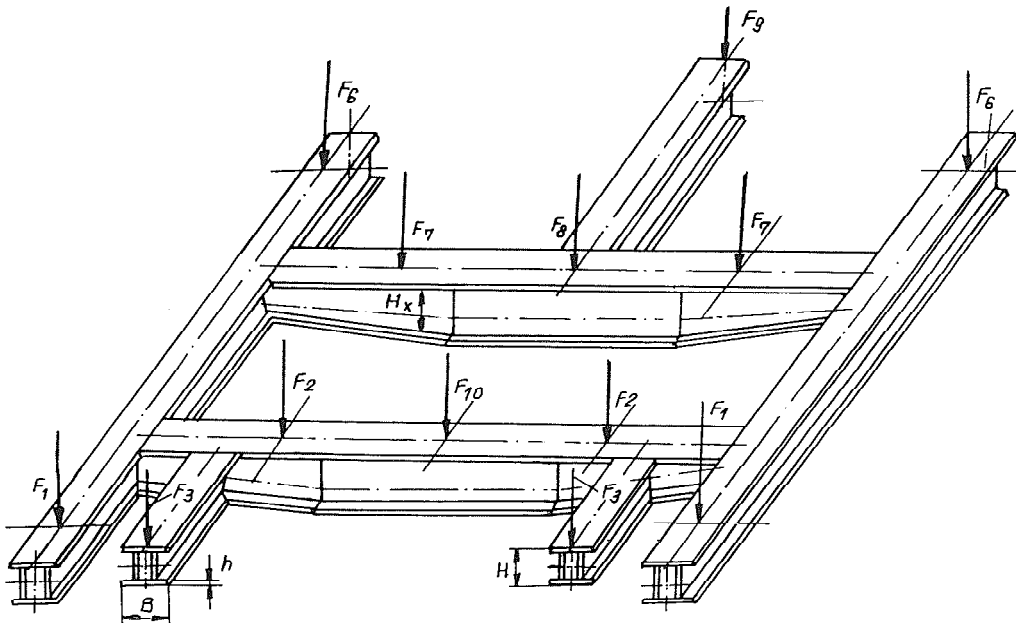


Figure 1. Strength Structure of the Rolling Bridge.

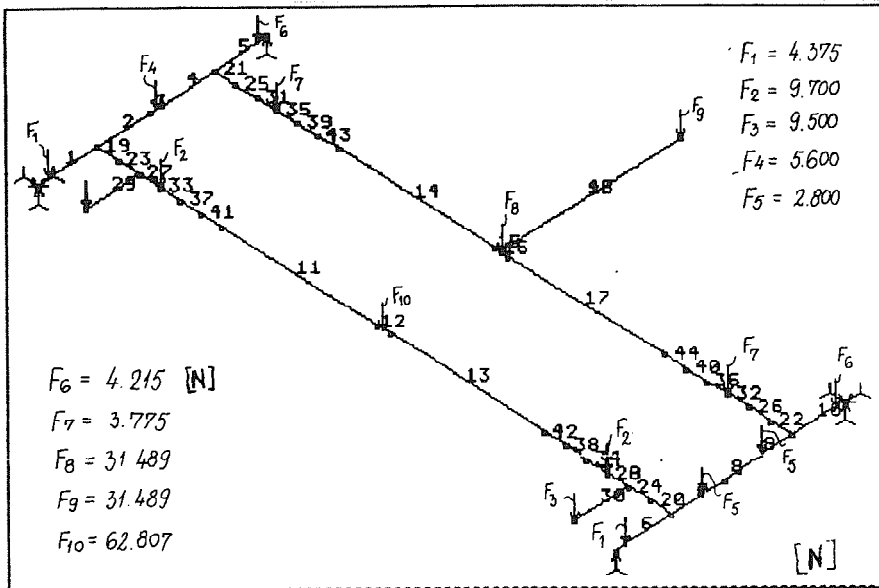


Figure 2. Frame schematization (finite elements, supporting, loading).

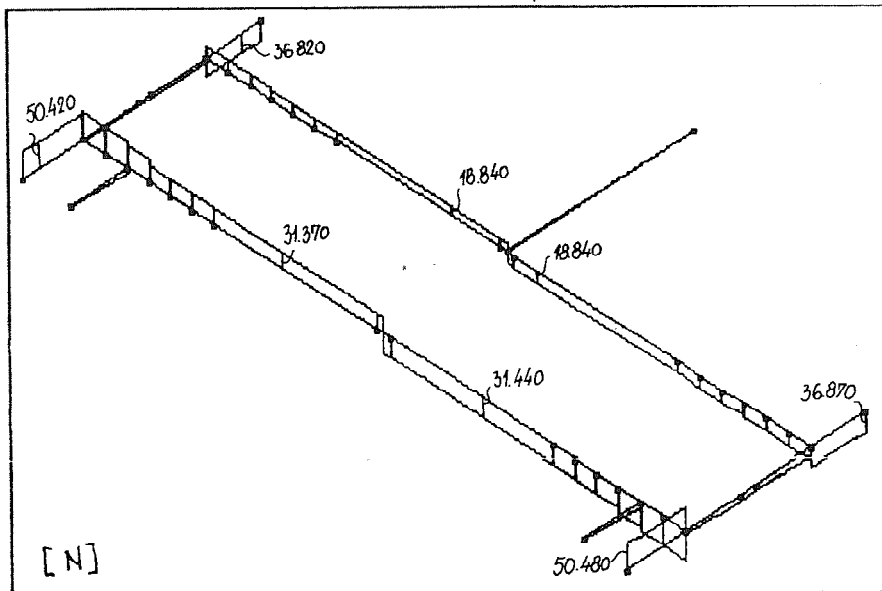


Figure 3. Shearing forces diagram.

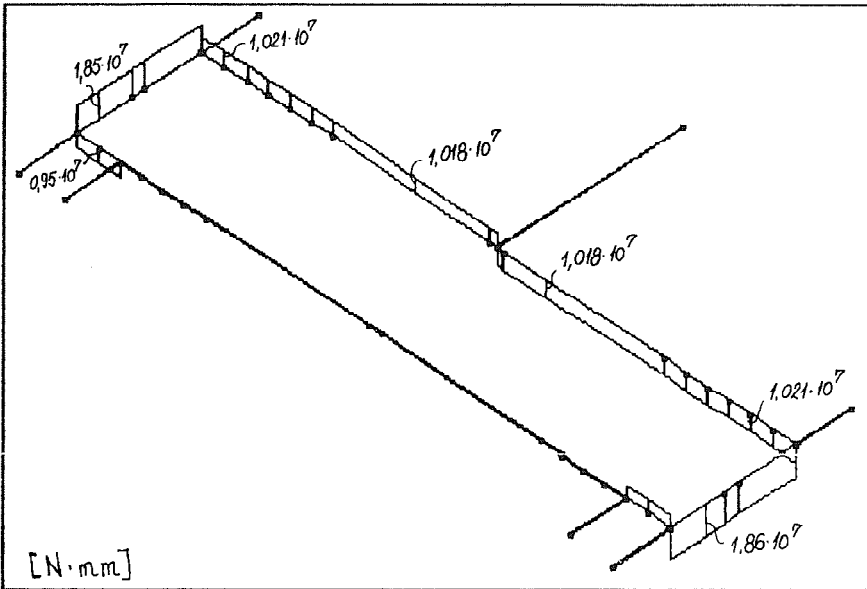


Figure 4. Torque moments diagram.

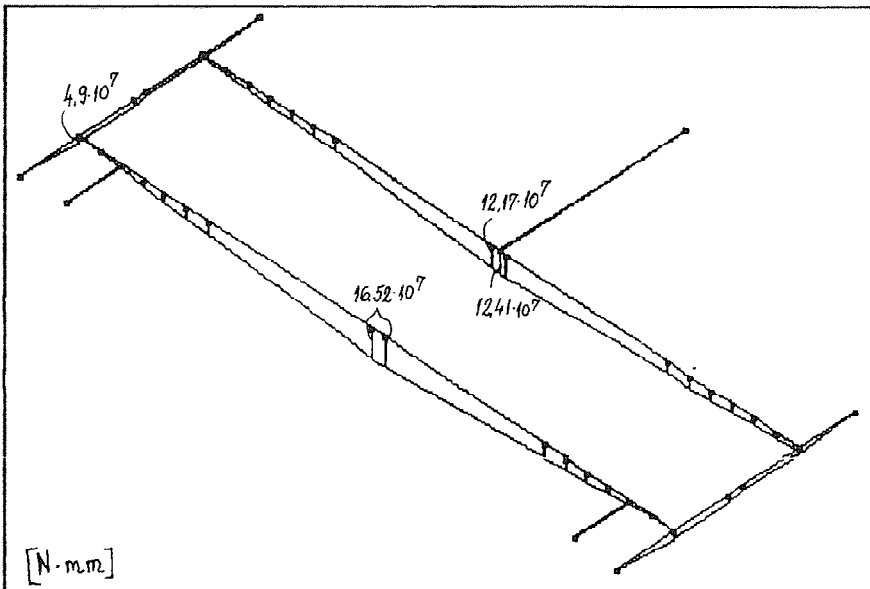


Figure 5. Bending moments diagram.

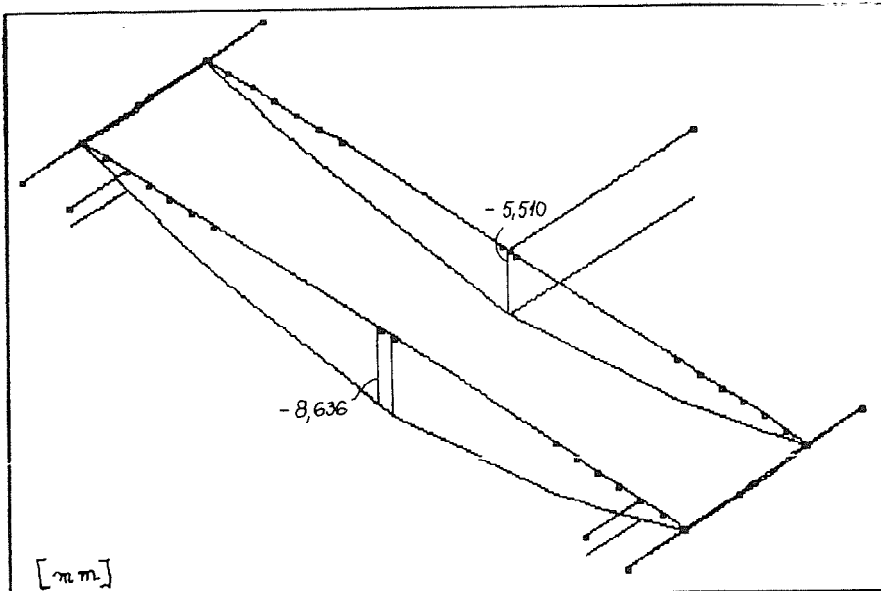


Figure 6. Deformed frame.

3. LOADS AND STRESSES

Loading diagrams were plotted (fig.3,4 and 5) after static analysis performing, from which is resulting that the most stressed elements of each set are: 3,12,22,26,31,36,38 and 42. The values of these efforts and the values of the stresses are given in table 2, in which: T - shearing force; M_1 - bending moment; M_t - torque moment; σ_{max} - normal stress due to M_1 ; τ_{max} - maximum shearing stress due to M_1 ; $\sigma_{sch}(s)$ - equivalent maximum stress, after von Mises theory;

Table 2. Efforts and stresses

Element	Shearing force	M_1 [N*mm]	M_t [N*mm]	σ_{max} [N/mm ²]	τ_{max} [N/mm ²]	$\sigma_{sch}(s)$ [N/mm ²]
3	10210	3.528e7	1.856e7	32.4	8.863	35.85
12	31370	16.52e7	2.146e4	151.9	.009	151.9
22	22610	2.763e7	1.018e7	29.55	5.311	30.95
26	22610	3.668e7	1.018e7	37.97	5.075	39.00
31	22580	4.528e7	1.018e7	45.45	4.855	46.221
36	18840	5.257e7	1.018e7	51.23	4.687	51.87
38	31440	6.182e7	2.146e4	58.53	.009	58.53
42	31440	7.388e7	2.146e4	68.01	.009	68.01

4. LINEAR AND ANGULAR UNIT DEFORMATIONS

In figure 6 is presented the deformed strength structure. The displacements values are given in table 3, for element nodes, of whose stresses were listed before. The greatest linear displacements are the vertical ones (on Y axis) and are obtained at the middle of the rods (node no.16).

Table 3. Linear and angular displacements

Element	Node	UY [mm]	RX [rad]	RZ [rad]
3	4	-0.549	6.214e-6	-2.053e-3
3	5	-0.540	6.645e-5	-1.981e-3
12	16	-8.636	1.156e-6	-9.828e-5
12	18	-8.635	1.214e-6	1.055e-4
22	13	-0.360	2.704e-4	1.686e-3
22	31	-1.028	1.243e-4	1.643e-3
26	35	-1.675	-1.388e-5	1.579e-3
31	34	-1.676	-1.104e-5	-1.577e-3
31	42	-2.269	-1.367e-4	-1.502e-3
36	43	-2.268	-1.396e-4	1.503e-3
36	47	-2.830	-2.593e-4	1.417e-3
38	45	-3.996	2.066e-6	2.095e-3
38	49	-4.778	1.973e-6	1.97e-3
42	19	-5.510	1.884e-6	1.831e-3

5. CONCLUSIONS

Using the COSMOS/M FEM program on a 486 PC allowed computation of efforts, stresses and strains for the strength structure of a rolling bridge.

Equivalent maximum stresses are the ones from the longitudinal beams (determined mostly by bending loading of the rod), and they do not exceed the allowable value of the stress. Stresses are low in cross-sectional areas of traverses (2.8 times lower than the rods ones). Stresses and strains analysis leads to the conclusion that the strength structure, overdimensioned in some portions, is suitable to a dimensional optimization for material amount reducing.

6. REFERENCES

- [1] Buzdugan, Gh., Rezistentă materialelor, Editia XI, Editura Tehnica Bucuresti, 1980.
- [2] Negut, N., Maşini de ridicat, Lito. Universitatea Tehnică Timişoara, 1994.
- [3] Zienkiewicz, O.C., Morgan, K., Finite Element and Approximation, John Wiley, New York, 1983.
- [4] COSMOS/M, Usser Guide, vol. I, II, III, Structural Research and Analysis Corporation, Santa Monica, 1990.

B. Pejović, M. Zeljković, R. Gatalo*

ANALIZA TOPLOTNIH IZVORA KOD SKLOPA GLAVNOG VRETENA MAŠINE ALATKE KAO PODLOGA ZA ANALIZU NJEGOVOG TERMIČKOG PONAŠANJA

Rezime

U radu je prikazana analiza i način određivanja toplotnih veličina usled trenja na ležajevima glavnog vretena mašina alatki obzirom na vretenište kao noseću strukturu. Za posmatrani slučaj pretpostavljen je površinski toplotni izvor kao najbliži realnom. Pri ovome je izračunat vektor toplotnog izvora za KE oblika trougla i linearnu interpolacijsku funkciju rasporeda temperatura po KE što zadovoljava za manje snage toplotnog izvora i usvojenu gušću mrežu.

Dobijeni rezultati su testirani na primeru vreteništa jednog univerzalnog struga sa hidrodinamičkim kliznim ležajevima na glavnom vretenu pri čemu su dobijeni bolji rezultati nego kod usvajanja zapreminskog toplotnog izvora. Snaga trenja je računata preko formule Petrova, dok je temperaturski vektor modela strukture vreteništa određen metodom desnih diferencija.

1.0 UVOD

Pri statičkom, dinamičkom i toplotnom proračunu nosećih struktura mašina alatki kao ulazni podatak pored ostalog uvek se javlja spoljašnje opterećenje u vidu sila odnosno toplotnih izvora. Dok je određivanje statičkih i dinamičkih sila relativno lako, pri određivanju toplotnog opterećenja dolazi do određenih poteškoća u prvom redu zbog složenih graničnih uslova. Toplotni proračuni mašina alatki uglavnom ubuhvata:

- određivanje snage toplotnih izvora u zavisnosti od položaja i vremena za određenu noseću strukturu
- određivanje temperaturskog polja na osnovu poznatog toplotnog izvora na bazi čega se određuju temperaturska pomeranja, odnosno deformaciono-naponska slika.

Ovaj rad je prilog gore navedenom prvom pravcu, pri čemu je primenjena numerička metoda konačnih elemenata, obzirom da su kod termičkih proračuna složenijih nosećih struktura, numeričke metode u prednosti u odnosu na čisto analitičke.

2. ANALIZA ZAPREMINSKOG TOPLOTNOG IZVORA KOD NOSEĆIH STRUKTURA MAŠINA ALATKI

Za proizvoljan noseći element strukture mašine alatke koji je toplotno opterećen u ravni oxy, moguće je napisati diferencijalnu jednačinu provodjenja toplote prema ener-

*) Gatalo dr Ratko, dipl.ing., redovni profesor, Zeljković mr Milan, dipl.ing., asistent, Fakultet tehničkih nauka Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, V. Perića - Valtera 2. Pejović mr Branko, dipl.ing., projektant, ILR, Fabrika alatnih mašina Železnik, Beograd

gijskom bilansu količine dovedene i odvedene toplote u odnosu na promenu unutrašnje energije, u obliku:

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + Q_v = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\delta} \quad (1)$$

Ovde je predpostavljeno da je debljina elementa dovoljno mala tako da se temperatura T ne menja po debljini. Isto tako element toplotno opterećuje toplotni izvor konstantog intenziteta Q_v [W/m^3] tj. takozvani "zapreminski" toplotni izvor. Takođe, pri izvodjenju relacije (1), u odnosu na Furijeovu jednačinu provodjenja toplote uzeta je u obzir i konvekcija sa obe strane posmatranog elementa, preko koeficijenta α_1 i α_2 .

Diferencijalna jednačina (1) po prirodi je parcijalna i nestacionarna, pa su za njeno rešavanje neophodni određeni početni i granični uslovi.

Za određivanje nestacionarnog temperaturskog polja prema jednačini (1), primenom npr. Galerkinove metode, može se odrediti jednačina konačnog elementa u matricnom obliku:

$$[P] \{T\} + [B] \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\} + \{F\} = 0 \quad (2)$$

Matrica $[P]$ i $[B]$ u jednačini (2) relativno se jednostavno određuju dok kod određivanja vektora toplotnog izvora $\{F\}$ dolazi do određenih poteškoća.

Za posmatrani slučaj zapreminskog toplotnog izvora Q_v ovaj vektor se računa:

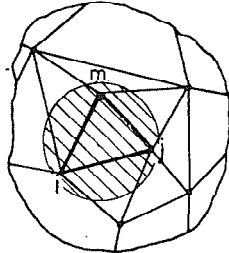
$$\{F\} = -Q_v \int_A [b]^T dA \quad (3)$$

U jednačini (3) neophodno je odrediti interpolacijsku matricu $[b]$ za konkretan konačni element površine A .

Za slučaj kada je snaga toplotnog izvora Q_v konstanta tj. kada je samo funkcija položaja i kada je izvor jednakomerno podeljen, za slučaj linearne raspodele temperature po konačnom elementu, biće,

$$\{F\} = -Q_v \int_A \begin{Bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \end{Bmatrix} dA = -\frac{Q_v A}{3} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Rešenje prethodnog integrala postoji samo za slučaj da ceo trougao, kao KE leži u području zagrevanja, pri čemu je u samom krugu Q_v konstantan (sl.1.).



Sl.1. KE oblika trougla sa područjem zagrevanja (izvor obuhvata KE)

Očigledno, prema relaciji (4) sledi da svakom čvoru pripada jedna trećina snage toplotnog izvora Q_v .

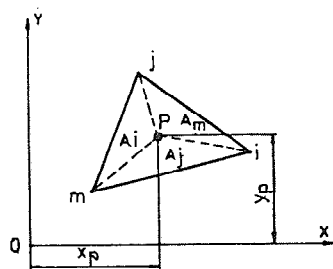
Za slučaj kada je toplotni izvor u samom trouglu, na mestu P , sa koordinatama x_p i y_p (sl.2.), predhodno se izračunavaju površinske koordinate:

$$\pi_1 = \frac{A_j}{A} \quad \pi_2 = \frac{A_m}{A} \quad \pi_3 = \frac{A_i}{A} \quad (5)$$

Za površinske koordinate važi, $\pi_1 + \pi_2 + \pi_3 = 1$ obzirom da je ukupna površina KE, $A = A_i + A_j + A_m$.

Za ovaj slučaj određuje se koliki deo toplotnog izvora pripada pojedinom čvoru, tj.

$$\{F\} = -Q_v A \begin{Bmatrix} \pi_1 \\ \pi_2 \\ \pi_3 \end{Bmatrix} \quad (6)$$



SL2. Toplotni izvor unutar KE oblika trougla

Vidi se, da više snage pripada čvoru koji je bliži položaju izvora P, što se moglo i očekivati. Isto tako prema relacijama (4) i (6) mora biti zadovoljen uslov:

$$\frac{Q_v \cdot A}{3} \cdot 1 + \frac{Q_v \cdot A}{3} \cdot 1 + \frac{Q_v \cdot A}{3} \cdot 1 = Q \cdot A \quad [W/m]$$

odnosno,

$$Q_v \cdot A \cdot \pi_1 + Q_v \cdot A \cdot \pi_2 + Q_v \cdot A \cdot \pi_3 = Q_v \cdot A (\pi_1 + \pi_2 + \pi_3) \quad [W/m]$$

Ako je prema sl.1. prečnik područja, (zone) dejstva toplotnog izvora ds, onda je,

$$Q_v = \frac{Q_i}{V} \quad [W/m^3]$$

pri čemu je,

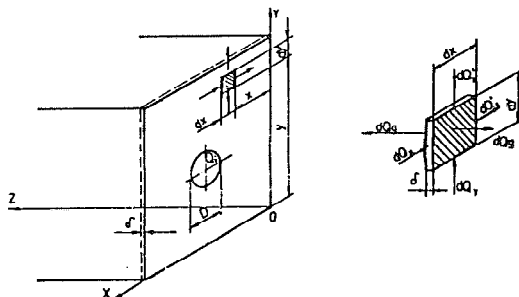
$$V = A_s \cdot \delta = \frac{d_s^2 \cdot \pi}{4} \cdot \delta \quad [m^3]$$

a Q_i je snaga toplotnog izvora u [W] .

3.0 ANALIZA POVRŠINSKOG TOPLOTNOG IZVORA KOD NOSEĆIH STRUKTURA MAŠINA ALATKI

Analizom vreteništa, kao karakteristične noseće strukture polazeći od termičkog modela, može se na ranije opisan način izvesti diferencijalna jednačina provodjenja toplote (sl.3.), u obliku:

$$\lambda \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) = \rho \cdot c \frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\delta} \quad (7)$$



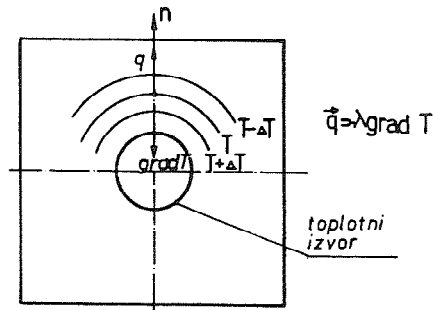
SL3. Model vreteništa za idefinisanje osnovne termičke diferencijalne jednačine

Ovde se može predpostaviti da su glavni izvori toplote na ležajevima glavnih vretena. Pri ovome je količina toplotne energije koja se oslobadja kod svakog ležaja ekvivalentna utrošenom mehaničkom radu na savladjivanje otpora trenja pri obrtanju. Vidi se da u jednačini (7) nije uključen zapreminski izvor toplote Q_v . Obzirom na prirodu posmatranog problema realno je predpostaviti "površinski" toplotni izvor Q_s [W/m^2], koji deluje po obimu

cilindrične površine $A_s = D_s \cdot \pi \cdot \delta$, duž koje deluje moment sile trenja usled obrtanja glavnog vretena. Obzirom da dejstvo toplotnog izvora nije obuhvaćeno jednačinom (7) to će biti obuhvaćeno graničnim uslovom II vrste:

$$\lambda \frac{\partial T}{\partial n} = -Q_s \quad (8)$$

Termodinamička interpretacija jednačine (8) je da je količina toplote izvora (Q_s), po elementarnoj površini (A_s) jednaka količini toplote koja se ostvaruje provodjenjem toplote po istoj površini, što je dato na sl.4.



Sl.4. Veza gradijenta temperature i toplotnog fluksa

Negativan znak u jednačini (8) postavljen je prema II zakonu termodinamike obzirom da se prenos toplote izvodi uvek u pravcu pada temperature T . U istoj relaciji " λ " predstavlja koeficijent provodjenja toplote dok je " n " normala na posmatranu izotermnu površinu. Zbog složenih geometrijskih oblika nosećih struktura kao i zbog komplikovanih graničnih i početnih uslova, jednačina (7) se teško rešava analitičkim metodama.

Rešenje parcijalne nestacionarne jednačine (7) sa njenim graničnim uslovima (8), moguće je dobiti numeričkom metodom konačnih elemenata uz primenu Galerkinove metode, pri čemu se dobija osnovna jednačina konačnih elemenata napisana u matricnom obliku:

$$[P]_{(e)} \{T\}_{(e)} + [B]_{(e)} \left\{ \frac{\partial T}{\partial t} \right\}_{(e)} + \{F_i\}_{(e)} = 0 \quad (9)$$

Istom metodom, dobijaju se matrice u jednačini (9)

$$\begin{aligned} [P]_{(e)} &= [P_1]_{(e)} + [P_2]_{(e)} \\ [P_1]_{(e)} &= \lambda \int \left(\frac{\partial [b]^T}{\partial x} \cdot \frac{\partial [b]}{\partial x} + \frac{\partial [b]^T}{\partial y} \cdot \frac{\partial [b]}{\partial y} \right) dA \\ [P_2]_{(e)} &= \frac{\alpha_1 + \alpha_2}{\delta} \int [b]^T [b] dA \\ [B]_{(e)} &= \rho \cdot c \int [b]^T [b] dA \end{aligned} \quad (10)$$

Vektor toplotnog izvora je,

$$\{F_i\}_{(e)} = -Q_s \int [b]^T dS \quad (11)$$

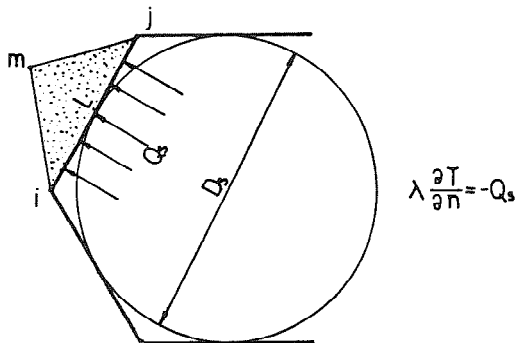
U gornjim relacijama $[b]^T$ predstavlja transponovanu interpolacijsku matricu $[b]$.

Za slučaj da se usvoji konačni element oblika trougla, pri čemu se pretpostavlja linearna zavisnost prostiranja temperature po istom KE u zavisnosti od kordinata unutar istog KE, biće

$$T = c_1 + c_2 x + c_3 y \quad (12)$$

Matrice prema relacijama (10), relativno se lako izvode i nalaze se u odgovarajućoj literaturi, u zavisnosti od termodinamičkih konstanti i koordinata čvorova KE. Za slučaj postojanja "zapreminskog" izvora Q_v , vektor toplotnog izvora izveden je u literaturi prema relaciji (4). Za posmatrani problem, prema relaciji (11), za slučaj "površinskog" toplotnog izvora, u literaturi nije pronadjena odgovarajuća relacija.

Po metodi KE, kružnica na mestu ležaja prečnika D_s , aproksimirana je pravilnim mnogougлом, obzirom na usvojene konačne elemente oblika trougla (i, j, m), prema sl. 5, gde je prikazan termički i granični uslov.



Sl.5. Površinski toplotni izvor kod ležaja glavnog vretena pri primeni MKE

Relacija rasporeda temperature po KE prema jednačini (12), može se napisati u obliku,

$$T = \{1, x, y\} \cdot \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{Bmatrix}$$

$$\{T\}^T = \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_m \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_m & y_m \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} c_1 \\ c_2 \\ c_3 \end{Bmatrix} = [a_k] \cdot \{c\}^T \quad (13)$$

U gornjoj jednačini "x" i "y" su koordinate proizvoljne tačke unutar KE. Odavde je,

$$\{c\}^T = [a_k]^{-1} \cdot \{T\}$$

$$T = [a] \cdot [a_k]^{-1} \cdot \{T\} \quad (14)$$

Zavisnost temperature T po KE izražena preko interpolacijske matrice [b] i temperature u čvorovima {T} biće,

$$T = [b] \cdot \{T\} \quad (15)$$

odavde je, $[b] = [a] \cdot [a_k]^{-1} = [a] \cdot [R]$
gde je

$$[R] = [a_k]^{-1} \quad (16)$$

Ovde je matrica [R] izražena preko koordinata KE,

$$[R] = \frac{1}{2A} \begin{bmatrix} x_j y_m - x_m y_j & x_m y_i - x_i y_m & x_i y_j - x_j y_i \\ y_j - y_m & y_m - y_i & y_i - y_j \\ x_m - x_j & x_i - x_m & x_j - x_i \end{bmatrix} \quad (17)$$

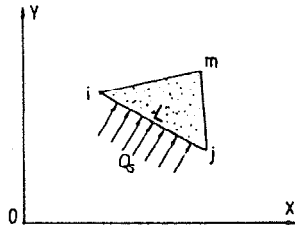
Prema (15) i (16) matrica [b], biće,

$$[b] = [a] \cdot [R] \quad [b]^T = [R]^T \cdot [a]^T \cdot \begin{Bmatrix} 1 \\ x \\ y \end{Bmatrix} \quad (18)$$

Vektor toplotnog izvora prema (11) zamenujući matricu [R] prema (17), može se izraziti kao,

$$\{F_i\}_{(e)} = - \frac{Q_s}{2A} \begin{bmatrix} x_j y_m - x_m y_j & y_j - y_m & x_m - x_j \\ x_m y_i - x_i y_m & y_m - y_i & x_i - x_m \\ x_i y_j - x_j y_i & y_i - y_j & x_j - x_i \end{bmatrix} \cdot \int_S \begin{Bmatrix} 1 \\ x \\ y \end{Bmatrix} ds \quad (19)$$

Očigledno, integriranje se vrši po površini dejstva toplotnog izvora S. Da bi se rešio integralni član ovog vektora, potrebno je izdvojiti deo konture otvora na mestu ležaja na koji deluje toplotno opterećenje (sl.6.).



Sl.6. Elementarni toplotni izvor KE

Prvo je potrebno rešiti integrale po pravolinijskoj konturii dejstva toplotnog izvora, prema relaciji (19),

$$l_1 = \int_S ds \quad l_2 = \int_S ds \quad l_3 = \int_S ds$$

$$l_1 = \int_S ds = Ln \quad (20)$$

Ovde je Ln dužina strane mnogougla pod toplotnim opterećenjem. Element dužine ds, prema pravilima diferencijalne geometrije biće,

$$ds = \sqrt{dx^2 + dy^2} = \sqrt{dx^2 \cdot \left(1 + \frac{dy^2}{dx^2}\right)} = dx \sqrt{1 + \left(\frac{dy}{dx}\right)^2} = dx \cdot \sqrt{1 + k^2}$$

Ovde je k koeficijent pravca pravce kroz tačke "i,j".

$$l_2 = \int x ds + \int_{x_i}^{x_j} x \sqrt{1 + k^2} dx = \frac{x_j^2 - x_i^2}{2} \sqrt{1 + \left(\frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}\right)^2} \quad (21)$$

Prema sl.7., koeficijent pravca k i dužina strane KE, biće,

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{y_j - y_i}{x_j - x_i}$$

$$Ln^2 = (x_j - x_i)^2 + (y_j - y_i)^2$$

$$\text{sada je: } l_2 = \frac{Ln}{2} (x_j - x_i) \quad (22)$$

Na isti način se dobija:

$$l_3 = \frac{Ln}{2} (y_j - y_i)$$

Sada izraz (19), zamenom integrala l_1, l_2, l_3 , postaje:

$$\{F_i\}_{(e)} = -\frac{Q_s}{2A} \begin{bmatrix} x_j y_m - x_m y_j & y_j - y_m & x_m - x_j \\ x_m y_i - x_i y_m & y_m - y_i & x_i - x_m \\ x_i y_j - x_j y_i & y_i - y_j & x_j - x_i \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} Ln \\ \frac{Ln}{2} (x_i + x_j) \\ \frac{Ln}{2} (y_i + y_j) \end{Bmatrix} \quad (23)$$

Ili u skraćenom obliku:

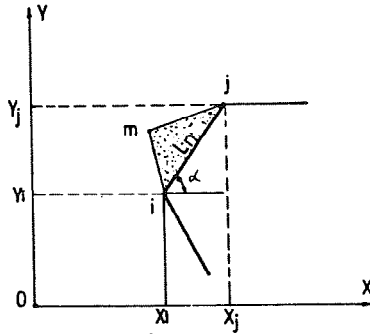
$$\{F_i\}_{(e)} = -\frac{Q_s Ln}{4A} \begin{Bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \end{Bmatrix} \quad (24)$$

Ovde komponente vektora imaju vrednosti:

$$\begin{aligned} d_1 &= 2(x_j x_m - x_m y_j) + (y_j - y_m) \cdot (x_i + x_j) + (x_m - x_j) \cdot (y_i + y_j) \\ d_2 &= 2(x_m y_i - x_i y_m) + (x_i + x_j) \cdot (y_m - y_i) + (x_i - x_m) \cdot (y_i + y_j) \\ d_3 &= 2(x_i y_j - x_j y_i) + (x_i + x_j) \cdot (y_i - y_j) + (x_j - x_i) \cdot (y_i + y_j) \end{aligned} \quad (25)$$

Lako se pokazuje da je,

$$\begin{aligned} d_1 &= d_2 \\ d_3 &= 0 \end{aligned}$$



SL7. Prikaz konture dejstva toplotnog izvora

Ukoliko se razvije determinana kojom se izražava površina trougla sa temenima i,j,m konačnog elementa, dobija se

$$A = \frac{1}{2} \det \begin{bmatrix} 1 & x_i & y_i \\ 1 & x_j & y_j \\ 1 & x_m & y_m \end{bmatrix}$$

odnosno

$$A = \frac{1}{2} (x_j y_m + x_i y_j + y_i x_m - y_i x_j - y_j x_m - x_i y_m)$$

Sada je očigledno,

$$2A = d_1 = d_2$$

Prema (24) sledi,

$$\begin{aligned} \{F_i\}_{(e)} &= -\frac{Q_s Ln}{4A} \begin{Bmatrix} 2A \\ 2A \\ 0 \end{Bmatrix} \\ \{F_j\}_{(e)} &= -\frac{Q_s Ln}{2} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (26)$$

U relaciji (26) Q_s ima dimenziju $[W/m^2]$, i predstavlja toplotno opterećenje stranice pravilnog mnogougla. Ukoliko je snaga toplotnog izvora kojom je opterećen KE u $[W]$, biće

$$Q_s = \frac{Q_w}{S} = \frac{Q_w}{Ln \cdot \delta} \quad [W/m^2] \quad (27)$$

Sada vektor toplotnog izvora prema (26), za KE oblika trougla iznosi,

$$\{F_i\}_{(e)} = -\frac{Q_w}{2\delta} \begin{Bmatrix} 1 \\ 1 \\ 0 \end{Bmatrix} \quad (28)$$

Dobijena relacija pokazuje da treća komponenta ovog vektora ima vrednost nula dok prve dve komponente imaju jednake vrednosti, što se moglo i očekivati obzirom da KE ima toplotno opterećenje samo u čvorovima "i", "j". U opštem slučaju može se napisati,

$$\{F_i\}_{(e)} = - \begin{Bmatrix} f_i \\ f_j \\ f_m \end{Bmatrix}$$

Sada osnovna jednačina konačnog elementa oblika trougla, prema (9) postaje,

$$\begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & P_{13} \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} \\ P_{31} & P_{32} & P_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} T_i \\ T_j \\ T_m \end{Bmatrix} + \begin{bmatrix} B_{11} & B_{12} & B_{13} \\ B_{21} & B_{22} & B_{23} \\ B_{31} & B_{32} & B_{33} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} \frac{\partial T_i}{\partial t} \\ \frac{\partial T_j}{\partial t} \\ \frac{\partial T_m}{\partial t} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} f_i \\ f_j \\ f_m \end{Bmatrix} \quad (29)$$

Vektor toplotnog izvora za celu strukturu, obzirom na relaciju (28), dobija se tako što se prvo odredi celokupna razvijena snaga u $[W]$ na mestu ležaja, koja se podeli proizvodom $(n \cdot \delta)$, što predstavlja čvrno toplotno opterećenje koje se uzima samo za one čvorove

tačke koje su pod dejstvom toplotnog izvora. Pri ovome "n" predstavlja broj strana praviilnog mnogougla sa kojim je aproksimirana kružnica, po čijem obimu dejstvuje toplotni izvor. Pogodnom metodom, rešavanjem matrice jednačine (29) može se dobiti temperaturski vektor odnosno temperature u čvorovima KE.

4.0 ZAKLJUČAK

Pri termičkom proračunu nosećih struktura mašina alatki uvek se polazi od Furijeove nestacionarne diferencijalne jednačine provodjenja toplote gde se uz određene granične i početne uslove uzima u obzir i termičko opterećenje u vidu toplotnih izvora, pri čijem se određivanju nailazi na određene teškoće. Pošto se postavljena diferencijalna jednačina analitički nije mogla rešiti primenjena je Galerkinova metoda pri čemu je dobijena osnovna jednačina KE. Pri ovome je pretpostavljen konstantan toplotni izvor.

Za usvojeni trouglasti KE i površinski toplotni izvor, izveden je vektor toplotnog izvora koji će poslužiti kao ulazni podatak za termički proračun strukture vreteništa. Nakon određivanja snage trenja na ležajevima glavnog vretena u [W], formiranje komponenti vektora toplotnog izvora je pojednostavljeno. Radi dobijanja tačnijih rezultata, potrebno je u okolini toplotnog izvora usvojiti što je moguće gušću mrežu, što je ograničeno mogućnošću računara. Izračunate temperature čvorova KE na osnovu osnovne jednačine provodjenja toplote, mogu poslužiti kao baza za određivanje deformaciono-naponske slike noseće strukture.

5.0 LITERATURA

- [1] Jakob, M.: Heat transfer, John Wiley, New York, 1952.
- [2] Likov, A.V.: Teorija teploprovodnosti, MAŠGIZ, Moskva, 1981.
- [3] Malić, D.: Termodinamika i termotehnika, Naučna knjiga, Beograd, 1967.
- [4] Marić, M., Maričić, Dj.: Termodinamika i prenos toplote, Mašinski fakultet, Mostar, 1986.
- [5] Necati, M.Ö.: Heat transfer, McGraw-Hill, New York, 1989.
- [6] Mitrinović, D.S.: Diferencijalne jednačine, Naučna knjiga, Beograd, 1972.
- [7] Mitrinović, D.S.: Linearna algebra, Naučna knjiga, Beograd, 1973.
- [8] Pejović, B.: Prilog istraživanju temperaturskog ponašanja mašina alatki na primeru karakteristične noseće strukture, magistarski rad, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad, 1994.
- [9] Vukelja, D.: Termodinamika rezanja, monografija, IAMA, Beograd, 1970.
- [10] Žukovskij, V.S.: Osnovi teorije teploperadači, MAŠGIZ, Moskva, 1960.

ANALYSIS OF THE HEAT SOURCE IN THE MACHINE TOOL MAIN SPINDLE ASSEMBLY AS A PREREQUISITE FOR THE THERMAL BEHAVIOR ANALYSIS

Summary

The paper gives an analysis and a method for determining the size of the heat source resulting from the friction power of the machine tool main spindle, with respect to the spindle arrangement as a supporting structure. For the problem in hand, a surface heat source was adopted as the closest approximation. A heat vector was estimated for a triangular finite element and a linear interpolation function for temperature distribution. The estimation proved satisfactory for lower heat source powers and denser mesh.

Thus obtained results were tested on the example of the spindle arrangement of an universal lathe having hydrodynamic bearings on the main spindle. The results proved to be better than those obtained using a 3-D heat source. The friction power was calculated using Petrov's formula, while the temperature vector of the spindle arrangement structure using the right differentials method.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

P. Stutz, M. Sava*

STRESSES OF DIE-PRESSED IRON POWDER
AN APPROACH TO HYPO-ELASTICITY

Abstract

The paper presents a hypo-elastic model advanced for the iron powder behaviour; we use this theory with continuous transition from elastic to plastic state to modeling the iron powder behaviour. A numerical simulation is realised to the stress-strain evolution during the simple compression of a diepressed iron powder sample.

1. Introduction

Metal powders have been an elasto-plastic behaviour during compaction and it is very difficult to identify the elastic behaviour zone and the plastic zone; the size of these zones evolves during compaction; an analytical elastic theory or a rigid - plastic scheme will idealize the powder behavior. We will use the hypo - elastic theory for modeling the continuous transition from elastic to plastic state for the iron powder.

Nomenclature

σ = Cauchy's stress tensor;	$E_{ij} = d_{ij} = \dot{e}_{ij}$;
$\dot{\sigma}$ = Jaumann's derivative of σ [2];	$\bar{M} = \bar{\sigma}_{ij} \bar{d}_{ij}$;
α_i = scalar functions depending on stress tensor invariants;	$S_1 = 3P = \text{first invariant of } \sigma$;
δ = unity tensor;	$S_2, S_3 = \text{second and third invariants of } \sigma$;
$\dot{e}_{ij} = \dot{d}_{ij}$ = deformation speed tensor;	$E = \text{Young modulus}$;
$E_1 = \text{first invariant of } \dot{d}_{ij}$;	$\rho = \text{relative density}$
$\bar{M} = \text{joint invariant of } \bar{\sigma} \text{ and } \bar{d}$;	
$\bar{\sigma}, \bar{d}$ - deviatoric tensors of σ and d ;	
e_r, e_r - axial and radial strains;	

* Stutz, Pierre, associate professor, University "Joseph Fourier"
Grenoble
Sava Marcela, Technical University of Timișoara

2. The hypo - elastic model

Stutz's hypo - elastic model, written in rheological axes is given [1] by:

$$\hat{\sigma} = (\alpha_0 E_1 + \alpha_3 \bar{M}) \dot{\delta} + \alpha_1 \dot{\epsilon} + (\alpha_2 E_1 + \alpha_4 \bar{M}) \sigma \quad (1)$$

We can decompose (1) in an isotropic part (2) and a deviatoric part (3), such as:

$$\hat{S}_1 = (3\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 S_1) E_1 + (3\alpha_3 + \alpha_4 S_1) \bar{M} \quad (2)$$

$$\hat{\sigma} = \alpha_1 \dot{\epsilon} + (\alpha_2 E_1 + \alpha_4 \bar{M}) \sigma \quad (3)$$

and

$$\frac{\hat{S}_2^2}{2} = \alpha_2 E_1 \bar{S}_2^2 + (\alpha_1 + \alpha_4 \bar{S}_2^2) \bar{M} \quad (4)$$

To a plastic state: $S_1 = ct$, $\bar{S}_1^2 = ct$ and $\hat{S}_1 = \hat{S}_2^2 = 0$, $\dot{\epsilon} \neq 0$, $f(S_1, \bar{S}_2, \bar{S}_1) = 0$. (2) and (4) will give:

$$(3\alpha_0 + \alpha_1) (\alpha_1 + \alpha_4 \bar{S}_2^2) + \alpha_2 (\alpha_1 S_1 - 3\alpha_3 \bar{S}_2^2) = 0 \quad (5)$$

Simple compression: (1) becomes (6)

$$\hat{\sigma}_z = (\alpha_0 E_1 + \alpha_3 \bar{M}) + \alpha_1 \dot{\epsilon}_z + (\alpha_2 E_1 + \alpha_4 \bar{M}) \sigma_z \quad (6)$$

$$E_1 = \dot{\epsilon}_z + 2\dot{\epsilon}_r; \quad \bar{M} = \frac{2}{3} \sigma_x (\dot{\epsilon}_x - \dot{\epsilon}_r)$$

$$\hat{\sigma}_r = 0 = (\alpha_0 E_1 + \alpha_3 \bar{M}) + \alpha_1 \dot{\epsilon}_r \quad (6')$$

The Poisson's ratio can be calculated with:

$$\frac{\dot{\epsilon}_r}{\dot{\epsilon}_z} = \frac{-(\alpha_0 + \frac{2}{3} \alpha_3 \sigma_x)}{2\alpha_0 + \alpha_1 - \frac{2}{3} \alpha_3 \sigma_x} = -\nu \quad (7)$$

To the plastic state we consider $\nu = \nu_0 = \text{constant}$ and we have calculated it using the experimental results from fig.1.

From (7), α_3 is:

$$\alpha_3 = \frac{3}{2} \frac{(2\alpha_0 + \alpha_1)v_p - \alpha_0}{(1+v_p)\sigma_{zp}} \quad (8)$$

and with (8) substituted to (5),

$$\alpha_4 = \frac{\alpha_2\sigma_{zp}(2v_p-1) - \alpha_1(1+v_p)}{\frac{2}{3}\sigma_{zp}^2(1+v_p)} \quad (9)$$

(6) and (7) give (10), where α_3 and α_4 are given by (8) and (9):

$$\hat{\sigma}_z = \hat{\epsilon}_z \frac{\alpha_1(3\alpha_0 + \alpha_1) + \alpha_1\alpha_2\sigma_z + \frac{2}{3}\sigma_z^2[\alpha_4(3\alpha_0 + \alpha_1) - 3\alpha_2\alpha_3]}{2\alpha_0 + \alpha_1 - \frac{2}{3}\alpha_3\sigma_z} \quad (10)$$

3. Calculus of α_0 and α_1

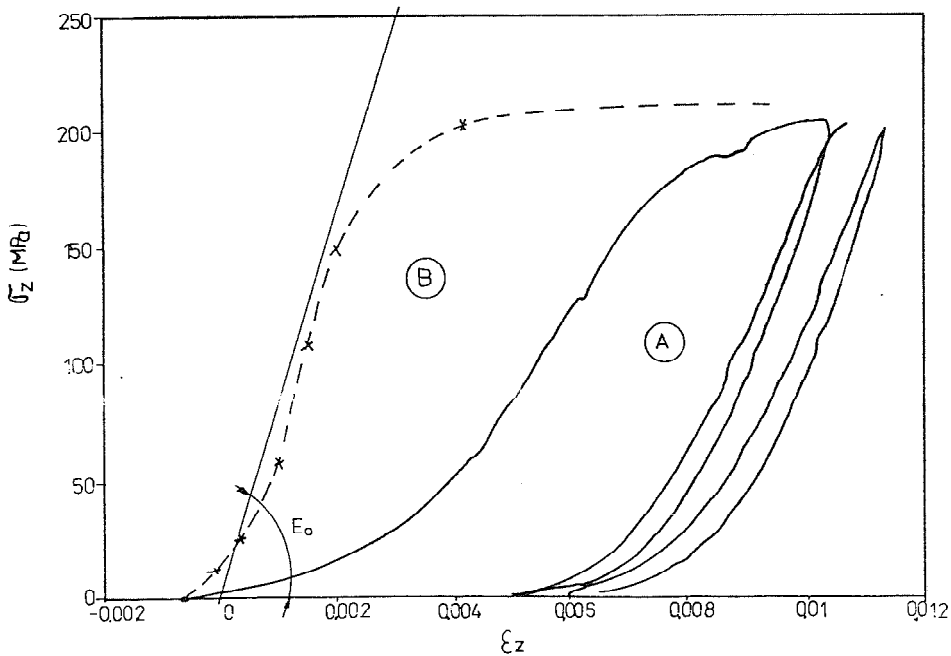


Fig.1 Stress-strain distribution during simple compression - experimental results and stress-strain to the plastic state

Fig.1 shows the experimental axial normal compaction stress (σ_z) versus axial strain (ϵ_z) to the plastic state; we have used a die-pressed iron sample precompacted to a relative density $\rho=0.9$. Simple compression tests (cyclic loading-unloading) were carried out as shown in fig.1. The curve "B" (for the plastic state) was obtained by subtracting the elastic part from curves "A" [3].

At the beginning of the curve "B", $\sigma_z=0$ and the relationship (10) gives:

$$\hat{\sigma}_z = \epsilon_z \frac{\alpha_1(3\alpha_0 + \alpha_1)}{2\alpha_0 + \alpha_1}; \quad \hat{\sigma}_z = E_0 \epsilon; \quad E_0 = \frac{\alpha_1(3\alpha_0 + \alpha_1)}{2\alpha_0 + \alpha_1} \quad (11)$$

E_0 has been the Young's modulus at the beginning of the curve "B" (fig.1); the calculate value is $E_0=81598$ MPa. If we consider α_1 and α_0 like Lamé's parameters (2μ and λ), we have:

$$E = \frac{\mu(3\lambda + 2\mu)}{\lambda + \mu}, \quad \nu = \frac{\lambda}{2(\lambda + \mu)}, \quad \alpha_1 = 2\mu, \quad \alpha_0 = \lambda \quad (12)$$

Poisson's ratio at the beginning of the simple compression curve is given by:

$$\nu_0 = \frac{\alpha_0}{2(\alpha_0 + \frac{\alpha_1}{2})} \quad (13)$$

Using (12) with $E=E_0=81598$ MPa and (13), we obtain α_0 and α_1 for different values of ν_0 .

4. Calculus of α_1 and α_0

Using the isotropic part (2) of (1), for an isostatic compaction we have:

$$\hat{S}_1 = (3\alpha_0 + \alpha_1 + \alpha_2 S_1) E_1 \Rightarrow \alpha_2 = \frac{3mp - 3\alpha_0 - \alpha_1}{S_1} \quad (14)$$

$$E_1 = \frac{dp}{\rho dt}, \quad \hat{S}_1 = \frac{3dP}{dt}, \quad m = \frac{dP}{dp} \quad (15)$$

m =slope of the isostatic compaction curve [4].

Using a polynomial fit of the isostatic compaction curve [4] as:

$$P=1813.13-5597.51\rho+4461.65\rho^2 \quad (16)$$

we can establish m and α_2 (for $\rho=0.9$).

5. Calculus of α_3 and α_4

We are using the yield surface (17) [4] shown in Fig.2.

$$\bar{S}_2 = k(S_1 - x)^n (S_{1,iso} - S_1)^p \quad (17)$$

$k=0.1867$, $n=0.5155$, $p=0.57$, $x=-80(\text{MPa})$, $S_{1,iso}=1200(\text{MPa})$, for $\rho=0.9$.

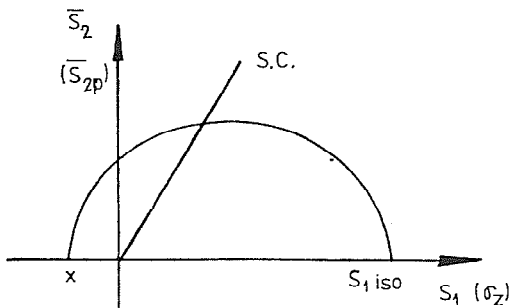


Fig.2 Yield surface

Considering $\rho=0.9$, we have to notice that to each σ_z following the straight line of simple compression (S.C.) there is a limit value on the yield surface $(S_2)_p$ ("p" from plastic state).

The calculus of α_3 and α_4 involves some changes in the relationships (8) and (9), such as: we will replace σ_{zp} by $\sqrt{3}/2(\bar{S}_2)_p$ in (8) and σ_{zp}^2 by $\sigma_z^2 \sqrt{3}/2(\bar{S}_2)_p$ and σ_{zp} by σ_z in (9). These terms are calculated using (17) [4].

6. Numerical simulation of the stress-strain distribution

Using the presented hypo-elastic theory which is introduced in a computer program (to integrate the relationship (10)), we have obtained a simulation of the evolution of axial normal stress and strain of an iron powder sample, as shown in fig.3.

7. Conclusion

The validity of the compaction model proposed in this paper can be shown by comparing the results curve (fig.3) with the experimental curve (fig.1). The program validity don't depends on

the relative density; we didn't have many experimental data.

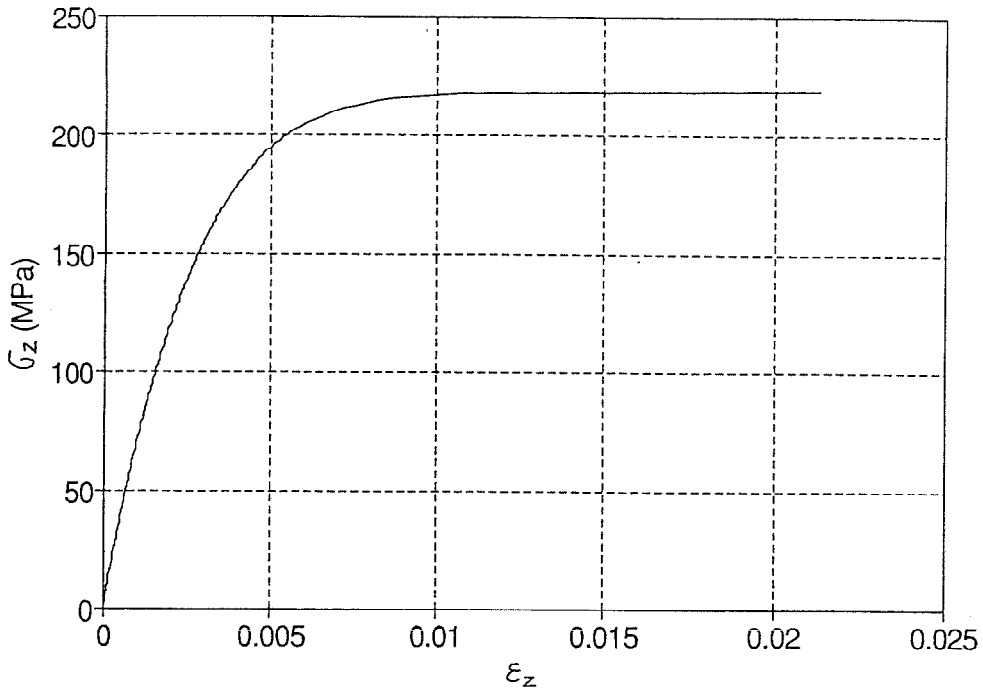


Fig.3 The distribution of axial stress and strain, calculated using numerical simulation

8. References

- [1] STUTZ, P., Contribution a l'etude de la loi rheologique des milieux pulverulents; these de doctorat a l'Universite Scientifique et Medicale de Grenoble, 1972, pag 71/78.
- [2] Jaumann, G., Geschlossenes system physickalischer und chemischer differenzialgesetze-Sitzber. Akad. Wiss Wien (IIa), 1911 pag 385/530.
- [3] Mosbah, P., Memoire de D.E.A., Grenoble, 1991, pag 30/36.
- [4] Sava, M., Rapport de stage, Grenoble, 1993, pag 17/20.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

D. Vukićević, D. Petković, P. Blagojević, P. Janković*

**ARMIRANO BETONSKA NOSEĆA STRUKTURA PRESE -
MATEMATIČKO MODELIRANJE I NAČIN ARMIRANJA**

Rezime

U radu se daje prilog istraživanju primene armiranog betona kao gradivnog ma-terijala u izradi nosećih struktura mašina statičkog dejstva u tehnologijama plastičnosti. Zbog činjenice da svojstva kompozitnih materijala zavise od rasporeda vlakana, potrebno je izvršiti analizu rasporeda napona realnog modela. Analiza je izvedena MKE i rezultati su prikazani u ovom radu.

1. UVOD

Poznato je, da noseća struktura, odnosno telo prese predstavlja njen osnovni deo čiji je zadatak da:

- sve ostale delove mašine poveže u jedinstvenu celinu,
- primi radna i druga opterećenja mašine i
- obezbedi potrebne dimenzije i veličinu radnog prostora.

Zbog toga, je dimenzionisanje i izbor materijala noseće strukture od vitalnog značaja, jer je povezano sa pitanjem njene statičke i dinamičke stabilnosti što se direktno odražava na tačnost i ukupni kvalitet mašine.

2. MATERIJAL

U izradi nosećih struktura koriste se uglavnom sivi liv, čelični liv, nodularni liv i čelik u zavarenim konstrukcija. Prednosti sivog liva su što se lako oblikuje, i ima dobru sposobnost prigušenja oscilacija, a nedostatak je mala žilavost. Čelična zavarena konstrukcija, pak ima veći modul elastičnosti, ali i manju sposobnost prigušenja oscilacija.

* Dr Dušanka Vukićević, vanr. prof. Mašinskog fakulteta u Nišu,
Dr Dušan Petković, vanr. prof. Gradjevinskog fakulteta u Nišu,
Predrag Blagojević, asistent Gradjevinskog fakulteta u Nišu,
Predrag Janković, asistent Mašinskog fakulteta u Nišu

Primena betona u mašinstvu nije nova. Postoje primeri primene betona za izradu kalupa za livenje i postolja i nosećih struktura mašina za obradu rezanjem.

Beton ima veliku otpornost na pritisak i dobru sposobnost prigušenja oscilacija. Glavni nedostatak betona je mala otpornost na zatežuće napone, zbog čega se i vrši njegovo armiranje. Uključivanjem vlaknastog ojačanja u beton, poboljšavaju se konstruktivne karakteristike osnovnog materijala, kao što su čvrstoća na istezanje, savijanje, otpornost na lom (žilavost), na udar i prskanje.

3. ANALIZA

Imajući u vidu, da je pri dimenzionisanju nosećih struktura mašina u tehnologijama obrade materijala deformisanjem primarno dozvoljeno elastično deformisanje pri maksimalnom radnom opterećenju, odnosno pri deklariranoj nominalnoj sili, pošto se statička i dinamička stabilnost direktno odražavaju na veličinu odstupanja izvršnih delova mašine od idealne putanje, a time i veličinu odstupanja radnih delova alata i obradka u procesu obrade, to su s aspekta čvrstoće sve noseće strukture ovih mašina predimenzionisane. Ovo je i bio jedan od meritornih razloga o razmišljanju da se umesto klasičnih materijala pristupi istraživanju u domenu primene nekonvencionalnih materijala.

S tim u vezi izvršen je izbor modela na kome će se sprovesti sva neophodna istraživanja, odnosno noseća struktura jedne mašine za ugaono savijanje lima iz programa fabrike "FAM-MIN" Niš.

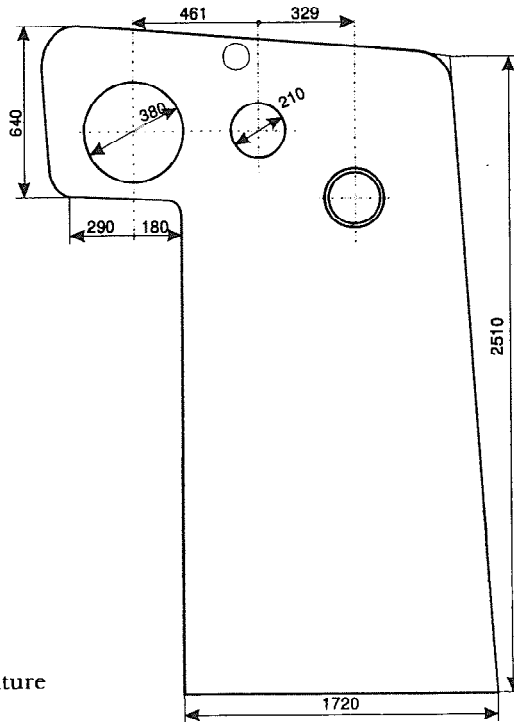
Po našoj proceni geometrija noseće strukture prese KMAP 100 omogućava primenu armiranog betona. U tom smislu, pre eksperimentalnih istraživanja odlučeno je da se metodom konačnih elemenata izvrši provera naponskog i deformacionog stanja izabranog modela, odnosno dodje do potrebnih parametara za definisanje njegove konfiguracije i dimenzija u armiranom betonu. Naime, specifičnosti armiranog betona i naponsko-deformaciono stanje konstrukcije zahtevaju izvesne korekcije oblika noseće strukture, što bitno ne utiče na funkcionalnost iste.

Neki rezultati na ovom problemu prezentiraju se u ovom radu. Izvršena je diskretizacija realne noseće strukture na način kako je to prikazano na slici 1. (a, b).

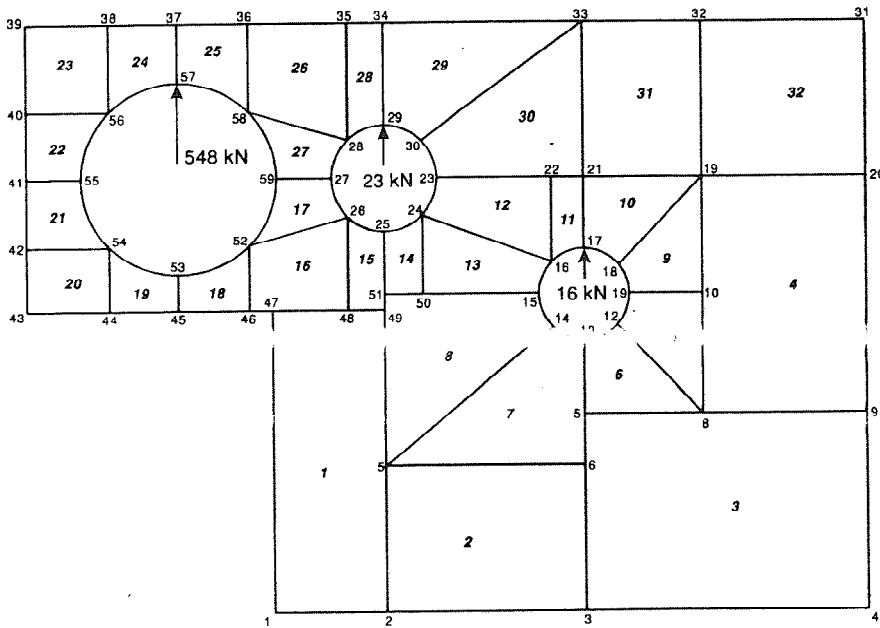
U ovoj fazi smo se opredelili za višedelnu noseću strukturu. Izlivanje armirano betonske noseće strukture u metalnoj oplati omogućava zadržavanje oblika u svemu istog kao kod čelične, osim debljine. Mogućnost zavarivanja i odgovarajućeg negovanja skraćuje vreme izrade i garantuje kvalitet.

Ova noseća struktura se pod dejstvom spoljašnjih uticaja nalazi u stanju ravnog naprezanja ili ravne deformacije. To omogućava da se proračun svede u okviru dvodimenzionalne analize. Geometrija i uslovi oslanjanja konstrukcije su takvi da se u analizu ne mogu uneti egzaktno, već samo približno. S toga su neminovna numerička rešenja. MKE se veoma uspešno primenjuje u rešavanju problema ove vrste u okviru linearne i nelinearne analize.

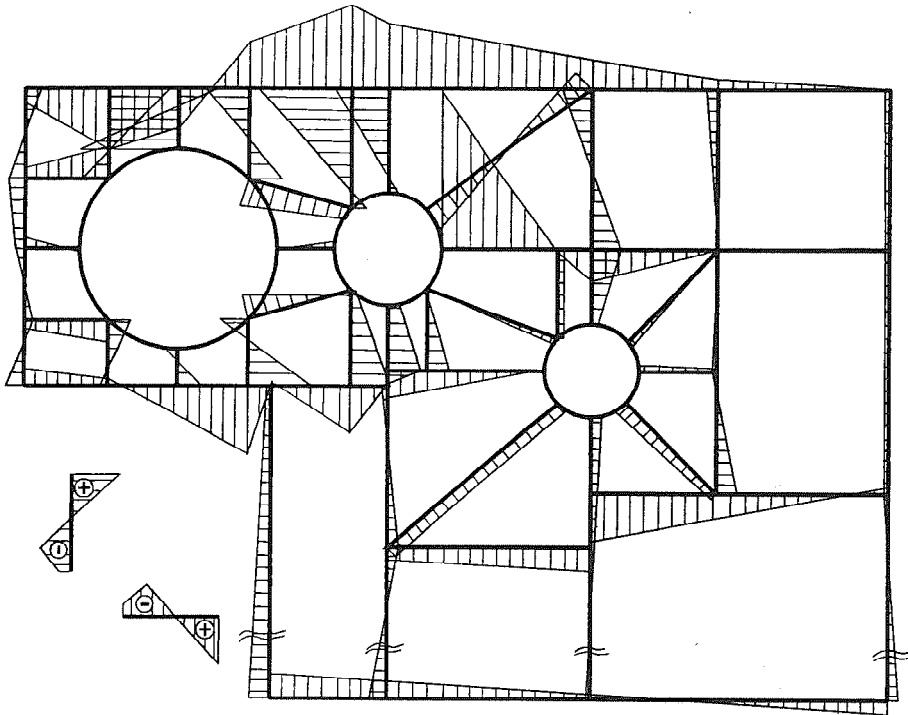
U narednim prilozima prikazuju se rezultati proračuna napona i deformacija armirano betonske noseće strukture.



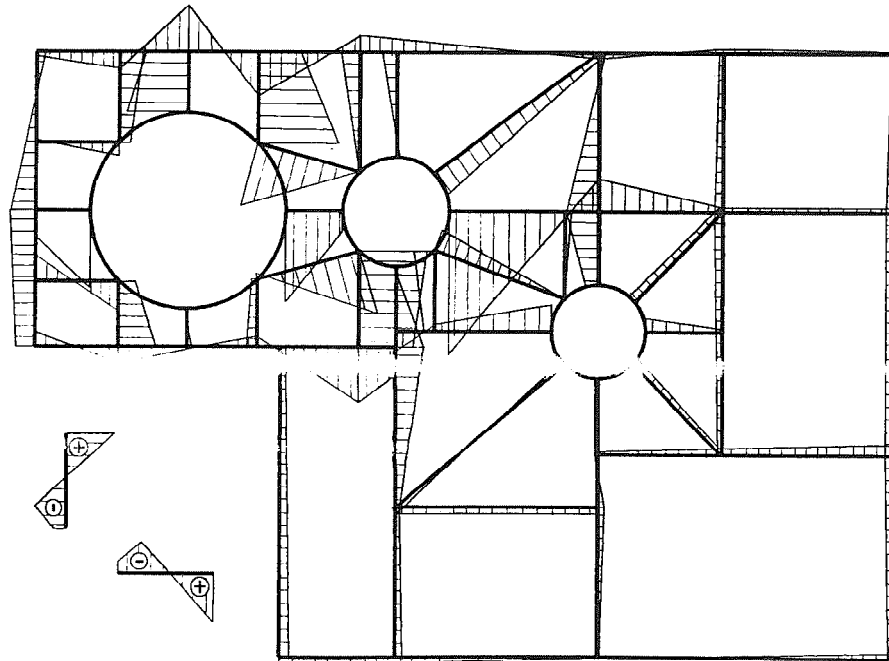
Slika 1. a)
Realni model noseće strukture



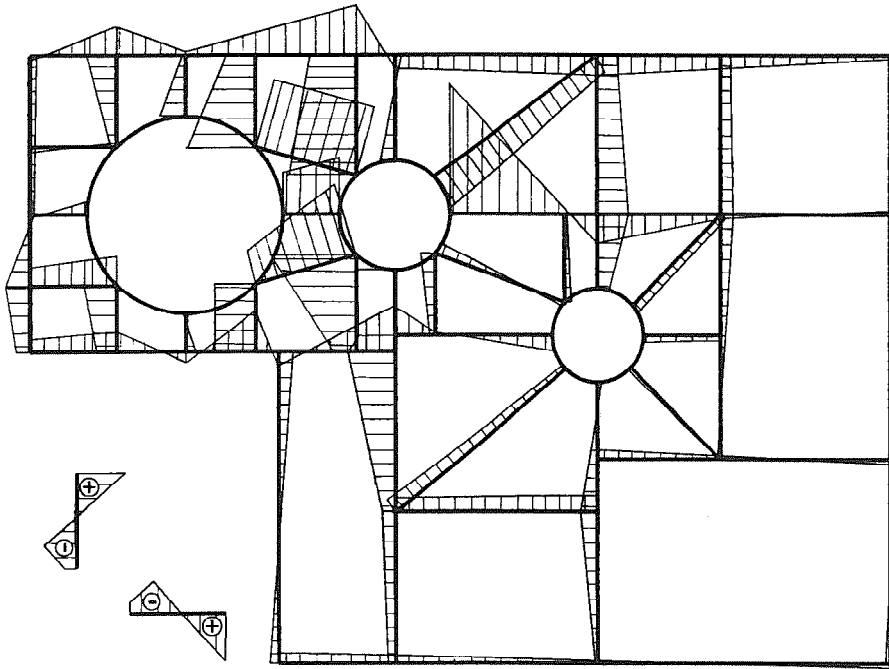
Slika 1. b) Diskretizovani model noseće strukture



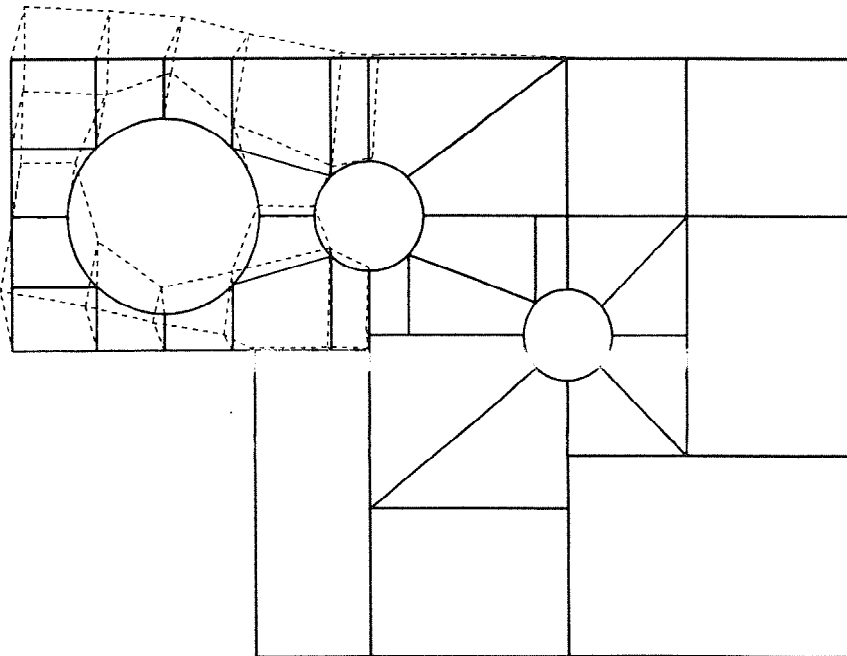
Slika 2. Raspored σ_x napona



Slika 3. Raspored τ_y napona



Slika 4. Raspored τ_{xy} napona



Slika 5. Pomeranja čvorova pod dejstvom opterećenja (razmera 1:1000)

3. ZAKLJUČAK

Iz dijagrama dobijenih analizom uočavaju se mesta koja su izložena zatežućim naponima, pa pošto beton ne trpi istežanje na tim mestima treba postaviti armaturu odgovarajuće jačine. Kritično mesto na nosećoj strukturi je dijagonala između čvorova 47 i 28 (Sl. 1.b).

Maksimalna pomeranja se javljaju u tačkama na ivicama konzole i iznose oko 1,5 mm u y-pravcu.

4. LITERATURA

- [1] Popović, P., Temeljkovski, D., Mašine za obradu deformisanjem II deo, Univerzitet u Nišu, 1991.
- [2] Vukićević, D., Petković, D., Blagojević, P., Janković, P., Noseće strukture mašina u tehnologijama plastičnosti od kompozitnih materijala, Zbornik radova 24. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, 16.18. septembra 1992. godine.

D. Vukićević, D. Petković, P. Blagojević, P. Janković

REINFORCED CONCRETE BEARING STRUCTURES OF METAL FORMING PRESS MACHINES - MATHEMATICAL MODEL AND REINFORCEMENT ASSEMBLE

Summary

This paper studies a possibility of applying reinforced concrete as a new material in manufacturing of the machines bearing structures in plasticity technologies. It is a fact that mechanical characteristics of such composite materials depend on concrete steel bars disposition. The tension analysis of the real model was performed by means of FEA and the results are shown in the paper.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M.Zeljковиć, Lj.Borojev, J.Andrić, J.Rekecki, R.Gatalo*

ISPITIVANJE OPTERETIVOSTI AUTOMATSKOG INDEKSIRAJUĆEG STOLA

Rezime:

Eksperimentalna ispitivanja koja se izvode u okviru Laboratorije za mašine alatke IPM-FTN u Novom Sadu su usmerena u više pravaca. Jedan od njih predstavlja razvoj metodologija ispitivanja novih konstrukcionih rešenja. Drugi se odnosi na sama ispitivanja i to kako prototipova, tako i izabranih predstavnika iz proizvodnje radi utvrđivanja njihovih karakteristika ili ponašanja.

Ovaj rad predstavlja doprinos prvom pravcu i odnosi se na razvoj metodologije ispitivanja automatskih indeksirajućih stolova, prema kojoj je definisan postupak i izvršeno ispitivanje razvijenog prototipskog rešenja. Ovim je obuhvaćeno ispitivanje opteretivosti, što je prikazano u radu, i geometrijske tačnosti.

1.0 UVOD

Jednu od važnih faza razvoja proizvoda, posebno kod inovacionog projektovanja, predstavlja eksperimentalno ispitivanje realizovanog rešenja radi što pouzdanijeg uvida u ponašanje istog pri eksploataciji. U mnogim slučajevima metodologija ispitivanja nije jednoznačno definisana, te je često neophodno, zavisno od objekta i raspoložive instrumentacije, definisati metodologiju i postupak ispitivanja. Pri korišćenju prezentiranih podataka treba uvek imati u vidu i metodologiju, tj. način na koji sa došlo do prikazanih rezultata. Sem toga, pri postavljanju postupka ispitivanja treba voditi računa i o njegovoj svrsi tj. da li ono ima za cilj proveru projektovanog rešenja ili se koristi u serijskoj proizvodnji nekog proizvoda.

Imajući prethodno u vidu, u radu je prezentiran pokušaj da se definiše postupak ispitivanja opteretivosti automatskih obrtnih stolova i isti proveriti na primeru konkretnog konstrukcionog rešenja. Pri tome se pod ispitivanjem opteretivosti podrazumeva određivanje područja dozvoljenog opterećenja pri eksploataciji i to deklarisanjem njegove maksimalne veličine i uvidom u ponašanje do te vrednosti.

2.0 ISPITIVANJE OPTERETIVOSTI

2.1 Objekat Ispitivanja

Automatski indeksirajući sto namenjen je za prihvatanje obradaka pri izvođenju operacija obrade glodanjem, bušenjem, razvrtnjem i sl., i obezbeđuje ugaono zakretanje

*) Rekecki dr Jožef, dipl.ing., redovni profesor u penziji, Gatalo dr Ratko, dipl.ing., redovni profesor, Borojev mr Ljubomir, dipl.ing., asistent, Zeljković mr Milan, dipl.ing., asistent, Fakultet tehničkih nauka, INSTITUT ZA PROIZVODNO MAŠINSTVO, Novi Sad, V.Perića Valtera 2.
Andrić Josip, dipl.ing., "MAJEVICA", Bačka Palanka

obradka radi dovođenja odgovarajuće površine u potrebnu poziciju prema alatu. Uglavnom se koristi kod obradnih centara.

Automatski indeksirajući sto izveden je sa paletom, i sa stanovišta funkcionalnosti sačinjavaju ga sledeći osnovni elementi: donje telo - postolje, gornje telo - radni sto, pogonski motor, puž, pužni točak, merni sistem ugaonog položaja vratila motora, tanjirasti (čeon) zupčanici sa Hirth ozubljenjem za tačno i kruto pozicioniranje, hidraulični cilindar sa klipom za stezanje i podizanje radnog stola, podizač - stezač palete sa odgovarajućim hidroklopovima i cilindrima i sama paleta.

Tehničke karakteristike stola, značajne za izvedena ispitivanja, su:

- gabaritne dimenzije	455x680x358	[mm]
- dimenzije palete	500x500	[mm]
- broj podela / minimalna rezolucija	360/1°	
- radni pritisak	40	[bar]
- hod izdizanja stola	1.9	[m]
- hod podizanja palete	13	[mm]

2.2 Postupak ispitivanja

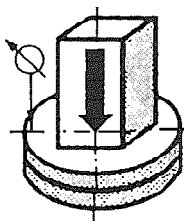
Pri eksploataciji je konstrukcija stola izložena složenom naprezanju zbog dejstva sile rezanja i mase obradka. Ovakvo opterećenje je posmatrano u pojedinim ravnama, pa su pri razmatranju opteretivosti obuhvaćeni sledeći elementarni slučajevi:

- aksijalno opterećenje usled mase obradka i sile rezanja;
- aksijalno opterećenje usled mase obradka pri promeni pozicije stola;
- radijalno opterećenje;
- moment preturanja i
- tangencijalni moment,

Ispitivanje je realizovano prema postupku, koji se navodi u nastavku.

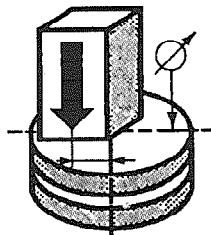
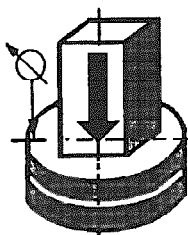
Aksijalno opterećenje zbog mase obradka i sile rezanja

Ispitivanje je izvedeno u cilju definisanja dozvoljene maksimalne vrednosti aksijalne sile i uvida u aksijalnu krutost konstrukcije. Isto je realizovano simulacijom rezultante mase obradka i vertikalne komponente sile rezanja. Opterećenje je vršeno po vertikalnoj osi stola, i to stupnjevito. Pri tome je mereno pomeranje u pojedinim tačkama gornje površine palete, kako u ciklusu opterećenja, tako i rasterećenja. Ispitivanje je izvedeno pri stegnutoj položaju i palete i tanjirastih zupčanika stola.



Aksijalno opterećenje zbog mase obradka pri promeni pozicije stola

Ispitivanje je vršeno u svrhu deklarisanja maksimalne vrednosti mase obradka, pri kojoj je obezbeđena ispravna promena pozicije stola. Isto je izvedeno simulacijom mase obradka. Pri stupnjevitom opterećenju i rasterećenju meren je položaj pojedinih tačaka gornje površine palete. Opterećenje je vršeno po vertikalnoj osi, tj. centrično i van nje, odnosno ekscentrično. Ispitivanje je izvedeno pri podignutom stolu, tj. razdvojenim tanjirastim zupčanicima i stegnutoj paleti, što predstavlja jednu od faza radnog takta stola. U slučaju ekscentričnog opterećenja se na osnovu ovakvog ispitivanja može deklarirati i moment preturanja pri podignutom stolu na bazi veličina opterećenja i ekscentriciteta.

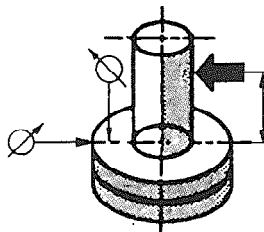
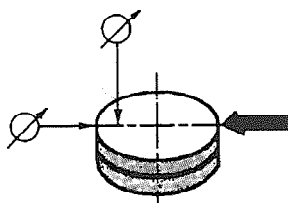


Radijalno opterećenje

Ispitivanje je izvedeno radi deklarisanja maksimalne vrednosti radijalne sile i uvida u radijalnu krutost stola sa paletom. Realizovano je uz stupnjevito radijalno opterećenje i rasterećenje u ravni gornje površine palete, i to u dva pravca: u pravcu postavljanja palete na sto (0°) i normalno na njega (90°). Pri tome je mereno pomeranje pojedinih tačaka palete i to u pravcu opterećenja i normalnom pravcu u vertikalnoj ravni, pri stegutom stolu i paleti.

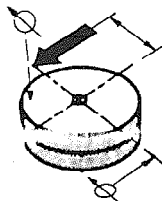
Moment preturanja

Pri eksploataciji indeksirajućeg stola, kao posledica radijalnog opterećenja na velikom kraku od tanjirastih zupčanika, može doći do otvaranja istih, pa je neophodno definisati dozvoljenu vrednost momenta preturanja. Postepenim opterećivanjem radijalnom silom na definisanom rastojanju od površine palete i merenjem pomeranja određenog broja tačaka gornje i bočnih površina palete, izvedeno je ispitivanje, prema kojem se može deklarirati moment preturanja. Merenje je realizovano pri stegutoj paleti i tanjirastim zupčanicima stola, uz opterećenje u pravcu postavljanja palete na sto i normalno na njega u horizontalnoj ravni.



Tangencijalni moment

Dejstvo horizontalne sile u ravni palete na određenom rastojanju od ose obrtanja ima za posledicu uvijanje stola, te je neophodno deklarirati i dozvoljenu vrednost tangencijalnog momenta. Ispitivanje tangencijalnog momenta je izvedeno stupnjevitim opterećivanjem i rasterećivanjem na određenom rastojanju od ose stola i to u pravcu postavljanja palete na sto i normalno na njega. Pri tome su stegnute i paleta i tanjirasti zupčanici. Pomeranje palete mereno je u više tačaka njene gornje površine i bočnih stranica.



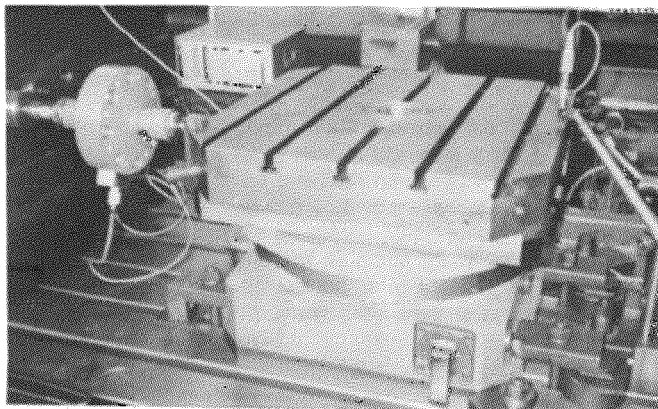
2.3 Instrumentacija za ispitivanje

Generisanje sile je vršeno posebno projektovanim i izrađenim priborom na bazi zavojnog vretena i navrtke. Zbog potrebe stvaranja i velikih opterećenja, navrtka se na kruto postolje oslanjala preko aksijalnog kugličnog ležaja. Radi obezbedjenja ispravnog položaja vretena preko kojeg se prenosi opterećenje na paletu, njihov kontakt je ostvaren preko kuglice.

Za merenje sile korišćen je induktivni dinamometar - Q3/10.000 uz odgovarajući pojačivač - KWS 6A- 5, a merenje pomeraja je vršeno pomoću induktivnih davača puta - W1T2 (Hottinger Baldwin Messtechnik). Registrovanje sile i pomeraja izvedeno je pomoću Y - X pisača B-133 (Rikadenki Kogyo).

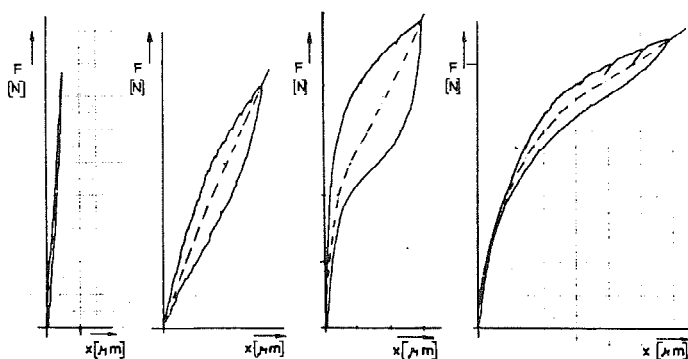
3.0 REZULTATI ISPITIVANJA

Prema navedenom postupku je izvršeno ispitivanje automatskog indeksirajućeg stola sa paletom, i to uz veći broj ponovljenih merenja. U nastavku su dati neki od tih rezultata. Izgled mernog mesta za jedno od izvedenih merenja ilustrovan je fotografijom na sl.1.



Sl.1 Detalj ispitivanja opteretivosti indeksirajućeg stola sa paletom

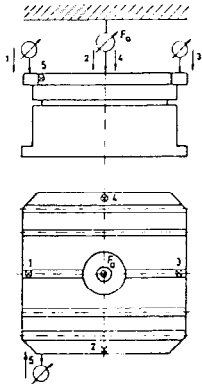
Ponašanje konstrukcije stola sa paletom praćeno je merenjem pomeranja u pojedinim tačkama i to pri porastu sile do maksimalne vrednosti, i njenim smanjenjem do nule. Za svaku mernu tačku snimani su dijagrami. Na sl.2 su prikazani karakteristični oblici snimljenih dijagrama za izvedena merenja.



Sl.2 Karakteristični oblici snimljenih dijagrama pomeranja u zavisnosti od opterećenja

Kao što se iz dijagrama vidi, prisutna je pojava histerezisa. Veličine pomeraja navedene u tabelama rezultata su srednje vrednosti ciklusa opterećenja i rasterećenja i to za sva ponovljena meranja. Podaci su navedeni za četiri vrednosti opterećenja ($1/4$; $1/2$; $3/4$ i 1) F_{max} . Napominje se takođe da linije snimljenih dijagrama nemaju uvek potpuno kontinualni karakter. Ovo za same rezultate nije od značaja, a razlog je ručno manipulisanje generatorom sile i u nekim slučajevima malo popuštanje elemenata opterećenog sklopa.

Ispitivanje aksijalnog opterećenja zbog mase obradka i sile rezanja je izvedeno po ranije prikazanom postupku, uz merenje pomeranja u pet tačaka (sl.3). Na slici je uz horizontalnu projekciju naznačeno 0° . Ovo ispitivanje je izvedeno sa samo tim položajem stola i palete, za razliku od nekih drugih, gde je merenje ponovljeno i pri zakretanju od 90° što je takođe naznačeno. Rezultati merenja u okviru ovog ispitivanja su prikazani u tabeli T.1.

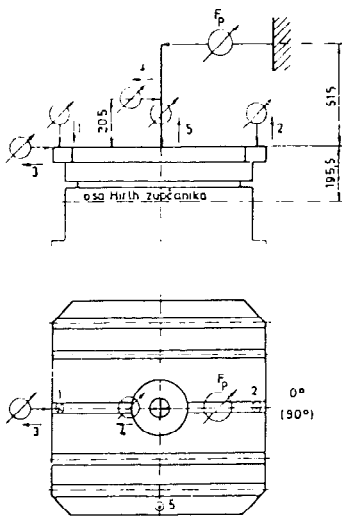


Sl.3 Dispozicija ispitivanja aksijalnog opterećenja zbog mase obradka i sile rezanja

Tabela T.1

Merna tačka	OPTEREĆENJE F_a [N]				Maks. vredn. histerezisa
	7500	15000	22500	30000	
	POMERAJ [μ m]				[μ m]
1	4.5	7	10	13	2
2	3.5	7.5	11	13.5	2
3	3	5.5	10	12	1
4	4	9	13	17	0
5	3.5	5.5	8	9.5	2.5

Ispitivanje momenta preturanja izvedeno je prema dispoziciji merenja prikazanoj na sl.4. Imajući u vidu da sila F_p , osim što stvara moment preturanja, izaziva i radijalne deformacije, predviđen je veliki krak. Na taj način je manje izražen uticaj radijalne krutosti pri ovom ispitivanju. Usvojeni krak odgovara približno maksimalnoj visini radnog prostora obradnog centra na kome se predviđa primena ispitivanog stola. Rezultati ispitivanja za oba položaja stola su dati u tabeli T.2. Na osnovu rezultata ispitivanja može se konstatovati da je ispitivanje izvedeno sa najvećim momentom preturanja 5684 [Nm].



Sl.4 Dispozicija ispitivanja momenta preturanja

Tabela T.2a

Merna tačka	OPTEREĆENJE F_p [N] - 0°				Maks. vredn. histerezisa
	7500	15000	22500	30000	
	POMERAJ [μ m]				[μ m]
1	13.5	27	44	83	24
2	13.75	35	75	217.5	75
3	15	33	63	137	40
4	31.25	61.25	115	247.5	75
5	6	12	27	79	46

Tabela T.2b

Merna tačka	OPTEREĆENJE F_p [N] - 90°				Maks. vredn. histerezisa
	7500	15000	22500	30000	
	POMERAJ [μ m]				[μ m]
1	11.5	27.5	50	89	25
2	13.75	45	110	242.5	75
3	13	35	72	157	54
4	36.25	92.5	187.5	380	120
5	2.5	6.5	30	97	50

4.0 ZAKLJUČNE NAPOMENE

Rezultate prikazane u radu moguće je posmatrati sa dva stanovišta. Prvi se odnosi na ocenu same metodologije, a drugi na procenu konkretno dobijenih vrednosti. Imajući u vidu svrhu i postavljeni cilj ispitivanja, može se konstatovati da je realizovano ispitivanje izvedeno uspešno, i da se prema dobijenim rezultatima mogu deklarirati merodavne karakteristike opteretivosti automatskog indeksirajućeg stola sa paletom.

U cilju uvida u kvalitet ispitivanog indeksirajućeg stola sa paletom po pitanju karakteristika opteretivosti, daje se tabela (T.3) ovih vrednosti za izvedena rešenja i drugih proizvođača. Vidi se da je većina ovih karakteristika data za stolove bez palete, a radni pritisak je od 30 do 40 [bara]. Na osnovu rezultata ispitivanja može se konstatovati da su

Tabela T.3

R. br.	Proizvođač	Tip	KARAKTERISTIKE OPTEREĆENJA					
			masa obr. [kg]	F _a [N]	M _p [Nm]	F _r [N]	M _p [Nm]	M _t [Nm]
1	I	Fibrotakt 4	600	30000	550	-	5950	10400
2	II	WG3	800	25000	-	-	3150	2500
3	III	TAME - sa paletom	-	-	-	-	4000	3000
4	IV	TR4	750	23500	-	14000	3000	660
5	Ispitivani sto	ASI 400.05	1000	30000	200	15000	5000	3700

ostvarene projektovane karakteristike opteretivosti indeksirajućeg stola, kao i da se iste nalaze u granicama izvedenih rešenja svetski priznatih proizvođača komponenata mašina alatki, što se vidi iz tabele T.3.

5.0 LITERATURA

- [1] Rekecki, J., Zeljković, M., Gatalo, R., Borojev, Lj., Hodolič, J., Novaković, D. : Razvoj vitalnih komponenata NU obradnog centra i fleksibilnih tehnoloških struktura na bazi obradnog centra (I faza), elaborat projekta, Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad, 1989.
- [2] Borojev, Lj., Zeljković, M., Gatalo, R.: Automatski indeksirajući sto sa paletom - ASI 400.05, elaborat ispitivanja, Institut za proizvodno mašinstvo FTN, Novi Sad, 1993.
- [3] Krsmanović, Lj., Vučković, I. : Metod laboratorijskih merenja - opšti principi tehničkih merenja, Mašinski fakultet, Beograd, 1979.
- [4] Weck, M. : Werkzeugmaschinen, Band 3, 4, VDI Verlag, Dusseldorf, 1978.

INVESTIGATION OF AN AUTOMATIC INDEXING TABLE LOAD CARRYING ABILITY

Summary

Experimental research performed at the IPM-FTN Machine tools laboratory is aimed in two directions. One of them represents the developments of new constructions verification methods. The other refers to testing of both prototypes and selected items from the production process in order to determine their features and behavior.

The paper represents a contribution to creating a methodology for automatic indexing tables testing, according to which the concrete procedure for a complete prototype testing has been defined and carried out, including the investigation of loadability presented in this paper.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

S. Aleksandrović

**JEDNA MOGUĆNOST PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE I ALATA
PRI DUBOKOM IZVLAČENJU LIMOVA PRIMENOM CAD-a**

REZIME

Rad obuhvata prikaz softvera koji je usmeren u dva pravca. Jedan je podrška određivanju tehnoloških parametara procesa čistog dubokog izvlačenja limova, a drugi, definisanje konstruktivnih podataka radnih elemenata alata. Za svaku dimenziju radnog komada definišu se svi bitni tehnološki podaci i generišu DXF-fajlovi uz pomoć kojih se u Auto-CAD^R-u direktno dobijaju kompletni radionički crteži pomenutih elemenata alata. Na ovaj način izbegava se klasično crtanje u Auto-CAD^R-u, a DXF fajl je sredstvo za komunikaciju program - Auto-CAD^R.

1. UVOD

Od svih CAD programa za PC računare, bez sumnje, dominantno mesto zauzima Auto-CAD^R zbog najboljeg odnosa mogućnosti-cena. U uslovima naše tehnološke prakse, međutim, primena Auto-CAD^R-a zasniva se najčešće na crtanju tehničkih crteža što je samo deo mogućnosti ovog programskog paketa. Naime, vrlo je čest slučaj da postoji potreba za izradom crteža delova načelno istog oblika ali promenljive geometrije (u smislu promenljivih dimenzija geometrijskih parametara koji opisuju oblik). U takvim slučajevima nije moguće prosto promenom razmere celokupnog dela dobiti novi crtež, jer neke dimenzije mogu da rastu, opadaju ili ostanu iste u odnosu na bazni predmet. U ovom radu je učinjen pokušaj rešavanja tog problema na jedan od načina koje nudi Auto-CAD^R (formiran je DXF fajl). Naravno, prethodno je formiran program koji proračunava sve bitne parametre procesa i konstruktivne podatke alata.

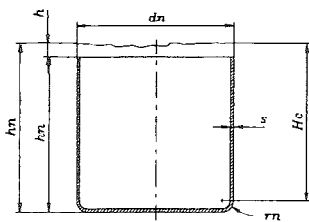
2. DEFINISANJE KONKRETNOG PROCESA OBRADE

Reč je o procesu čistog dubokog izvlačenja tankog lima. On je definisan preko sledećih osnovnih elemenata: radni predmet, alat i mašina.

Radni predmet je cilindrični komad bez venca sa ravnim dnom. Geometrija komada

Mr Srbislav Aleksandrović dipl.ing., asistent, Mašinski fakultet Kragujevac, S. Janjić 6

se vidi na sl.1.



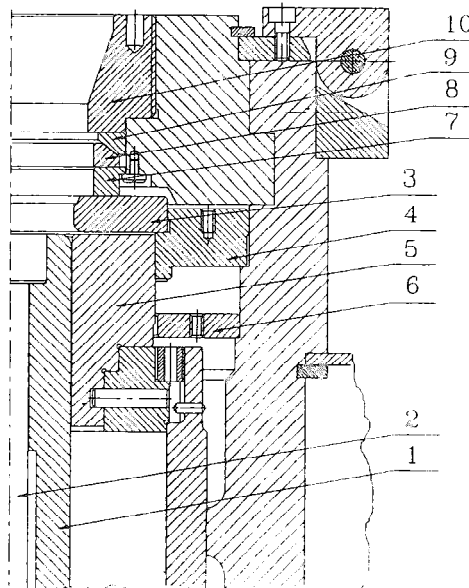
Sl.1 Geometrija radnog komada

Dimenzije su ograničene mogućnostima mašine i to prečnik $d_n=22-62$ mm, debljina lima $s<1$ mm, visina komada $h_n=10-75$ mm, radijus dna $r_n=2-10$ mm i prečnik razvijenog stanja $D_o=35-120$ mm. Moguće je propisati tolerancije za spoljni ili unutrašnji prečnik.

Mašina je specijalna laboratorijska hidraulična presa, trostrukog dejstva ERICHSEN 142/12. Namijenjena je ispitivanju limova i omogućava montažu čitavog niza alata na univerzalnu "glavu" (od ispitivanja zatezanjem do izvlačenja fluidom).

Glavno dejstvo (prosecanje i izvlačenje) obezbeđuje maksimalnu silu od 130 kN. Drugo dejstvo (držanje oboda) ima maksimalnu silu 22 kN, a treće (izbacivanje) je pomoćno sa znatno manjom silom. Brzina deformisanja je podešljiva u opsegu 0-250 mm/min.

Sklop alata za izvlačenje (sl.2) ima specifičnu formu prilagodenu mašini. Elementi sa

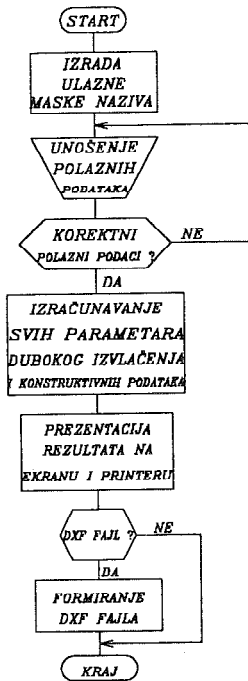


Sl.2 Sklop alata za izvlačenje

pozicijama 1 (izvlakač), 2(izbacivač), 3(matrica), 4(matrica za prosecanje) i 5(prosekač-držač lima) imaju promenljivu geometriju koja zavisi od radnog komada. Elementi 6, 7, 8, 9 i 10 su pomoćni i njihova geometrija ne zavisi od dimenzija radnog komada. Na početku obrade traka lima leži na ploči 6. Prvo se preseca razvijeno stanje i ostvaruje držanje prosekačem-držačem 5. Onda sledi glavno dejstvo i izvlačenje izvlakačem 1 kroz matricu 3. Na kraju sledi izbacivanje izbacivačem 2. Sva dejstva su usmerena odozdo na gore (inverzno u odnosu na klasične proizvodne prese).

3. SOFTVER LIMIS I REZULTATI

Principi proračuna i sve informacije vezane za ovaj proces bazirane su na klasičnom pristupu elementarne teorije plastičnosti i empirijskim saznanjima /1/.



Sl.3 Globalni algoritam programa LIMIS

U programu je učinjen pokušaj da se na najmanju meru svede izbor empirijskih vrednosti od strane korisnika, a uglavnom to prepusti programu. Na osnovu tabelarno sređenih vrednosti najčešće se formiraju t.z.v. banke podataka, koje program poziva, a korisnik bira vrednosti. Umesto toga ovde su tabele pretvorene u nizove interpolacionih polinoma. To je urađeno prilagođavanjem već postojećih FORTRAN-skih programa /4/ za interpolaciju Lagranžovim polinomima (maksimalno 19 stepena). Na taj način se omogućava rad sa tabelama od najviše 20 vrsta i kolona. Ukratko će biti naveden redosled izvršavanja programa LIMIS (pisan u TURBO BASIC-u) čiji je uopšten algoritam dat na sl. 3.

Prvo je trebalo omogućiti poštovanje ograničenja geometrije komada uz eventualne neophodne korekcije pogrešno unetih podataka. Onda sledi izračunavanje parametara procesa (prečnik razvijenog stanja, sila prosecanja, koeficijenti izvlačenja, dimenzije komada po operacijama, sila izvlačenja i deformacioni rad). Od konstruktivnih podataka određuje se: zazor pri prosecanju, zazor pri izvlačenju, tolerancije i sve bitne nominalne mere i odstupanja. Posle prezentacije rezultata na ekranu i printeru sledi formiranje DXF- fajlova.

DXF fajl (ASCII DRAWING INTERCHANGE FILE) je, u suštini, crtež opisan pogodnim tekstualnim kodovima.

Može se formirati u bilo kom editoru ili generisati u radu nekog programa (kao što je LIMIS). Takođe, svaki crtež Auto-CAD^R može prevesti u DXF fajl. Prema tome, kao rezultat rada programa (proračunava sve parametre zavisno od geometrije komada) u Auto-CAD^R-ovom direktorijumu se dobiju gotovi DXF fajlovi, odnosno radionički crteži radnih elemenata alata. Da bi se generisao DXF fajl vrlo je bitno poznavati njegovu strukturu i osobine. Fajl je vrlo dug (čak i za relativno jednostavne crteže može imati nekoliko hiljada redova), pa treba izbegavati direktno pisanje u editorima ASCII fajlova. Sastoji se iz širih grupacija kodova - sekcija (SECTION) u sledećem redosledu:

- 1) HEADER SECTION (opšte informacije o crtežu kao što su: jedinice mera, format, korišćenje pomoćnih lenjira i t.d.).
- 2) TABLES SECTION (tipovi linija i slova, nivoi i pogledi).
- 3) BLOCK SECTION (definicije simbola - blokova na crtežu).
- 4) ENTITIES SECTION ("entiteti" crteža t.j. svi konkretni objekti same prikazane geometrije).

Svaka sekcija se sastoji od većeg ili manjeg broja grupa. Grupa se sastoji od po dve linije. Prva vrši identifikaciju grupe i to je uvek broj (1-79) koji predstavlja kod za to šta je u stvari grupa. Druga linija je sadržina grupe (brojni ili slovni podatak): oznaka naziva sekcije, komanda, oznaka nivoa, koordinata tačke i t.d.

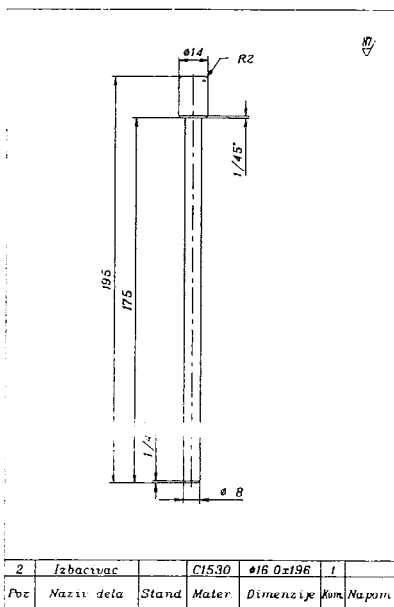
Od posebnog praktičnog značaja je ENTITIES SECTION, zato što sadrži objekte geometrije koja se prikazuje i što se može izbeći pisanje ostalih sekcija. Naime, tri prve sekcije formiraju se u okviru Auto-CAD^R-ovog osnovnog crteža koji se sačuva i služi kao neka vrsta noseće platforme na koju se učitava DXF fajl sa ENTITIES sekcijom. Ova sekcija se formira komandama Auto-CAD^R-a raspoređenim u grupe. Pojedine komande (kao na pr. POLYLINE) obrazuju šire sekvence grupa.

Ovde će biti prikazan samo (zbog ograničenja prostora) primer formiranja DXF fajla za izbacivač (pozicija 2 na sl.2). Cilj je dobijanje kompletnog radioničkog crteža dela. Osnovni fajl sadrži sve fiksne elemente Auto-CAD^R-ovog crteža, ali bez ijednog objekta vezanog za samu konturu komada.

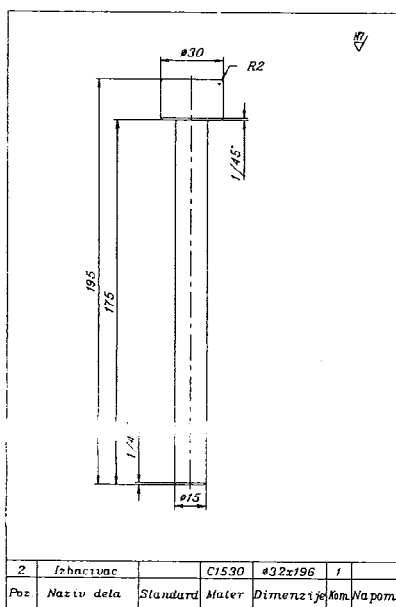
Geometrija izbacivača je definisana sa 5 konstantnih veličina (sl. 4, 5 i 6): dve visine (195 i 175 mm), dve oborene ivice (1/45°) i radijus r2 mm ; i dve promenljive: manji prečnik (D2) i veći (D1). Promenljiv je i tekstualni podatak dimenzije polufabrikata. Redosled postupaka na formiranju konkretnog DXF -fajla je sledeći:

a) definisanje osnovnog crteža,

b) izvršavanje programa LIMIS koji (između ostalog) generiše i DXF fajl ovog dela i smešta ga u odgovarajući poddirektorijum Auto-CAD^R-a.



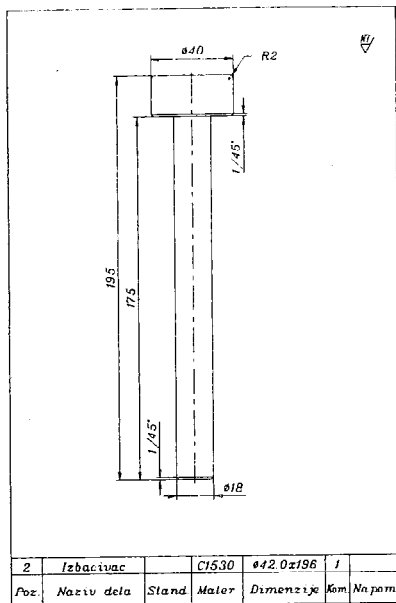
Sl. 4 Crtež prvog izbacivača



Sl. 5 Crtež drugog izbacivača

Struktura fajla je u redosledu:

1) osna linija na nivou OSE (naredba LINE);



Sl. 6 Crtež trećeg izbacivača

2) spoljašnja lontura na nivou VIDLJIVO (PLINE). Promenljive koordinate tačaka program definiše preko svojih promenljivih R1 (veći poluprečnik) i R2 (manji poluprečnik);

3) tri horizontalne linije u polju konture (LINE);

4) promenljive kote na nivou KOTE (po 3 linije i dve strelice)(LINE za linije i INSERT za pozivanje blokova sa strelicama);

5) znak obrade (pozvan blok na nivou KOTE);

6) konstantne kote (INSERT blokova na nivou KOTE);

7) okvir i zaglavlje (INSERT na nivou VIDLJIVO);

8) ispisivanje teksta dimenzije polufabrikata (TEXT na nivou TEKST);

9) ispis kotnih brojeva promenljivih kota (TEXT na nivou TEKST);

10) kraj DXF fajla.

Ovako formiran fajl poziva se na prethodno učitani osnovni crtež naredbom DXFIN: sa UTILITY menija.

4. ZAKLJUČAK

Primenom DXF - fajlova moguće je uspešno rešiti postavljeni zadatak automatskog crtanja delova promenljivih geometrija. Glavni nedostatak je relativno zametan i dugotrajan posao generisanja DXF fajla, njegove provere i korekcije grešaka. Za prikazan jednostavan radionički crtež izbacivača on ima 550 linija (samo ENTITIES sekcija), a za složenije delove i više hiljada.

Alternativna mogućnost koju nudi Auto-CAD^R je pisanje Auto-LISP programa, što je unekoliko celishodnije. Tako se dobije jedna vrsta nove komande Auto-CAD^R-a čijim aktiviranjem se zahteva unos vrednosti promenljivih, a zatim se direktno dobije gotov crtež (kreiran u programu).

Što se DXF fajla tiče, možda je značajnija mogućnost pretvaranja crteža u fajl tog formata i njegovo eventualno editovanje u nekom od editora ili tekst procesora.

Napomena: Zbog ograničenog prostora nije bilo moguće izneti sve relevantne podatke vezane za ovaj rad pa se zainteresovani upućuju na autora i navedenu literaturu.

5. LITERATURA

- /1/ B. Devedžić: Plastičnost i obrada metala deformisanjem, Naučna knjiga, Beograd, 1992.god.
- /2/ R. Mitrović: Osnovi CAD/CAM tehnologija, Naučna knjiga, Beograd, 1992.g.
- /3/ B. i P. Damjanović: Auto-CAD^R - konstruisanje i projektovanje pomoću personalnih računara, Institut za nuklearne nauke, Vinča, 1990.g.
- /4/ I. Mendaš, P. Milutinović, D. Ignjatijević: 100 najkorisnijih FORTRAN-skih potprograma, Mikro knjiga, Beograd, 1991.g.
- /5/ R. M. Tomas: Napredne tehnike u Auto-CAD^R-u (prevod sa engleskog), BIPIF, Beograd, 1992.g.
- /6/ Auto-CAD^R (release 10) User Reference, AUTODESK Inc., 1992.g.

S. Aleksandrović

ONE APPROACH TO THE DESIGN OF DEEP DRAWING - TECHNOLOGY AND TOOLS BY CAD

Summary

In this article we present the software which consists of two parts. One of them supports determination of technological parameters for the cylindrical workpiece deep drawing process, and the other supports the tool design data defining. It is possible to define all the relevant technological data for any workpiece dimension, and to generate DXF-files which we need to make a complete drawing of tools elements in Auto-CAD^R.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M.Bucan, Z.Andjelkovic, M. Tripunovic, S.Zivkovic, B.Markovic i Lj.Kozarev *

**PRILOG RAZVOJU DOMACEG SOFTVERA ZA
SISTEM AUTOMATSKOG PROJEKTOVANJA TEHNOLOGIJE**

Rezime

U LOLA Korporaciji A.D. vec desetak godina intenzivno se radi na uvođenju i primeni programskih paketa i racunara u oblasti projektovanja tehnologije. U radu su izložena iskustva strucnog tima na realizaciji uvođenja sistema za automatsko projektovanje tehnologije i kratak prikaz razvijenog programskog paketa. Takodje data su i neka ogranicenja i teskoce u razvoju i primeni funkcionalno tehnoloske klasifikacije pri razvoju i uvođenju programskog paketa i graficke baze podataka.

1. UVOD

Projekat sistema za automatsko projektovanje tehnoloskih postupaka je standardni projekat uradjen na bazi CAPP-v sistema, a prilagodjen funkcionalno-tehnoloskim zahtevima projektovanja tehnoloskih postupaka u preduzecu "LOLA Roboti i alati".

Ovako uradjen projekat omogucava primenu u svim preduzecima koja imaju slicne funkcionalno-tehnoloske zahteve.

Ovaj projekat je namenjen sluzbama za projektovanje tehnologije.

Projekat je korisnicki orijentisan i posle obuke i koriscenja uputstva za rad projektanti tehnologije su osposobljeni za njegovo koriscenje.

Metodoloski pristup koji je primenjen prilikom snimanja postojeceg stanja sastoji se iz proucavanja odgovarajucih softverskih paketa koji su tretirali ovu materiju, i to pre svih CAPP-v, (raspolozivi softver Masinskog fakulteta i verzija CAPP sistema, preradjena u LOLA Korporaciji, raspolozivi softver za projektovanje tehnologije na IDS/II mreznjoj bazi podataka, raspoloziva tehnoloska dokumentacija LOLA Korporacije A.D., itd)

*) Dr.Mirko Bucan, Srboљub Zivkovic, Branko Markovic i Ljubomir Kozarev
L O L A Roboti i alati - Beograd
Zoran Andjelkovic, Milos Tripunovic
L O L A Planiranje i informatika - Beograd

Kod nas je najmanje razvijena primena racunara u tehnoloskoj pripremi proizvodnje i projektovanju tehnoloskih postupaka prouzrokovano prirodom aktivnosti koje nepadaju ni u rutinerske, ni u algoritamske, ni u interaktivne aktivnosti, koje se mogu lako automatizovati pomocu racunara. To su aktivnosti koje u velikoj meri zavise od znanja i iskustva tehnologa i mesta i uslova primene, a odluke je nemoguće donositi na osnovu jednoznacno odredjenih podataka.

Projekat sistema za automatsko projektovanje tehnologije je otvoreni sistem i pruza mogucnost povezivanja sa drugim projektima u kontekstu CIM koncepta proizvodnih sistema.

2. RAZVOJ PROGRAMSKOG PAKETA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE (SAPT)

Sprovođenje adekvatnih delova za efikasno projektovanje tehnoloskih postupaka je od posebnog znacaja za odgovornije, efikasnije i kvalitetnije izvršavanje zadataka iz delokruga projektovanja tehnologije.

Osnovni cilj uspostavljanja efikasnog projektovanja tehnoloskih postupaka i uvodjenje sistema u primenu:

- oslobadjanje od rucno-manipulativnih metoda projektovanja tehnoloskih postupaka i oslobadjanje prostora za kreativan rad tehnologa;
- unifikacija i standardizacija operacija i tehnologija obrade, radi podizanja kvaliteta projektovanja;
- ubrzanje procesa projektovanja tehnologije za nove delove, koriscenjem dosadasnjih iskustava (sadrzanih u grupnim tehnoloskim postupcima za slicne delova);
- upotpunjavanje baze podataka i pracenje toka obrade delova ("pogledom", liste delova za grupe masina);
- skupljanje i formalizovanje znanja eksperata iz pojedinih oblasti i njihovo koriscenje od strane veceg broja tehnologa;
- formiranje jedinstvene tehnoloske baze podataka;
- formiranje graficke baze podataka familija delova;
- stampanje radionicke dokumentacije;
- unapredjenje organizacije, procesa i metoda rada, kao i povecanje produktivnosti koriscenjem informacione tehnologije;
- prilagodjavanje standardnih tehnoloskih postupaka za familije delova i
- prilagodjavanje tehnoloskih postupaka za slicne delove.

Dakle na bazi raspolozive literature, standarda, normativa, ekspertnih znanja razvijen je paket koji obuhvata:

- masinsku obradu delova;
- masinsku montazu;
- elektro-montazu.

Obuhvacen je i sledeci proizvodni program:

- roboti i manipulatori i moduli alatnih masina;
- specijalne masine i linije;
- nosaci alata i pribori;
- alati za presovanje, livenje i montazu i
- komponente sistema hidraulike i podmazivanja.

Osnovne podatke definisane ovim projektom cine sledece grupe podataka:

- podaci za klasifikator operacija;
- podaci za klasifikator mesta troskova;
- podaci za grupe masina (radne centre);

- podaci za katalog radnika;
- podaci za klasifikator delova i
- podaci za familije delova.

3. FUNKCIJE SAPT SISTEMA

Projekat za automatsko projektovanje tehnoloskih postupaka obuhvata sledece funkcije:

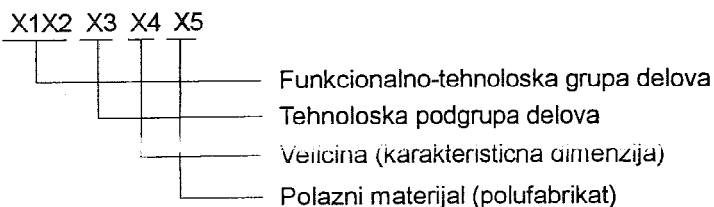
- 1.-funkcija formiranja, odrzavanja i koriscenja klasifikatora;
- 2.-funkcija formiranja standarda i njegovo koriscenje;
- 3.-funkcija generisanja familija delova;
- 4.-funkcija grafickog memorisanja familija delova;
- 5.-funkcija projektovanja individualnih tehnoloskih postupaka;
- 6.-funkcija pretrazivanja i stamoanje radionicke dokumentacije i
- 7.-funkcija redovnog i periodicnog odrzavanja podataka.

Pored navedenih funkcija koje pripadaju ovom projektu, programski paket daje mogucnost koriscenja posebnih funkcija za projektovanje pojedinacnih tehnoloskih postupaka varijantnom metodom i pojedinacnih tehnoloskih postupaka prilagodjavanjem slicnog tehnoloskog postupka kao posebne funkcije organizacionog registra.

Sistem rada softvera je tako koncipiran da su izbegnute posebne funkcije za azuriranje, unos i brisanje podataka. Fleksibilnost projekta omogucava projektovanje nekompletnih tehnoloskih postupaka u devet varijanti sa mogucnoscu odlozenog azuriranja, ali sa blokadom izrade radionicke dokumentacije. Za podatke koji nisu u bazi izvestaji i radionicka dokumentacija bice obelezeni kao nepotpuni.

3.1 FUNKCIJA FORMIRANJA, ODRZAVANJA I KORISCENJA KLASIFIKATORA

Ovu funkciju cine umos, azuriranje i brisanje podataka za sve navedene klasifikatore, a za ovu priliku je pokazan sistem za klasifikaciju delova. Ovaj sistem je baziran na hijerarhijskoj kodnoj metodi. Sistem cine pet numerickih kodnih mesta koji dozvoljava arhiviranje, prenos i obradu podataka.



Najvisi stepen hijerarhijskog klasifikatora cini funkcionalno-tehnoloska grupa delova (X1X2):

A(00-09)-postolja, stubovi, klizaci, ...

B(10-19)-kucista, ...

Drugi stepen klasifikacije cini podgrupa delova (X3):

(1)-postolja jednodelna;

(2)-postolja visedelna;

A treci stepen cini karakteristikna dimenzija (X4):

(1)-za grupe (X1X2):A,B,H maksimalne gabaritne mere;

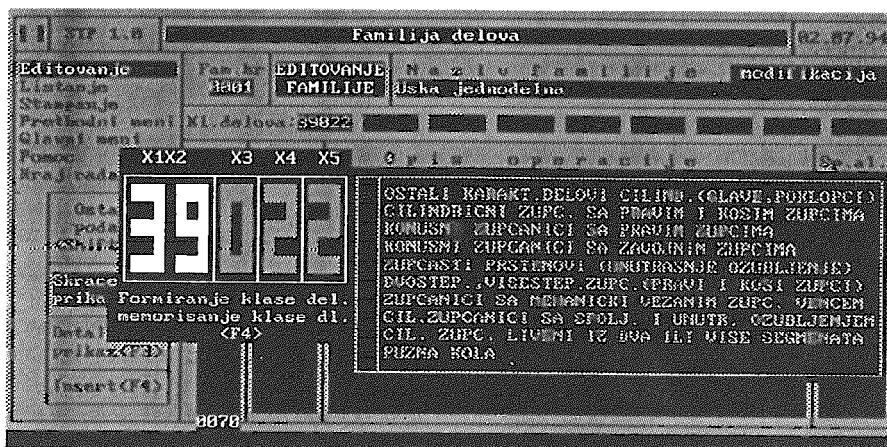
(2)-za grupe (X1X2):C,D i F Maksimalne duzine;

Zadnji stepen klasifikatora cini polazni materijal (X5):

(1)-celici okrugli;

(2)-limovi (celicni);

Pretrazivanje pripadnosti klase dela odredjenoj familiji dato je kroz posebnu funkciju.



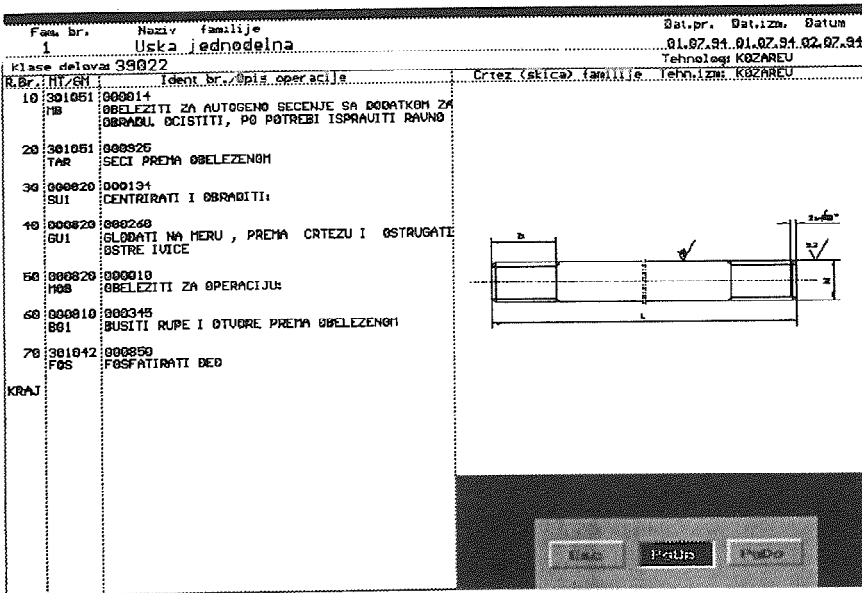
Slika 1. Izbor klase delova za odredjenu familiju

3.2 FUNKCIJA FORMIRANJA I KORISCENJA STANDARDNIH OPERACIJA

Ovu funkciju cine standardne operacije koje predstavljaju fazu proizvodnje jedne serije delova, odnosno montaze sklopa koja se izvodi na jednom radnom mestu (grupi masina ili odeljenju montaze), uz jednu pripremu. Hijerarhijska struktura prikazana je u obliku: (X1) -jednokodna oznaka koja predstavlja grupu operacija i (X2X3) -dvokarakterna oznaka koja predstavlja podgrupu operacija.

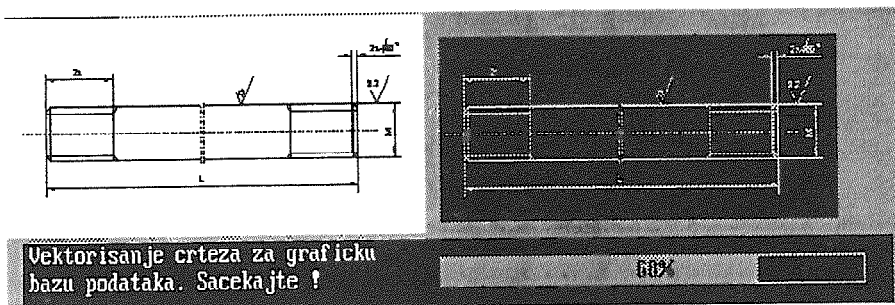
3.3 FUNKCIJA FORMIRANJA GRUPNIH TEHNOLOSKIH POSTUPAKA

Ovu funkciju cine grupni standardni tehnoloski postupci koji predstavljaju tehnoloske postupke za obradu familije tehnoloski slicnih delova. Faze obrade ovih familija delova definisane su skupom standardnih operacija. Ovi tehnoloski postupci sluze kao osnova za interaktivno projektovanje. Tehnoloski i graficki opis familije delova prikazan je na sledecoj slici.



3.4 FUNKCIJA GRAFICKOG MEMORISANJA FAMILIJA DELOVA

Navedena funkcija obezbedjuje zapis grafickog opisa crteza (skice) familija delova u graficku bazu podataka. Viestruka korist grafickog opisa familija delova se ogleda u obezbedjivanju vizuelne provere pripadajuće klase dela određenoj familiji delova, a radi neposredne kontrole tehnoloskog opisa.



Slika 3. Ekran za geficki zapis familije delova

3.5 FUNKCIJA PROJEKTOVANJA INDIVIDUALNIH TEHNOLOSKIH POSTUPAKA

Projektovanje individualnih tehnoloskih postupaka vrsi se na osnovu podataka o familijama delova, klasifikatorima delova i standardnim operacijama.

3.6 FUNKCIJA PRETRAZIVANJA I STAMPE

Ova funkcija obezbedjuje pretrazivanja po svim zahtevima projektanata. Funkcija obezbedjuje i pretrazivanje pripadnosti klase dela odredjenoj familiji delova kao i razna listanja (familije delova, pojedinacnih postupakai raznih klasifikatora).

4. ZAKLJUCAK

Mogucnosti primene racunara za projektovanje i izradu tehnoloske dokumentacije su ogromne i zahtevaju mnogo rada. Prakticno u tehnici to je najteza oblast za primenu racunara zbog nemogucnosti uspostavljanja direktnih i jednoznacnih veza izmedju vise faktora. Neophodan je mukotrpan rad na sistematizaciji tehnoloskog znanja, iskustava i normativa kao i normativne regulative.

5. LITERATURA:

Markovic, Djuric - Projektovanje tehnologije pomocu racunara u uslovima IMK "14 oktobar" Krusevac;

Dr. M. Bucan - Projekat razvoja i uvodjenja SAPT sistema u preduzecu "LOLA roboti i alati" i

V. Milacic, A. Veljovic - Primena sistema za automatsko projektovanje tehnologije na primeru cevastih zatvaraca.

EIN BEITRAG ZUR EINHEIMISCHEN ENTWICKLUNG VON SOFTWARE FUER RECHNERGESTUETZTES SYSTEM VON DER ARBEITSPLANERSTELLUNG

Zusammenfassung

Es wird schon Jahrzehent in der LOLA - Koerperschaft A.G. intensiv auf der Einfuehrung und der Verwendung Software - Programmen und Rechner im Bereich der Arbeitsplanerstellung gearbeitet. Im Beitrag sind die Erfahrungen der Arbeitsgruppe von Fachlueute in der Verwirklichung und Einfuehrung eines Systems fuer rechnergestuetzte Arbeitsplanerstellung, sowie eine kurze Darstellung der entwickelten Software - Programmen dargestellt. Es sind auch die entspraechende Einschraenkungen und Schwierigkeiten bei der Entwicklung und Verwendung von des Klassifizierungssystem bei der Entwicklung und Einfuehrung Software - Programmen und Datenaufbau fuer grafischen Darstellungen gegeben.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Lj.Janković, P.Janković*

**PRIMENA SAVREMENIH POSTUPAKA U IZRADI ALATA ZA
PROSECANJE I PROBIJANJE**

Rezime

Racionalnost izrade alata za prosecanje lima u velikoj meri zavisi od postupka izrade presekača i rezne ploče. U ovom radu je dat pregled savremenih postupaka izrade i programa SymGRAPH-EDM za programiranje elektroerozionih mašina sa žičanom elektrodom.

1. UVOD

U cilju povećanja konkurentne sposobnosti firmi i osiguranja radnih mesta radnika, veliku ulogu igra brzo osvajanje novih proizvoda sa sve strožim zahtevima na kvalitet i niže troškove proizvodnje. Značajan deo uticaja na kvalitet proizvoda i troškove proizvodnje čine sredstva rada, a posebno alati za obradu lima prosecanjem i probijanjem.

Ovaj rad pruža pregled postupaka izrade ovih elemenata i ukazuje na mogućnosti za povećanje efikasnosti.

2. POSTUPCI IZRADA REZNE PLOČE I PROSEKAČA

2.1 Postupci izrade rezne ploče

Zavisno od opremljenosti alatnica i kadrova sa kojima raspolažu u našim alatnicama se uglavnom primenjuju sledeći postupci izrade:

2.1.1 Izrada rezne ploče "probijanjem"

Ovo je najstariji postupak izrade otvora u reznoj ploči, ali se još uvek primenjuje kod nekih proizvodjača alata. Postupak se sastoji u tome da se prethodno izradi presekač na zahtevani oblik i meru, termički se obradi kaljenjem, i obradi (obično) brušenjem na završnu meru.

* dr Ljubomir Janković, vanr. prof. Mašinski fakultet u Nišu
Predrag Janković, asist. pripr. Mašinski fakultet u Nišu

- Rezna ploča se termički ne obradjuje, već se samo obradi na gabaritne mere, izbuše otvori za vezivanje sa drugim pločama i prebrusi čelona i podložna površina.
- Podčšavanje položaja presekača na čelonoj površini rezne ploče izvodi se (a) pomoću paralelnih graničnih merki ili (b) pomoću vodjenja presekača kroz prethodno izradjen otvor u vodećoj ploči.
- Obeležavanje položaja otvora vrši se utiskivanjem presekača u reznu ploču (oko 0.2 mm) na ručnoj zavojnoj presi.
- Obeležavanje tačkastim obeleživačem položaja gde će se bušiti otvori.
- Bušenje otvora, prosecanje ostatka materijala izmedju otvora i izbacivanje oslobodjenog jezgra iz otvora rezne ploče.
- Sukcesivno utiskivanje tiskača u otvor rezne ploče, vadjenje presekača, turpijanje otvora, pa ponovno utiskivanje na veću dubinu. Ovaj postupak se ponavlja sve dotle dok se ne izradi otvor po celoj debljini rezne ploče. Za kvalitetno izvodjenje ove operacije potreban je iskusan majstor-alatničar.

Ostvarivanje zazora izmedju površine otvora rezne ploče i presekača može se postići proširivanjem otvora (turpijanjem) ili smanjivanjem mera presekača naknadnom obradom (redji slučaj).

2.1.2 Izrada rezne ploče iz segmenata

Da bi se omogućila izrada otvora rezne ploče mašinskim putem, primenom mehaničke obrade, potrebno je takvo konstruktivno izvodjenje rezne ploče koje će omogućiti pristup alatima za izvodjenje ove obrade. Radi ovoga se rezna ploča deli na veći delova, tzv. segmenata koji omogućuju obradu a njihovo spajanje u jednu celinu obrazuje reznu ploču sa potrebnim otvorima (Sl.1). Prethodna obrada segmenata se sastoji od mehaničke obrade struganjem, glodanjem, bušenjem i zatim termičke obrade kaljenjem. Završna obrada je paralelno profilno brušenje na specijanim mašinama i specijalnom pomoćnom opremom.

Složenost oblika reznih i vodećih segmenata je prikazana na Sl.2. i Sl.3.

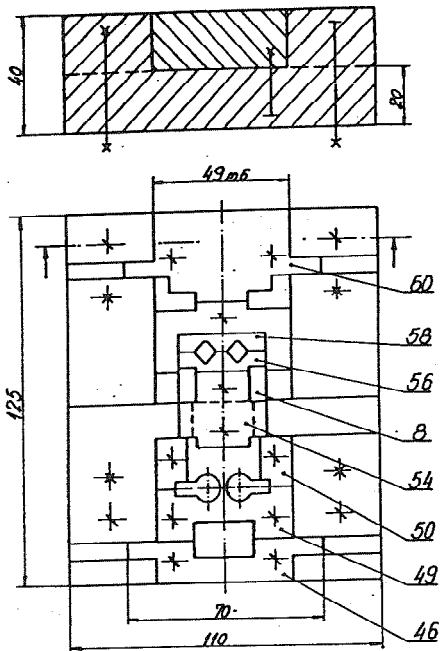
Segmenti izradjeni na završnu meru sklapaju se u jednu celinu na pogodan način, po pravilu, bez intervencije alatničara po radnim površinama.

2.1.3. Izrada rezne ploče elektroerozijom za žičanom elektrodom

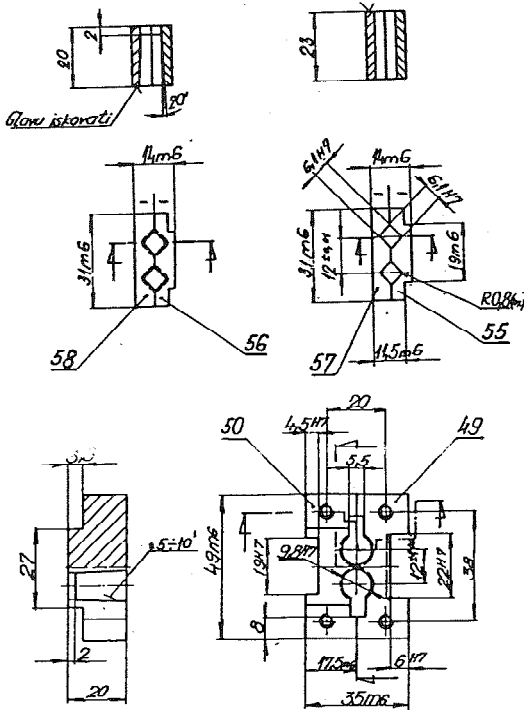
Elektroeroziona obrada sa masivnom elektrodom nije našla značajnu primenu u izradi alata za prosecanje i probijanje, ali je zato elektroeroziona obrada sa žičanom elektrodom dovela do ogromne promene u izradi rezne ploče i presekača.

U prvoj fazi izrade vrši se obrada rezne ploče na gabaritne mere i buše potrebni otvori za vezivanje ploča i uvlačenje žice. Po izvršenoj termičkoj obradi, brusi se čelona i podložna površina obratka rezne ploče. Dalja obrada se izvodi na mašinama za elektroerozionu obradu sa žičanom elektrodom tako što se, na gore opisani način, pripremljeni obradak steže na koordinatni sto mašine i po uvlačenju tanke žice (oko 0.25 mm) radni sto sa obratkom izvodi relativno kretanje u odnosu na žicu i tom prilikom dolazi do razdvajanja materijala usled električnog pražnjenja izmedju stalno pokretne žice koja predstavlja elektrodu, odnosno alat i obratka rezne ploče. Koordinatni sto se numeričkim upravljanjem pomera u X-Y pravcu dok se gornja vodjica žice može kretati u U-V pravcu (radi ostvarenja zakošenja žice), a u posebnim opcijama izvodjenja mašine gornja vodjica se može jednovremeno pomerati i u Z pravcu.

Na Sl.4. je šematski prikaz mašine za EDM obradu, a na Sl.5. je prikazana izrada rezne ploče EDM postupkom.

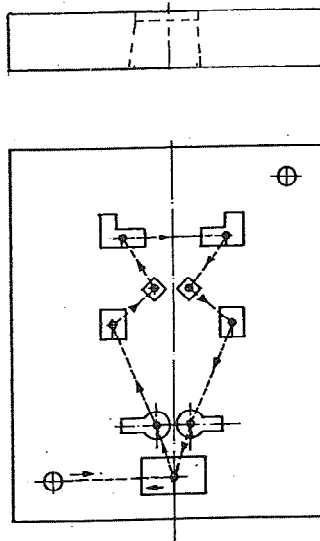


Slika 1. Izgled rezne ploče sa-
stavljene od segmenata

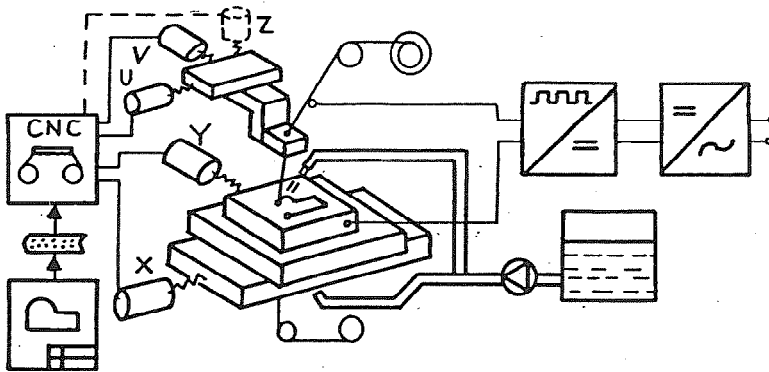


Slika 2. Rezni i vodeće segmenti

Slika 3. Rezni segmenti



Slika 5. Izrada otvora rezne ploče
EDM postupkom



Sl.4. Šematski prikaz mašine za EDM obradu sa žičanom elektrodom

2.1.4 Izrada rezne ploče mehaničkom obradom

Izrada otvora u reznoj ploči moguća je u nekim slučajevima i klasičnom mehaničkom obradom, ali samo kada je omogućen pristup alatima za obradu. Ovim načinom se najčešće izrađuju kružni otvori ili otvori velikih dimenzija.

2.1.5 Izrada otvora rezne ploče kombinovanim postupcima

U izvesnim slučajevima racionalna je izrada otvora u reznoj ploči upotrebom više različitih, napred navedenih postupaka.

2.2 Izrada presekača

Savremena izrada presekača se izvodi:

- klasičnom mehaničkom obradom
- elektroerozionom obradom sa žičanom elektrodom,
- kombinovanim postupcima.

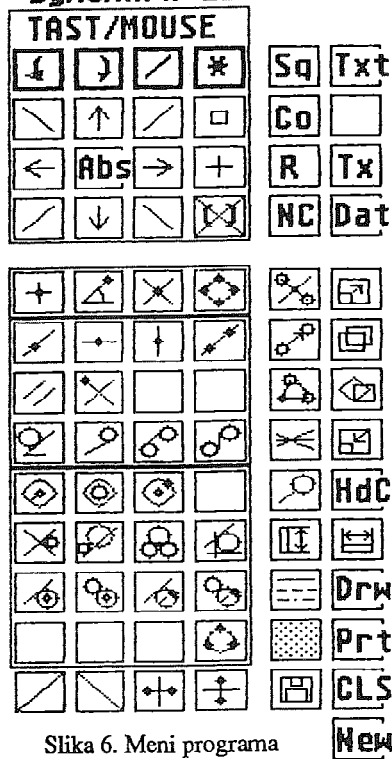
Sve prednosti izrade rezne ploče elektroerozionim postupkom važe i pri izradi presekača.

3. PROGRAMIRANJE MAŠINA ZA ELEKTROEROZIONU OBRADU SA ŽIČANOM ELEKTRODOM

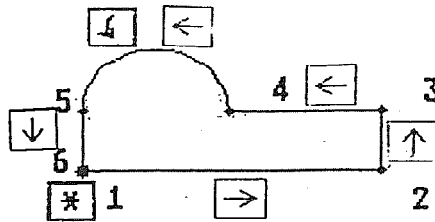
Savremene mašine za elektroerozionu obradu sa žičanom elektrodom su isključivo sa CNC upravljanjem.

Izrada programa za numeričko upravljanje ovih mašina se može izvoditi pomoću računara na specijalnim programskim mestima za NC programiranje ili integrisanim CAD/CAM sistemima, ali se najveći broj instaliranih NC mašina u našoj zemlji još uvek programira ručno. Ručna izrada programa, bez pomoći računara, je neracionalna usled velike složenosti oblika otvora u reznoj ploči koje treba izraditi. Osim toga, ovaj način je spor i podložan je pojavi netačnosti i grešaka, čije štete prevazilaze troškove nabavke programskog mesta.

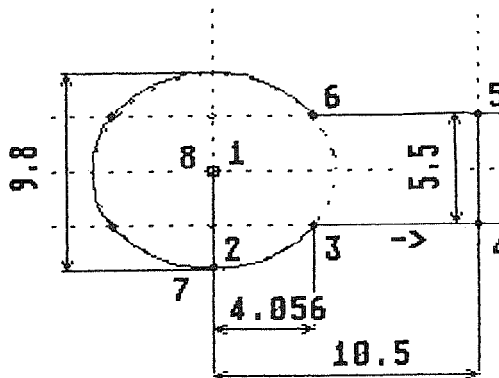
>SymGRAPH EDM <



Slika 6. Meni programa



Slika 7. Opis konture TAST/MOUSE

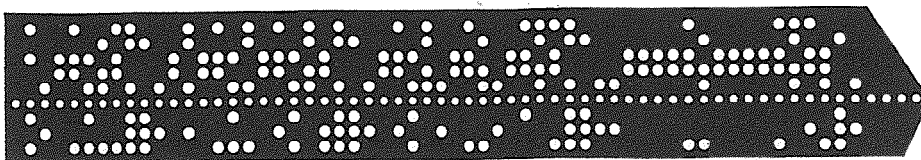


Slika 8. Opis konture

```

%
O1122
G92X0Y0
G41G90G01Y-4900
G03X4056Y-2750J4900
G01X10500
Y2750
X4056
G03X0Y-4900I-4056J-2750
G40G01X0
M30
%
    
```

Slika 9. NC kod za konturu sa Sl. 8.



Slika 10. Izgled bušene trake za konturu sa Sl. 7.

Polazeći od potrebe za efikasnom izradom NC programa i u skladu sa savremenim tendencijama u ovoj oblasti, na Mašinskom fakultetu u Nišu je razvijen program za programiranje mašina za elektroerozionu obradu sa žičanom elektrodom-SymGRAPH-EDM.

Pri razvoju programa pošlo se od već razvijenog programa SymGRAPH /1/ koji služi za grafički prikaz i opis neke konture.

Meni je smešten na ekranu monitora i interaktivni rad se odvija upotrebom miša ili preko tastature. Instrukcije se odnose na definisanje geometrijskih oblika, njihove medjuzavisnosti kao i instrukcije za povezivanje pojedinih geometrijskih elemenata u jednu celinu.

Meni programa prikazan je na Sl.6, a opis kontura na Sl.7 i Sl.8.

Izlaz iz programa SymGRAPH-EDM može biti: crtež konture (po potrebi i polu-automatski kotiran), oštampan NC program, NC program pripremljen za prenos na NC mašinu (bušena traka, DNC, kasete, prenosni disk i sl.)

Na Sl.9. dat je NC program za konturu prikazanu na Sl.7., a Sl.10. prikazuje bušenu traku za istu konturu.

4. MOGUĆNOST POVEZIVANJA KONSTRUISANJA I IZRADE (CAD/CAM)

Već opisana i definisana geometrija pri konstruisanju alata treba da se iskoristi pri izradi NC programa. Ovo je moguće postići posebnim programima. Jedan od programa koji obuhvata ovu problematiku za postupne alate za proscanje i probijanje je i SymGRAPH-CUT.

5. ZAKLJUČAK

Iz napred iznetog mogu se izvući sledeći zaključci, i to:

1. Savremena i efikasna izrada presekača i probojaca izvodi se profilnim brušenjem ili elektroerozionu obradu sa žičanom elektrodom.
2. Programiranje mašina sa numeričkim upravljanjem se mora izvoditi na programskim mestima prilagodjena pogonskim uslovima i sa mogućnošću njihovog uključivanja u CIM koncept.

6. LITERATURA

/1/ Lj. Janković, P. Janković: SymGRAPH-Modul računarske grafike, Zbornik radova Mašinskog fakulteta u Nišu, 1990. god.

/2/ P. Janković, Lj. Janković: "SymGRAPH GEOMETRY"-pomoćni računarski program za programere NC/CNC mašina, Teška mašinogradnja TM 93, Kraljevo, 1993. godina

/3/ N.N. : Konstruktivna i tehnološka rešenja alata EI-Fabrike alata Niš.

APPLICATION OF MODERN PROCEDURES IN BLANKING AND PIERCING DIES PRODUCTION

Summary

Blanking and piercing dies production realization depends to a great extent on the procedures applied for punched die plate production. This paper gives a review of modern manufacturing procedures and the SymGRAPH-EDM software for wire EDM machines programming.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

*Maksimović R., Dakić R., Radaković N. **

**RAZVOJ PROGRAMSKOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE
PROSTORNIH STRUKTURA PROIZVODNIH SISTEMA**

Rezime

U radu su prikazani neki rezultati razvoja programskog modula za projektovanje prostornih struktura proizvodnih sistema. Naglasak je dat na strukturu podataka i mogućnosti integracije relacionih baza podataka i datoteke sa grafičkom interpretacijom elemenata sistema. Programski modul u sebi objedinjava elemente optimizacije rasporeda elemenata u proizvodnom sistemu, kao i postupka razmeštaja elemenata u sistemu.

1. UVOD

Oblikovanje prostornih struktura, kao završna faza u postupku projektovanja proizvodnih sistema, predstavlja postupak utvrđivanja položaja elemenata u strukturi i njihovog dovođenja u odgovarajući međusobni odnos koji omogućuje funkcionisanje sistema u skladu sa zahtevima postavljenim funkcijom cilja.

Osnovne podloge za definisanje položaja elemenata u strukturi određene su relacijama koje su definisane u prethodnim fazama postupka projektovanja proizvodnih sistema. To su faze:

- razrade postupaka promene stanja (tehnoloških postupaka) i
- oblikovanja tokova u sistemu.

Automatizovanim postupkom oblikovanja prostornih struktura se smanjuje učestalost faze u ukupnom vremenu projektovanja i, uzimajući u obzir ograničenja u sistemu, generiše veći broj varijanti prostornog razmeštaja. Korisniku se pruža mogućnost analize većeg broja varijanti i izbora najpovoljnije varijante za konkretni slučaj. U nastavku su izloženi neki rezultati datog postupka.

**) Mr Rado Maksimović, dipl. inž., asistent, Ratko Dakić, dipl. inž., Mr Nikola Radaković, dipl. inž., asistent, FTN - Institut za industrijske sisteme, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6.*

2. OSNOVNI KONCEPT PROGRAMSKOG PAKETA

Programski paket za projektovanje prostornih struktura proizvodnih sistema je razvijen za PC računare i osnovna aplikacija je razvijena u *FoxPro* okruženju. Podaci o programu proizvodnje, elementima proizvodnog sistema i vezama među elementima, smešteni su u okviru niza relacionih tabela .DBF tipa, dok su podaci o grafičkim interpretacijama elemenata sistema, kao i izlaz iz programa (prostorni razmeštaj elemenata sistema) razvijeni u *AutoCAD* okruženju. Modul *projektovanje prostorne strukture* predstavlja integracioni dio programskog paketa za projektovanje proizvodnih sistema kako je prikazano na slici 1.

Prvi modul - obuhvat podataka, ima ulogu da definiše sve podatke relevantne za proces proizvodnje u vidu podataka o:

- programu proizvodnje (sastavni elementi),
- tehnološkim sistemima,
- alatima i priborima,
- sredstvima za hlađenje i
- operacijskim grupama.

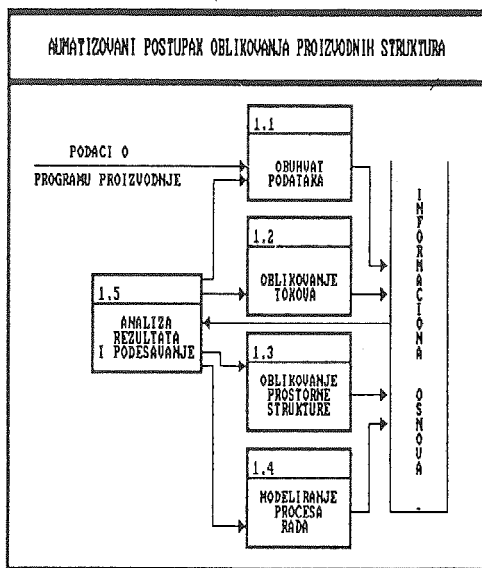
U okviru ovog modula se vrši i ažuriranje osnovnih podataka u skladu sa konstruktivnim i tehnološkim promenama i promenama stanja sistema.

Drugi modul - oblikovanje tokova, predstavlja modul u okviru koga se projektuju osnovne komponente sistema u vidu:

- oblikovanja operacijskih grupa,
- projektovanja grupnih tehnoloških postupaka,
- proračuna opterećenja radnih mesta u sistemu,
- proračuna intenziteta kretanja u sistemu,
- proračuna broja elemenata u sistemu i
- projektovanja radnih jedinica - proizvodnih ćelija.

Izlazne veličine iz ovog modula predstavljaju osnovne podloge za projektovanje proizvodnih struktura. Osnovne podloge za projektovanje prostornih struktura proizvodnih sistema date su u vidu:

- *Karta toka procesa* - oblikuje se na osnovu tehnološkog postupka. Osim što daje integralan prikaz toka procesa rada, ona omogućava uprošćavanje postupaka rada eliminacijom nepotrebnih operacija;
- *Karta intenziteta toka* - koja predstavlja matičnu shemu rastojanja i količina kretanja između delova strukture proizvodnog sistema;



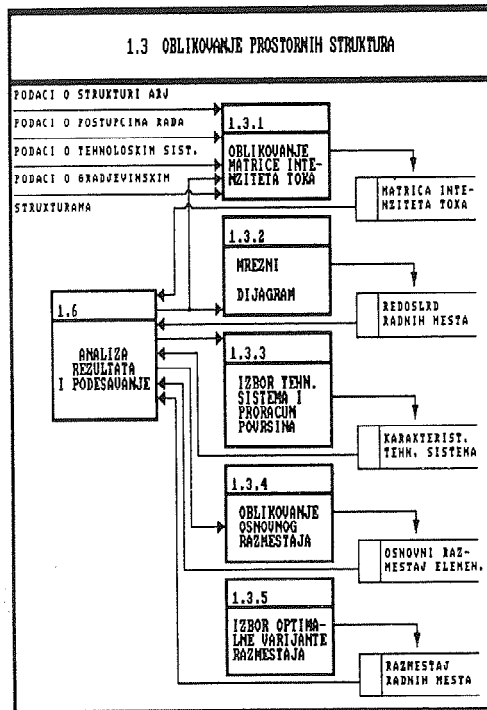
Slika 1. Osnovna struktura postupka

- **Dijagram toka** - grafička interpretacija intenziteta toka u određenoj razmeri i predstavlja shemu kretanja kao i izvore/ponore u određenim tačkama toka;
- **Karta međuzavisnosti elemenata strukture** - predstavlja podlogu koja pokazuje relativan značaj međuzavisnosti elemenata strukture - činilaca, procesa i veza u sistemu.

Pored ovih osnovnih modula, neophodno je razmotriti i dopunska ograničenja u vidu modela razmeštaja elemenata sistema (model prave, trougla i ostali modeli) i ograničenja u postavljanju elemenata sistema (dimenzije proizvodnih hala, elementi objekata i instalacija,...).

Treći modul - oblikovanje prostorne strukture, obuhvata postupka određivanja intenziteta tokova, potrebnih površina i oblikovanje razmetaja radnih mesta sa svim potrebnim površinama za zadovoljenje postavljene funkcije cilja, kako je to prikazano na slici 2.

Četvrti i peti modul predstavljaju module u okviru kojih se vrši simulacija i analiza kvaliteta dobijenih rešenja u smislu zadovoljenja funkcije kriterijuma i projektovanja postupaka podešavanja ulaznih veličina u prethodne module.



Slika 2. Oblikovanje prostornih struktura

3. OBLIKOVANJE PROSTORNIH STRUKTURA

Postupak automatizovanog projektovanja proizvodnih sistema je realizovan u nekoliko koraka.

U prvom koraku se, na osnovu tehnoloških postupaka, definiše matrica intenziteta toka, koja predstavlja preglednu shemu toka materijala između delova strukture radnih sistema. Elementi matrice mogu sadržavati podatke o rastojanju između elemenata strukture, količini kretanja, broju delova, broju transportnih jedinica i masi kretanja. Primer jedne matrice intenziteta toka je prikazan na slici 3. Oznake redova i kolona ove matrice predstavljaju radna mesta, dok elementi matrice predstavljaju intenzitete kretanja između radnih mesta. Polja u matrici iznad dijagonale predstavljaju progresivna, a ispod dijagonale povratna kretanja u sistemu. Dijagonala ove matrice je u pravilu prazna jer se kretanja u okviru jednog radnog mesta ne razmatraju.

	20200	20810	21500	24410	24100	23700
20200		10	20	20	0	0
20810	0		60	15	20	0
21500	0	0		45	0	25
24410	35	0	0		0	30
24100	45	0	50	0		10
23700	0	0	0	35	0	

Slika 3. Matrica intenziteta kretanja

Sledeći korak u oblikovanju prostornih struktura predstavlja optimiranje matrice intenziteta kretanja. Optimizacija ima za cilj da se, u zavisnosti od intenziteta kretanja između radnih mesta, oblikuje takav raspored koji obezbeđuje minimum ukupne količine kretanja u sistemu. Za svaki pojedinačni slučaj se proračunava funkcija intenziteta kretanja i usvaja se onaj raspored za koji data funkcija ima minimum:

$$F_{\min} = \min(\text{abs}(i-j) \cdot bk)$$

gde je:

- F - funkcija intenziteta kretanja,
- i - red matrice intenziteta,
- j - vrsta matrice intenziteta,
- bk - broj predmeta rada.

Izgleđ optimizirane matrice intenziteta toka je prikazan na slici 4.

	23700	24410	21500	20810	20200	24100
23700		35	0	0	0	0
24410	30		0	0	35	0
21500	25	45		0	0	0
20810	0	15	60		0	30
20200	0	20	20	10		10
24100	10	0	50	0	45	

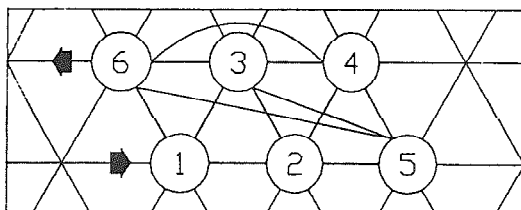
Slika 4. Optimizirana matrica intenziteta kretanja

Sledeći korak je oblikovanje trouglaste matrice. Trouglasta matrica (prikazana na slici 5.) nastaje kao rezultat preuređenja matrice intenziteta toka i ima za cilj utvrđivanje ranga intenziteta toka između radnih mesta. U slučaju kvantitativnog izražavanja stepena međuzavisnosti, rang intenziteta se dobija uređivanjem veličina $X_{i,j+1}$ u opadajućem redosledu pri čemu je: $X_{i,j+1} = (x_{i,j+1} + x_{i+1,j})$

	23700	24410	21500	20810	20200	24100
23700						
24410	65					
21500	25	45				
20810	0	15	60			
20200	0	55	20	10		
24100	10	0	50	20	45	

Slika 5. Trouglasta matrica

Sledeći korak predstavlja definisanje mrežnog dijagrama. U okviru ovog koraka



Slika 6. Mrežni dijagram

se vrši izbor najpovoljnije lokacije za postavljanje elemenata strukture, pri čemu se vodi računa o zavisnosti intenziteta kretanja između novog i već postavljenih elemenata strukture. Izgleđ mrežnog dijagrama dobijenog na osnovu prethodno oblikovanih matrica intenziteta toka, optimizirane matrice i trouglaste matrice prikazan je na slici 6.

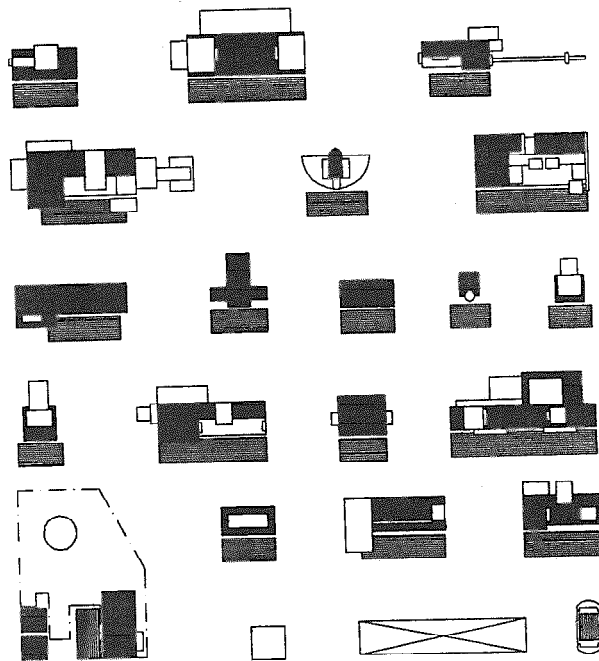
Pored pregledne sheme rasporeda elemenata, prikazane mrežnim dijagramom, u ovom koraku se generišu osnovni podaci relevantni za proces definisanja prostorne strukture. Ovi podaci su organizovani u vidu:

- pregleda tehnoloških sistema po redosledu koji je utvrđen proračunom,
- pregleda koordinata,
- pregleda spregnutih elemenata strukture i
- pregleda koordinata za potrebe crtanja veza između elemenata.

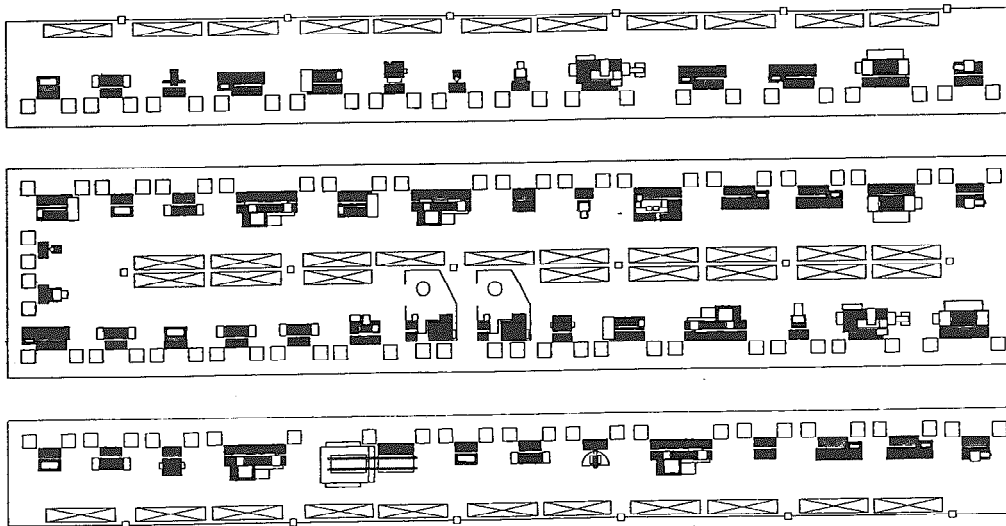
Definisanjem mrežnog dijagrama i liste koordinata, stvorcnic su podloge za definisanje prostorne strukture. Za potrebe definisanja prostorne strukture razvijena je grafička baza podataka elemenata strukture. Ova grafička baza je razvijena u AutoCAD okruženju. Izgleđ grafičke baze je prikazan na slici 7.

Sledeći korak je oblikovanje polaznog rešenja prostorne strukture. Ovaj korak se izvodi automatski na osnovu pregleda koordinata, pregleda spregnutih elemenata u sistemu, pregleda tehnoloških sistema i grafičke baze.

Definisanjem polaznog rešenja prelazi se na interaktivni rad na relaciji korisnik računar, pri čemu korisnik definiše neophodna podešavanja polaznog rešenja. U okviru podešavanja omogućene su funkcije dodavanja, rotiranja, translacije i brisanja elemenata strukture, definisanje korisničkog pogleda na strukturu i dodavanje putanje AGV. Krajnji izgled prostornog razmeštaja prikazan je na slici 8.



Slika 7. Deo grafičke baze podataka o elementima sistema

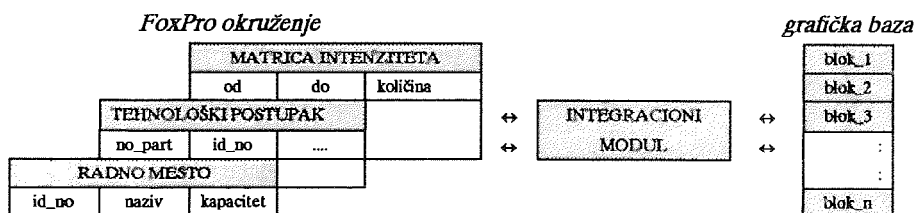


Slika 10. Primer jednog rešenja prostorne strukture sistema

4. MODEL PODATAKA

Podaci relevantni za funkcionisanje programskog modula za projektovanje prostornih struktura su organizovani u vidu relacione baze podataka. Osnovni deo ovog modula je razvijen u FoxPro okruženju zbog jednostavnosti manipulacije sa podacima, dok je izlaz iz ovog modula (prostorni razmeštaj) prikazan pomoću AutoCAD-a.

Principijelna shema veze između relacione baze i AutoCAD grafičke baze je prikazana na slici 11. Osnovni podaci su organizovani u relacionim tabelama, dok se veza sa AutoCAD-om ostvaruje preko integracionog modula koji ima zadatak da podatke iz relacionih tabela prilagodi AutoCAD-ovom okruženju.



Slika 8. Konceptualna shema sistema

5. ZAKLJUČAK

U radu je opisan modul za projektovanje prostornog razmeštaja elemenata proizvodnih sistema baziran na grupnoj tehnologiji koji rezultira u optimalnom rasporedu radnih mesta i učesnika u procesu proizvodnje. Osnovni kriterijum optimizacije je minimum funkcije intenziteta kretanja u proizvodnom sistemu. Polazno rešenje koje se dobija može da se koriguje na jednostavan način. Takođe se u procesu definisanja prostornog razmeštaja generiše više varijanti i korisniku se pruža mogućnost izbora najpovoljnije varijante za konkretan slučaj. Programski modul je razvijen za PC kompatibilne računare, a kao primer je rešen konkretan problem projektovanja prostorne strukture proizvodnog sistema. Podaci koji se dobiju mogu da se iskoriste za simuliranje procesa proizvodnje u realnom vremenu.

LITERATURA

1. Burbidge J. L.: THE SIMPLIFICATION OF MATERIAL FLOW SYSTEMS, Proceedings of VI ICPR, Novi Sad, 1981.
2. Zelenović D.: PROJEKTOVANJE PROIZVODNIH SISTEMA, Naučna knjiga, Beograd, 1987.
3. Maksimović R.: ISTRAŽIVANJE RADNIH KARAKTERISTIKA EFEKTIVNIH PROIZVODNIH SISTEMA, Magistarski rad, Novi Sad, 1989.
4. Zelenović D., Čosić I., Maksimović R.: EIN BEITRAG ZUR ERFORSCHUNG DER BEDINGUNGEN FÜR DIE HERABSETZUNG DES KOMPLEXITÄTSGRADES VON PRODUKTIONS SYSTEMSTRUKTUREN, wt - Werkstattstechnik, 11/91, 650-660, Springer Verlag, Berlin, 1991.
5. Radaković N., Dakić R., Maksimović R.: PRILOG RAZVOJU PROGRAMSKOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA NA GRUPNIM PRINCIPIMA, Zbornik radova 24. Savetovanja proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Knjiga III, 4.167-4.173, Novi Sad, 1992.

PRODUCTION SYSTEMS LAYOUT DESIGNING SOFTWARE SYSTEM DEVELOPMENT

Summary

The paper presents some results in developing a production system designing software system, especially for the system layout design. The layout designing software system is developed to analyze possible variants and to suggest the optimal solution for every specific case. The basic task input consists of the group technology procedure, estimated necessary system elements and the optimal workplaces schedule. The developed software system needs a special graphic interpretation of system elements in the form of a unified graphic library.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

T. Maneski, M. Milivojević

**Razvoj software-a za modeliranje 3-D
površni metodama interpolacije**

Rezime

Programski modul **INTERPOL - 2D** obuhvata razvijeni software za modeliranje površi na bazi tabelarnih podataka a primenom različitih metoda interpolacije. U radu se na primeru **plužne daske** i **Gausove površi** daje prikaz mogućnosti razvijenog software-a za automatozovano i brzo generisanje modela, NC - upravljačkih informacija, dobijanje geometrijskih podataka u proračunima putem konačnih elemenata i konačno obogaćivanju geometrijske informacije o nekom proizvodu.

1. UVOD

Na bazi ideja i software-ske podrške razradjenih u /1/ u okviru **Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Beogradu** projektovan je, unapredjen i razvijen software za modeliranje 3-D površi metodama interpolacije do nivoa aplikativne primene. Pri razradi su otklonjeni nedostaci ranijih pristupa i postignuti značajni efekti sa aspekta komfornosti rada i brzine samog software-a.

2. INTERPOL-2D kao deo FIDIJA paketa

INTERPOL-2D predstavlja segment studije koja kao generalni cilj ima dobijanje **NC - upravljačkih informacija** i **FE - proračunskih informacija** o delovima, alatima i priborima koji su ograničeni "složenim 3-D" i "slobodnim površima". Drugim rečima zadatak je dobijanje **NC - programa** i **FE geometrije** pri projektovanju i izradi proizvoda kao što su: lopatica turbine, plužna daska, telefonska slušalica...

Studija nosi naziv "Fidija" i obuhvata sledeće celine:

- INTERPOL - 2D**
- NELSON - M** - modeliranje površi na osnovu poznatih jednačina u pojedinim preseccima
- MOKOP** - modeliranje površi primenom savremene teorije eksperimenta
- FURLJE** - modeliranje pomoću Furijeovih redova
- BEZJER** - obuvata analizu i primenu Bezjerove krive i površi, B - splajn, Fergusonovu krivu...

Trenutno se radi na razradi modula **NELSON-M** i **MOKOP**.

doc. dr **Taško Maneski**, Mašinski fakultet, Beograd
dipl. inž. **Milovan S. Milivojević**, Mašinski fakultet, Beograd

3.SADRŽAJ INTERPOL - 2D MODULA

INTERPOL - 2D sadrži sledeće celine:

- modeliranje
- grafika
- X=?;Y=?;Z=?
- NC
- FE

Sadržajni opisi pojedinih segmenata su:

Modeliranje

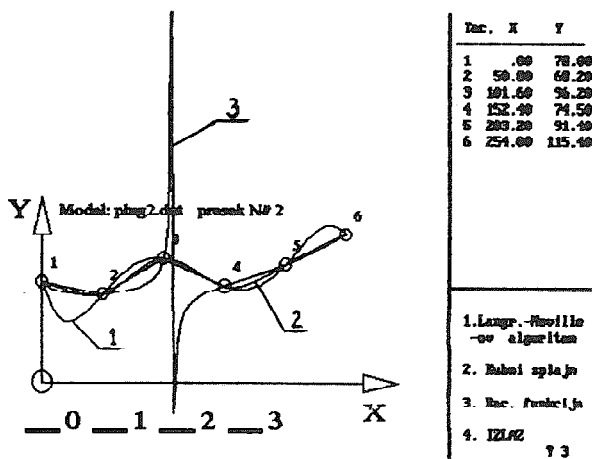
Na bazi generisanih koordinata čvornih tačaka (pomoću NC merne mašine ili nekog drugog tehnološkog mernog sredstva) vrši se modeliranje 3D površi. Za pojedine preseke i dobijene koordinate čvornih tačaka u tim presecima vrši se interpolacija nekom od sledeće tri metode:

- Langranževa interpolacija (Nevill - ov algoritam)
- Interpolacija kubnim splajnom
- Interpolacija Racionalnim funkcijama

Nakon izbora metode koja najadekvatnije opisuje krivu (procena je vizuelna ili na osnovu matematičke procene greške interpolacije) pamti se " kod " opisivanja, nalazi vrednost funkcije za zadatu tačku i zapisuju podaci o sto tačaka preseka namenjeni za grafički prikaz date površi.

Postupak modeliranja odvija se sukcesivno presek po presek, interaktivno.

Jedan od ekrana prikazan je na sl.1



- legenda: 0 - poligon izmerenih tačaka
1 - Langranžev interpolacioni polinom
2 - kubni splajn
3 - racionalna funkcija

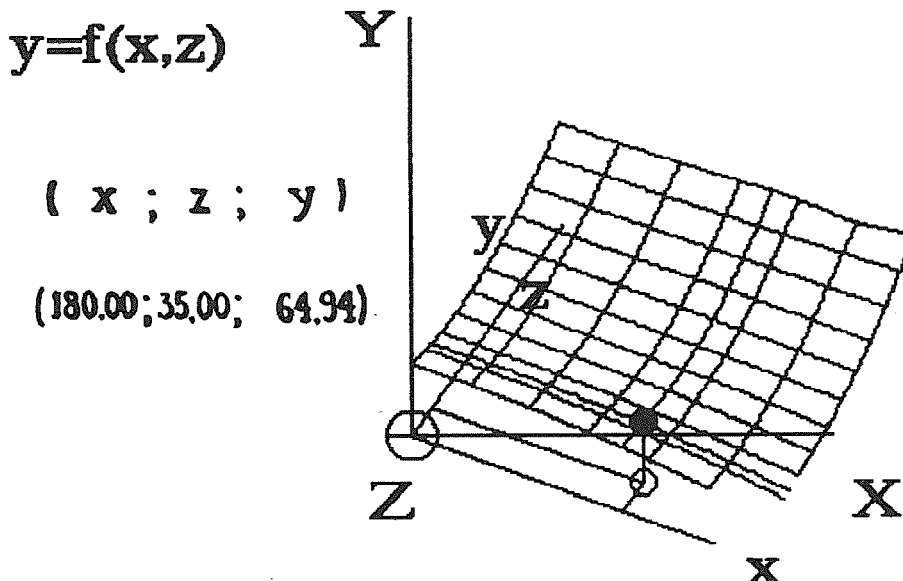
sl.1 Modeliranje presek po presek - INTERPOL - 2D

Prednost razvijenog software-a posebno se ogleda u činjenici da se svaki "čvorni pravac" može modelirati nezavisno, jednom od tri predviđene klase linija.

GRAFIKA i $X=;Y=;Z=?$

Ulazna datoteka za ovu celinu je datoteka tačaka za crtanje pripremljena u prethodnoj celini. Pomoću transformacionih matrica vrši se prikaz 3 - D površi u željenom izgledu.

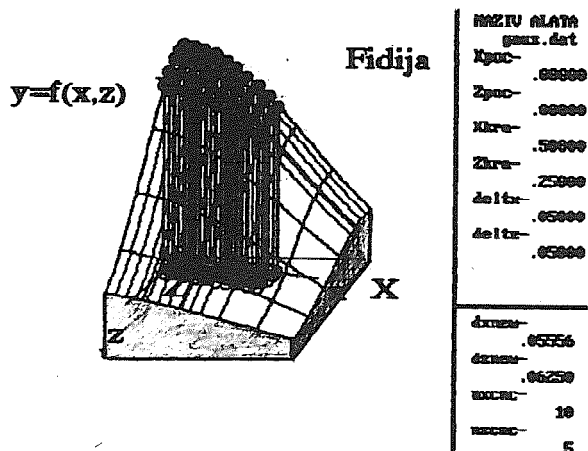
Segment $X=;Z=;Y=?$ omogućuje dobijanje koordinata bilo koje tačke na površi uz animaciju. Interpolacija u pojedinim pravcima vrši se metodom kojom je interpoliran najbliži presek u tom pravcu. Potrebne medjutačke preračunavaju se automatski, jer su memorisani svi " kodovi " interpolacija za čvorne grane. Postupak se ponavlja za izmenjeni redosled pravaca interpolacije a koordinate zatim računaju kao aritmetičke sredine dobijenih podataka. Time je obezbeđena veća tačnost odredjivanja koordinata i automatizam u generisanju NC informacija. /sl.2/



sl.2 Grafički prikaz PLUŽNE DASKE i proračun medjutačaka uz animaciju - INTERPOL -2D

NC(Numerical Control)

Podmodul NC ima zadatak da pripremi podatke za NC mašinu pomoću koje bi se izradio alat sa složenim 3 -D površima. Celina podrazumeva i generisanje ograničenja tipa krivih odnosno cilindarskih površi. Razvijena je i programskom podrška za prikaz putanje loptastog glodala uz animaciju /sl.3/. Izlaz iz ovog modula je datoteka koordinata tačaka površi namenjenih za generisanje NC programa i linearnu interpolaciju. Tačnost izrade dela, veličina inkremenata i granice domena zadaju se interaktivno



sl.3 Obrada Gausove površi loptastim glodalom
INTERPOL - 2D

FE(Finite Elements)

Za potrebe proračuna raznih modela metodom konačnih elemenata (FE) omogućeno je pripremanje podataka za predprocesor odnosno priprema podataka o koordinatama svih čvornih tačaka koje ograničavaju pojedine čvorne elemente.

4. ZAKLJUČAK

Težnja da se zadrže stremljenje ka naprednim i tehnološki razvijenim društvima ukazuje da ima smisla sprovesti detaljnu analizu tehnika koje se koriste u zapadnoj Evropi, Americi i Japanu za generisanje proizvoda, pribora i alata složenih formi i oblika. Pri ovome se misli kako na matematičku osnovu tako i na razvoj software-a koji bi bio aplikativan i koji bi na mašinskom parku u nasoj zemlji omogućio produkciju bar jednostavnijih predstavnika današnjih modernih proizvoda.

5. LITERATURA

- [1] Maneski T., Modeliranje geometrije 3D površine primenom 2D linija, CAD/CAM, Zbornik radova, Prohor Pčinjski, 1993
- [2] William P., Flaunery B., Terkolski S., William T., Numerical recipes, Cambridge University Press, 1986

T. Maneski, M. Milivojevic

SOFTWARE DEVELOPMENT FOR 3-D SURFACES MODELLING BY INTERPOLATION METHODS

Summary

INTERPOL - 2D programming module includes the software developed for surface modelling based on tabular data and by applying different interpolation methods. The software possibilities are shown in this paper, using real practical examples. The advantages for automatic and fast generation of models, NC data, finite elements data and obtaining more information about a products geometry are pointed out.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Rodić*

**MODEL INTEGRALNOG SISTEMA ZA AUTOMATIZOVANO
PROJEKTOVANJE PRIBORA**

Rezime

U radu je prikazan model integralnog sistema za automatizovano projektovanje pribora s kratkim opisom delova tog sistema.

Dati su i rezultati provere, u delu koji se odnosi na sintezu novih rešenja pribora.

1.0 UVOD

U savremenim proizvodnim sistemima sa automatizovanom proizvodnjom i automatizovanim projektovanjem proizvoda i tehnoloških procesa ističe se potreba za automatizovanim projektovanjem i izborom pribora. Proizvodnja i konstrukcija alata i pribora, zavisno od tipa proizvodnje, čini 50-80% od ukupnog vremena za pripremu proizvodnje. Skraćivanjem tog vremena smanjuju se i pripadajući troškovi. To se postiže, između ostalog, primenom novih metoda u organizaciji, konstrukciji i izradi pribora. Te nove metode baziraju na klasifikaciji, unifikaciji, standardizaciji, mehanizaciji i automatizaciji pribora.

Konstrukcija pribora u opštem slučaju predstavlja višekomponentnu hijerarhijsku strukturu sa složenim uzajamnim vezama sastavnih elemenata. Rasčlanjavanjem na elemente i neka druga svojstva pribore možemo tretirati kao tehnički sistem koji se odlikuje sledećim karakteristikama: veza sa okolnom sredinom - O, strukturom - S, funkcijom - F i skupom konstruktivnih svojstava - K.

2.0 POSTAVKA STRUKTURE SISTEMA

Struktura integralnog sistema za projektovanje pribora postavljena je tako da se mogu projektovati pribori svih stepena specijalizacije.

Na osnovu ulaznih podataka potrebnih za projektovanje pribora može se, u opštem slučaju, izvršiti izbor postojećeg pribora, po potrebi ga doraditi, ili ako takvo rešenje ne postoji projektovati novi pribor.

U banci podataka mogu biti zapamćena rešenja pribora i na odgovarajući način označena. Na nivou izbora pribora dobiće se rešenja pribora različitog stepena operative gotovosti. Ako je dobijeno više rešenja pribora tehnoekonomskom

*) Rodić dr Milorad, dipl. ing., docent

Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, V. Perića Valtera 2,

analizom dolazi se do najpovoljnijeg rešenja za posmatrani slučaj. Kad se dobije rešenje koje se ne može direktno primenuti, na nivou projektovanja pribora, doraduje se pribor. Moguće je da se uopšte ne dobije rešenje pribora. Onda se pristupa sintezi nove konstrukcije pribora. Opravdano je pri tome pribor podeliti na određene funkcionalne celine i fazno projektovati pribor. Na kraju je neophodno oblikovati konstruktivnu dokumentaciju pribora i definitivno nacrtati crtež pribora.

Da bi se prethodne aktivnosti uspešno obavile potrebno je sistematizovati osnovne podloge za projektovanje pribora, izgraditi banku podataka i razviti sisteme programa za automatizovano projektovanje pribora.

3.0 MODEL AUTOMATIZACIJE SISTEMA

Pri postavljanju modela automatizacije sistema projektovanja pribora imalo se u vidu da njegova primena polazi od pretpostavke da su elementi pribora prethodno projektovani (tj. da se ne projektuju u okviru ovog sistema).

Isto tako, model automatizacije orjentisan je na razvoj automatizovanog sistema, pre svega, za potrebe tehnološke pripreme proizvodnje.

Imajući pomenuto u vidu, kao i trendove u pogledu razvoja i načina korišćenja računara u industriji prerade metala, model automatizacije ovog sistema integralnog projektovanja pribora zasnovan je na interaktivnom principu.

Ovako automatizovan sistem integralnog projektovanja pribora omogućava automatizovani izbor pribora (ako postoji gotovo rešenje), eventualnu potrebnu dogradnju pribora, i ako rešenje ne postoji automatizovano projektovanje novog pribora.

Postavljeni model automatizacije integralnog sistema automatizovanog projektovanja pribora prikazan je na slici 1. Strukturu ovog modela čine četiri dela i to:

- podsistem za definisanje ulaznih informacija (gornji deo)
- datoteke podataka - banka podataka (levi deo)
- glavni računarski program sa sistemom računarskih programa za izbor postojećih pribora i projektovanje (sintezu) novih pribora (procesor - centralni deo)
- izlazne informacije (desni i donji deo)

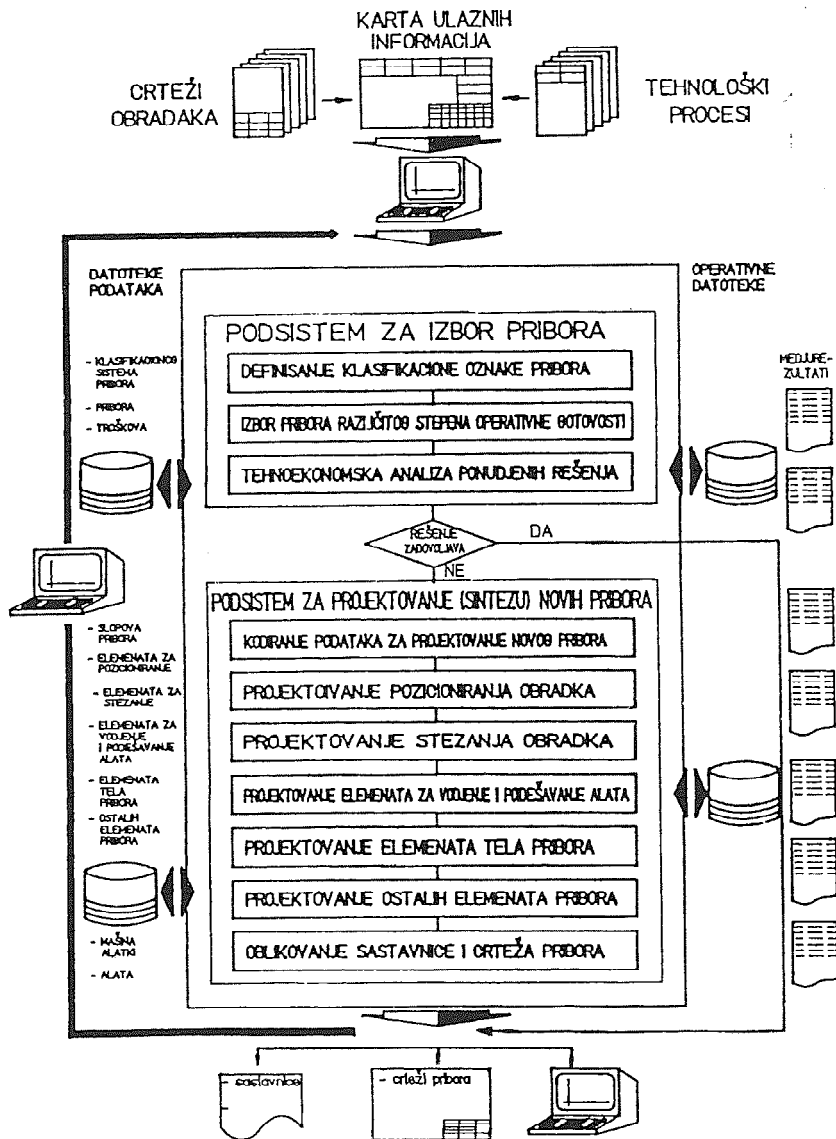
Svi delovi sistema biće ukratko objašnjeni.

Kod sistematizovanog projektovanja pribora projektant mora imati određene podatke koji precizno definišu zadatak za projektovanje. Realno je očekivati postojanje sistema automatizovanog projektovanja tehnoloških procesa. Izlazna informacija iz tog sistema bi sadržala većinu podataka za definisanje ulaza kod automatizovanog projektovanja pribora. Transfer tih podataka bi se vršio automatski. Ulazna informacija mora u sebi sadržati podatke za obradu u okviru svih modula usvojenog integralnog sistema automatizovanog projektovanja pribora.

Na osnovu crteža obradaka i njihovih tehnoloških procesa moguće je definisati kartu ulaznih informacija za automatizovano projektovanje pribora (slika 2). Skup ulaznih informacija sadrži sve neophodne podatke za definisanje klasifikacione oznake.

Datoteke podataka čine osnovu systemske podrške i sadrže sve podatke neophodne za uspešno funkcionisanje glavnog računarskog programa, odnosno sistema programa za izbor postojećih pribora, dogradnju ponuđenih rešenja ili projektovanje (sintezu) novih rešenja i odgovarajućih podataka, automatizovano dobijaju rešenja pribora za posmatrane operacije obrade.

Datoteke podataka, prema slici 1, sačinjavaju datoteke klasifikacionog sistema pribora, postojećih pribora, troškova pribora, grupe sklopova pribora, elemenata za pozicioniranje, elemenata za stezanje, elemenata za vođenje i



Slika 1. Model automatizacije strukture integralnog sistema za projektovanje pribora

podešavanje alata, elemenata za formiranje tela pribora, ostalih elemenata pribora, mašina alatki i alata.

Processor je organizovan na modularnom principu. Moduli za izbor pribora su: definisanje klasifikacione oznake, izbor pribora različitog stepena operative gotovosti, tehnoekonomska analiza ponuđenih rešenja.

Na osnovu crteža obradka i njegovog tehnološkog procesa definiše se karta ulaznih informacija za automatizovano projektovanje pribora (slika 2).

Na osnovu tako definisanih ulaznih podataka u interaktivnom radu korišćenjem razvijenog sistema označavanja (klasifikacije) [5] koji je zapamćen u datoteci određuje se klasifikaciona oznaka potrebnog pribora (blok B).

U prvom modulu ovog podsistema, na osnovu napred definisane karte ulaznih informacija korišćenjem datoteke pribora u interaktivnom radu sa računarom određuju se blokovi B klasifikacione oznake potrebnih pribora. Za zadatak definisan na slici 2 klasifikacione oznake potrebnih pribora su na slici 3.

B1	B2	B3	B4	B5	B6
210	10	1111	720	622	1111

Slika 3. Klasifikaciona oznaka potrebnog pribora (blok B) za primer sa slike 2

U drugom modulu se vrši pretraživanje datoteke gotovih rešenja pribora. Ulaženjem sa klasifikacionom oznakom (blok B) u datoteku gotovih rešenja pribora i određivanjem stepena saglasnosti (poklapanja) određenog broja polja bloka B klasifikacione oznake potrebnog pribora sa oznakama pribora koje postoje u datoteci biraju se, ako postoje, pribori različitog stepena operativne gotovosti. Za primer na slici 2 ne postoji rešenje u banci podataka. Zato se u podsistemu za automatizovano projektovanje pribora konstruiše novi pribor.

Projektovanje (sinteza) novog pribora, kao što je ranije prikazano, radi se fazno u okviru pojedinih modula dok se ne dobije kompletan crtež pribora.

Korišćena je CAD radna stanica proširena sa PC računarom. PC računar je korišćen za obradu uglavnom alfanumeričkih podataka, a CAD radna stanica za obradu grafičkih informacija. Direktna komunikacija između PC računara i CAD radne stanice ostvarena je pomoću interfejsa.

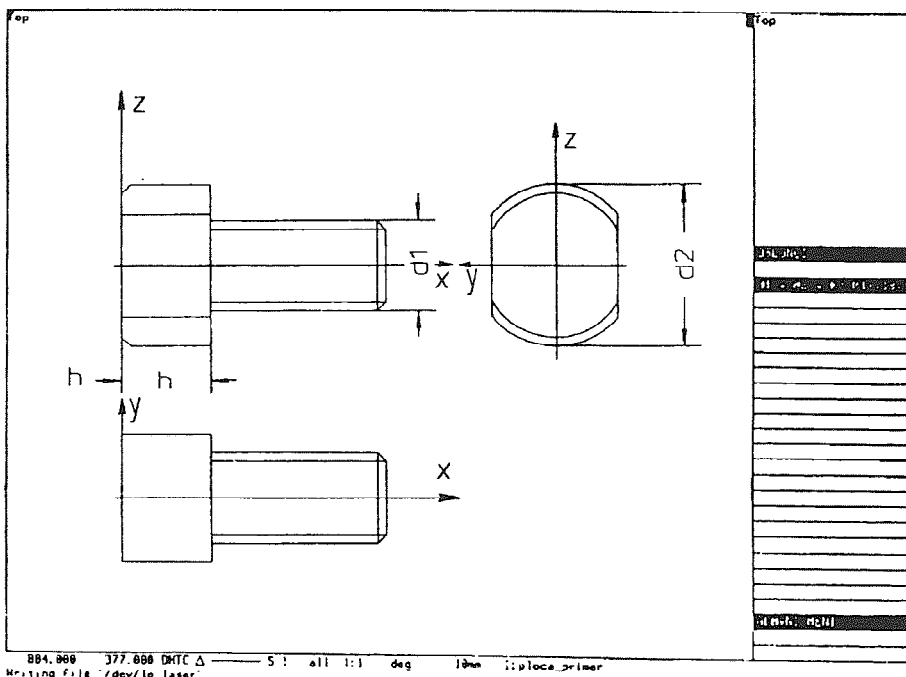
Informacije o priborima i elementima pribora date su u banci podataka u odgovarajućim datotekama. Zapamćene su na PC računaru korišćenjem paralelnog sistema označavanja, a grafički podaci su sadržani u memoriji CAD radne stanice sa istim oznakama.

Na PC računaru instalisan je softver za izbor odgovarajućih elemenata pribora. Automatizovano biranje potrebnih elemenata na PC računaru vrši se u interaktivnom radu. Ovde se pokazuje na primeru pozicioniranja obradaka. Na osnovu napred definisanog i prikazanog dela klasifikacione oznake B3 i prikazanih šema oslanjanja u zavisnosti od šema pozicioniranja u tri etape biraju se elementi za oslanjanje po naslonjoj, orjentišućoj i upornoj baznoj površini. Na izlazu sa PC računara dobija se oznaka kao na slici 4.

056	-147	002	C4260	OSLONAC
-----	------	-----	-------	---------

Slika 4. Primer izlaza sa PC računara oznake elemenata za pozicioniranje obradaka po ravnoj površini (B3=1111)-pozicija 8

Pomoću oznake direktno se sa CAD radne stanice dobija crtež elemenata pribora. Aplikacija je rađena korišćenjem programskog paketa ME 10. Izgled ekrana za primer sa slike 4 dat je na slici 5.



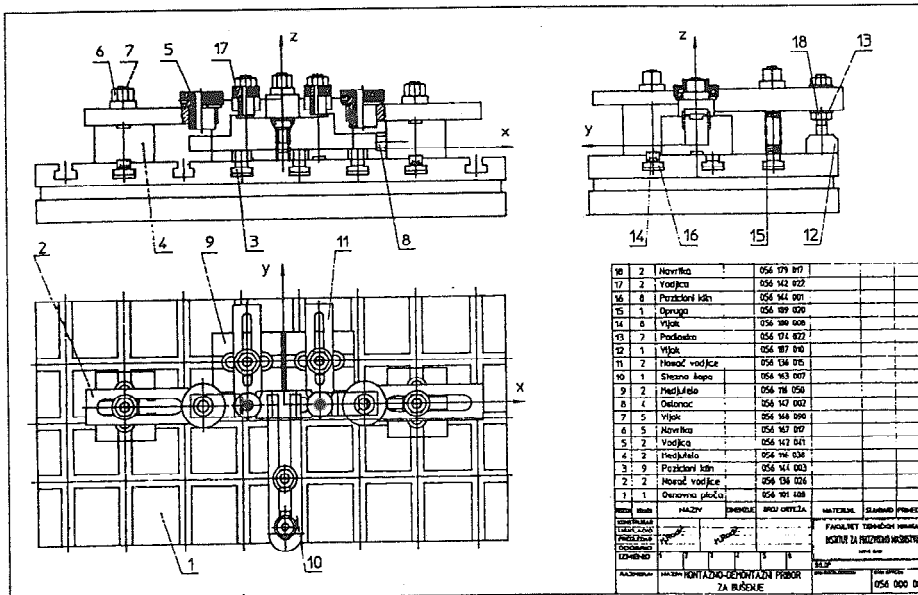
Slika 5. Izgled ekrana na primeru elementa za pozicioniranje čija je oznaka kao na slici 4

Da bi se kreirao crtež pribora u prvom modulu crta se crtež obradka sa glavnim koordinatnim sistemom. U sledećih pet modula sukcesivno se biraju elementi pribora (kako je ranije opisano) i raspoređuju na odgovarajuće mesto na crtežu pribora. Rezultat prvog od modula (modul za pozicioniranje) su elementi za pozicioniranje raspoređeni na odgovarajuće mesto.

Svaki sledeći modul je komponovanje novih elemenata na postojeće. Ako dobijeni rezultat u toku oblikovanja konstrukcije zahteva korekcije, konstruktor u interaktivnom postupku neposredno unosi neophodne dopune ili izmene i uvodi ih u polazne podatke za sledeću etapu i produžava proces automatizovanog projektovanja. Zadnji modul služi za oblikovanje sastavnice pribora i definitivno izcrtavanje crteža pribora.

Pored sastavnice na crtežu je moguće prikazati i tabelu svih elemenata od kojih se sastoji pribor sa oznakama i koordinatama čvornih tačaka. Pored toga što se ceo crtež može iscrtati direktno iz operativne datoteke u kojoj je zapamćen moguće ga je nacrtati i pozivanjem svakog elementa iz datoteke i zadavanjem koordinata čvornih tačaka za te elemente.

Kompletan crtež pribora prikazan je na slici 6 za posmatrani primer operacije obrade izradka sa slike 2.



Slika 6. Sklopni crtež pribora za primer sa slike 2

5.0 ZAKLJUČAK

Razvijeni model integralnog sistema za automatizovano projektovanje pribora omogućava izbor potrebnog pribora, za ostvarenje određene operacije obrade, različitog stepena operativne gotovosti, ako isti postoji u banci podataka i dogradnju ponuđenih rešenja ili projektovanje novog pribora, kad rešenje ne postoji.

6.0 LITERATURA

- [1] Boerma, R.J., Kals, J.J.H. : FIXES, a System for Automatic selection of Set-Ups and Design of Fixtures, Annals of CIRP Vol.37/1/1988.
- [2] Von Barbeleben, W. : Systematische Betriebsmittelplanung: Methodik und Hilfsmittel, gezeigt am Beispiel der Varrichtungs-konstruktion, Dissertation, TH Aachen, 1972.
- [3] Jing, W., Wang, Z., Cai, Y. : Computer-Aided Group Fixture Design, Annals of the CIRP vol. 37/1/1988.
- [4] Nee, A.Y.C., Bhattacharyya, N. end Poo, N.A. : Applying ai in jigs and fixtures design, Robotics-Computer-Integrated Manufacturing, Vol. 3 No. 2, 1987.
- [5] Rodić, M. : Sistem klasifikacije pribora kao osnova za automatizovano projektovanje i unifikaciju pribora, 22 Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Ohrid, 1989.
- [6] Rodić M. : Struktura integralnog sistema projektovanja pribora, Zbornik radova IPM, br.10, Novi Sad, 1993.
- [7] Rodić M. : Generalni okvir za automatizovano projektovanje pribora sa posebnim naglaskom na potrebne ulazne informacije, 19. JUPITER konferencija, 6. Jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Zbornik radova, Prohor Pčinjski, 1993.

M. Rodić

**A MODEL OF AN INTEGRAL SYSTEM FOR AUTOMATED FIXTURE
DESIGN**

Summary

The paper reviews a model of an integral system for automated fixture design with a concise description of its components. Verification results are also presented in the part which pertains to the synthesis of new fixture solutions.

V. Stoiljković¹, M. Milosavljević²

3D LIV - CAD sistem za generisanje geometrijskog modela složenih odlivaka

Rezime

U ovom radu se izlaže 3D LIV CAD sistem za odlivke proizvoljnog oblika. CAD sistem je tako koncipiran da omogućava povezivanje sa drugim modulima CIM sistema, odnosno sa drugim programima za automatizaciju nekih segmenata proizvodnje. 3D LIV CAD sistem je razvijen na platformi AutoCAD 12.0 korišćenjem AME modula. Korisnik prepoznaje na grafičkom meniju elementarne primitivne iz kojih se sastoji odlivak. Spajanjem ponudjenih i unapred pripremljenih primitiva dobija se veoma brzo i pouzdano geometrijski model složenih delova koji se dobijaju livenjem. Dobijeni model proizvoda može da se implementira u ostale module CIM-a pomoću relacione baze podataka. 3D LIV CAD sistem se bitno razlikuje od postojećih 3D CAD programa svojom funkcionalnošću i jednostavnošću za upotrebu, posebno u oblasti za koju je namenjen.

1. UVOD

Delovi koji se dobijaju livenjem imaju veoma složenu geometriju. Stoga je veliki problem da se tačno odredi spoljašnja površina, zapremina, težina i drugi parametri od kojih zavisi optimalno definisanje procesa livenja, izbor peska za livenje, kao i modeliranje kalupa za livenje. Bez primene 3D CAD sistema danas je nezamisliv uspešan rad u livnicama. Neke od livnica u našoj zemlji su to već shvatile i ulažu napore u delu školovanja svojih stručnjaka za korišćenje novih "alata" uz istovremeno nabavljanje računarske opreme i software. Pri tome, najčešće

¹ Prof. dr Vojislav Stoiljković, CIM TTC laboratorija, Mašinski fakultet Niš.

² dipl. ing. maš. Milan Milosavljević, CIM TTC laboratorija, Mašinski fakultet Niš.

počinju sa korišćenjem PC računara i danas najpoznatijeg CAD programa na toj platformi, AutoCAD 12.00. Stoga je razumljivo da je izrada specijalizovanih 3D CAD sistema već duži period vremena predmet istraživanja u CIM TTC laboratoriji na Mašinskom fakultetu u Nišu. Jedan od razvijenih programa je i 3D LIV.

3D LIV je CAD sistem namenjen za generisanje geometrijskog modela složenih delova koji se dobijaju livenjem. Sistem je baziran na platformi AutoCAD 12.00 korišćenjem njegovog modula AME. Koriste se osnovne primitive, koje korisnik bira sa grafičkog menija i od kojih kreira složenije oblike za livenje. Stablo geometrijskog modela se zapisuje u posebnu relacionu bazu podataka ORACLE.

3D LIV predstavlja parametarski sistem. Unos konkretnih parametara se vrši preko odgovarajućih prozora koji su deo korisničkog interfejsa. Korišćenjem gotovih algoritama AutoCAD-a za novonastali geometrijski model proizvoda se mogu odrediti zapremina, masa, površina i sl. Ovim sistemom se može generisati i geometrijski model kalupa za livenje.

U narednoj tački je data dekompozicija odlivaka koja treba da omogući da rad korisnika bude što lakši i pouzdaniji, a da pri tome zahteva što manje znanja iz 3D projektovanja, kakav je slučaj pri korišćenju komercijalnih 3D CAD sistemam uključujući i sam AutoCAD.

U tački kompozicija solida dat je opis nastanka kompozicije solida korišćenjem Bulovih operacija. Takodje je dat prikaz arhitekture sistema, CSG reprezentacija i primer nastao korišćenjem 3D LIV sistema

2. DEKOMPOZICIJA ODLIVAKA

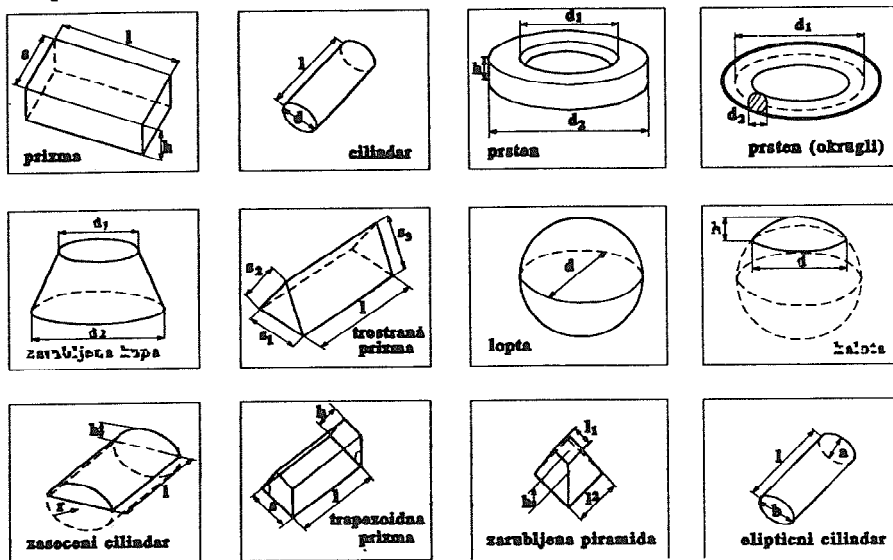
Analizom većeg broja odlivaka, a uz pomoć iskustva i znanja tehnologa iz iz preduzeća koja saraduju sa CIM TTC laboratorijom na projektima koje finansira Fond za tehnološki razvoj Srbije, u CIM TTC laboratoriji na Mašinskom fakultetu u Nišu došlo se do ukupno 12 solida (slika 1) koji se najčešće nalaze kao elementi odlivaka: blok, cilindar, prsten sa ravnim stranama, obli prsten, zasečena kupa, trostrana prizma, lopta, kalota, zasečeni cilindar, trapezoidna prizma, zasečena piramida i cilindar sa elipsama kao bazisima. I ovakva jednostavnost, odnosno malobrojnost osnovnih elemenata - solida, omogućava da se postignu željeni rezultati u gradnji različitih modela odlivaka, i to pre svega zahvaljujući odredjenim i prednostima i ograničenjima koje ima sama tehnologija livenja.

3. KOMPOZICIJA SOLIDA

Kompozicija solida nastaje kao kombinacija dva ili više solida. Pomoću Bulovih operacija se kreiraju kompleksni solidi od jednostavnih solida. Pri ovome se koriste tri osnovne Bulove operacije: unija, presek i oduzimanje.

Unijom dva solida nastaje novi solid koji zauzima zapreminu oba solida. Presekom dva solida nastaje solid koji ima zapreminu koja se nalazi u preseku oba solida. Oduzimanjem dva

solida nastaje solid koji ima zapreminu prvog solida koja je umanjena za deo zapremine koja se nalazi u preseku sa drugim solidom .



Slika 1 Pregled primitiva za odlivke

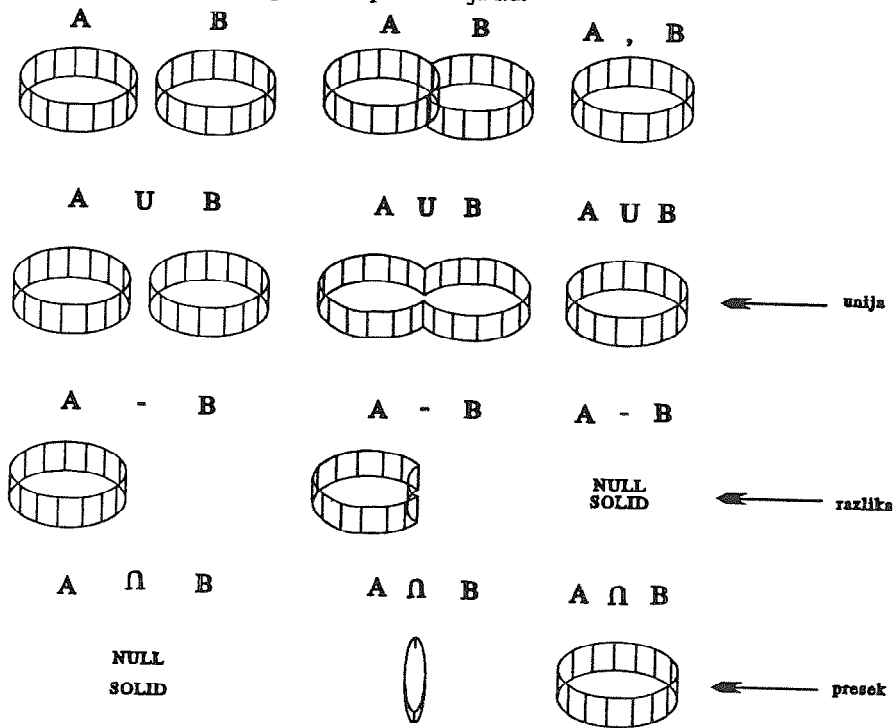
Bulovim operacijama se mogu odjednom spojiti samo dva solida. Tako na primer ako se zahteva unija tri solida, AME vrši izbor najpre dva solida koje spaja, te nakon toga novonastali solid spaja sa trećim zadatim solidom. Dejstvo Bulovih operacija se može poništiti komandom Solsep. Sve Bulove operacije su optimalno rešene u AME softveru. Na slici 2. se ilustruju sve tri Bulove operacije .

Arhitektura CAD sistema za odlivke proizvoljnog oblika, prikazana je na slici 3.

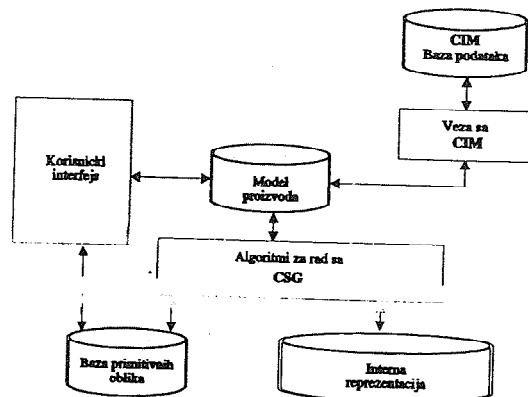
Prevodjenje svakog primitivnog oblika u njegovu CSG reprezentaciju obezbedjuje da se korisnički interfejs potpuno izdvoji od podsistema za modeliranje čvrstog tela. Prenos podataka izmedju korisničkog interfejsa i ovog podsistema je jednostavan, jer se radi o malom broju informacija. Podsystem za modeliranje, na osnovu tih informacija (identifikatori primitivnih oblika, stvarne dimenzije i položaj) ima zadatak da izgradi model čvrstog tela (odlivka, gotovog dela ili nekog proizvodnog dela), da obezbedi njegovo prikazivanje u tri dimenzije ili u bilo kojoj projekciji ili preseku, da izvrši određene analize vezane za nalaženje zapremine, površine, mase, momenata inercije, otpornih momenata i slično, kao i da izvrši dodavanje livačkih dodataka gde je to potrebno itd. Izolacija ovog podsistema je i omogućila da se za te poslove koristi gotovi modeler čvrstog tela, kao što je AME iz paketa AutoCAD Release 12.00.

Učinjena dekompozicija nekog tela, npr. odlivka na primitivne oblike i njihova realizacija metodama konstruktivne geometrije čvrstog tela - CSG, obezbedjuje da zapis o geometrijskom modelu proizvoda bude vrlo koncizan. Time se obezbedjuje da se geometrija proizvoda može da integriše sa drugim podacima (na platformi referentnog modela proizvoda) i sve zajedno može da se srnesti u relacjonu bazu podataka. Kako se te baze podataka najčešće koriste za PPS - planiranje i upravljanje proizvodnjom, time može da se ostvari direktna integracija, što je

osnovni cilj CIM koncepta preduzeća. Na taj način se obezbedjuje da model proizvoda bude potpuno integrisan sa ostalim podacima vezanim za proizvodnju, podaci za planiranje tehnologije, podaci za kontrolu, podaci za proizvodnju itd.



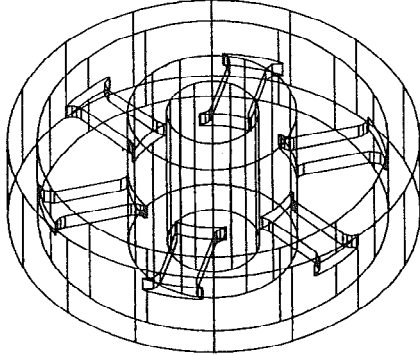
Slika 2 Buloove operacije



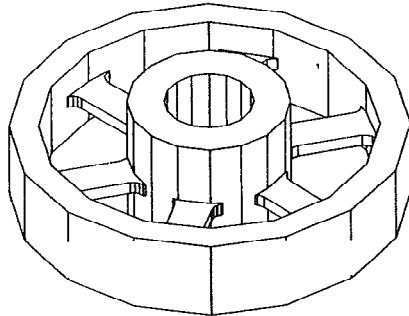
Slika 3 Arhitektura CAD sistema za odlivke

Korišćenjem gotovih algoritama sa kojima raspolaže AME dobijeni su svi ostali podaci potrebni za generisanje tehnološkog modela (tehnološki postupak, izgled dela po operacijama), generisanje alata za svaku operaciju, podaci koji se odnose na težinu, dodatke itd.

Na ovaj način je i dobijen primer livenog točka koji je prikazan na slici 4 u žičanom i na slici 5 u mrežnom prikazu.



Slika 4 Žičani model točka dobijen u ACAD-u 12.0



Slika 5 Mrežni model točka dobijen u ACAD-u 12.0

4. ZAKLJUČAK

Generisanje 3D solid modela sa zahtevom da se koriste postojeći algoritmi koji omogućavaju razna dodavanja, određivanja nagiba i radijusa, kao i određivanje mase, zapremine površine, itd., navodi na to da je najracionalnije da se koriste namenski 3D CAD sistemi. Jedan od takvih sistema je prikazan u ovom radu. Razvijeni elementarni primitivni oblici na višem nivou omogućavaju korisniku da preko korisničkog interfejsa veoma brzo, pouzdano i efikasno generiše bilo koji solid. Zapis o geometrijskom modelu proizvoda se realizuje u

relacionoj bazi podataka što omogućuje direktno povezivanje sa ostalim modulima CIM-a u okviru integrisane proizvodnje.

Razvijeni 3D CAD sistem radi na jeftinoj platformi (PC 386, 486). Pošto veći broj preduzeća već koristi AutoCAD za izradu radioničke dokumentacije, onda se dolazi do zaključka da razmatrani 3D CAD sistem može da nadje primenu u livačkoj industriji.

LITERATURA

- [1] Stoiljković, V., i drugi autori, CAQ - Computer Aided Quality, CIM College, Niš, 1994., s. 400.
- [2] Stoiljković, V., i drugi autori, GLOBALNI PROJEKAT CIM KONCEPTA "NITEX-a" Niš, januar 1994., s. 500.
- [3] Stoiljković, V., CIM STRATEGIJA PREDUZEĆA, CIM College & BIPIF, Niš, 1993., s. 412.

3D LIV CAD SYSTEM FOR GENERATING THE COMPLEX CASTINGS GEOMETRICAL MODEL

Summary

This paper presents the 3D LIV CAD system for casting an arbitrary shape. The CAD system is conceived in such a manner that it provides a connection with other CIM system modules, that is with other programs for some production segments automation. The 3D LIV CAD system was developed on the AutoCAD 12.0 platform, using the AME modules. The user recognizes elementary forging primitives on the graphic display. By linking them the user obtains a reliable geometric model of complex parts obtained by forging or casting or by some other technologies, but whose shape is similar to that of the above-discussed group of parts. The obtained product model can be implemented into other CIM modules by means of the realization database. The 3D LIV CAD system is essentially different from the existing 3D CAD programs by its functionality and simplicity, especially in the field for which it is designed.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

D.ŠEBO, R.KRÁLIKOVÁ

FORMAL DESCRIPTION OF ENGINEERING PRODUCTS
IN THE DESIGN PROCEDURE

ABSTRACT

The formal description of engineering products in the design procedures is given in the paper. It is a information transfer to such a form. what is possible to utilize for a computer. The purpose is - the development of theories and methods in connection to parallel and integrated design of engineering products.

INTRODUCTION

Outputs of production system with discrete production process have different character and it is possible to divide them roughly into main outputs (products), energy outputs, information outputs and waste.

Šebo Dušan, Doc.,Ing.,CSc., Králiková Ružena, Ing.,CSc.
TU SjF KAVS - Košice, Park Komenského 5, SLOVAKIA

Let us define main outputs form PS, products in the final concept, as the set \mathcal{A} , for which it is valid:

$$\mathcal{A} = \{a \in \mathcal{S}, \mathcal{V}(a)\}, \quad (1)$$

which are determined on the basic set of parts \mathcal{S} with relevant predicational form $\mathcal{V}(a)$, which is defined by the principle of group technology - hence, for products, which are manufacturable and mountable in the relevant production system and by the boundary conditions. For discrete production processes, it is also necessary to define a purpose function f_v and system of conditions, which must be satisfied by \mathcal{A} . Because it is valid that $\mathcal{A} \subset \mathcal{S}$, the $\mathcal{V}(a)$ predicational form is determinant and binding for elements of the set $\mathcal{A} = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_v, \dots, a_V\}$, but at the same time for elements of the set $\mathcal{S} = \{s_1, s_2, s_3, \dots, s_1, \dots, s_I\}$, i.e. for parts base. The problem of connections between parts base and products is more complicated in the practice (there are other intermediate stages, such as constructional nodes, assembly units, etc.), which are possible to consider e.g. at assembly technology, and which are in accordance with previous and following considerations.

It is possible to put down the purpose function for each element of the set \mathcal{A} :

$$a_v, f_v({}^v\mathcal{S}_i) \quad (2)$$

determined in mechanical engineering by assembly drawing, working drawings and processes, technical and economical information, etc. Hence, the purpose function of the product f_v defines firstly the assembly of v 's product a_v , composed of parts ${}^v\mathcal{S}_i$, then those parts from the base \mathcal{S} , which are necessary for completion of the product a_v . Because the assembly, seating, positioning, mixing and erecting are close to the integration from the operator standpoint, it is possible to put down in a simplified way:

$$a_v, f_v({}^v S_i) = \sum_{vS_i \in B_{i,v}} \dot{U}^v S_i, \quad (3)$$

while the operator $\sum \dot{U}$ means general connection of individual parts (fixed, loose and others) and the field $B_{i,v}$ is a rule, which and how many parts S_i the v -product is composed form (in mechanical engineering it is defined, e.g. by a list of parts).

Let each part is composed of primitives \mathcal{P} , homogenous elements as to their shape and technology, which is possible to determine form the point of view of their shape, dimensions and quality. It is possible to expres practically decomposition of products \mathcal{A} and their hierarchic structure (Fig.1).

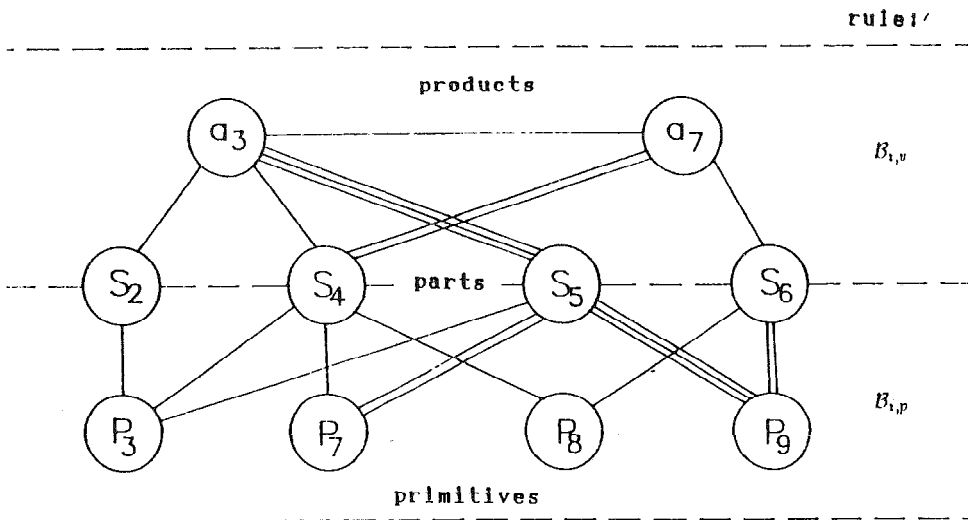


Fig.1

The purpose function δ_i will by an integration of relevant primitives \mathcal{P}_p

$$S_i, f_i({}^i \mathcal{P}_p) = \sum_{v\mathcal{P}_p \in B_{i,p}} \dot{U} \mathcal{P}_p, \quad (4)$$

where the operator $\sum \dot{U}$ means the integration of primitives \mathcal{P}_p , from which the part S_i is composed according to the rule

of the $B_{i,p}$ field, which is determined in such details, as are necessary for utilization of the method (it is possible to put here positioning of primitives, calculation of the strenght of primitives, etc.).

The information about the existence of particular primitive and its characteristic are sufficient for the design of production process. The following boundary conditions can be used in engineering to distinguish primitives:

Shape G - as general volume shape function, determined on bearing medium, hence, the primitive is an element of the S_i part, considering the f^G shape function:

$$\mathcal{P}_p \in f^G(S_i) \quad (5)$$

Dimensions D - when dimensions, which define the size of a shape, are a criterium for the change of technology, or $\forall Z$ (not for normal typified dimensions of the same primitive):

$$\mathcal{P}_p \in f^D(S_i) \quad (6)$$

while D - interval of dimensions.

Position D^x, y, z - each dimension of the primitive is defined in general space system x, y, z .

$$\mathcal{P}_p \in f^{D^x, y, z}(S_i) \quad (7)$$

Accuracy K - in form of toleration range of rated dimensions D of the P primitive (achieving of required accuracies by individual technologies).

$$\mathcal{P}_p \in f^K(S_i) \quad (8)$$

Quality of surface L - in form of complicated function of the shape and mutual links of surfaces.

$$\mathcal{P}_p \in f^L(S_i) \quad (9)$$

Material M - as multi-criteria function of composition and characteristics of material.

$$\mathcal{P}_P \in f^M(S_i) \quad (10)$$

Then, the basic technological principle of production of the primitive is as follows:

$$\mathcal{P}_P \in f^T \cap f^D \cap f^{D^{*m}} \cap f^K \cap f^L \cap f^M \quad (11)$$

Production quantity Q_p - this boundary condition has a character of variable, which determines, based on technical and economical analyses, the production stage and production technology. If annual production quantity of v -product is Q_v , it is possible to put down that the annual production quantity p -primitive \mathcal{P}_p is as follows:

$$Q_p = \sum_{i \in S} B_{i,p} \sum_{v \in A} B_{i,v} Q_v \quad (12)$$

To make the problem more clear we state an example of the S_6 part, consisting of \mathcal{P}_8 and $2\mathcal{P}_9$, primitives according to Fig.2 Operator entry will be: $S_6 = \mathcal{P}_8 \cup \mathcal{P}_9$ and the rule: $B_{6,8} = 1, B_{6,9} = 2$

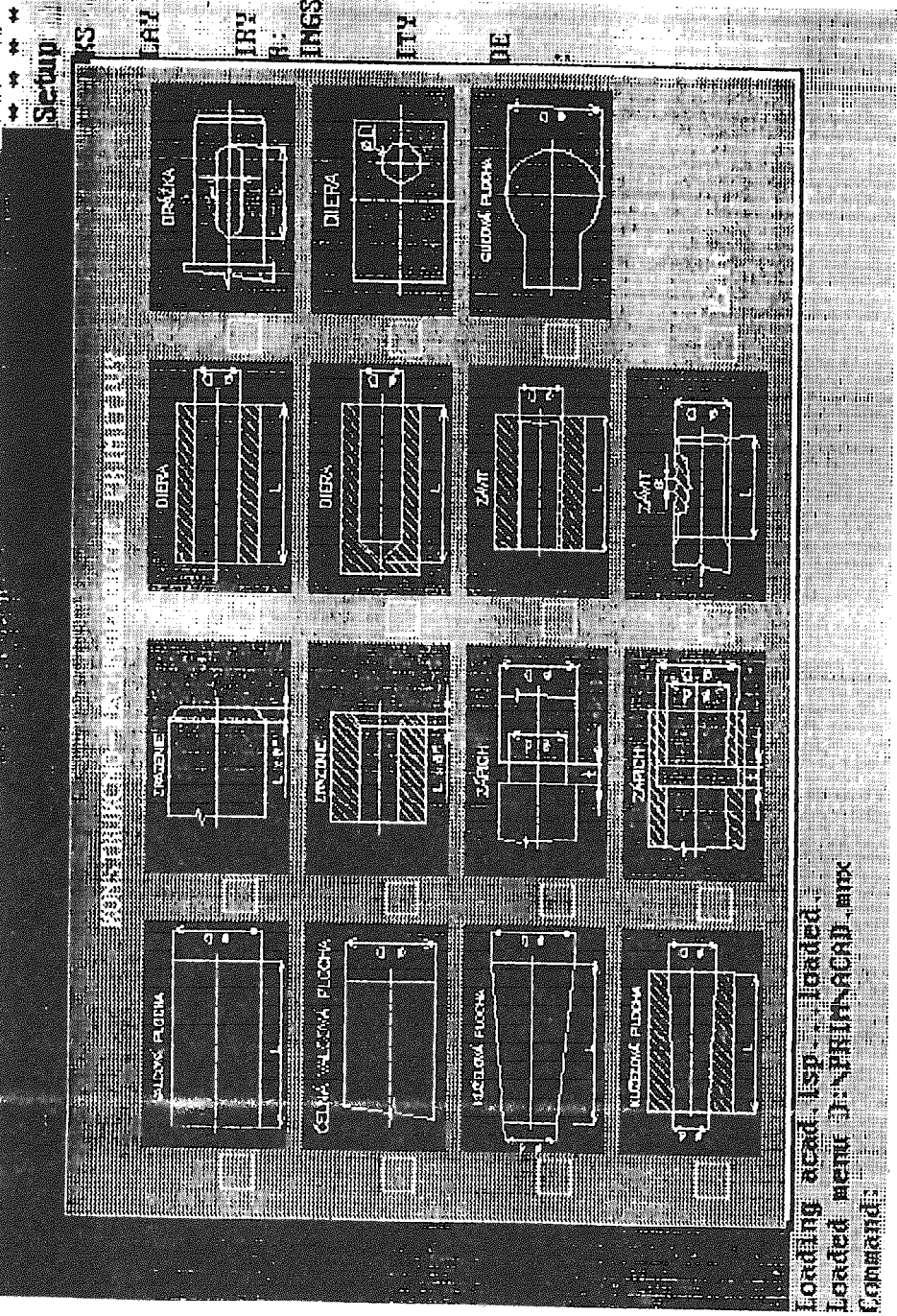
This entry determines partially the technology, because the S_6 part originates by splicing (welding) of \mathcal{P}_8 and \mathcal{P}_9 primitives does not contain the other primitives from data base. For example, in the case of turning operation (Fig.2a), if we want to use finer division of \mathcal{P}_p primitives into typified dimensions, the operator entry will be : $S_6 = \mathcal{P}_8 \cup \overline{\mathcal{P}_2}$ and the rule: ${}^p B_{6,8} = 1^3, {}^p B_{6,2} = 2^2$, which means that we know the particular dimensions of a part (Fig.2b).

It is obvious, from the above mentioned that it is possible to create data base by the method normal for typization. For \mathcal{P}_p primitives, homogenous elements of parts from the point of view of their shape and technology, we can use the principle, which is similar to that one, used for determination of complex part at group technology. The level of details of decomposition performed will be determined

Layer 0 Snap

45.8000 390.0000

AUTOCAD



Loading acad.lsp... loaded.
Loaded menu D:\NPR\ACAD.mlx
Command:

Fig. 3

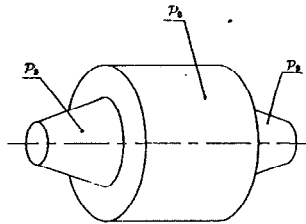


Fig. 2

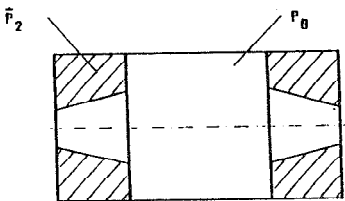


Fig. 2a

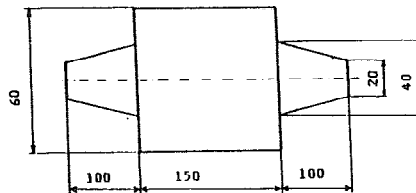


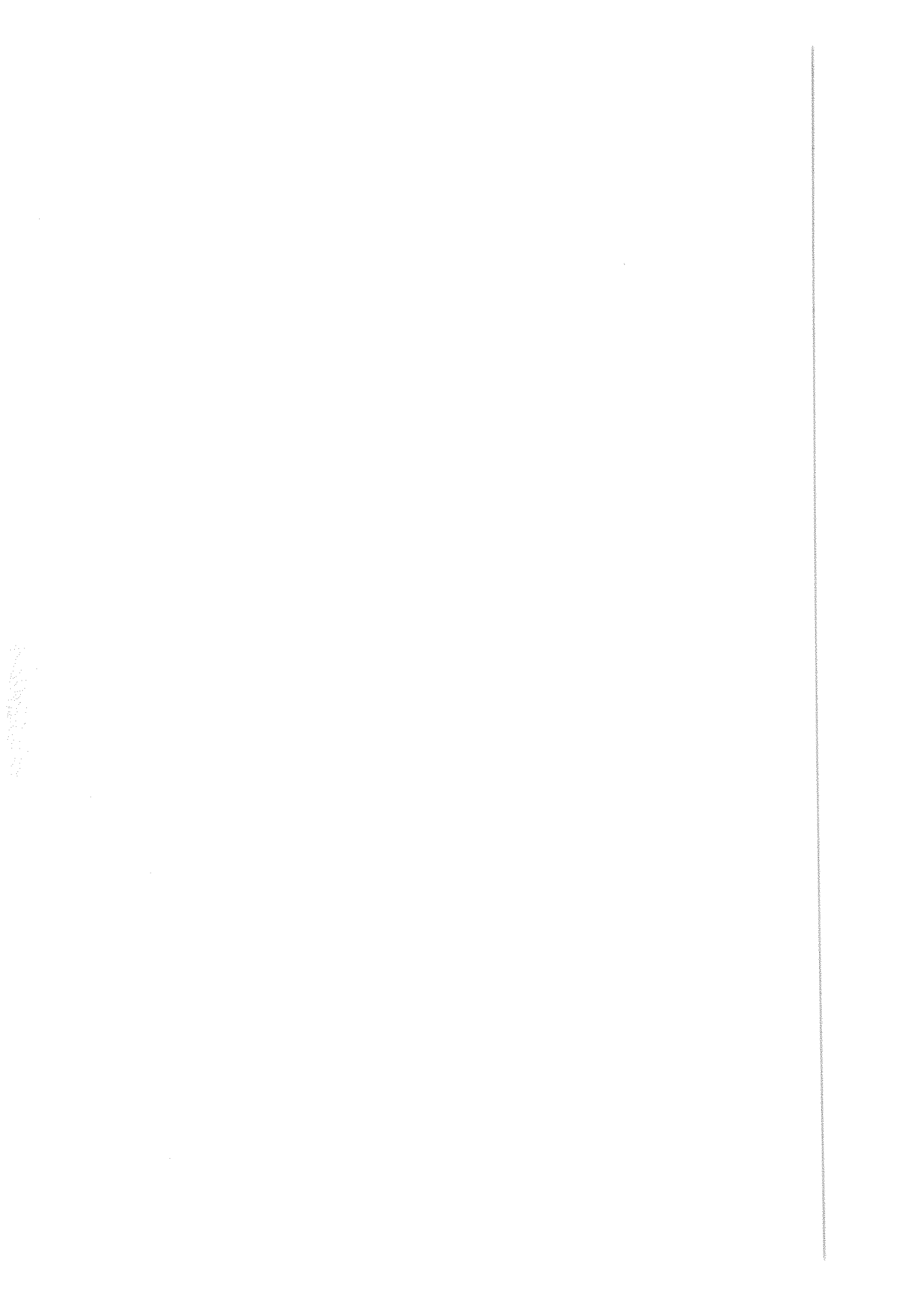
Fig. 2b

according to needs of further processing of the analysis of the shape of parts. The simplest way is to arrange bindings S_i part - P_p primitive into the matrix with $B_{i,p}$ rule in digital structure, or in form of a field.

In this way, the program module is developed for retrieval of required primitives from data base, (Fig.3).

REFERENCE

- [1] KUSIAK, A., FMS: Methods and Studies, Nort-Holand, 1986
- [2] ZELENOVIČ, M.D., Projektovanje PS, Beograd NK, 1987



V. Todić, D. Banjac, D. Gojković, V. Pejić

PODLOGE ZA UVOĐENJE FLEKSIBILNIH AUTOMATIZOVANIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA U PROIZVODNJU ELEKTROMOTORA

Rezime

Promenjeni uslovi proizvodnje i plasmana elektromotora, koji se odnose na proširenje asortimana sa smanjenjem pojedinačnih količina, uz istovremeno smanjenje cene i podizanje kvaliteta, zahtevaju unapređenje tehnološkog procesa njihove izrade.

U radu se iznosi metodologija stvaranja podloga za unapređenje tehnoloških procesa izrade pozicija elektromotora, zasnovana na principima grupne tehnologije i uvođenja određenih fleksibilnih automatizovanih tehnoloških struktura u proces proizvodnje elektromotora.

1. UVOD

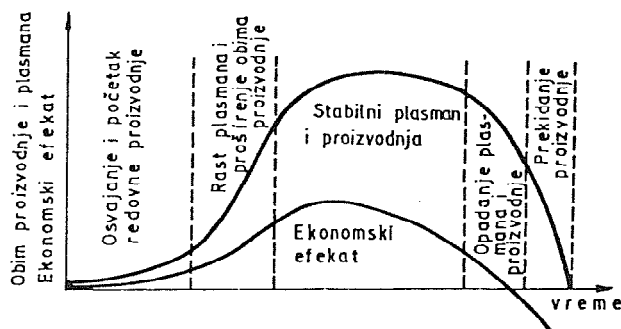
Brza promenljivost asortimana i dinamike isporuke, uz sve izraženije zahteve u pogledu visokog kvaliteta i niskih cena, osnovna su obeležja savremene proizvodnje i plasmana proizvoda, koja karakterišu proizvodne sisteme industrije prerade metala.

Takvi zahtevi uslovljavaju bitno podizanje kvaliteta i efikasnosti proizvodnih sistema, pa prema tome i pripreme proizvodnje.

U uslovima proizvodnje i plasmana proizvoda širokog asortimana u smanjenim količinama, proizvodnim sistemima su nametnuta ona rešenja koja su zasnovana na efektima automatizovane krupnoserijske i masovne proizvodnje u pogledu proizvodnosti i ekonomičnosti, i efektima maloserijske i serijske proizvodnje u pogledu fleksibilnosti, pouzdanosti i mobilnosti. Dakle, procese unapređenja proizvodnje u savremenim uslovima karakteriše uvođenje visokoautomatizovanih fleksibilnih obradnih, tehnoloških i proizvodnih sistema upravljanim pomoću računara. Imajući u vidu da su fleksibilni automatizovani tehnološki sistemi vrlo skupi, neophodno je, kod ocene njihove ekonomske eksploatacije, obezbediti pouzdane efekte na tržištu, polazeći od podataka koji su vezani za život i karakteristike promena obima i ekonomskih efekata svakog proizvoda i proizvodnje, kako pokazuje slika 1.

Naglašeno ukazuje da se primena fleksibilnih automatizovanih tehnoloških sistema mora temeljiti na verodostojnim pokazateljima adekvatne tehnokomske analize.

*) Todić dr Velimir, vanredni profesor, Banjac mr Dragan, predavač, Gojković Donka, dipl.ing., asistent-pripravnik, Pejić Vlastimir, dipl.ing., asistent-pripravnik, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad, V. Perića Valtera 2



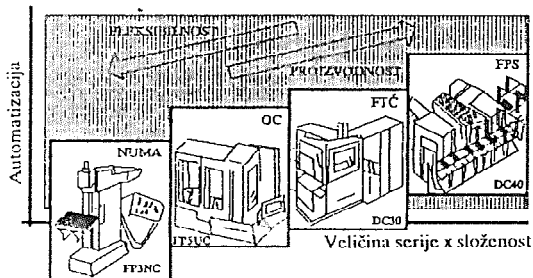
Slika 1. Karakteristične faze promena obima proizvodnje i ekonomskih efekata

2. OSNOVNE KARAKTERISTIKE RAZVOJA FLEKSIBILNIH AUTOMATIZOVANIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA

Osnovnu karakteristiku razvoja savremenih fleksibilnih automatizovanih obradnih, tehnoloških i proizvodnih sistema, verifikovanih u svetskoj industriji prerade metala, čini nastajanje numerički ili kompjuterski upravljanoj struga, obradnog centra i fleksibilne tehnološke ćelije, poznatih i kao osnovne tehnološke strukture.

Automatizacijom sistema transporta, skladištenja i kontrole, i njihovo usklađeno automatizovano povezivanje i upravljanje predstavljaju osnovu za gradnju sve složenijih tehnoloških struktura odgovarajućih tehnoloških mogućnosti.

Izloženi, vrlo kratki prikaz razvoja pojedinih varijanti tehnoloških i proizvodnih fleksibilnih struktura, slikovito prikazan na slici 2, uz neophodno poznavanje njihovih tehničko-tehnoloških performansi, daje polaznu orijentaciju kod izbora i utvrđivanja uslova koji obezbeđuju kvalitetnu eksploataciju.



Slika 2. Put razvoja i nivo automatizacije fleksibilnih tehnoloških struktura

Pri tome se kod izabrane ocene efikasnosti korišćenja izabrane fleksibilne tehnološke strukture u datim konkretnim uslovima mora pokazati neophodni nivo fleksibilnosti, mobilnosti, proizvodnosti, tačnosti, pouzdanosti i autonomnosti njenog rada.

3. PARAMETRI FLEKSIBILNOSTI I PROIZVODNOSTI FLEKSIBILNIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA (FTs)

3.1 FLEKSIBILNOST FTs

Kao osnovni parametri fleksibilnosti određene fleksibilne tehnološke strukture javljaju se:

Univerzalnost FTs - sposobnost obrade širokog asortimana delova po specifikaciji i serijnosti

Prilagodljivost pribora i alata na FTs - sposobnost da se pri obradi različitih delova pribori i alati pripremaju izvan strukture ili automatski

Ponovljivost obrade na FTs - sposobnost višekratnog efikasnog ponavljanja obrade ranije izrađenih delova posle obrade novih

Neosetljivost FTs na odstupanje delova - sposobnost FTs količinskim i kvalitetnim promenama na delovima bez sniženja izlaznog kvaliteta njihove obrade (odstupanja na pripremcima, procesima, uslovima obrade i sl.).

U literaturi [5] definiše se nekoliko kategorija fleksibilnosti, kao naprimer:

Fleksibilnost kapaciteta tehnološke strukture:

$$f_k = q / Q_u \quad (1)$$

gde je:

q - količina delova koju može da obradi određena struktura

Q_u - ukupna količina delova za obradu

Prostorna fleksibilnost:

$$f_p = H_p / H_m \quad (2)$$

gde je:

H_p - složenost projektovane strukture sistema

H_m - složenost strukture maksimalne fleksibilnosti

Vreme podešavanja kao mera fleksibilnosti:

$$f_v = t_{ps} / t_e \quad (3)$$

gde je:

t_{ps} - vreme podešavanja posmatrane FTs

t_e - vreme podešavanja optimalne varijante FTs

Troškovi podešavanja kao mera fleksibilnosti:

$$f_T = T_{pz} / T_e \quad (4)$$

gde je:

T_{pz} - troškovi podešavanja posmatrane FTs

T_e - troškovi podešavanja optimalne varijante FTs

Navedeni parametri fleksibilnosti zavise od zadovoljenja niza tehničkih, tehnoloških i organizacionih zahteva, odnosno faktora koji utiču na efikasnost FTs, kao što su:

Broj i složenost delova u tehnološkim, odnosno operacijskim grupama

Minimalna dopunska ulaganja kod obrade delova iz drugih tehnoloških grupa

Opseg rasipanja zadatih tehničko-tehnoloških uslova obrade

Mogućnost adaptacije izmenjenom toku tehnološkog procesa obrade

Mogućnost minimalnih gubitaka proizvodnosti zbog različitih otkaza u fleksibilnom proizvodnom sistemu

*Mogućnost što dužeg automatskog rada FTs bez učesća ljudi
Mogućnost automatskog nadzora elemenata FTs, detekcije i uklanjanje otkaza.*

3.2 PROIZVODNOST FTs

Stvarna proizvodnost određenog modula posmatrane FTs na bazi reprezentativne posmatrane operacijske grupe može se odrediti prema [1,2]:

$$Q = \frac{\theta \cdot \gamma}{t_g + t_p + \sum t_s + (\sum \theta_{pr} / n_s)} \cdot p \cdot \eta_{opt} \quad (5)$$

gde su:

- θ - posmatrani vremenski period (min)
- γ - koeficijent iskorišćenja vremenskog kapaciteta
- t_g - zbir svih glavnih vremena u operaciji (min)
- t_p - zbir svih pomoćnih vremena u operaciji (min)
- $\sum t_s$ - zbir vremenskih zastoja
- $\sum \theta_{pr}$ - vreme pripreme modula FTs za obradu novog dela iz operacijske grupe
- n_s - broj delova u operacijskoj grupi
- η_{opt} - koeficijent opterećenja modula FTs
- p - broj modula FTs koji rade paralelno

Osim proizvodnosti mogu se koristiti i drugi parametri kao što su vremenski stepen iskorišćenja, koeficijent tehničkog iskorišćenja, koeficijent gubitaka vremena za pripremu i koeficijent opterećenja modula FTs [1,2].

4. KONCEPT GRUPNE TEHNOLOGIJE KAO OSNOVA PRIMENE FTs

Poznate karakteristike grupne i tipske tehnologije i efekti njihove primene, naročito u uslovima nižih tipova proizvodnje, mogu se u značajnoj meri iskoristiti kod izbora FTs i određivanja uslova koji obezbeđuju visok stepen tehničke i ekonomske efektivnosti njihove eksploatacije u zadatim proizvodnim uslovima.

U osnovi se ti uslovi mogu odrediti na bazi modela prof Mitrofanova za projektovanje, organizaciju i uvođenje grupne proizvodnje, kako pokazuje slika 3. Ovaj model se može koristiti kao univerzalni i u istraživanju uslova pri kojima se obezbeđuju potrebni nivoi tehnoekonomske pokazatelja eksploatacije usvojenih rešenja FTs za obradu posmatranog asortimana delova.

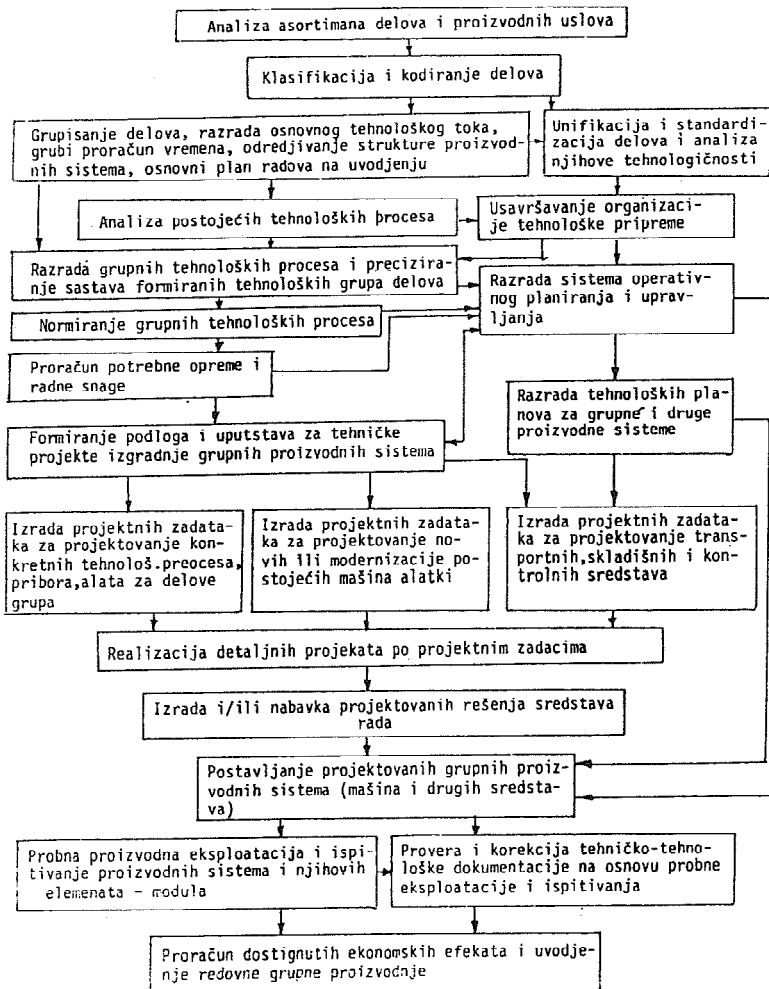
4.1 UVOĐENJE FLEKSIBILNIH AUTOMATIZOVANIH TEHNOLOŠKIH STRUKTURA U PROIZVODNJU ELEKTROMOTORA

Uvažavajući promenjene uslove proizvodnje i dinamike isporuke elektromotora u posmatranom proizvodnom sistemu, koji se odnosi na stalno proširenje asortimana i smanjenje pojedinačnih količina, uz zahtev za smanjenje cena i podizanje kvaliteta, izvršena je detaljna studija crteža glavnih pozicija elektromotora iz proizvodnog programa i njihovih tehnoloških procesa obrade [6].

Na bazi ove analize, a uz korišćenje opšteg modela prema slici 3, formirane su dve tehnološke grupe osovina odnosno rotora, tehnološka grupa kućišta statora i tehnološka grupa prednjeg i poklopcva ventilatora.

Kod istraživanja mogućnosti unapređenja procesa proizvodnje pomenutih pozicija uvođenjem određenih fleksibilnih automatizovanih tehnoloških struktura u promenjenim uslovima, težilo se da se u novim rešenjima tehnoloških procesa obrade ovih pozicija, zasnovanim na principima grupne i tipske tehnologije, zadrže oni obradni i tehnološki sistemi

koji i u novim promenjenim uslovima obezbeđuju neophodnu tehničku i ekonomsku efikasnost. Time se u značajnoj meri obezbeđuje unapređenje procesa proizvodnje u novim uslovima uz minimalna finansijska ulaganja.

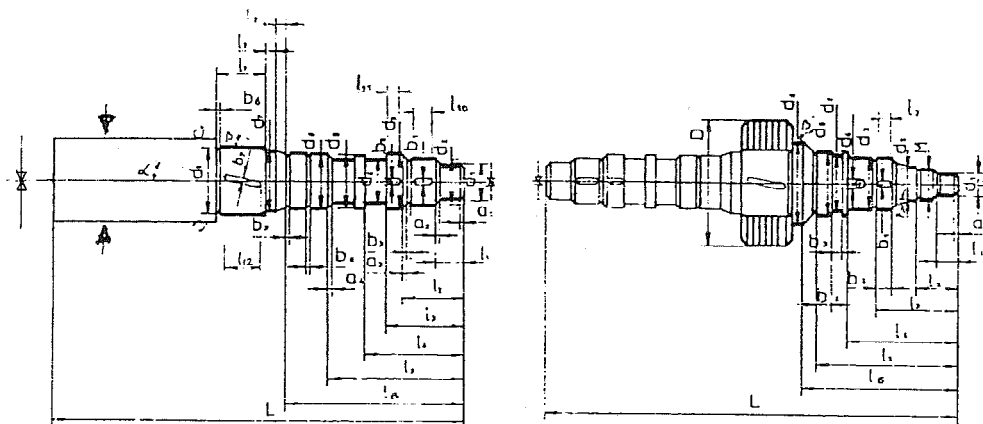


Slika 3. Osnovne etape pripreme i uvođenja grupne proizvodnje

Tako je, naprimer, kod predloženog unapređenja tehnološkog procesa izrade osovin, odnosno rotora, koje su na bazi opšteg modela prema slici 3, svrstane u tehnološku grupu koja pripada ZK i grupu koja pripada OKC elektromotorima, uvedena fleksibilna tehnološka ćelija na bazi NC struga i brusilica sa CNC upravljanjem, dok su kod obe tehnološke grupe zadržani obradni sistemi za obradu krajeva, a kod grupe OKC i specijalni obradni sistem za nareckivanje. Isto tako, u unapređenim grupnim tehnološkim procesima obrade osovin, odnosno rotora zadržani su i neki drugi specijalni, pa i univerzalni obradni sistemi.

Izabrana fleksibilna tehnološka ćelija, kao tehnološka struktura, obezbeđuje obradu skoro

svih osovina, odnosno rotora iz tehnološke grupe koju čine ZK motori, prema usvojenim rešenjima grupnih operacija (slika 4), za reprezent koji je detaljno prikazan u [6].



Slika 4. Grupne operacije osovina, odnosno rotora ZK motora za obradu na fleksibilnoj tehnološkoj ćeliji

Na osnovu grupnih operacija datih na slici 4, može se zaključiti, s obzirom na projektovani grupni tehnološki proces obrade [6], da je na izabranoj fleksibilnoj tehnološkoj strukturi obezbeđena obrada sa visokim stepenom integracije zahvata, pa i operacija obrade u odnosu na postojeći tehnološki proces obrade.

Formiranje četiri operacijske grupe za obradu na izabranoj fleksibilnoj tehnološkoj strukturi nastalo je na bazi svestrane analize svih osovina, odnosno rotora, sa stanovišta postizanja visoko vrednih parametara fleksibilnosti, proizvodnosti i ekonomskih efekata, koji se moraju obezbediti pri obradi delova iz bilo koje operacijske grupe. Razume se da karakteristike delova koji čine pojedine operacijske grupe, date u TABELI 1, u najvećoj meri doprinose visokim tehničkim i ekonomskim efektima obrade na izabranoj fleksibilnoj tehnološkoj strukturi.

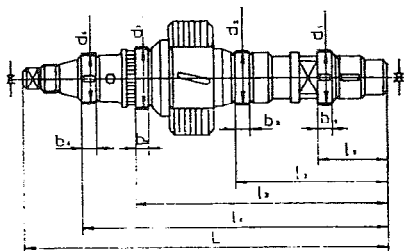
TABELA 1. Karakteristike delova za klasifikaciju i grupisanje za obradu skidanjem strugotine

Karakteristike	Operacije obrade na MA				
	Strugovi	Bušilice	Glodalice	Brusilice	Ag.mašine
Geometrijski oblik dela - osnovna struktura	+	+	+	+	+
površina	+	+	+	+	+
Gabaritne mere	+	+	+	+	+
Tačnost mera i kvalitet površina	+	+	+	+	+
Vrsta materijala	+	+	+	+	+
Vrsta priprema	+	+	+	+	+
Serijsnost - godišnja količina	+	+	+	+	+
Prečnici centralnih otvora	+	+	+	+	+
Oblici i položaj drugih otvora	+	+	+	+	+
Prisutnost spolj., unutraš. i čeonih kanala	+	+	+	+	+
Prisutnost spoljnih, unutrašnjih sfernih koničnih površina	+	+	+	+	+
Prisutnost, položaj i vrsta navoja	+	+	+	+	+
Krutost dela	+	+	+	+	+

U posmatranom primeru ključni uticaj na formiranje četiri operacijske grupe imao je usvojeni tehnološki proces obrade i dve grupe materijala osovina, koje su zahtevale korišćenje

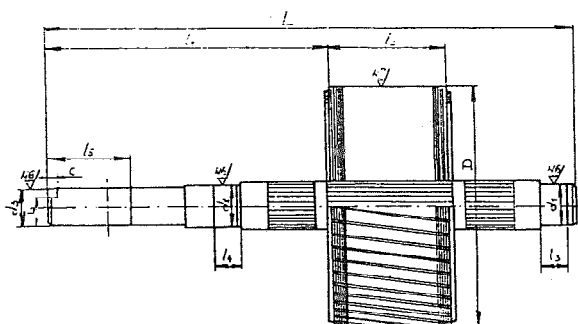
različitim alata za obradu.

Proces obrade brušenjem osovina, odnosno rotora iz ove tehnološke grupe na izabranoj CNC brusilici može se realizovati u okviru jedne operacijske grupe [6], prema skici grupne operacije date na slici 5.



Slika 5. Grupna operacija obrade rotora ZK motora na CNC brusilici

Isto tako, izborom pomenute fleksibilne tehnološke ćelije omogućena je obrada tehnološke grupe osovina, odnosno rotora OKC motora u vidu jedne grupne operacije, na bazi projektovanog grupnog tehnološkog procesa obrade [6] za reprezent prikazan na slici 6.



Slika 6. Reprezent tehnološke grupe rotora OKC motora za obradu na fleksibilnoj tehnološkoj ćeliji

Obrada na pomenutoj fleksibilnoj tehnološkoj strukturi ove tehnološke grupe osovina u vidu jedne operacijske grupe daje visok nivo parametara fleksibilnosti, proizvodnosti i ekonomičnosti obrade [6], jer su zadovoljeni svi zahtevi koji utiču na tehnološku homogenost operacijske grupe, sadržani u TABELI 1. Isto tako, visok nivo tačnosti obrade na pomenutoj fleksibilnoj tehnološkoj strukturi obezbedio je isključivanje operacije brušenja iz tehnološkog procesa obrade.

U istraživačkom projektu [6] prikazane su i druge fleksibilne tehnološke strukture, koje u značajnoj meri unapređuju tehnološke procese izrade kućišta statora i poklopaca.

5. ZAKLJUČCI

Korišćenjem koncepta grupne i tipske tehnologije stvorene su neophodne podloge za unapređenje tehnološkog procesa obrade pomenutih pozicija elektromotora iz proizvodnog programa proizvodnje.

Iako u ovom radu nisu prikazani i kvantitativni iznosi parametara fleksibilnosti, proizvodnosti i ekonomičnosti za izabrane fleksibilne automatizovane tehnološke strukture, zbog nedostatka određenih pouzdanih podataka u ovom trenutku, može se sa sigurnošću zaključiti, na bazi ukupnih rezultata istraživanja [6], da će izabrana rešenja predstavljati veliko i značajno neophodno unapređenje procesa proizvodnje elektromotora u promenjenim uslovima proizvodnje, dinamike isporuke, kvaliteta i cena.

Izabrane tehnološke strukture, osim što obezbeđuju značajno unapređenje procesa proizvodnje i dinamike isporuke elektromotora, obezbeđuju i drugi kvalitet koji se odnosi na mogućnost njihovog separatnog korišćenja i za proizvodnju drugih proizvoda u ovom proizvodnom sistemu.

6. LITERATURA

- [1] BORISOV, V.B. i dr., Spravočnik tehnologa mašinstrojenja, Tom 1, *Mašinstrojenje*, Moskva, 1985.
- [2] TODIĆ, V., BANJAC, D., Ocena rešenja FPS i tehnoloških procesa obrade na osnovu proizvodnosti i ekonomičnosti, *Zbornik radova Instituta za proizvodno mašinstvo*, br. 10 (1993), FTN, Novi Sad, 1993.
- [3] GATALO, R., REKECKI, J., STANKOV, J., BANJAC, D., TODIĆ, V., HODOLIČ, J., BOROJEV, LJ., RODIĆ, M., ZELJKOVIĆ, M., VASIĆ, S., NAVALUŠIĆ, S., Fleksibilni proizvodni sistemi za obradu rotacionih delova (podsticajni projekat), zadatak: Postavljanje osnovnih koncepcija FPS-a (za obradu rotacionih delova), *Elaborat preliminarne rezultata istraživanja, Institut za proizvodno mašinstvo*, FTN, Novi Sad, 1989.
- [4] MITROFANOV, P.S., Naučna organizacija mašinstroiteljnova proizvodstva, *Mašinstrojenje*, Lenjingrad, 1978.
- [5] TODOROVIĆ, J., Fleksibilni proizvodni sistemi, Organizacija FMS, *Naučna knjiga*, Beograd, 1990.
- [6] TODIĆ, V., BANJAC, D., RODIĆ, M., ĐUKANOV, R. i dr., Razvoj modela za projektovanje optimalnih struktura fleksibilnih tehnoloških sistema za izradu delova električnih mašina, sa primenom i verifikacijom u proizvodnji, *Istraživački projekat čija je izrada u toku i radi se za potrebe SEVER-a iz Subotice, Institut za proizvodno mašinstvo*, FTN, Novi Sad.

V. Todić, D. Banjac, D. Gojković, V. Pejić i dr.

CREATING A BASIS FOR INTRODUCING FLEXIBLE MANUFACTURING STRUCTURES INTO ELECTROMOTORS MANUFACTURING

Summary

Changes in the electromotors industry manufacturing and disposal environment related both to the extended variety of products in smaller batches and price decrease with quality enhancement, require certain technological process improvements.

This paper introduces a methodology for creating a general basis for improving technological processes in electromotor components manufacturing. This methodology is based on the principles of Group Technology. It also involves the introduction of flexible manufacturing structures into the production process.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Vladić, J.* , Novaković, D.** , Rodić, M.**

**PRILOG GLOBALNOJ KLASIFIKACIJI I OSNOVNE
KARAKTERISTIKE AUTOMATIZOVANIH TRANSPORTNIH
SISTEMA U PROIZVODNJI**

Rezime

U radu je analizirana problematika transportnih sistema u proizvodnji sa stanovišta formiranja globalne klasifikacije ovih sistema i uređaja.

Predložena klasifikacija ima oblik otvorene forme i treba je shvatiti kao polaznu varijantu odnosno inicijativu za intenziviranje rada na ovoj problematici sa konačnim ciljem formiranja merodavne i sveobuhvatne klasifikacije i donošenja nacionalnog standarda koji bi definisao terminologiju iz ove oblasti transportne tehnike. Značaj terminološke jedinstvenosti se ogleda pre svega u efikasnijem razumevanju i razmeni informacija što ima indirektan uticaj i na kvalitet rešenja konkretne transportne problematike.

1.0 UVOD

Današnje stanje savremene proizvodnje i predviđanja stručnjaka najvećih svetskih kompanija ukazuju da će u narednom periodu tržišna konkurencija zahtevati takve sposobnosti proizvođača koje omogućuju trenutne odgovore na zahteve tržišta. Ovo je moguće obezbediti samo daljom intenzivnom automatizacijom svih faza realizacije proizvoda.

Intenzivan razvoj proizvodnje, posebno u pogledu njene kompleksne mehanizacije i automatizacije, uslovljava sve izraženiju potrebu za adekvatnim rešenjima u oblasti transportne i skladišne problematike čime je uloga tzv. pomoćne opreme u proizvodnji istaknuta u prvi plan.

Za razliku od konvencionalnih transportnih uređaja automatizovani transportni sistemi moraju pored osnovnog zadatka (prenošenje materijala) da obezbede:

- saglasnost osnovnih parametara sa tehnološkom opremom
- zadati ritam, odnosno takt proizvodnje

Vladić dr Jovan, dipl. ing., docent, Novaković Dragoljub, dipl. ing., stručni saradnik,
Rodić dr Milorad, dipl. ing., docent,

) Institut za mehanizaciju, Fakultet tehničkih nauka, Vladimira Perića Valtera 2,
21000 Novi Sad

**) Institut za proizvodno mašinstvo, Fakultet tehničkih nauka, Vladimira Perića
Valtera 2, 21000 Novi Sad

- tačnost pozicioniranja i potrebnu prostornu orijentaciju
- mogućnost centralnog upravljanja
- modularni princip projektovanja i ugradnje i
- posebno visoku pouzdanost jer se transportna sredstva, po pravilu, ne "dupliraju" zbog čega u slučaju njihovog otkaza dolazi do prekida i zastoja celog proizvodnog procesa.

Razvoj proizvodnje u proteklom periodu je karakterističan po intenzivnoj automatizaciji odnosno povećanju efikasnosti radno-proizvodnih mašina, sa ciljem smanjenja vremena obrade, što je dovelo do stanja da efikasnost proizvodnje prvenstveno zavisi od načina rešavanja transportovanja i skladištenja materijala. Kao ilustracija prethodnoj konstataciji može se navesti analiza proizvodnog procesa sa maloserijskim tipom proizvodnje [1] koja pokazuje da se predmet nalazi neposredno u obradi manje od 10% od ukupno potrebnog vremena za njegovu proizvodnju dok se ostalo vreme "troši" na premeštanje (transportovanje) i čekanje (skladištenje). Rešavanje pojedinačnih slučajeva, što je uvek u dobroj meri zavisilo od mogućnosti materijalnih ulaganja u razvoj, omogućilo je gotovo autonoman razvoj pojedinih uređaja koji su doveli do značajnih čak i suštinskih promena u nomenklaturi transportnih sistema.

Integralni prilaz ovoj problematici bi omogućio korišćenje već postojećih rešenja, stečenih znanja i iskustava iz domena primenjenih u različitim oblastima privrede i života uopšte sa ciljem da se omogući formiranje optimalnog rešenja u konkretnom slučaju. Pored toga ovakav prilaz treba da omogući objektivnu i merodavnu klasifikaciju transportnih uređaja sa posebnim osvrtom na terminologiju koja u ovom trenutku obiluje šarolikošću i umanjuje efikasno razumevanje i razmenu informacija.

2.0 KLASIFIKACIJA AUTOMATIZOVANIH TRANSPORTNIH SISTEMA

Transportno-skladišni sistemi obuhvataju mašine, uređaje i opremu sa osnovnim zadatkom da izvrše prenos i omoguće privremeno odlaganje materijala. Iako se u proizvodnji teži minimizaciji ovih funkcija, jer predstavljaju dodatne troškove i umanjuju produktivnost rada, baš zbog ovih osnovnih funkcija transportno-skladišni sistemi različitih po nameni, strukturi, složenosti i stepenu automatizacije, su našli izuzetno široku primenu u savremenoj industrijskoj proizvodnji. Za rešenja konkretnih problema pojavljuje se niz različitih varijanti osnovnih uređaja što dodatno otežava izbor merodavnih kriterijuma za formiranje globalne klasifikacije ovih uređaja. U zavisnosti od potreba podela ovih uređaja može se izvršiti prema funkcionalnim karakteristikama, vrsti transportnog materijala, konstruktivnim karakteristikama, tipu pogona, mobilnosti uređaja, oblasti primene, nosivosti itd. Opštost klasifikacije, čemu se uvek teži, u prvom redu zavisi od opštosti osnovnog kriterijuma i izbora pogodne kombinacije ostalih kriterijuma za formiranje grupa i podgrupa osnovne vrste uređaja. Za oblast transportne tehnike se klasifikacija sa stanovišta funkcionalnih karakteristika ili kombinacije funkcionalno-konstruktivnih karakteristika uređaja pokazala najpogodnija pa se najčešće i sreće u odgovarajućoj literaturi koja obrađuje ovu problematiku. Kako se u ovom radu razmatra deo problematike transportnog mašinstva koji se odnosi na automatizovane transportne sisteme čija struktura zavisi od zahteva proizvodnje osnovni kriterijum za podelu će biti upravo vrsta proizvodnje sa kombinacijom funkcionalno-konstruktivnih karakteristika uređaja pošto automatizovani transportni sistemi baziraju na automatizaciji "klasičnih" transportnih uređaja sa integracijom novorazvijenih uređaja visoke fleksibilnosti.

Automatizovane transportne sisteme za područje masovne i velikoserijske proizvodnje karakterišu automatizovane transportne linije (ATrL) sa mašinama i uređajima pretežno neprekidnog transporta (trakasti, člankasti, viseći, valjkasti, vibracioni transporteri itd.). Određeni stepen fleksibilnosti ovakvih automatizovanih linija se postiže u domenu izbora toka materijala ili ograničenom adaptacijom sistema u pogledu dimenzija materijala (transport po obliku sličnih proizvoda) primenom manipulatora, automata i skretnica sa tzv. "krutim" upravljanjem. U ovakvim slučajevima se mora vršiti fizička adaptacija pojedinih komponenata transportnog sistema (položaj graničnika i senzora, zamena izvršnih elemenata itd.) što je u potpunosti opravdano s obzirom na veoma retke ili unapred planirane izmene u proizvodnji.

Za pojedinačnu, maloserijsku i serijsku proizvodnju, posebno za ovu poslednju koja je uglavnom zastupljena u metaloprerađivačkoj industriji, karakteristični su fleksibilni

transportni sistemi (FTrS) koji se mogu prilagoditi promenama koje nastaju u toku proizvodnje a koje se odnose na oblik, dimenzije, težinu i broj komada proizvoda. I ovi sistemi, sem kod pojedinačne proizvodnje, baziraju na mašinama i uređajima neprekidnog transporta sa integrisanim uređajima visoke fleksibilnosti kao što su pretovarno transportni manipulatori i automatski vođena vozila. Osnovna karakteristika ovih sistema je mogućnost adaptacije posebno u pogledu prihvatanja različitih oblika radnih predmeta jednostavnim izmenama upravljačkog programa. Fleksibilni transportni sistemi obuhvataju transportne uređaje za međuoperacionu i operacionu manipulaciju materijalom. Transportni uređaji međuoperacione manipulacije imaju osnovni zadatak da dopremaju i odpremaju radne predmete (obradke), alate, pribore i strugotinu iz sistema i u sistem odnosno da međusobno povežu pojedine obradne jedinice i skladišta u proizvodnom sistemu. U transportna sredstva međuoperacione manipulacije spadaju mašine i uređaji neprekidnog transporta (transporteri) i transportni roboti. Razvoj sredstava operacione manipulacije (manipulaciona sredstva) je nastao kao posledica kompleksne automatizacije radnog mesta u okviru radne mašine (obradna stanica). U prethodnom periodu manipulacija u okviru radnog mesta se vršila ručno sa stalnom težnjom ka minimiziranju uložene radne i vremena (studija pokreta) što je iskorišćeno kao podloga za primenu automatizovanih sredstava. Osnovni zadaci sredstava operacione manipulacije su dodavanje, uzimanje, premeštanje i orijentacija obradaka, alata, pribora i mernih instrumenata a takođe i transport strugotine. Operaciona transportna sredstva obuhvataju i tzv. grupu pomoćnih uređaja.

Na osnovu prethodnog je formirana globalna klasifikacija automatizovanih transportnih sistema, koja je prikazana na slici 1.

U narednom tekstu se daju samo kratko osnovne karakteristike pojedinih uređaja.

2.1. Automatizovane transportne linije (ATrL)

Automatizovane transportne linije predstavljaju međusobno povezane transportere odgovarajućim pretovarnim uređajima. Kao što je već napomenuto primenjuju se u masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji gde se pojavljuju u velikim količinama isti ili geometrijski slični proizvodi. Prema klasifikaciji prikazanoj na sl.1. je uočljivo da se transporteri pojavljuju kako u grupi automatizovanih transportnih linija tako i u grupi fleksibilnih transportnih sistema.

Transporteri Osnovne karakteristike transportera su neprekidan i pouzdan rad uz mogućnost ostvarivanja velikih kapaciteta nedostižnih za rad uređaja sa prekidnim (cikličnim) radom. Podela transportera se vrši na osnovu funkcionalno-konstruktivnih karakteristika na dve osnovne podgrupe i to transportere sa vučnim elementom (saglasno kretanje elementa transportera i materijala) i bez vučnog elementa (različiti oblik kretanja elemenata transportera i materijala). Potrebno je napomenuti da nesumljivu prednost nad ostalim vrstama transportera imaju trakasti transporteri zbog najmanjih investicionih i eksploatacionih troškova i treba težiti njihovoj primeni gde god je to moguće.

Pretovarni uređaji Pretovarni uređaji međusobno povezuje transportere u okviru automatizovanih transportnih linija odnosno omogućuju utovar, istovar, promenu i izbor pravca kretanja. Pretovarni uređaji, u sklopu automatizovanih transportnih linija, su projektovani za rad sa istim ili po obliku sličnim teretima sa tzv. krutim" upravljanjem izvršnim elementima, preko graničnih prekidača i senzora.

Pomoćni uređaji Kako je osnovna karakteristika transportera neprekidan rad, bez zadržavanja pri utovaru i istovaru materijala pomoćni uređaji, zajedno sa pretovarnim, imaju zadatak da izvrše pripremu materijala za transport.

Uređaji za pakovanje i paletizaciju Kod savremenih proizvodnih procesa sa masovnom i velikoserijskom proizvodnjom kod koje se finalni proizvod javlja u tzv. nasipnom (rasutom) stanju, sa osnovnom karakteristikom da se može sipati i grabiti (ruda, ugali, žitarice, prehrambeni proizvodi,...), kao završna operacija se najčešće javlja pakovanje materijala u odgovarajuću ambalažu (džakovi, kese, kutije,...) i prema potrebi paletizuju tako upakovane robe pre skladištenja.

2.2. Fleksibilni transportni sistemi (FTrS)

U slučaju serijske proizvodnje najčešće se koriste takođe transporteri ukomponovani u proizvodni proces kojima potrebnu fleksibilnost obezbeđuju pre svega

industrijski roboti i manipulatori. U slučaju pojedinačne i maloserijske proizvodnje efikasna je primena automatski vođenih vozila ili tzv. transportnih robota. Ova terminološka neusklađenost u literaturi i praksi u pogledu naziva a time i klasifikaciji ovih uređaja je očita i dobrim delom opravdana zbog opšte definicije robota kao klase tehničkih sistema koji oponašaju funkcije svojstvene čoveku. U zavisnosti od funkcija koje poseduju roboti se mogu podeliti na manipulacione (industrijski roboti i manipulatori), transportne (mobilne), gde bi spadala i automatski vođena vozila, i kompleksne (transportno-manipulacione). Često se u literaturi sreće i drugačija klasifikacija koja formira posebne grupe sa automatski vođenim vozilima i robotima. Mada je ovakva podela sa praktične strane prihvatljivija ona je manje opravdana sa teorijskog stanovišta.

Transporteri Karakteristike transportera, navedene u tački 2.1, i ovde u potpunosti odgovaraju sa napomenom da se u okviru fleksibilnih transportnih sistema više koriste valjkasti i pločasti transporteri nego trakasti transporteri zbog potrebe transportovanja uglavnom komadnog tereta.

Transportni roboti Ako se usvoji napred navedeno obrazloženje za klasifikaciju transportni roboti predstavljaju vozila (kolica) sa sopstvenim pogonom koja se mogu kretati po podu (podni) ili visećoj konstrukciji (viseći). Podni transportni roboti su šinski ili automatski vođena vozila. Od posebnog interesa za metaloprerađivačku industriju su automatski vođena vozila sa različitim oznakama u zavisnosti od govornog područja (AVV - Engl., FTS - Nem., robokar - Rus.). Prema sistemu za vođenje ova vozila se dele na vozila sa induktivnim, pasivnim (optički i metalne trake) i slobodno vođena vozila (laserski, inerciono- navigacioni i sistem vizije). Po funkciji ova vozila mogu biti vučna, kada vuku jedna ili više međusobno povezanih kolica sa teretom i najčešće predstavljaju vezu između proizvodnih pogona, noseća sa ugrađenim uređajem za manipulaciju teretom u obliku industrijskog manipulatora, podizne platforme, obrtnog stola, trakastog ili valjkastog transportera. Viseći transportni roboti koriste noseću konstrukciju postavljenu iznad poda i mogu biti jednošinski, konzolni i portalni.

Industrijski roboti i manipulatori (manipulacioni roboti) Industrijski roboti i manipulatori su od posebnog značaja za automatizaciju proizvodnog procesa u okviru metaloprerađivačke industrije. Oni predstavljaju jedan od baznih segmenata koncepta fleksibilnih tehnoloških sistema. Po karakteru operacija koje izvode industrijski roboti se mogu podeliti na:

- tehnološke (proizvodne) robote koji izvršavaju osnovne operacije tehnološkog procesa kao što su zavarivanje, farbanje, montaža itd.,
- transportno-pretovarne robote koji izvršavaju operacije uzeti, preneti i ostaviti. Koriste se za izvršavanje pomoćnih operacija u okviru obradnih jedinica pa se najčešće sreću pod nazivom manipulacioni roboti,
- univerzalne robote koji se mogu prilagoditi za izvršavanje osnovnih (tehnoloških) i pomoćnih (manipulacionih) operacija.

Dalja klasifikacija ovih uređaja može da se izvrši prema kinematskoj strukturi, broju stepeni slobode, vrsti pogona, nosivosti itd., što prevazilazi okvire ovog rada i predstavlja zasebnu problematiku koja je obrađena u specijalizovanoj literaturi.

Pretovarni i pomoćni uređaji Vrsta pretovarnih uređaja zavisi od karakteristika transportnog materijala i specifičnosti tehnološkog procesa tako da se u eksploataciji nalazi veoma velik broj različitih uređaja od najjednostavnijih gravitacionih kliznica do manipulatora. Klasifikacija ovih uređaja po kriterijumu funkcionalno- konstruktivnih karakteristika prikazana je u okviru slike 1.

3.0 ZAKLJUČAK

Primena automatizovanih transportnih linija uglavnom na zadovoljavajući način razrešava transportnu problematiku u sklopu velikoserijske i masovne proizvodnje. Intenzivan razvoj i primena operacionih transportnih sredstava, pre svega manipulacionih robota, uspešno je rešila samo jedan deo ove kompleksne problematike za slučajeve pojedinačne, maloserijske i serijske proizvodnje. Na nivou međuoperacionih manipulacija (između radnih mesta) postoje značajne mogućnosti u smislu povećanja efikasnosti izborom optimalne varijante. Sve ovo podrazumeva dobro poznavanje i korišćenje već postojećih rešenja,

iskustava i znanja iz domena transportovanja materijala stečenih u sasvim drugim oblastima privrede i društvenog života uopšte. Baš u tom smislu se ističe poseban značaj formiranja adekvatne i sveobuhvatne klasifikacije automatizovanih transportnih sistema koja bi omogućila jednostavniji uvid, pregled, i na kraju izbor i primenu optimalnog rešenja za konkretan slučaj transportnog problema. Pored toga globalna klasifikacija omogućuje formiranje jedinstvene terminologije koja je od posebnog značaja za efikasno razumevanje i razmenu informacija.

4.0 Literatura

- [1] EGOROV, V. A., LUZANOV, V. D., ŠĆERBAKOV, S. M.: Transportno- nakopiteljnye sistemy dlja GPS, Mašinostroenie, Leningrad, 1989.
- [2] ZACHAN, H., BUSCHBACH, H., RIESA, W.: Einsatz von Industrierorthern, VEB Verlag Technik, Berlin, 1986.
- [3] BABIN, N., VLADIĆ, J.: Die Flexible automatisierte Transportsysteme, Naučno savetovanje "Miskolcer Gasprach '93", str. 68-78., Miskolci Agyipment, 1993,
- [4] HODOLIĆ, J., BOROJEV, LJ., REKECKI, J., GATALO, R., ZELJKOVIĆ, M.: Fleksibilni tehnološki sistemi za obradu rotacionih izradaka, knjiga III.: Manipulacioni i merno kontrolni sistemi, FTN - Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad, 1989.
- [5] LAPKIN, JU. P., MALKOVIĆ, A. P.: Peregruzočnye ustrojstva, Mašinostroenie, Leningrad, 1984.

Vladić, J., Novaković, D., Rodić, M.

DIE BEILAGE DER GLOBALEN KLASSIFIKATION UND GRUNDCHARAKTERISTIK VON AUTOMATISIERTEN TRANSPORTSYSTEMEN IN DER PRODUKTION

Zusammenfassung

In der vorliegenden Arbeit wurde die Problematik von automatisierten Transportsystemen in der Produktion betrachtet und zwar vom Aspekt der Bildung der globalen Klassifikation dieser Maschinen und Einrichtungen.

Vorgeschlagene Klassifikation hat eine offene Form, und sollte nur als Anregung und Initiative für die Intensivierung der Arbeit auf dieser Problematik dienen, mit dem Endzweck die Bildung einer massgeblichen und ganzheitlichen Klassifikation und der Bildung einer nationalen Norm, welche die Terminologie auf diesem Gebiet definieren würde. Die Bedeutung der terminologischen Einheitlichkeit spiegelt sich vor allem in einem erfolgreichen Informationsaustausch wieder, was einen indirekten Einfluss auf die Qualität der Lösung des konkreten Transportproblems hat.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Zelenović, D., Ćosić, I., Maksimović, R.*

O NEKIM EFEKTIMA PRIMENE GRUPNE TEHNOLOGIJE U INDUSTRIJSKIM PROIZVODNIM SISTEMIMA

Rezime:

U skladu sa potrebama izgradnje efektivnih, sposobnih za opstanak i razvoj u vremenu, proizvodnih sistema na FTN-IIS je razvijen prilaz u primeni GRUPNE TEHNOLOGIJE koji obezbeđuje zadovoljavajući odnos EFEKT/ULAGANJA potreban za ostvarenje ciljeva preduzeća. Osnova za razvoj datog prilaza leži u analizi razvoja i ponašanja živih bića i težnji za funkcionisanjem mašina i skupa mašina i ljudi - preduzeća, stabilno u granicama dozvoljenih odstupanja na principima sličnosti, sposobnosti održanja separate egzistencije, racionalnog komuniciranja, upravljanja prema ciljevima, motivacije i pogodnosti struktura za efektivan rad. U radu se daje postupak oblikovanja proizvodnih struktura sa sposobnošću održanja separate egzistencije, zasnovan na navedenim principima i primeni grupne tehnologije i neki efekti do sada izvedenih rešenja u realnim proizvodnim sistemima.*

1. UVODNA RAZMATRANJA

Ubrzane tehnološke promene, rastuća globalna konkurencija, nestabilnost tržišta, privredna neizvesnost, problemi upravljanja novčanim tokovima i sve veći socijalni zahtevi poslozljavaju problem OPSTANKA i RAZVOJA preduzeća u datoj okolini i datom vremenu i uslovljavaju neizbežnu i neumoljivu zamenu tradicionalnih savremenim proizvodnim postupcima određenim produbljenim misaonim prilazom i primenom raspoloživih tehnoloških ostvarenja. Razvoj efektivnih proizvodnih sistema - preduzeća, u uslovima uticaja okoline i poremećaja u procesima rada rastućeg intenziteta i prirodno uslovljenih konfliktnih pojava između učesnika i grupa učesnika u procesima rada, zasnovan je na:

- Razvoju delova - segmenata strukture na osnovama sposobnosti održanja separate egzistencije u datom vremenu i datim uslovima okoline i
- Primeni postupaka RACIONALNE INTEGRACIJE datih delova u celinu, vezama potrebnog stepena jačine, u cilju obezbeđenja sinergetskih efekata preduzeća.

Prilaz u razvoju efektivnih proizvodnih sistema - preduzeća je zasnovan na principima:

- SLIČNOSTI živih i neživih složenih sistema,
- SPOSOBNOSTI održanja separate egzistencije u datim uslovima okoline i vremenu,
- UPRAVLJANJA prema ciljevima u realnom vremenu i datim uslovima,
- POGODNOSTI STRUKTURA sistema za efektivan rad uz svodenje stepena složenosti delova struktura i sistema na nivo neophodnog minimuma,
- MOTIVACIJE učesnika i obezbeđenja uslova rada potrebnog i dovoljnog kvaliteta.

*) Dr Dragutin Zelenović, red. prof., dopisni član SANU, Dr Ilija Ćosić, red. prof., Mr Rado Maksimović, asistent, Institut za industrijske sisteme, 21000 Novi Sad, Trg D. Obradovića 6

Osnove za izgradnju i funkcionisanje sistema - preduzeća na datim principima leže u analizi razvoja i ponašanja živih bića i težnji za funkcionisanjem mašina i skupa mašina i ljudi - preduzeća u sistemu povratnih veza stabilno u granicama dozvoljenih odstupanja postavljene funkcije cilja, u datom vremenu i datim uslovima okoline. Pri datom:

- **Princip SLIČNOSTI,**

živih bića - ljudi u prvom redu, neživih bića - mašina i skupa mašina i kombinovanih - živih i neživih sistema - preduzeća, države je izveden iz prirodno uslovljenih upravljačkih postupaka primenljivih za sve vrste složenih sistema čija osnova leži u povratnoj sprezi koja vezuje izlazne, ulazne i procesne veličine sistema, i

SLIČNOSTI predmeta rada i postupaka u programima rada koja, suštinski, omogućava **POJEDNOSTAVLJENJE** - ostvarenje minimuma stepena složenosti u oblikovanju tokova u sistemu;

- **Princip SPOSOBNOSTI ODRŽANJA** separatne egzistencije,

u datom vremenu i datim uslovima okoline je zasnovan na prirodno uslovljenoj zakonitosti odvajanja u trenutku formiranja potpunog **IDENTITETA** i nastanka **USLOVA** za samostalno dejstvo u okolini. Pri datom iskazu **SAMOSTALNO DEJSTVO** podrazumeva vezu na okolinu i podršku okoline pošto su u pitanju otvoreni sistemi.

- **Princip UPRAVLJANJA** prema ciljevima,

se zasniva na potrebi držanja parametara procesa rada sistema u granicama dozvoljenih odstupanja postavljene funkcije cilja u realnom vremenu i datim uslovima okoline. Kako sistemi sposobni za održavanje separatne egzistencije dejstvuju u okolini to se osnovni problem održavanja projektovanih izlaznih veličina u datim uslovima svodi na suprotstavljanje negativnom dejstvu uticaja okoline i poremećajima u procesima rada.

- **Princip POGODNOSTI STRUKTURA** za efektivan rad,

Osnovna karakteristika kvalitetnih sistema postavljenih na principu separatne egzistencije je sposobnost ostvarivanja projektovanog odnosa **EFEKTI/ULAGANJA** u datim uslovima - datom vremenu i datoj okolini što se u osnovi svodi na razvoj fleksibilnih struktura minimalnog stepena složenosti, razvoj postupaka upravljanja u realnom vremenu i izgradnju racionalne strukture systemske podrške logistike sposobne za vraćanje sistema iz stanja **U OTKAZU** u stanje **U RADU** u datom vremenu i datim uslovima.

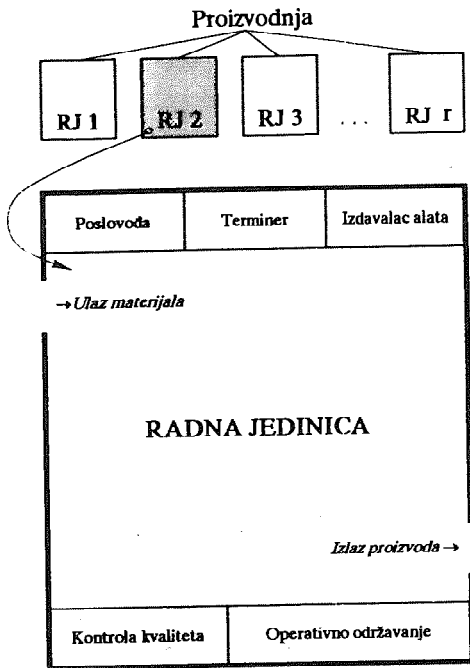
- **Princip izgradnje EFEKTIVNE MOTIVACIJE** i uslova rada,

je zasnovan na produbljenom istraživanju odnosa između učesnika u procesima rada, nadređenih i podređenih, stepena integracije funkcije i uslova rada sa stanovišta kvaliteta života

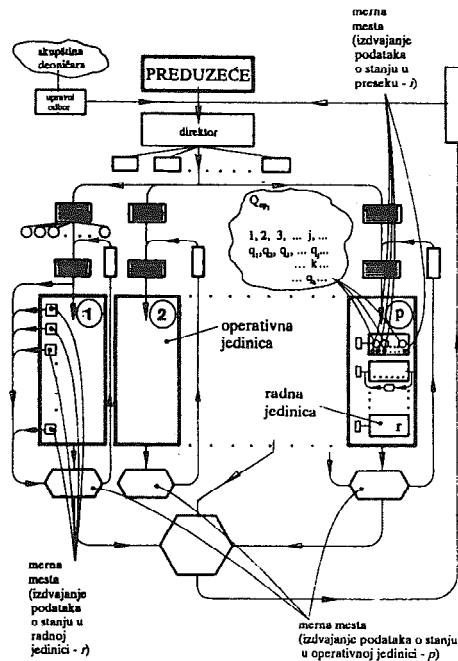
2. POSTUPAK PROJEKTOVANJA PROIZVODNIH STRUKTURA SA SPOSOBNOŠĆU ODRŽANJA SEPARATNE EGZISTENCIJE

Na osnovama iskazanih principa na Institutu za industrijske sisteme i njegovom *Istraživačkom i tehnološkom centru* u Novom Sadu razvijen je *IIS-DZ prilaz u razvoju efektivnog preduzeća* u kome su osnovni delovi - segmenti strukture koji obezbeđuju sposobnost održanja separatne egzistencije:

- ♦ **RADNA JEDINICA** (Slika 1) - deo strukture proizvodnog sistema - preduzeća, određen kao skup tehnoloških struktura - obradnih, montažnih, mernih, za rukovanje materijalom i upravljačkih, organizovanih na *predmetnom principu* zadužena za izradu jednog ili grupe sličnih proizvoda. Dati deo strukture, u osnovi, vrši *izvedbeno orijentisana dejstva* i sposoban je za održanje separatne **RADNE** egzistencije,
- ♦ **OPERATIVNA JEDINICA** (Slika 2) - deo strukture proizvodnog sistema određen kao skup radnih jedinica i delova strukture koji vrše *funkcionalno orijentisana dejstva* i sposoban je za održanje separatne **POSLOVNE** egzistencije.



Slika 1

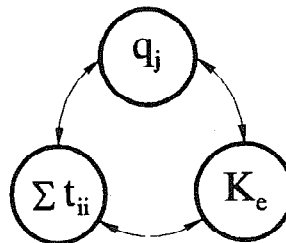


Slika 2

Postupak oblikovanja radnih i operativnih jedinica zasniva se na elementima:

1 Osnovne veličine

Osnovne veličine relevantne za razvoj kriterijuma za oblikovanje delova efektivnih proizvodnih struktura - radnih i operativnih jedinica sposobnih za održanje separate egzistencije su (Slika 3): q_j [jed.pr/vr.per] - količina proizvoda u programu proizvodnje određena odnosom sistem - okolina, $\sum t_{ij}$ [vr.jed/jed.pr] - stepen tehnološke složenosti proizvoda određen datim tehnološkim uslovima i K_e [vr.jed/vr.per] - efektivni kapacitet posmatranog preseka sistema.



Slika 3

2 Klasifikacija predmeta rada

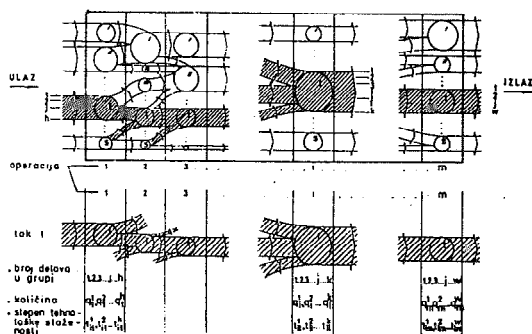
Na osnovu *opšteg sistema klasifikacije* predmeta rada se, u datoj fazi primene *IIS -DZ prilaza*, vrši oblikovanje sistema klasifikacije za posmatrani program proizvodnje u cilju razvrstavanja proizvoda, sklopova, podsklopova i delova proizvoda u funkcionalno i tehnološki slične grupe. U datom smislu je, za razliku od ranije razvijenih prilaza u klasifikaciji predmeta rada, potrebno sistemom klasifikacije, obezbediti vezu između proizvoda i njemu pripadajućih sklopova i delova. Na dati način se obezbeđuje veza proizvodne strukture u obradi sa proizvodnom strukturom u montaži za grupe sličnih proizvoda.

3 Primena grupnih tehnoloških postupaka

Razvrstavanjem predmeta rada u grupe funkcionalno i tehnološki sličnih predmeta rada (proizvoda, sklopova, delova) obezbedene su podloge za primenu filozofije grupsne tehnologije i razradu grupnih tehnoloških postupaka (obrade, montaže, merenja, rukovanja materijalom) za sve predmete rada.

4. Oblikovanje grupnih tokova materijala

Sistem klasifikacije - klasifikaciona oznaka daje mogućnost, u funkciji karakteristika programa proizvodnje i parametara tehnoloških sistema određenih grupnim tehnološkim postupcima, oblikovanja grupnih tokova materijala pri čemu se izdvajaju tokovi *operacijskih grupa* u sistemu - tok t kako je prikazano na slici 4.



Slika 4

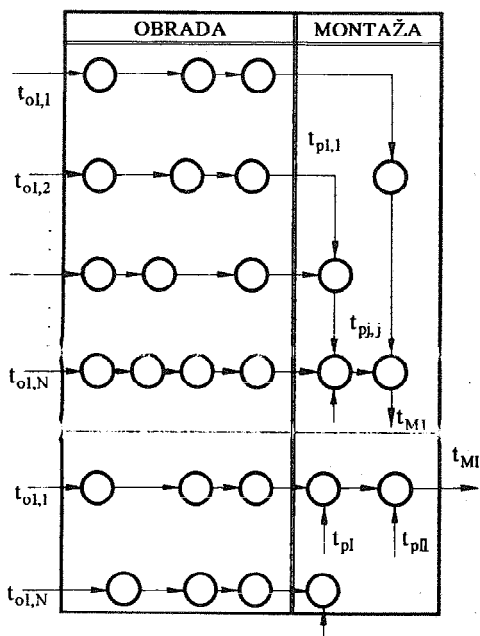
Postupak oblikovanja radnih jedinica sadrži četiri osnovna koraka:

Korak 1: OBLIKOVANJE MODULA

Prva faza u postupku za oblikovanje efektivnih proizvodnih struktura se odnosi na iznalaženje grupa predmeta rada koji imaju istu klasifikacionu oznaku - grupa delova, sklopova ili proizvoda sa maksimalnim stepenom sličnosti koji je određen kvalitetom kriterijuma ugrađenih u sistem klasifikacije. Data grupa predmeta rada naziva se *MODUL*.

Korak 2: OBLIKOVANJE OPERACIJSKIH GRUPA

Na osnovu *profila klasifikacionog broja*, određenog analizom broja, veličine i strukture modula, oblikuju se *OPERACIJSKE GRUPE* - grupe proizvoda i sklopova koje je moguće spajati na montažnim tehnološkim sistemima istih karakteristika, odnosno grupe delova proizvoda podložnih obradi na tehnološkom sistemima istih karakteristika.



Slika 5

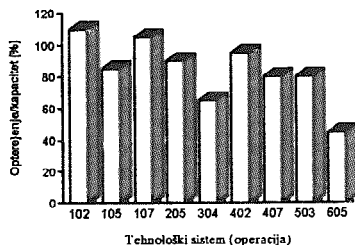
Za svaku operacijsku grupu se vrši razrada grupnog tehnološkog postupka za *kompleksan predmet rada* - predstavnik grupe, a na osnovu njega za sve predmete rada u grupi. Kako je prikazano na slici 5, jednom toku grupe u montaži odgovara jedan ili više tokova operacijskih grupa u obradi pri čemu je obezbeđena, kriterijumima ugrađenim u sistem klasifikacije, njihova funkcionalna veza.

Korak 3: OBLIKOVANJE RADNIH JEDINICA

Radna jedinica je, u skladu sa napred datim objašnjenjima, određena kao skup operacijskih grupa koje, na osnovu razrađenih tehnoloških postupaka, sadrže grupu predmeta rada (proizvoda i pripadajućih sklopova i delova), tehnoloških sistema (obradnih i montažnih) i učesnika i uslovljavaju određeni - u najboljem slučaju jedinstven, prostor za njihov smeštaj. Skup operacijskih grupa je moguće oblikovati kao radnu jedinicu uz prethodno izvedene analize:

- Broja operacijskih grupa, njihove strukture i veličine - u smislu pogodnosti za montažu i obradu u okviru jedne radne jedinice,
- Odnosa (T_i/K_e) u preseccima toka - u smislu ostvarenja zadovoljavajućeg stepena iskorišćenja elemenata sistema,
- Stepena složenosti tokova u sistemu - u smislu potrebe njegoveminimizacije,
- Veličine radne jedinice.

Izlaz date faze postupka je broj, struktura i odnos T_i/K_e (Slika 6) za sve radne jedinice.



Slika 6

Korak 4: OBLIKOVANJE OPERATIVNIH JEDINICA

Predmetna faza postupka odnosi se na razmatranja vezana za povezivanje radnih jedinica u OPERATIVNU JEDINICU na osnovu, pre svega, orijentacije na tržišne segmente i integraciju funkcija sistema na nivou date celine preduzeća koje će obezbediti sposobnost održanja separatne poslovne egzistencije.

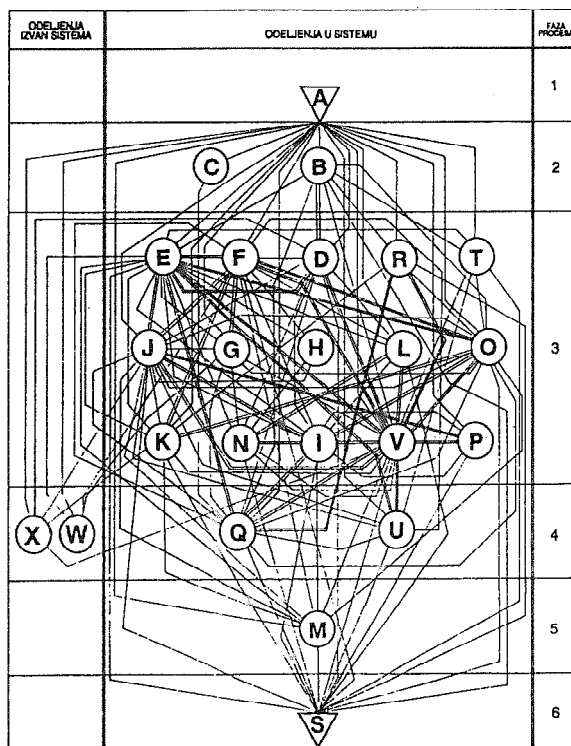
3. NEKI REZULTATI UVOĐENJA PROIZVODNIH STRUKTURA SA SPOSOBNOŠĆU ODRŽANJA SEPARATNE EGZISTENCIJE

.1 Prikaz postupka na realnom primeru

Program proizvodnje se sastoji od 350 različitih proizvoda. U sistemu su instalisane tehnološke strukture univerzalnog i produkcionog karaktera, a za predmete rada - delove sa izrazito visokim količinama i određeni broj namenskih tehnoloških sistema.

Analiza tokova materijala ukazala je (Slika 7) na složenu mrežu tokova jer je sistem oblikovan na osnovama *procesnog prilaza* u oblikovanju struktura i *pojedinačnog prilaza* u oblikovanju tokova. Dijagram - mreža tokova i ostali analizirani parametri ukazali su na potrebu revitalizacije proizvodnih struktura na osnovama *grupnog prilaza* i odgovarajućeg podešavanja organizacionih struktura.

Na osnovu opšteg sistema klasifikacije IIS-KS-08, razvijeni su posebni sistemi klasifikacije predmeta rada, na napred objašnjenim principima funkcionalne veze proizvod - deo. Deo razvijenog sistema klasifikacije prikazan je na slici 8. Uočava se da dati sistem klasifikacije izdvaja 4 grupe proizvoda koje predstavljaju funkcionalne i tehnološke celine. Njegovom primenom oblikovano je 306 modula u obradi i 120 modula u montaži.



Slika 7

Klasifikacioni broj	NACIN DOBIVANJA PROJEKTA	DIMENZIJA PROJEKTA	DIMENZIJA PROJEKTA	DIMENZIJA PROJEKTA	DIMENZIJA PROJEKTA	DIMENZIJA PROJEKTA	OBlici površinske dobijene izvlačenjem		POKRETI POVRŠINE DOBIVENE PREDOVANEM		POKRETI POVRŠINE DOBIVENE NEZAVANEM		VETA MATERIJALA		KVALITET POVRŠINE		POVRŠINSKA ZAŠTITA		
							1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0			6 x 10	100															
1	Elektronički i optički kontakti		10 x 10	100															
2	Montažne		10 x 10	100															
3	Stacionarna i mobilna		10 x 10	100															
4	Montažne		10 x 10	100															
5			10 x 10	100															
6			10 x 10	100															
7			10 x 10	100															
8			10 x 10	100															
9			10 x 10	100															

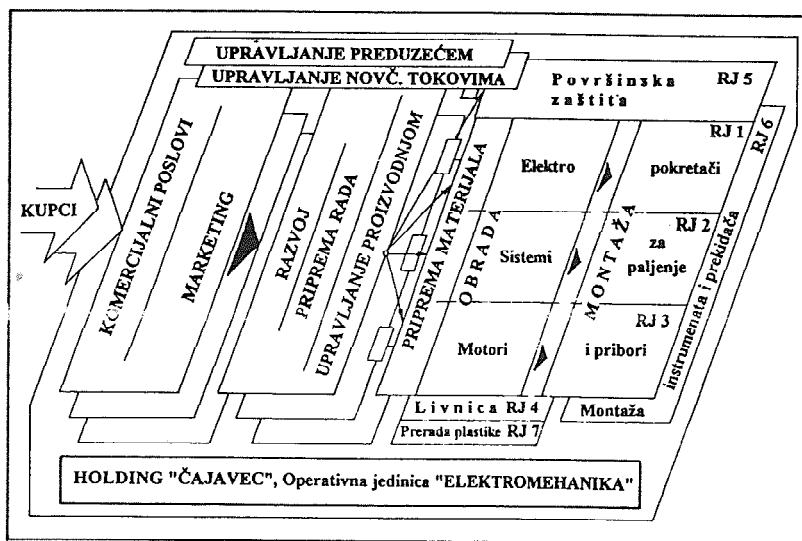
Slika 8

ELEKTROMEHANIKA

Na osnovu definisanih profila klasifikacionog broja oblikovano je, u drugom koraku, 46 operacijskih grupa u obradi i 18 operacijskih grupa u montaži, dok je na osnovu analize odnosa opterećenje/kapacitet i zadovoljenja uslova:

- da predstavlja tehnološki zaokruženu celinu,
- da je sposobna da samostalno, prema strukturi opreme i učesnika, proizvede grupu proizvoda u zahtevanom roku i kvalitetu,
- da je prostorno izdvojena celina i
- drugih uslova koji obezbeđuju samostalnu egzistenciju.,

oblikovano 7 radnih jedinica sa sposobnošću održanja separatne radne egzistencije (Slika 9).



Slika 9

2 Rezultati primene grupne tehnologije

Napred dati prilaz je proveren u primeni na određenom broju realnih proizvodnih sistema. U nastavku je dat uporedni prikaz analize nekih rezultata dobijenih u rezultatu revitalizacije struktura sistema na izloženim osnovama. Pri datom su za analizu izabrani programi proizvodnje - proizvodni sistemi, čije je stanje pre revitalizacije karakterisano procesnim prilazom u oblikovanju struktura sistema i pojedinačnim procesiranjem predmeta rada, a nakon revitalizacije su sistemi 1 i 2 organizovani u vidu radnih jedinica oblikovanih na principima sposobnosti održanja separate egzistencije dok su sistemi 3, 4 i 5 organizovani u vidu radnih jedinica oblikovanih na principima sličnosti predmeta rada - posebno u obradi, a posebno u montaži, kako sledi:

<i>SISTEM 1</i>	- program proizvodnje: auto - elektro oprema - broj proizvoda: 350, - broj delova: 2.500
<i>SISTEM 2</i>	- program proizvodnje: elektromotori - broj proizvoda: 75, - broj delova: 1.500
<i>SISTEM 3</i>	- program proizvodnje: namenski proizvodi - broj proizvoda: 25, - broj delova: 4.000
<i>SISTEM 4</i>	- program proizvodnje: poluosovine za teretna vozila - broj proizvoda: 120, - broj delova: 120
<i>SISTEM 5</i>	- program proizvodnje: hidrokočione cevi - broj proizvoda: 70, - broj delova: 500

Kao relevantni za ocenu stepena dobrote procesa rada praćeni su, u jednogodišnjem radu sistema pre i nakon uvođenja razmatranog prilaza, sledeći pokazatelji:

- Prosečno vreme trajanja ciklusa proizvodnje - T_{cp} ,
- Odnos $T_{cp}/\Sigma t_{ij}$ (vreme trajanja ciklusa proizvodnje/normativno vreme),
- Stepenn izvršenja plana - p ,
- Koficijent obrtanja kapitala - k_{ob} ,
- Pogodnost upravljanja izražena brojem naloga u operativnom planu - N .

Rezultati analize navedenih parametara prikazani su na slici 10.

	T_{cp} [dana]		$T_{cp}/\Sigma t_{ij}$		p [%]		k_{ob}		$N!$	
	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.
<i>SISTEM 1</i>	100	12	75.000	25	58	100	2,4	8,5	250!	5!
<i>SISTEM 2</i>	500	350	10	2,5	75	100	4,5	15,0	210!	7!
<i>SISTEM 3</i>	200	90	9.000	450	68	89	0,5	2,5	1.350!	70!
<i>SISTEM 4</i>	22	5	1.500	285	45	100	2,0	4,5	200!	8!
<i>SISTEM 5</i>	95	4	150.000	6.000	57	100	2,4	9,2	450!	5!

Slika 10

4. ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Rezultati primene razvijenog prilaza u razvoju proizvodnih, upravljačkih i organizacionih struktura na principima sposobnosti održanja separatne radne i poslovne egzistencije u realnim procesima rada većeg broja proizvodnih sistema pokazuje da dati prilaz predstavlja efikasan način uređivanja osnovnih skupova veličina u sistemu i obezbeđuje ostvarenje postavljenih ciljeva preduzeća.

Navedena istraživanja i prikazani primeri pokazuju da je moguća primena postupka projektovanja struktura proizvodnih sistema sa sposobnošću održanja separatne egzistencije u programima proizvodnje različitih karakteristika - od programa proizvodnje veom široke strukture i niskih količina do programa proizvodnje jedinične strukture i visokih količina.

Potrebno je naglasiti da primena datog prilaza u delu projektovanja proizvodnih struktura uslovljava istovremeno i primenu odgovarajućih postupaka u projektovanju upravljačkih i organizacionih struktura, bez kojih bi iskazani efekti bili znatno umanjeni.

LITERATURA

1. Burbidge J.L., Falster, P., Rügs, J.: *INTEGRATION AUDIT, Computer Integrated Manufacturing Systems, 148-161, Butterworth & Co Publishers Ltd, 1989.*
2. Burbidge J.L., Zelenović, D.: *USING P.F.A. TO PLAN G.T. FOR A NEW FACTORY, Material Flow, 1(1983), 129-140, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam, 1983.*
3. Zelenović, D.: *KA POTPUNOJ INTEGRACIJI FUNKCIJA PROIZVODNIH SISTEMA (Nova filozofija proizvodnje - lični prilaz), Vojvodanska akademija nauka i umetnosti, Monografija, Novi Sad, 1992.*
4. Zelenović, D.: *PROJEKTOVANJE PROIZVODNIH SISTEMA, Naučna knjiga, Beograd, 1987.*
5. Čosić, I.: *PRILOG RAZVOJU PROIZVODNIH STRUKTURA POVIŠENOG STEPENA FLEKSIBILNOSTI - Doktorska disertacija, Novi Sad, 1983.*
6. Maksimović, R.: *ISTRAŽIVANJE RADNIH KARAKTERISTIKA EFEKTIVNIH PROIZVODNIH STRUKTURA - Magistarski rad, Novi Sad, 1989.*
7. Trivić, N.: *ISTRAŽIVANJE UTICAJA PRIMENE POSTUPAKA GRUPISANJA NA TEHNOLOŠKO-EKONOMSKE PARAMETRE SISTEMA - Magistarski rad, Banja Luka, 1991.*
8. Cvijić, M.: *PRILOG RAZVOJU EFEKTIVNIH PROIZVODNIH SISTEMA NA PRINCIPIMA SPOSOBNOSTI ODRŽANJA SEPARATNE EGZISTENCIJE - Magistarski rad, Novi Sad - Banja Luka, 1994.*

SOME RESULTS IN APPLYING THE GROUP TECHNOLOGY IN INDUSTRIAL PRODUCTION SYSTEMS

Summary

According to the needs for building production systems capable of surviving and being developed in time, an approach for implementing GROUP TECHNOLOGY in order to provide the design of effective production structures with the satisfactory EFFECTS/INVESTMENTS ratio needed for fulfilling the enterprise goals has been developed at FTN-IIS. Starting from the basic principles, already developed automated procedures and long term experience in group technology implementation, this paper gives an analysis of possible variants in working units structures design - basic production system units with the ability of maintaining separate existence, as well as some effects of the existing real production systems solutions.

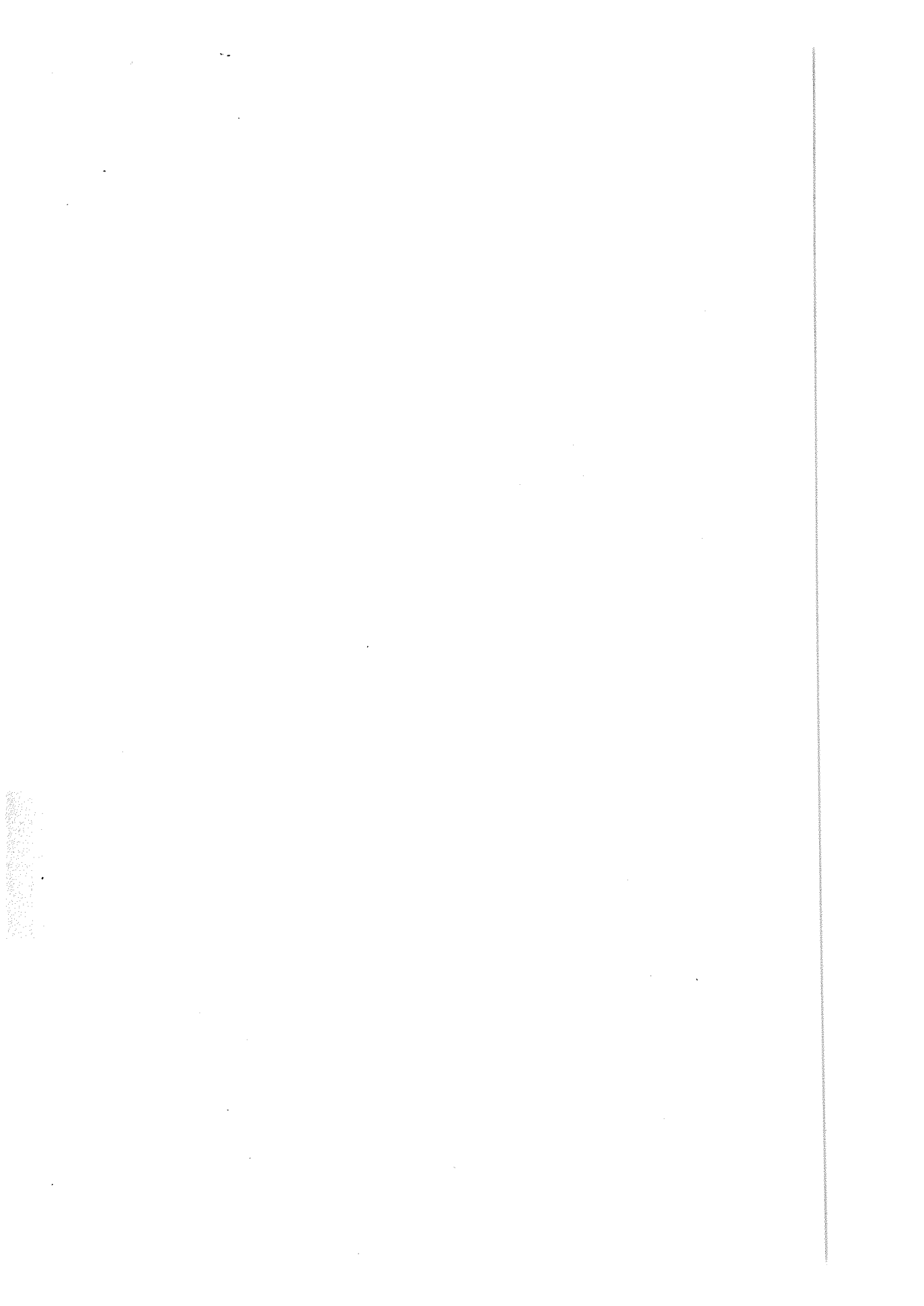
INTELIGENTNI I FLEKSIBILNI TEHNOLOŠKI SISTEMI

Konkurentno inženjerstvo
Ekspertni sistemi

INTELLIGENT AND FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

Concurrent Engineering
Expert Systems





25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

P. Bojanić¹ A. Babić²

JEDAN PRISTUP KONKURENTNOM PROJEKTOVANJU
U OBLASTI TERETNIH VAGONA

Rezime

U radu su prikazani neki rezultati u razvoju modeliranja proizvoda za usvojeni pristup konkurentnom projektovanju. Polazeći od modeliranja proizvoda kao koncepta za prezentaciju svih inženjerskih informacija potrebnih za proces projektovanja i proizvodnju mašinskih proizvoda analizirani su opšti i specifični modeli za proizvodnju komponenata iz lima.

1.0 UVOD - KONKURENTNO PROJEKTOVANJE

Pristup projektovanju u inženjerstvu u kome se simultano integriše široki spektar konstruktivnih, tehnoloških, komercijalnih i drugih zahteva je tzv. konkurentno inženjerstvo (Concurrent engineering) ili možda korektnije konkurentan razvoj proizvoda (concurrent product development), odnosno konkurentno projektovanje (concurrent design).

Termin konkurentno inženjerstvo se uopšte odnosi na pristup projektovanju proizvoda i projektovanju za proizvodnju kod kojeg se inženjerske aktivnosti izvode paralelno a ne sekvencijalno kao kod tradicionalnog pristupa. Uočljivo je takođe da se kod konkurentnog inženjerstva drugačije strukturisu aktivnosti, što ukazuje na svestraniji pristup procesu projektovanja. Ovo istovremeno znači da konkurentno inženjerstvo predstavlja dostignutu fazu razvoja proizvodnih sistema koji predstavlja odgovor na izazov za povećanje međunarodne kompetentnosti [1].

Zajednički imenitelj za navedeni pristup u projektovanju je integracija i kooperacija znanja. Pod integracijom znanja se podrazumeva dopunjavanje jednog izvora znanja znanjem drugog izvora, dok se pod kooperacijom podrazumeva rad više izvora znanja na istom problemu, pri čemu svaki izvor znanja taj problem razmatra sa svog specifičnog aspekta.

¹ Dr Pavao Bojanić, van. prof., Mašinski fakultet Beograd, 27. marta 80, Beograd

² Arandel Babić, istraž. saradnik, Mašinski fakultet Kraljevo, Dositejeva 19, Kraljevo

Simultani rad ne mora da znači i istovremeni rad više izvora, jer iako je poželjno, to nije uvek i moguće. Pri tome, svaki izvor znanja, najčešće asinhrono analizira proizvod iz svog ugla i unosi svoja ograničenja kojim se usmerava konačno projektno rešenje proizvoda. Međutim, cilj je da se aktivnosti više izvora što duže vremenski preklapaju, jer se time skraćuje vreme razvoja i projektovanja proizvoda.

Pri takvom radu, normalno je da dolazi do konfliktnih situacija u kojima su interesi ili pogledi dva ili više izvora suprotstavljeni.

U tradicionalnom radu tima projekatanata, ovakve se situacije normalno rešavaju direktnim razgovorima projekatanata na sastancima tima. Međutim, veliki je problem u jednom automatizovanom računarskom sistemu, u kome učestvuju i ljudi ali i mnogi programski sistemi; kako na vreme automatski identifikovati konflikte koji nastanu i kako te konflikte razrešiti, bilo automatski ili upozoravanjem odgovornih ljudi - učesnika u procesu projektovanja.

U okviru konkurentnog projektovanja proizvoda kao procedure za istovremenu integraciju i racionalno projektovanje, postoji više koncepata koji su sagledani sa više aspekata. Uočljivo je da su navedeni koncepti podržani u prvom redu preko "Design for....." pristupa. Ovi pristupi naglašavaju važnost uključivanja svih aspekata u donošenju odluka vezanih za projektovanje, na nivoima i unutar nivoa trajanja ciklusa projektovanja. Aspekti koji se uzimaju u obzir pri projektovanju, najčešće se odnose na:

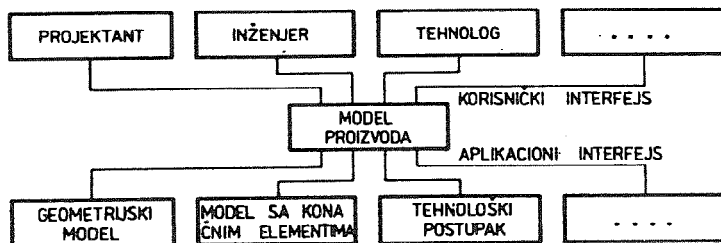
- modeliranje proizvoda,
- konkurentnost,
- životni vek proizvoda,
- kvalitet,
- projektovanje pomoću geometrijsko-tehnoloških primitiva.

Ukupan pristup konkurentnom inženjerstvu (concurrent engineering), prepoznatljiv u inženjerskom projektovanju (concurrent design), nije pitanje individualne kreativnosti i intelektualne snage.

Pitanje individualne kreativnosti i intelektualne snage se naglašava u razvoju blokova modela procesa projektovanja, dok je integracija blokova modela neophodan uslov za rad sistema za simultano (konkurentno) projektovanje, odnosno, potrebno je da svi izvori znanja budu međusobno funkcionalno povezani, bez obzira na svoje lokacije.

2. MODELIRANJE PROIZVODA

Jedan od osnovnih činilaca povezivanja izvora znanja je model proizvoda. Model predstavlja računarsku prezentaciju proizvoda sa uredjenim skupom podataka i informacijama o proizvodu kojim se on u potpunosti definiše. Ustvari, model sadrži sve informacije o proizvodu koje su potrebne u bilo kojoj fazi njegovog projektovanja.



Sl. 1 Model proizvoda kao centralna baza podataka za primenu u više inženjerskih disciplina [5].

Procedura projektovanja treba da je korisnički orjentisana. Konstruktor bira elemente iz simboličkog menija, specijalno definisanog za ovu vrstu proizvoda, locira ih na crtežu dela koji konstruiše. Na ovaj način vreme konstruisanja se znatno skraćuje u odnosu na korišćenje drugih npr. univerzalnih CAD sistema. Konstruisanje pomoću unapred definisanih geometrijsko-tehnoloških primitiva pruža i druge prednosti. Kao što je prikazano na sl.1, u modelu proizvoda su zapisani, u vidu posebnih objekata, svi primenjeni, primitivi sa svojim atributima, čime se znatno olakšava analiza proizvoda pomoću nekog od računarskih sistema. Ovi sistemi automatizuju druge aktivnosti vezane za: projektovanje procesa, analizu tehnološkosti i dr.

U ovim aktivnostima modeliranja termin PRIMITIV se koristiti u znatno proširenom značenju. Ustvari, istraživanja pokazuju da se mogu formirati kompleksni - opšti tipovi primitiva za korišćenje u različitim inženjerskim domenima. U zavisnosti od željenog nivoa modela proizvoda, definicija primitiva se vezuje za modeliranje forme, funkcije, proizvodne tehnologije, cene i dr.

Sagledavanje primitiva, u inženjerskom projektovanju, definiše ih kao "elemente koji se koriste u generisanju, analizi ili proceni projektovanja", a kada se radi o geometrijskom modeliranju primitivi su "grupisanje geometrijskih i/ili topoloških entiteta gde postoji potreba zajedničke veze između njih".

Kao što se vidi, za usvojeni koncept, primitivi se koriste za više različitih namena..U daljem radu koristi se najopštija definicija: "primitiv je jedinična parcijalna forma ili karakteristika proizvoda, pri čemu ima i semantičko značenje u projektovanju, planiranju procesa, proizvodnji, proceni cene i drugim inženjerskim disciplinama".

Forma je najpoznatiji oblik primitiva. Ovaj termin se koristi u registrovanju elemenata kada se opisuju na višem nivou nego što su to tačke, linije i površine, koje se mogu naći kod tradicionalnih geometrijskih modela. Primeri takvih forme primitiva su lukovi, otvori, zarez i dr. Međutim forme elemenata kao što su kvadri, ploče, cilindri, konusi mogu biti takodje obuhvaćeni formom primitiva, ali jedino ako imaju semantičko značenje.

Deo, montažni proces ili proizvod ne mogu biti kompletno definisati sa formom primitiva; termin forma primitiva i primitiv se koriste ovde jedino kao sinonim. Za opisivanje ovih entiteta, potreban je skup karakteristika, parametara i podataka. Otuda, podskupovi ovih karakteristika se prepoznaju kao :

- **primitivi koji opisuju osobine;** od njih se zahteva da opišu karakteristike kao što su tip materijala i stanje površina.
- **primitivii tačnosti** se odnose na specifikacije tolerancija dimenzija i tolerancija oblika.
- **montažni ili primitivi spajanja** ispunjavaju zahteve u opisivanju relacija između formi odnosno paralelnosti površina za spajanje.

Klasifikacija primitiva prema nivou kompleksnosti definiše dva tipa: prosti i složeni. Složeni primitivi predstavljaju kombinaciju više elementarnih koji se mogu međusobno komponovati .

Ovakvo formiran inženjerski model reprezentuje različite vrste osnovnih znanja vezanih za mašinske proizvode, predstavlja internu računarsku prezentacija proizvoda i sadrži sve neophodne informacije o njemu. Informacije su potrebne za aktivnosti na nivou modula CIM sistema pri čemu je model ustvari osnovni element integracije svih modula.

Na ovaj način se vrši transformacija u kojoj se sve geometrijsko-topološke-tehnološke i opšte karakteristike proizvoda predstavljaju u obliku logičke strukture podataka ili pak pravila. Ove transformacije se formalno predstavljaju, ako je to moguće, u analitičkom vidu ili se pak primenjuju numeričke metode, dok se identifikacioni i opisni atributi, koji definišu te transformacije, predstavljaju u obliku simbola ili logičkih algoritama.

Nadovezujući se na operacije kreativnog razmišljanja u okviru konceptualnog projektovanja, tradicionalne tehnike kompjuterskog modeliranja ne omogućavaju projektantima komforan rad na obimnim "šta-ako?" analizama. Ovo omogućavaju modeli zasnovani na "znanju o proizvodu" koje se obično smešta u bazu znanja i uglavnom se realizuje jezicima veštačke inteligencije

3.0 RAČUNARSKO MODELIRANJE KOMPONENTI TERETNIH VAGONA

Projektovanje za ovaj tip industrije karakteriše tzv. korisničko projektovanje ili projektovanje za poznatog kupca. za jedan iz vrste tipiziranih proizvoda. Tehnologija izrade tipiziranih proizvoda se ogleda kroz:

- tehnološke procese čija je karakteristika zajednički sadržaj i redosled većine tehnoloških operacija i elementarnih operacija,
- grupe radnih predmeta sa zajedničkim konstruktivnim osobinama.

Prepoznavanje i klasifikacija vagona i vagonskih podsistema, odnosno definisanje prirodnoeg reprezentanta detaljno su sagledani kroz višegodišnji rad na razvoju novih proizvoda. Primenjujući osnovne kriterijume tipizacije proizvoda nad skupom klasificiranih teretnih vagona i njihovih komponenti za prirodnoeg reprezenta usvajaju se vagon cisterne.

Tehnologija projektovanja i izrade kotlova vagon cisterni predstavlja specifičnost koju ne poseduju drugi tipovi vagona, dok sa druge strane, noseća struktura, donje postolje, je zajednički sistem koji konstrukcijsko-tehnološki odgovara i ostalim tipovima kola obuhvaćenih klasifikacijom. Obrtno postolje je zajednički element svih višeosovnih

vagona. Na ovaj način, izborom vagon cisterni za reprezenta uzimaju se u obzir sve specifičnosti koje karakterišu predviđene aktivnosti od značaja za razvoj procesa projektovanja proizvoda i tehnologije, odnosno projektovanja za proizvodnju teretnih vagona.

Na bazi usvojenog koncepta, modeliranje proizvoda kao centralni deo projektnih aktivnosti potencira modele u određivanju više projektnih karakteristika. Iz ovih karakteristika u kasnijem koraku vrši se izbor aktuelne vrednosti

Generisanje modela se odvija u okviru procesora GEOCAD. Osnovni model, za simboličko definisanje karakteristika proizvoda koristi modeliranje zasnovano na primitivima MZP . Na ovaj način se vrši logično opisivanje proizvoda, njegovih relacija i atributa u obliku znanja za usvojeni reprezent proizvoda

Projektovanje specifičnih karakteristika značajnih za razvoj teretnih vagona, odvija se preko interfejsa GEOCADA, čime se obezbeđuje veza GEOCAD-a i odgovarajućih modela. Ovo se odnosi na modele za analizu (FEA, CAE) , zatim proizvodnju delova iz lima sečenjem (CAM), montažu, spajanjem zavarivanjem pri čemu se za aktelnu karakteristiku uzima putanja glave za zavarivanje (CAA) i modele za ispitivanje (CAT). Hijerarhijskim strukturisanjem komponenti i podsklopova primitivima (modeliranje pomoću frejmova) generiše se logički model za automatsko projektovanje tehnologije CAPP kao poseban izlaz GEOCAD-a (sl.2)

Za modele koji podržavaju aktivnosti analize potrebno je razviti i generisati numeričke modele na bazi logičkog modela zasnovanog na primitivima.

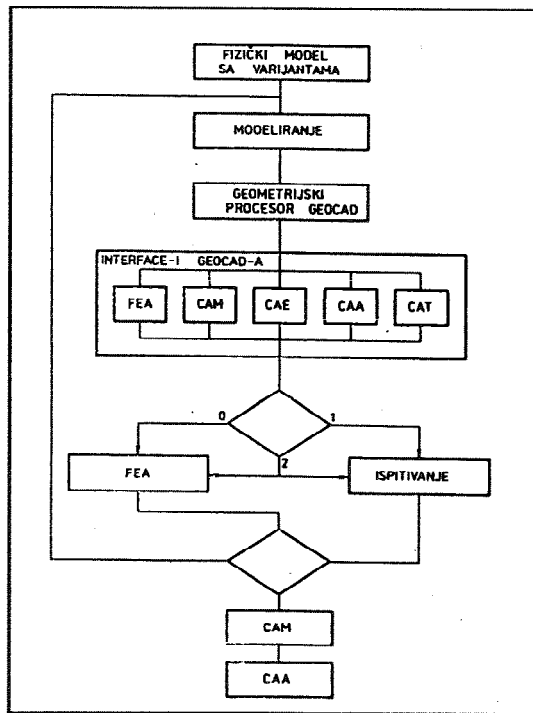
Po završenim ativnostima vezanim za projektovanje, vrši se konačna provera aktuelnih vrednosti karakteristika proizvoda sa aspekta proračuna čvrstoće noseće strukture i ispitivanja.

Strukturno modeliranje noseće strukture vagon-cisterne obuhvata sagledavanje projektnih karakteristika proizvoda u osnovnim domenima uzročno-orjentisanog modela uvažavajući aspekt konceptualnog projektovanja.

Analiza nosećih struktura u okviru uzročno-orjentisanog modela pokazuje da prvi nivo celina VCA (donjeg postolja) i VCB (obrotnog postolja) predstavljaju nosači (profili), međusobno spojeni zavarivanjem. Analogno unificiranim strukturama vagona, značajno za automatizaciju procesa projektovanja je da su i profili unificirani i tipizirani.

Na ovaj način se dolazi do urdenog skupa profila čije je zajedništvo tehnološki proces, koji se ogleda u sadržaju i njegovoj strukturi. Postoje dve grupe unificiranih profila, zatvoreni i otvoreni, različitih poprečnih preseka za usvojenu dužinu. Najčešće, ovi profili su izrađeni zavarivanjem iz komponenata, pri čemu su komponente formirane iz lima sečenjem (ravanski primitivi).

Za formiranje kompleksnih modela na nivou profila uzima se za reprezenta glavni poprečni nosač VCA 10. Israživanja obuhvataju modeliranje na komponentnom nivou pomoću primitiva a zatim formiranje montažnih primitiva na nivou profila (sl. 3 i 4).

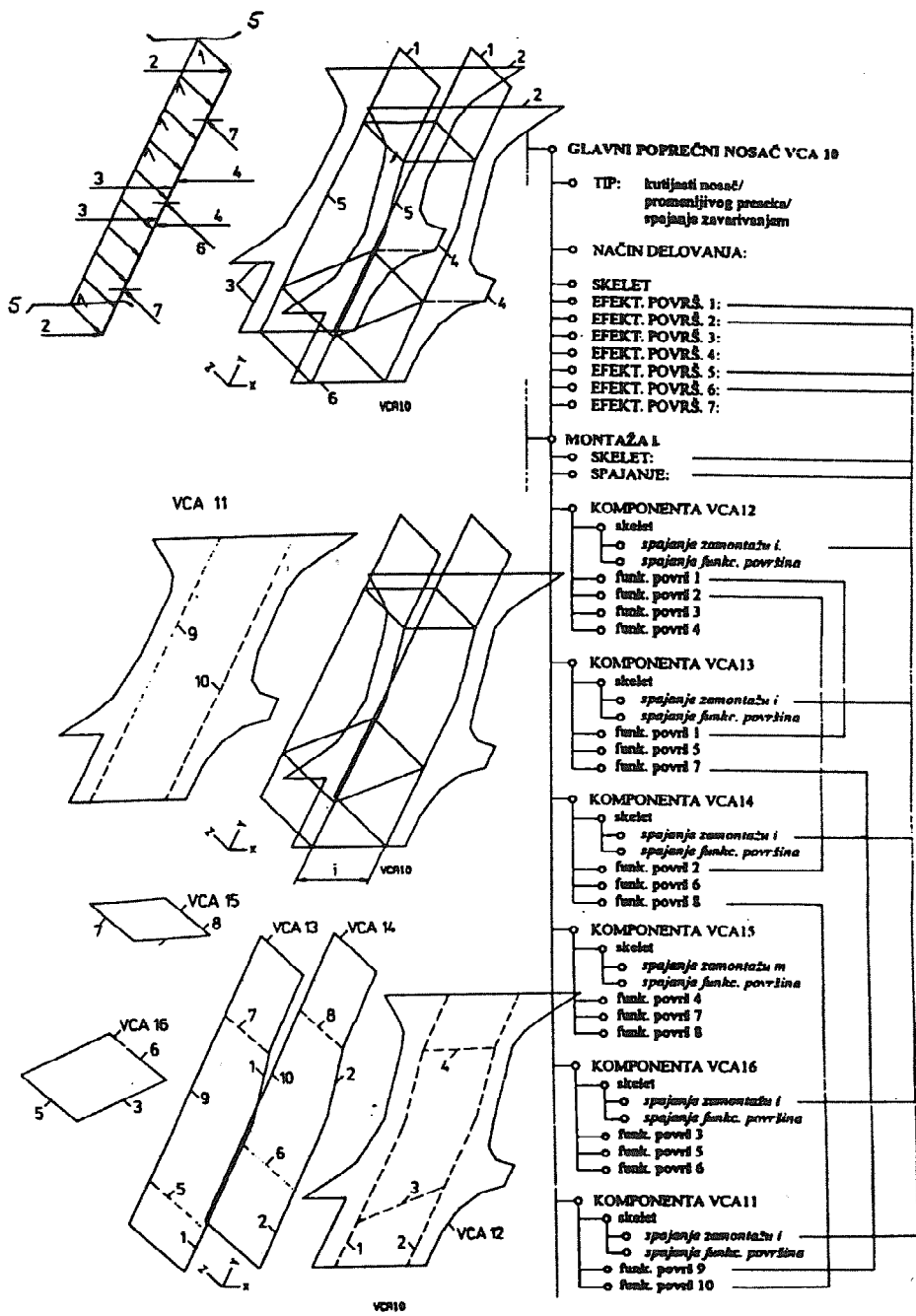


Sl.2 Usvojeni koncept modeliranja vagona

Na slici 3 prikazan je frejm za gornju ploču VCA11 glavnog poprečnog nosača objektno modeliran na nivou komponente. Uočljivi su primitivi koji opisuju opšte osobine, primitivi tačnosti i montažni primitivi. Forme primitiva nisu date zbog ograničenog prostora. Izostao je i prikaz objektnog modeliranja hijerarhije prostih i složenih primitiva za glavnu šemu na nivou komponente.

PLOČA-GORNJA
 JE-SPECIJALNI-SLUČAJ: finalnih delova
 DEO-MAX-DUŽINA:2137
 DEO-MAX-ŠIRINA: 970
 DEO-MAX-VISINA: 300
 DEO-DEBLJINA-LIMA; 10
 DEO-ID-BR: 13401
 OSNOVNI-SPOLJAŠNJI-PRIMITIV: z1,z2,z3,z4,z5,z6,uzp1,uzp2,uzp3,uzp4,
 OSNOVNI-UNUTRAŠNJI-PRIMITIV:
 SKELET: profil
 SPAJANJE-PRI-MONTAŽI: i
 SPAJANJE-FUNKCIONALNIH-POVRŠINA:
 FUNKCIONALNE POVRŠINE: 9, 10
 MATERIJAL: Č0562
 SERIJA-VELIČINA:2
 FUNKCIJA-OPIS: element kutijastog nosača
 POČETNI-DEO: pravougaono/kvadratna ploča

Sl. 3. Frejm za komponentu VCA 11



Sl. 4. Funkcionalni model montažne strukture VCA 10 za kotu i

4.0 ZAKLJUČAK

Primena i klasifikacija prizmatičnih primitiva iz lima se odnosi na integraciju podataka u okviru formiranja odgovarajuće dokumentacije za osnovni logički model proizvoda, koji je objektno orjentisan. Istraživanja se prvenstveno odnose na postavljanje direktnih veza u procesima projektovanja proizvoda i tehnologije u kompjuterski podržanom okruženju prema konceptu konkurentnog projektovanja.

Hijerarhijsko strukturisanje primitiva daje mogućnost definisanja komponenti na osnovu crteža dela. Pomoću hijerarhije obezbeđuje se putanja koja definiše logički pristup u identifikaciji primitiva. Kompleksno sagledavanje hijerarhije predstavlja suštinu vrednosne identifikacije primitiva.

5.0 LITERATURA

- [1] Kalajdžić, M., Bojanić, P., Konkurentno inženjerstvo, 6. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Prohor Pčinjski, 1993., str. 7+12.
- [2] Bojanić, P., Koncept projektovanja viših nivoa ugradnje na bazi CAA sistema, 10. jugoslovenski simpozijum CIM u strategiji tehnološkog razvoja industrije prerade metala, Kopaonik 1991., str. 37+44.
- [3] Babić, A., Petrović, D., Rakanović, A., "Prilog automatizaciji projektovanja teretnih vagona", 6. jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, Prohor-Pčinjski 1993, str. 193-198.
- [4] Babić, A., Petrović, D., Rakanović, R., "Primena CAT/CAD/CAE tehnologija u projektovanju teretnih vagona", Prvi međunarodni naučni stručni skup Teška mašinogradnja TM93, Kruševac-Vrnjačka Banja, 1993, knjiga 2, str. 514-520.
- [5] Wierda, L., S., Linking Design, Process Planning and Cost Information by Feature-based Modeling, Journal of Engineering Design, Vol. 2, No. 1, 1991, str. 3+19.

P. Bojanić, A. Babić

AN APPROACH TO CONCURRENT DESIGN IN THE FREIGHT WAGGON FIELD

Summary

Some results in product modelling development for the adopted approach to the concurrent design are shown in this paper. Starting from product modelling as a concept for presentation of all engineering information required for the design process and production of mechanical products, general and specific models for production of sheet-metal components have been analysed.

Č. Duboka, Ž. Arsenić (*)

SISTEMSKO INŽENJERSTVO U RAZVOJU, PROIZVODNJI I KORIŠĆENJU MAŠINSKIH SISTEMA

Rezime

Proizvodjač je danas dužan da više nego ranije obezbedi uslove za zadovoljenje potreba i zahteva korisnika. Briga o tome se postavlja kao jedan od imperativa daljeg razvoja i opstanka na globalnom tržištu. U tom cilju, potrebno je da se grade proizvodi koji su u stanju da zadovolje čitav niz različitih formalnih i suštinskih zahteva, koji su obično međusobno sasvim suprotstavljeni. Imajući ti u vidu, projektant sistema mora da bude "inovativan" tj. da u svaki proizvod ugradi najsavremeniju tehnologiju, koristeći najnovija naučna i tehnička dostignuća. Sistemsko inženjerstvo je jedna od savremenih sistemskih nauka koja omogućava da se rešavanju pomenutih problema pristupi još u najranijim fazama koncipiranja proizvoda, a sa ciljem da se minimiziraju neizvesnosti u pogledu sposobnosti proizvoda da ispuni sve postavljene zahteve odmah nakon izlaska na tržište.

1. UVOD

Visoki zahtevi u pogledu kvaliteta i ekonomičnosti, povezani sa sve izraženijim potrebama u pogledu uštede energije, zaštite okoline i prirodnih blaga neposredno traže primenu novih prilaza i novih tehnologija u svim segmentima proizvodnih i infrastrukturnih delatnosti. Osnovno je da se obezbedi integralno posmatranje svih pojedinačnih zahteva, odnosno njihovo istovremeno zadovoljavanje. Pošto se najčešće radi o međusobno suprotstavljenim ili čak i sasvim oprečnim zahtevima, mora da se obezbedi njihovo pomirenje, odnosno pronalaženje najboljih kompromisnih rešenja. Metode "Sistemskog inženjerstva" i tzv. "Integralnog sistemskog prilaza" pružaju za ovo vrlo dobre uslove. Zato se ove discipline opštih sistemskih nauka sve više koriste u rešavanju mnogih problema iz okvira razvoja, izrade, proizvodnje, korišćenja, održavanja i drugih segmenata životnog ciklusa mašina i drugih industrijskih proizvoda.

Prof. dr Čedomir Duboka, Doc. dr Živan Arsenić, CESIL - Centar za efektivnost sistema i logistiku Instituta za motorna vozila, Mašinski fakultet, Beograd, 27. Marta 80.

Sistemski prilaz proizvodima i uslugama podrazumeva da se u samom početku, pri preliminarnim studijama i analizama izvodljivosti prepoznaju svi važni zahtevi, te da se svaki od njih identifikuje i iskaže u obliku koji treba da omogući da se u kasnijim fazama ostvarena svojstva odrede i uporede sa zahtevima. To podrazumeva da se istovremeno definiše i odgovarajući plan aktivnosti u svim fazama životnog ciklusa, počev od razvojno-projektantskih, preko izrade ili proizvodnje i postavljanja, odnosno uključenja u eksploataciju, do svih procesa i aktivnosti vezanih za funkcionisanje i održavanje. Praćenje ostvarivanja ovako utvrđenog plana, a posebno permanentno ocenjivanje i verifikacija rezultata koji se postižu u pojedinim fazama, predstavlja izuzetno složen zadatak, koji se mora rešavati sofisticiranim informatičkim i upravljačkim tehnologijama. Primeri koji se u radu obradjuju ovo okvirno ilustruju.

2. SISTEMSKO INŽENJERSTVO

Nastanak "sistemskog doba" vezuje se za četrdesete godine ovog veka /1/, kao rezultat promene u pogledu načina razmišljanja od tzv. "analitičkog" ka "sintetizovanom" mišljenju. U istom periodu se radja i "treća generacija" proizvodnje - "lean production" /4/ kao rešenje koje objedinjava prednosti proizvodnje prethodnih generacija - zanatske i masovne.

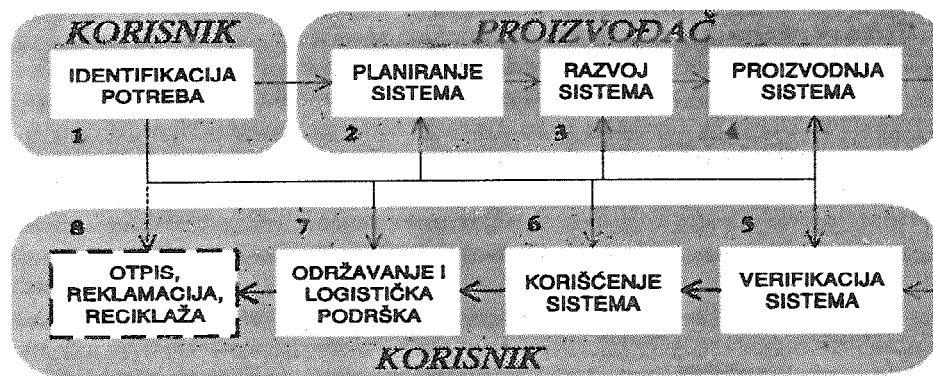
Ako usvojimo da je sistem skup medjusobno zavisnih komponenta koje zajedničkim radom ispunjavaju zajednički cilj /2/, sintetizovano mišljenje omogućava da se osobine jedne komponente analiziraju sa stanovišta njene uloge u sklopu sistema, dok se u analitičkom načinu rezonovanja osobine sistema objašnjavaju na bazi osobina njegovih delova. Očigledno, radi se o dva koncepta posmatranja sveta oko nas: (a) analitičkom, u kome se osobine sistema izvode "razlaganjem" na njegove sastavne delove i (b) sintetičkom, u kome se osobine sistema sintetizuju "sklapanjem" od osobina njegovih sastavnih delova, vodeći računa o njihovoj ulozi u celini.

Kada se sintetički način mišljenja primeni na rešavanje problema sistema, onda se govori o "sistemskom prilazu", a u novije vreme još i o "integralnom sistemskom prilazu". Sistemologija je nauka koja se bavi sistemima i njihovim nastankom, bilo da je reč o prirodnim ili veštačkim, fizičkim ili konceptijskim, statičkim ili dinamičkim, otvorenim ili zatvorenim sistemima. Inženjerstvo sistema je tehničko-tehnološka sistemska nauka koja olakšava sintezu vrlo različitih ali medjusobno zavisnih elemenata u sistem koji harmonično radi, omogućavajući ostvarenje svih njegovih anticipiranih funkcija /3/. Drugim rečima, inženjerstvo sistema se zasniva na aktiviranju svih relevantnih inženjerskih aktivnosti sa ciljem da se obezbedi celina neophodnih elemenata podrške funkcionisanju određenog sistema radi postizanja zadovoljenja "očekivanja" ili "zahteva" korisnika ("customer satisfaction") /5, 6, 7/.

3. ŽIVOTNI CIKLUS SISTEMA

Danas je u svetu u punom zamahu razvoj niza savremenih tehnologija, kao što su "Design for Quality" (projektovanje sa ciljem zadovoljenja zahteva u pogledu kvaliteta), "Design for Effectiveness" (projektovanje sa ciljem postizanja efektivnosti ili tzv. projektovanje efektivnosti), "Design for Maintenance" (projektovanje sa stanovišta

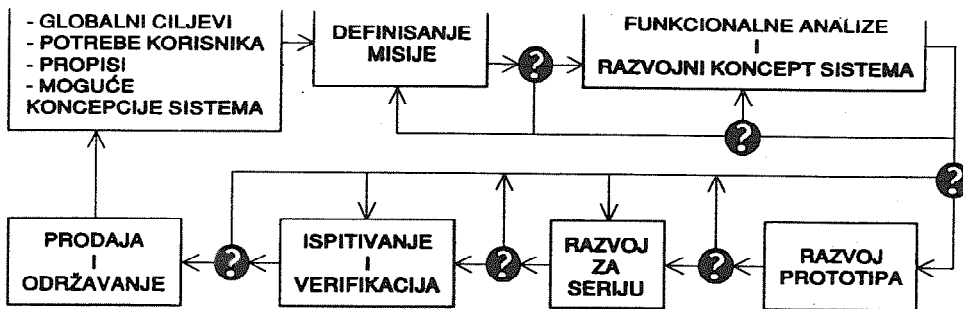
održavanja), "Design for People" (projektovanje s obzirom na prikladnost za rukovanje i druge humanitarne pogodnosti) i dr. Sve ove tehnologije imaju za cilj da doprinesu stvaranju uslova za zadovoljenje potreba odnosno zahteva korisnika. Kako je reč o tehnologijama projektovanja, jasno je da one moraju da budu integrisane sa tehnologijama u oblasti planiranja, proizvodnje, verifikacije, korišćenja i održavanja. Ako se ove aktivnosti prošire inicijalnom identifikacijom potreba korisnika koja se sprovodi u okviru konceptualnih studija ili studija izvodljivosti ("conception studies" i "feasibility studies"), a zatim i praćenjem nivoa zadovoljenja potreba korisnika u okviru korišćenja sistema sve do njegovog otpisa zaokružićemo jedan funkcionalni opus "od potrošača do potrošača" ili tzv. "životni ciklus sistema". Sasvim se lako dokazuje da su sve ove komponente međusobno tako povezane i uslovljene da možemo da smatramo da i životni ciklus mora da se posmatra sistemski. Tome u prilog ide ilustracija sa Slike 1.



Slika 1. Životni ciklus sistema

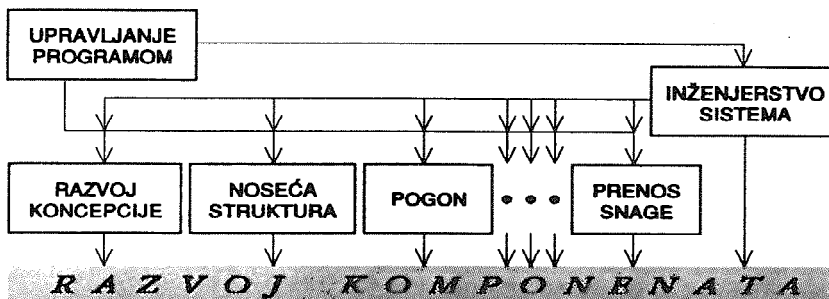
4. INŽENJERSTVO SISTEMA U RAZVOJU

Složenost savremenih tehničkih sistema, povećani naponi u pogledu smanjenja troškova, sve veća očekivanja potrošača u pogledu pouzdanosti i drugi zahtevi deluju pojedinačno ili jednovremeno kao katalizatori iniciranja istraživanja novih i poboljšanih tehnika u inženjerstvu uopšte. Prilaz zasnovan na principima sistemskog inženjerstva ostaje jedini način da se ostane konkurentan na globalnom svetskom tržištu. Doba inženjerstva šesdesetih godina kada su podsistemi razvijani nezavisno od sistema su prošlost. Intenziviranje integracije elektronskih komponenata u oblastima koje su ranije bile neprikosnoveno mehaničke, veličina promena u tehnologijama, povećanje složenosti sistema, sve to dovodi do povećanja zahteva da se problemima pristupa logički i disciplinovano, tj. na osnovama onoga što nudi sistemsko inženjerstvo. Inženjerstvo sistema može da se primeni i prilikom dijagnosticiranja stanja tehničkog sistema, njegovih sklopova, pa čak i pojedinih komponenata. Proširenje procesa "mišljenja" do njegovih prirodnih granica izaziva promene u tradicionalnoj organizaciji rada proizvodnih sistema. Razvoj na osnovama sistemskog inženjerstva nema funkciju koordinacije već predstavlja način mišljenja, tj. razvojni proces nove generacije i moraće u skoroj budućnosti da postane standardan a ne izuzetan slučaj (Slika 2).



Slika 2. Proces razvoja na bazi primene inženjerstva sistema

Unapredjenja koja donosi primena inženjerstva sistema zasnivaju se na primeni matematičkog modeliranja, kompjuterskih simulacija, teorije upravljanja i analiza sistema. Razvojne tehnologije se sve više oslanjaju na analizu rizika pri donošenju odluka, podržanu simulacionim tehnikama i primenjenu po koncepta "vodećeg" tima. To omogućava organizaciji da svoje funkcionisanje zasniva na principima tokova informacija "od glave do pete". Tako se aplicira sistem totalnog kvaliteta. Povratna spregra omogućava da se ostvareni rezultati upotrebe samo za fina podešavanja a ne za radikalne izmene. Efikasnost modeliranja i simulacije na osnovu realnog sistema eliminiše potrebu za naknadnim radikalnim i obično vrlo skupim usavršavanjima. Inženjerstvo sistema podržava organizacionu strukturu za potrebe planiranja i primene raznih programa razvoja, kao što pokazuje iskustvo Ford-a /3/. Razvoj komponenata za vozila se, u skladu sa konceptom inženjerstva sistema pri tome, odvija procedurom prikazanom na Slici 3.

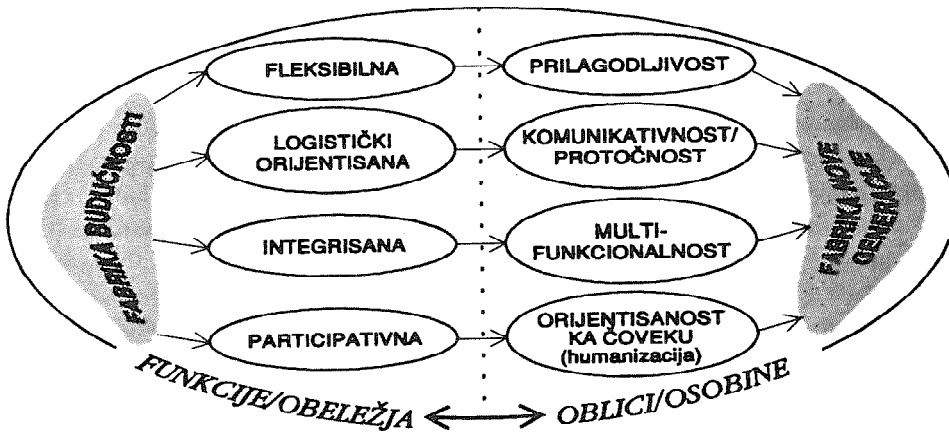


Slika 3. Primena koncepta inženjerstva sistema u razvoju komponenata za vozila

5. INŽENJERSTVO SISTEMA I PROIZVODNJA

Sistemska inženjerstvo ima poseban značaj za perspektivni razvoj industrijskih sistema /9/. Ovo se posebno odnosi na dalju afirmaciju logističkog inženjerstva kao jedne od komponenata inženjerstva sistema, s obzirom na prognozu da će "fabrike budućnosti" biti visoko "logistički orijentisane" sa ciljem da se omogući visoka komunikativnost i manipulativnost (skladištenje, distribucija i transport) radi obezbeđenja brzog protoka materijala, roba, informacija i dr. /10/. Pored ovih osnovnih logističkih pretpostavki,

fabrike budućnosti će se karakterisati i drugim obeležjima svojstvenim sistemskom prilazu: visoka fleksibilnost, tj. sposobnost brzog i lakog prilagodjavanja promenama u uslovima rada i uslovima okoline, zatim efikasnije uključivanje u procese sistemske integracije, jednovremeno povećavajući sopstvena svojstva uže specijalizacije prema realnim potrebama, a naročito u pogledu dalje humanizacije rada, tj. bolje orijentacije ka prilagodjavanju proizvodnih procesa potrebama čoveka, kao što je pokazano na Slici 4.



Slika 4. Fabrike budućnosti - nova generacija

U sektoru proizvodnje, pri tome, inženjerstvo sistema omogućava formiranje kompleksnog skupa interfejsa, pomoću kojih se uravnotežavaju procesi upravljanja rizikom u industriji, prometu tehnologija, poslovnim razmišljanjima i zadovoljenju zahteva korisnika. Upravljanje sistemima se koristi kao osnov za nadzor nad tako složenim skupom relacija.

6. INŽENJERSTVO SISTEMA U KORIŠĆENJU I ODRŽAVANJU PROIZVODA

Prema nekim procenama [7], nalazimo se na početku perioda tehnološkog diskontinuiteta, odnosno tranzicije od starih i dobro poznatih tehnologija ka novim, nedovoljno poznatim tehnologijama zasnovanim na novom osnovnom principu - razmišljanju, u kome praćenje rada jednog sistema, kao i primena kontrole njegovih funkcija pomoću elektronike (na primer "on-board" dijagnostika i dr.) otvaraju nove prostore za zadovoljavanje potreba krajnjih korisnika. Sistemsko inženjerstvo stavlja u sasvim novu ulogu i interakciju između rukovaoca mašine i nje same, na taj način što se funkcije sistema obavljaju u realnom vremenu i u okvirima procesa upravljanja sa zatvorenim povratnim spregama, posebno obuhvatajući periodične interakcije elemenata koji sačinjavaju sistem i postupaka održavanja, ili, u krajnjoj liniji upravljanje radom sistema u toku njegovog korišćenja.

U vreme kada se sve više razmišlja sistemski, stvaraju se objektivni uslovi za primenu principa sistemskog inženjerstva i na probleme dijagnostike u održavanju. To stvara prostor za uvođenje nove tehnologije koja se zove ekspertni sistem. Sistemski

način razmišljanja omogućava identifikaciju potreba svakog pojedinačnog elementa i njihovog zajedničkog rada da bi se postigle izlazne karakteristike sistema pomoću kojih se ispunjavaju krajnji ciljevi. Takva vrsta systemske integracije može da se prikaže na primeru razvoja informacionog sistema za potrebe održavanja vozila u organizovanim voznim parkovima /11/, a zatim i nove CIMM tehnologije za kompjuterski integrisano upravljanje održavanjem /12/, kao neposrednih rezultata višegodišnjeg angažovanja u ovoj oblasti istraživačkog tima okupljenog u Centru za efektivnost sistema i logistiku (CESIL) Instituta za motorna vozila Mašinskog fakulteta Univerziteta u Beogradu.

7. ZAKLJUČAK

Slabost industrije uopšte, a posebno kod nas, još uvek je u tome što nije obezbeđena adekvatna obuka kadra u oblasti raznih disciplina systemskog inženjerstva. Postoji rastuća potreba da se razvije partnerstvo između poslovnog i profesionalnog (inženjerskog) kadra kako bi se obezbedilo da se obrazovne institucije bave programima obuke za primenu tehnologija systemskog inženjerstva u redovnim nastavnim planovima i programima.

Posebno je interesantno pitanje tranzicije ka systemskom inženjerstvu. Ono obuhvata organizacionu kulturu u tranziciji, definisanje radne strukture, socijalne i ekonomske faktore koji utiču na prihvatanje promena, i prilagodjavanje kapaciteta organizacije da prihvati promene u opterećenju. Uvodjenje inženjerstva sistema košta (hardver, softver, kadrovi i dr.), a neadekvatna primena može da bude lošija nego ako se radi po starom. Međutim, ne može da bude nikakve dileme /13/ da primena inženjerstva sistema omogućava da se željeni rezultat jasno utvrdi pre nego što je učinjen i najmanji pokušaj da se do njega zaista i dodje. Naravno, da bi to bilo moguće, implementacija systemskog inženjerstva u neki proces mora, takodje, da se tretira systemski.

8. LITERATURA

- /1/ R.L. Ackroff: Redesigning the Future, John Wiley&Sons, New York, 1974.
- /2/ B.S. Blanchard, W.J.Fabricky: Systems engineering and analysis, Prentice-Hall Inc., 1981.
- /3/ - Systems Engineering: An update, Automotive Engineering, Vol. 100, Nr. 2., Feb. 1992.
- /4/ Womack J.P., Jones D.T., Roos D.: The machine that changed the world, MIT Study, Massachussets Institute of Technology, 1990.
- /5/ Todorović J.: Systemski prilaz razvoju vozila, Vojnotehnički glasnik 3/88, Beograd, 1988.
- /6/ Todorović J.: Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, JUMV, Beograd, 1993.,
- /7/ Duboka Č.: Inženjerstvo sistema i efektivnost, "Efektivnost sistema i logistika", CESIL, Mašinski fakultet, Beograd, 1993.
- /8/ Shannon J.V.: The future for truck systems, Truck Technology International 1991., Sterlin Publication Intl. Ltd, London, 1991.
- /9/ Todorović J.: Logistika - izazov za budućnost, Industrijski sistemi '90, Novi Sad, 1990.
- /10/ Karsten C.: Plaedoyer fuer die segmentierte fabrik, Logistik im Unternehmen, Nr.2/1990.
- /11/ Todorović J., Duboka Č. i dr.: Informacioni sistemi u održavanju vozila, JUMV Monografija SP-9304, Jugoslovensko društvo za motore i vozila, Beograd, 1994.
- /12/ Todorović J., Duboka Č. i dr.: CIMM - Kompjuterski integrisano upravljanje održavanjem, CESIL, Mašinski fakultet, Beograd, 1994.
- /13/ - An automotive systems approach, Automotive Engineering, Vol. 97, Nr. 2., Feb. 1989.

Č. Duboka, Ž. Arsenić

SYSTEMS ENGINEERING IN THE DESIGN, MANUFACTURING AND OPERATION OF MECHANICAL SYSTEMS

Summary

Manufacturers are today asked more than before to provide the satisfaction of needs and requirements imposed by customers. Taking care of that is an imperative for further development and survival on the global market. For that reason, it is necessary to build products which can fulfill a variety of formal and substantial requirements, which can be highly contradictory in most cases. That is why a designer must be "innovative", i.e. he must build into a product the most recent technical means using the results of modern science and technology. Systems engineering is a modern concept of systems science which enables solving problems in the early stages of the product conceptual analysis, aiming to minimize risks of not being able to satisfy all market requirements.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

I. Ćosić, Z. Anišić, A. Maksimović

NEKI EFEKTI PRIMENE FLEKSIBILNOG KONCEPTA
U PROCESIMA MONTAŽE

Rezime:

Polazeći od potreba za razvojem fleksibilnih montažnih sistema, koje diktiraju kretanja na tržištu, u radu će biti predstavljen *fleksibilan koncept* i uslovi za njegovu primenu kao odgovor proizvođača na zahteve tržišta. Razvijajući fleksibilan koncept došlo se do rešenja koje ukazuje da je pomenuti koncept potrebno sa jedne strane razvijati na pojedinačnim tehnološkim sistemima uvođenjem *standardnih modula i projektovanjem programabilnih upravljačkih sistema*, a sa druge strane oblikovati *fleksibilnu prostornu strukturu* kompleksnog tehnološkog sistema (prelaskom sa linijskog modela na fleksibilne modele montaže), što samo po sebi zahteva adekvatan sistem pripreme i upravljanja proizvodnjom za takav sistem. U radu će biti takođe predstavljeni ostvareni rezultati na polju uvođenja *fleksibilnog koncepta* u procesima montaže određenih grupa proizvoda.

1. OSNOVE KONCEPTA

1.1 Montažni sistem

Montaža je pojam za sveobuhvatnu delatnost usmerenu ka izgradnji sistema višeg stepena složenosti od sistema nižeg stepena složenosti.

Sredstva rada kojima se obavlja montaža u najširem smislu tog pojma, nazivamo montažnim sistemima ili sistemima za montažu.

1.2 Fleksibilnost sistema

Fleksibilnost sistema je mera njihove sposobnosti za prilagodavanje uticajima okoline i zahtevima procesa rada u datom vremenu i datim uslovima okoline.

Razlikujemo:

- * fleksibilnost strukture (f_s) i
- * fleksibilnost procesa (f_{pr}).

Fleksibilnost strukture predstavlja verovatnoću da će se data struktura uspešno prilagoditi uslovima okoline, zahtevima postupaka rada i poremećajima u procesu rada i izraz je konstrukciono-tehnoloških parametara elemenata strukture sistema.

Ova fleksibilnost izražava se kroz:

- * fleksibilnost strukture toka (f_{st}),
- * fleksibilnost strukture prostora (f_p).

Fleksibilnost procesa predstavlja verovatnoću da će se dati proces rada uspešno i u što kraćem vremenu prilagoditi zahtevima uslova okoline i izraz je vremenskih veličina i organizacionih zahvata u procesu rada proizvodnog sistema.

1 Fleksibilnost strukture

1.1 Fleksibilnost strukture toka

je uslovljena stepenom iskorišćenja konstrukciono-tehnoloških parametara i efektivnog kapaciteta elemenata strukture sistema i sastoji se iz dve komponente:

- *tehnološka fleksibilnost* (f_{ts}), koja je određena mogućnostima posmatranog tehnološkog sistema u smislu prihvatanja predmeta montaže ili obrade i predstavlja verovatnoću da će dati tehnološki sistem uspešno izvršavati projektovanu operaciju obrade ili montaže u granicama ugrađenih tehnoloških mogućnosti prihvatanja,

- *kapacitivna fleksibilnost* (f_{ks}), koja je određena rezervom kapaciteta i predstavlja odnos razlike usvojenog i proračunatog broja jedinica tehnoloških sistema za izvršenje određene i-te operacije rada i usvojenog broja jedinica tehnoloških sistema,

i određuje se posebno za svaki element strukture sistema (radno mesto, čvor, radnu jedinicu), dok je ukupna FLEKSIBILNOST STRUKTURE TOKA određena kompozicija datih komponenti.

$$f_{st} = f_{ts} \cdot f_{ks}$$

1.2 Fleksibilnost prostorne strukture

je određena načinom razmeštanja radnih mesta uslovljenim tipom toka u sistemu i predstavlja verovatnoću da će se data prostorna struktura uspešno prilagoditi promenama i uslovima okoline.

2 Fleksibilnost procesa

je određena vremenom potrebnim za podešavanje tehnoloških struktura za prelazak sa obrade ili montaže jednog predmeta na drugi predmet rada operacijske grupe.

3 Ukupna fleksibilnost sistema

Ukupna fleksibilnost sistema uslovljena je međusobnom vezom pojedinih komponenti. Obzirom da je strukturna fleksibilnost sastavljena od fleksibilnosti strukture toka i prostora koje se međusobno nadopunjuju i ne isključuju, dok fleksibilnost procesa rada ima samo jednu komponentu koja ne zavisi od strukturne fleksibilnosti, to je ukupni stepen fleksibilnosti sistema F_s :

$$F_s = 1 - (1 - f_{st} f_p)(1 - f_{pr})$$

1.3 Stepen podele rada

Podela sistema prema stepenu podele rada koji je definisan sledećom formulom:

$$S_{pr} = \frac{\sum T_i}{k_e} = \frac{q_j \sum t_{zi}}{k_e}$$

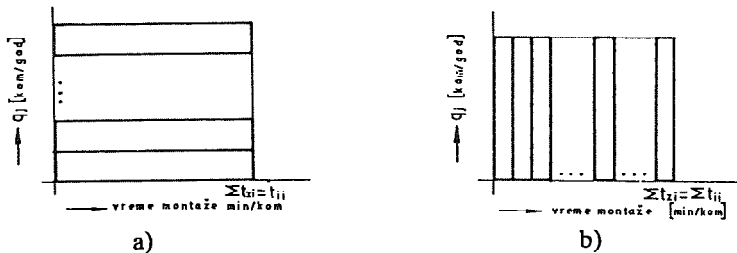
gde su:

- T_i - fond potrebnog vremena za izvođenje zahvata montaže na predmetu rada (vr.jed./vr.per.),
- S_{pr} - stepen podele rada,
- k_e - efektivni kapacitet sistema (vr.jed./vr.per.),
- t_{zi} - vreme trajanja zahvata montaže (vr.jed./kom),
- $i = 1, 2, \dots$ - broj zahvata u tehnološkom postupku montaže predmeta rada,
- q_j - količina predmeta rada (kom/vr.per.).

Razmatranjem stepena podele rada može se pokazati da on u osnovi određuje strukturu tehnološkog postupka montaže i strukturu tehnološkog sistema na kome se izvodi dati postupak montaže. U osnovi postoji veliki broj varijanti postupka sa dve krajnje varijante:

- * svi zahvati se izvode u okviru jedne operacije na jednom ($S_{pr} < 1$) ili više istovrsnih tehnoloških sistema - podela po količini (sl.1a)
- * svaki od zahvata se izvodi na posebnom tehnološkom sistemu ($S_{pr} > 1$), što znači da je svaki zahvat ujedno i operacija, a podela rada se vrši po vrsti (sl.1b).

Stepen podele rada je dakle stvar donosioca odluke o vrsti i karakteristikama tehnološkog postupka i sistema na kome će se vršiti montaža i po definiciji je minimalan za fleksibilne tehnološke montažne sisteme.



Sl.1

1.4 Fleksibilan koncept

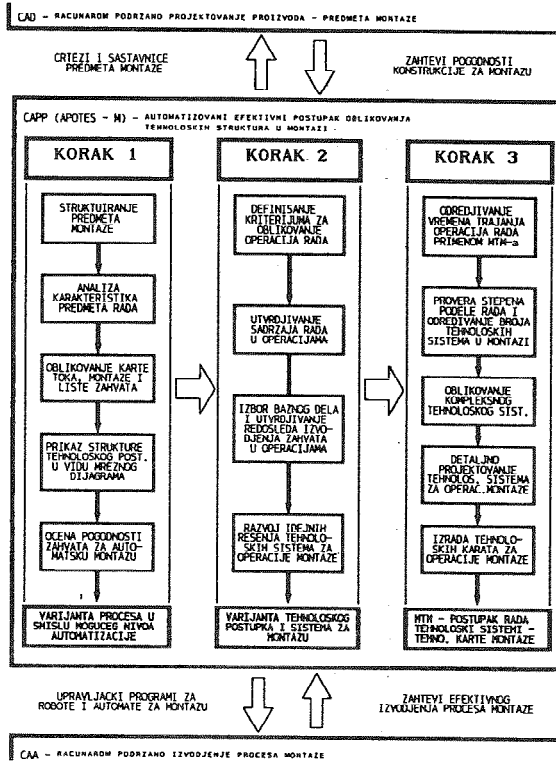
Fleksibilan koncept u projektovanju i razvoju montažnih sistema podrazumeva takve sisteme koji su tehnološko, kapacitivno i prostorno sposobni da se u najkraćem vremenskom periodu prilagode zahtevima tržišta u smislu promena količina i broja varijanti proizvoda iz proizvodnog programa.

Koncept takođe podrazumeva minimalni stepen podele rada odnosno maksimalno obogaćen sadržaj rada, u rezultatu čega se dobija delimično ili potpuno montiran sklop odnosno proizvod.

2. POSTUPAK PROJEKTOVANJA FLEKSIBILNIH MONTAŽNIH SISTEMA

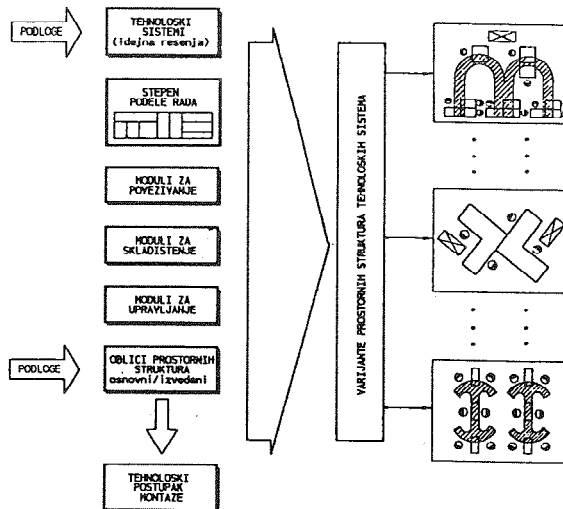
Osnove projektovanja tehnološkog postupka i sistema montaže čine: izbor optimalne varijante procesa, postupka i redosleda zahvata u operaciji, izbor i konstrukcija potrebnih alata, uređaja i opreme, određivanje tehničkih uslova za montažu elemenata i proizvoda po operacijama, izbor metode i sredstava tehničke kontrole kvaliteta montaže, određivanje racionalnih oblika transporta i skladištenja elemenata, polufabrikata i proizvoda, izbor i projektovanje sistema za rukovanje materijalom, razrada tehnološke dokumentacije, itd.

U tehnološkom smislu izbor optimalne varijante procesa montaže kao skupa postupaka promene stanja na predmetu rada kao i varijante tehnološkog sistema izvodi se postupno u tri osnovna koraka prema blok dijagramu, sl.2.



Sl.2

Izabrane varijante tehnoloških montažnih sistema za pojedine operacije montaže i rukovanje materijalom kao i izabrani stepen podele rada i oblik prostorne strukture su osnova za projektovanje i razvoj kompleksnih montažnih sistema za izvođenje svih operacija iz tehnološkog postupka montaže za grupu predmeta rada (sl.3).

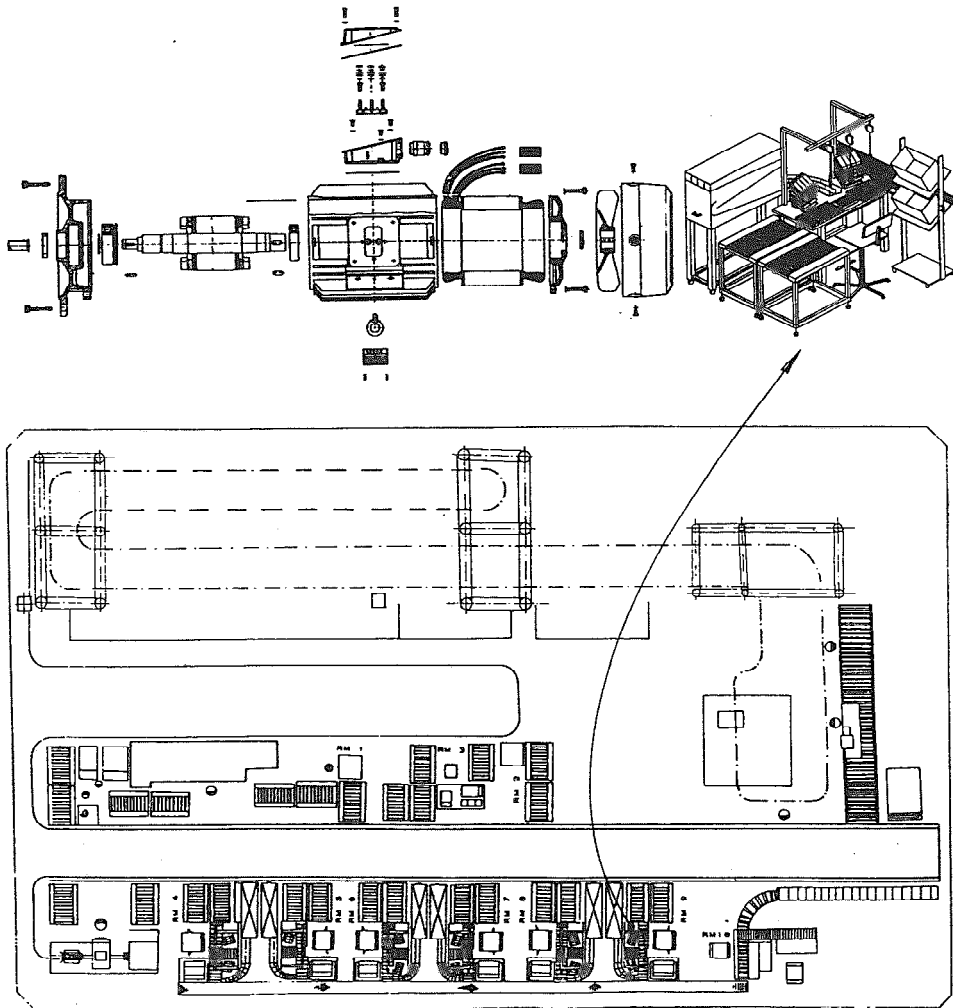


Sl.3

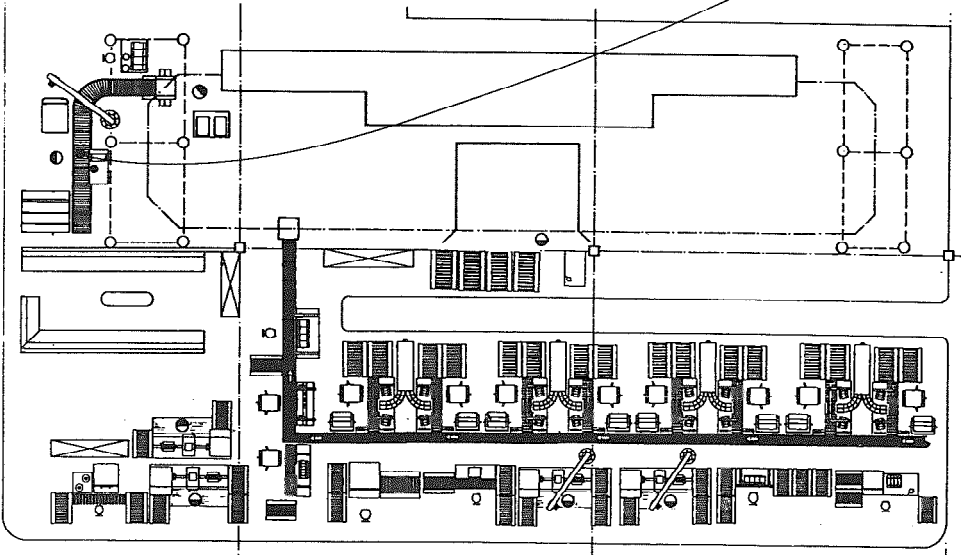
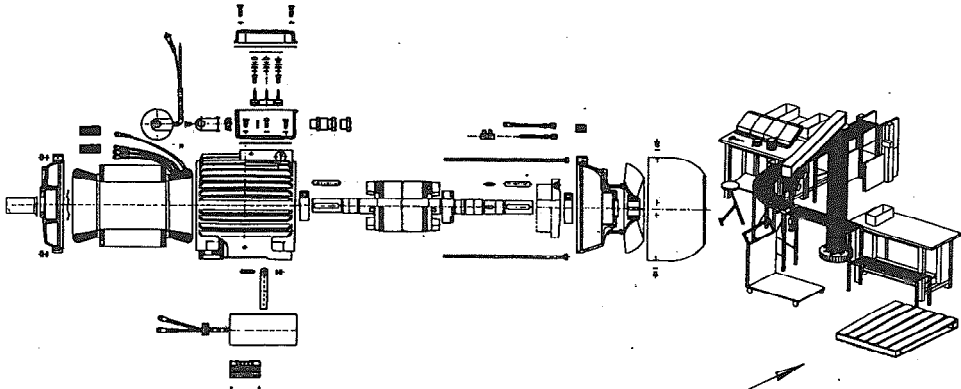
3. PRIKAZ IZVEDENIH REŠENJA I EFEKATA PRIMENE

Primenom koncepta *Efektivnih proizvodnih sistema* u vidu Radnih jedinica sa sposobnošću održavanja separate radne egzistencije /1/ u oblikovanju strukturaproizvodnih sistema i fleksibilnog koncepta u oblikovanju tehnoloških struktura u montaži, izvršena je revitalizacija proizvodnih i tehnoloških montažnih sistema u realnim uslovima proizvodnje: električnih mašina i elektromehaničkih uređaja za auto industriju, pri čemu su oblikovane strukture montažnih sistema prema prikazu u nastavku (slike 4, 5, 6 i 7), a ostvareni projektovani efekti su dati u tabeli T1.

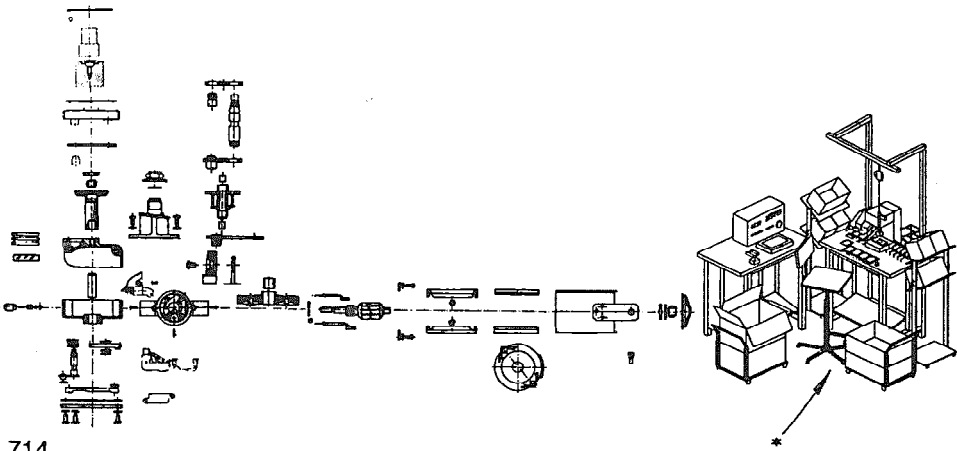
Izvedena rešenja kompleksnih montažnih sistema podrazumevaju elastično povezivanje radnih mesta na kojima se izvodi montaža u slobodnom ritmu, a koja su zamenila postojeća rešenja sa krutim linijama i vezanim ritmom. Navedeni koncept je takođe omogućio istovremenu montažu više tipova proizvoda.



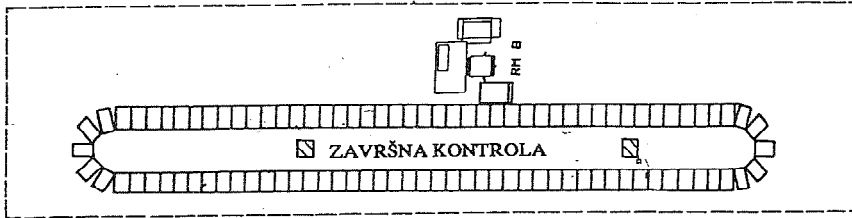
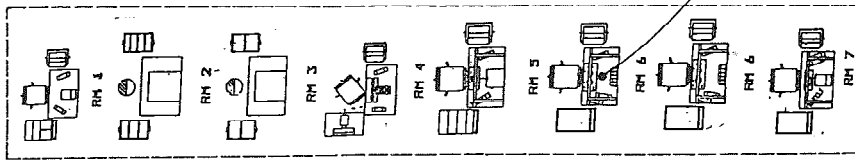
Sl.4



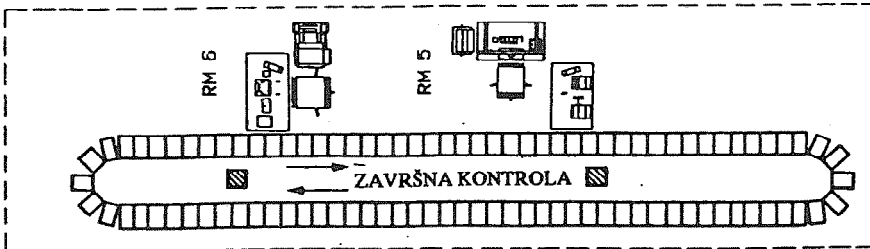
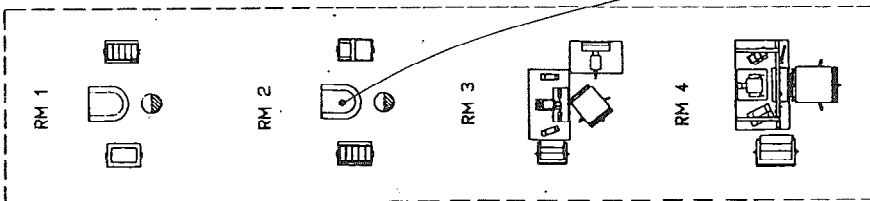
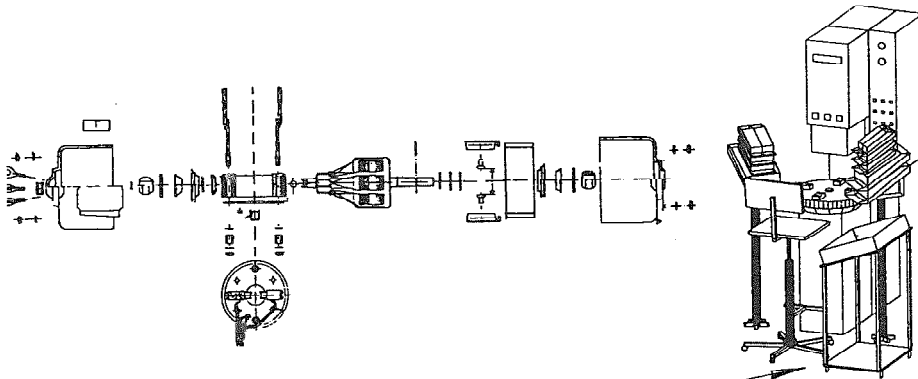
SI.5



714



SI.6



SI.7

Tabela T1

	STEPEN PODELE RADA		BROJ UČESNIKA U PROCESU RADA		BROJ RADNIH MESTA		UKUPNA PLOŠTINA SISTEMA (m ²)		VREME MONTAŽE (min/kom)		VARIJAMETI PROIZV. PO SISTEMU		VARIJAMETI PROIZV. ISTOVREMENO U SIS.		PRODUKTIVNOST (kom.mes./dr.rad.)	
	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.	pre revital.	posle revital.
SISTEM 1	23,00	15,20	29	10	21	17	495,0	460,0	29,95	19,75	102	102	1	6	221	555
SISTEM 2	39,90	18,40	30	25	31	27	510,0	480,0	54,00	24,20	106	106	1	8	210	320
SISTEM 3	7,10	3,70	17	9	17	9	275	190	11,55	6,72	135	135	1	3	1015	1500
SISTEM 4	6,70	3,40	11	6	11	6	193	140	19,37	10,88	02	02	1	2	650	1050

4. ZAKLJUČAK

Istraživanja pokazuju da je primena fleksibilnog koncepta u oblikovanju montažnih sistema moguća i opravdana. Višestruko su smanjena pripremna završna vremena i u odnosu na krute (linijske) sisteme je:

- smanjeno vreme montaže za 44 %,
- smanjene potrebne površine za 22 %,
- smanjen broj radnika 37 %,
- povećan broj istovremene montaže proizvoda 400 %,
- povećana produktivnost sistema za 167 %,

i povećana je ukupna EFEKTIVNOST sistema.

5. LITERATURA

- [1] Zelenović, D.: Ka potpunoj integraciji funkcija proizvodnih sistema, Vojvođanska akademija nauka i umetnosti, Novi Sad, 1992.
- [2] Zelenović, D., Čosić, I.: Montažni sistemi, Nauka, Beograd, 1991.
- [3] Bullinger, H.J.: Systematische Montageplanung, Munchen, 1986.
- [4] Zelenović, D., Čosić, I., Milić, D.: Razvoj postupaka za efektivno projektovanje tehnoloških struktura u montaži, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Novi Sad, knjiga IV, str.619 - 624.
- [5] Maksimović, A., Anišić, Z.: Neki rezultati u primeni fleksibilnih montažnih sistema, Zbornik radova IS'93 naučno-stručne konferencije, Novi Sad, 1993.
- [6] Grupa autora: Projekat fleksibilne montaže u DD "ELEKTROMEKANIKA" - Čajavec, Banja Luka, 1991 - 1992.
- [7] Grupa autora: Projekat revitalizacije sistema za montažu elektromotora u "SEVER"- Holding, Subotica, 1992 - 1993.

SOME EFFECTS OF APPLYING A FLEXIBLE CONCEPT TO ASSEMBLY PROCESSES

Summary

Starting from the needs for developing flexible assembly systems, dictated by the market, the paper presents a flexible concept and conditions for its implementation as the manufacturers' response to the market demands. The flexible concept development produced a solution which indicated that, on one hand, the mentioned concept needed to be developed for single technological systems by introducing standard modules and designing programmable control systems, while on the other hand it was necessary to create a flexible space structure of a complex technological system (via transition from linear towards flexible assembly models), thus requiring an adequate system for production preparation and control.

The paper also presents the results accomplished in the field of introducing the flexible concept into the assembly process for some groups of products.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

D.Šebo, P.Kaňuch

RELATIONS BETWEEN DESIGN AND MANUFACTURE OF AN ENGINEERING
PRODUCT AND ITS MODEL

Abstract

The ideas of the parallel and integrated engineering product development during its life cycle are presented in this paper. A formal method (approach) has been created to the description of manufacturing objects (transformation of graphical information). This approach affords possibilities to apply computers and to construct a logistic model of relations in some manufacturing system. The given model enables to obtain the exact information in connection to the manufacturing operations duration and other manufacturing information in a MS of dynamic character, in real time. The applied model is carried on a PC.

INTRODUCTION

Several authors [1], [2] concern with modelling of production system and large professional simulation programs are well-known, however, they operate in linear time axis and independently. This enables to follow very difficult significant steps in the course of production process, due to disproportions in duration of production, handling and transport operations.

Therefore we offer our own simulation algorithm with discrete process, realizable in the phase of design and respecting discreteness of production process in time jumps.

At dynamic modelling of the run of designed production pro-

Šebo Dušan, Doc., Ing., CSc.; Kaňuch Peter, Ing.
TU SJF KAVS - Košice, Park Komenského 5, SLOVAKIA

cess, we start from basic general description of flexible production process and at the same time from new idea saying that the internal organization of the run of system is determined by objects of production - by parts S_i , by variants of technology of their production (sequence of operations and option of modifications of various technologies) - hence by the "genesis" of a part. The basic organization of the run of system is not determined by man or by computer, but by the part (what confirms the ideas of the classic of engineering technology, Prof. Sokolovský: "Without the part there is no technology, no product").

The man by his combinatorial abilities can influence only inputs into the production system, i.e. he determines the sequence of parts entering the production system, or he determines their priority at individual machines, where queues could be formed (this term is reserved for ranging of parts at a machine - F_{N_j}). Then, there exists the task to find optimal combinatorial solution for sequences of operations on individual production equipments according to criteria, which are to be defined. From criteria functions, there is suitable to prefer the function of time horizon for fulfilling the term and completeness of the order, because punctuality in deliveries is bound on significant economic obligations in the practice.

Let us name the course, in form of which the object of production - part S_i - passes through the production process, as the "genesis", which is possible to enter by Petri diagram. The following cases are possible in the production process:

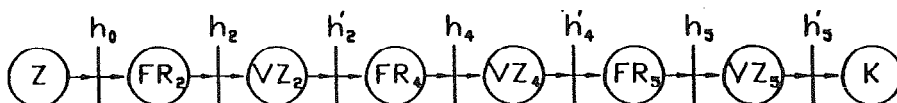
1. The object of production has unchanging, unambiguous sequence of operation which is irreversible one. Formal statement of the process is:

$$\text{generally: } S_i = S_i \cup \bigvee Z_j \quad \wedge j < j+1$$

$$\text{example: } S_1 = \bigvee Z_2 \rightarrow \bigvee Z_4 \rightarrow \bigvee Z_5$$

It means that the part S_i must pass through operations on production equipment $\bigvee Z_2$, then $\bigvee Z_4$ and at last $\bigvee Z_5$ and not in any other way.

The entry of Petri diagram:

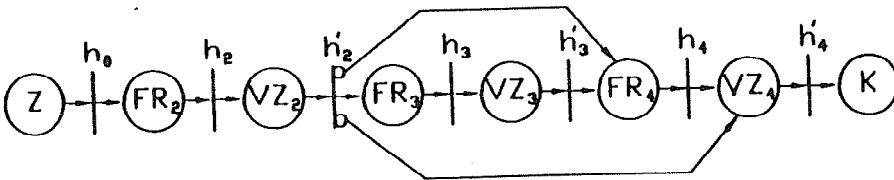


2. The sequence of operations of the production object is as follows: at first it must pass through determined VZ_j , and then it must pass through some of determined VZ_j , only (e.g. it must pass through VZ_2 , and then through VZ_3 or VZ_4 - through only one of them).

generally: $S_i = S_i \cup VZ_j \wedge j \vee j+1$

example: $S_2 = VZ_2 \rightarrow \begin{matrix} VZ_3 \\ VZ_4 \end{matrix}$

The entry of Petri diagram:

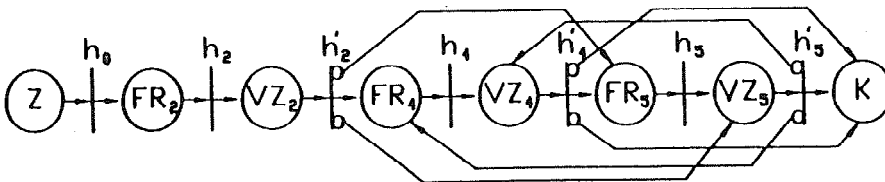


3. The object of production pass through VZ_2 , then it can go to VZ_4 or VZ_5 , however, it must pass through both VZ .

generally: $S_i = S_i \cup VZ_j \wedge \vee j, j+1$

example: $S_3 = VZ_2 \rightarrow \begin{matrix} VZ_4 \\ \downarrow \\ VZ_5 \end{matrix}$

The entry of Petri diagram:



The enter of Petri diagram represents unification of colour Petri diagrams from examples 1 to 3. It has the value of statement only in particular case (Fig.1).

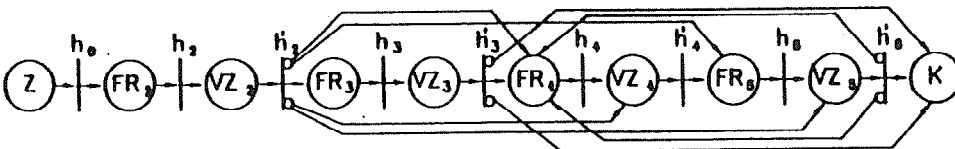


Fig.1. Petri diagram of production process

The description of the operation of the whole production system by Petri grids is in the design phase only. Very complicated entry modifies all allowable possibilities of variability of this flexible system (thus, it assigns each part, manufactured by different methods, to each machine), in this way, it gives information determined beforehand (not only sufficient ones). When we express the genesis of colour Petri grids, we can get differentiated information about demands of a part (with possibility to leave out standard loops as clamping, uncoupling, measurement and so on) and in addition, the unification of these colours into single one is possible using Petri diagram for actual production system with real connections only (necessary for particular part basis in the sense of the principle of group technology).

Let us assigne the "geneses" of parts S_i to the assignation matrix t_{ij} with column vectors of frequency rules B_{iv} of products A_v and line vectors of orders vB_{uv} , in this way we can get the basic form of the system of matrixes, which serve for both capacity and simulation calculations of the run of system(Fig.2)

Matrix t_{ij} also serves as the entry of the part genesis in the simplest case of FIFO obligatory sequence of operations and priorities of parts.

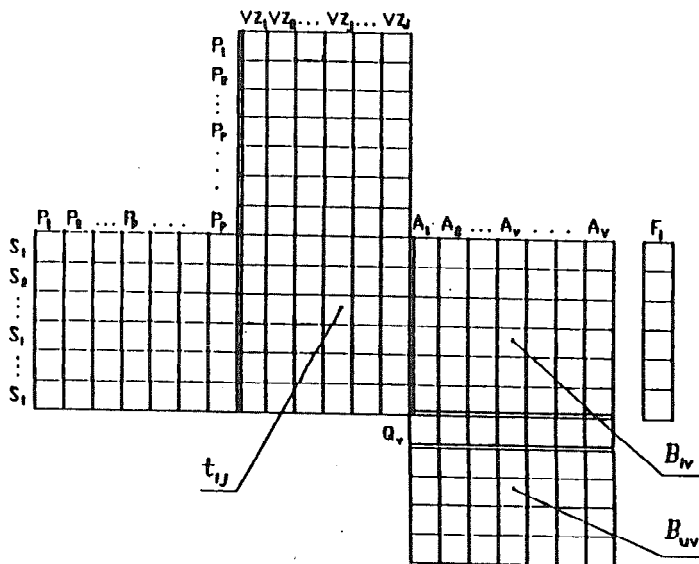


Fig.2. Initiation table of relation in production system

For the simplest algorithm of calendar charging of the production system, we'll use as inputs the sequence of parts from the assignation tables, which priority in the system is determined by the FIFO rule and which is obligatory for calculation (handling with the file is the outer operation and we are going to devote to it hereinafter, it is simple, because the question is about logical or combinatorial re-numbering of the sequence of interval).

Matrix ${}^iB_{uv}$ determines the number of parts of i types in i product, thus the frequency, as it is well-known from the list of parts in general arrangement drawing of a product.

The order ${}^uB_{uv}$ means u dose in numerical expression of v product, which is included calendary in the production system. The inclusion of the next dose is engaged in manual mode in the algorithm, or by test step after vacation of the queue of some production equipment.

Transport operations are characterized by triangular matrix of assignations of $\forall Z_j \times \forall Z_j$ vectors of the position $\forall Z_j$.

We do not use linear time axis in the control algorithm, but we try to find time intervals T_k of jump changes, when transport operations take place (i.e. after the operation on the dose of parts S_j on j machine have been finished) and we test the genesis of a part, which will decide about relevant transport shifts, hence, where the part with finished operation will go. We can find the next jump interval according to the relation:

$$T_k = t_{ij} \sum_v {}^uB_{uv} {}^iB_{iv} - \sum_{j \in k \forall S_j \simeq \forall Z_j} T_{k-1} \rightarrow \min \quad (*)$$

Time jump intervals will form the time sequence, which will simulate dominant time states of production process in form of very fast and simple algorithm, expressed in relevant calendar shift rate. The running time of the production of individual parts will be expressed by simple reading of

$$\sum_j T_{kj} \quad j \in k \quad \forall S_j \simeq \forall Z_j$$

where $\sum_{j'} T_{kj} > \max$; $j' \in k \quad \forall S_{j'} \simeq \forall Z_j$ determines the time horizon of the production of a dose (i.e. verification and confirmation of the term of finishing of the dose ${}^uB_{uv}$). The ratio

$$\frac{\sum_{j''} T_{kj}}{T_{kj}} ; \quad \text{where } j'' \in k \forall \forall Z_j \simeq S_j \quad \text{means capacity coefficient of}$$

utilization of individual machines VZ_j . This basic algorithm can be developed by incorporation of stochastic influences (such as failure rate of manufacturing machines and peripherals, entropic behaviour of the man and so on). This algorithm enables to perform changes in real time due to real state of finishing of production operation l_{ij} on the machine (this state can occur, for example, in systems with human operators, where the assumed normative time l_{ij} is changed by the intervention of the man, which will change the jump interval T_j , and it is necessary to record, file and take into consideration this fact.

We state simple example of simulation calculation for four machines, $J = 4$ and for six parts, $I = 6$ with the table of l_{ij} assignments for two types of products (1 and 2) and single D_i dose, because processes in algorithm are obvious from it, together with new approaches to simulation of discrete processes.

	VZ_1	VZ_2	VZ_3	VZ_4	F	F
S_1	19	7	9	13	2	12
S_2	15	-	3	-	4	14
S_3	-	11	13	-	6	-
S_4	5	-	-	21	8	-
S_5	-	-	3	-	-	16
S_6	-	17	-	-	-	18
.	.	.	.	.	10	20

step time $T_0 = 0$

state of system hanging in the time $T_0 = 0$

After the system is full, there is obvious that VZ_4 cannot start to work, because the genesis of parts will not allow it. The largest queue is in front of the VZ_1 machine. We find the time of the first jump T_1 using the relation (*).

$$T_0 = 0$$

$$VZ_1 = 16 (10.2 + 20.12) = 4160$$

$$T_1 = VZ_2 = 11 (10.6 + 20.0) = 660 = 660 \text{ min.}$$

$$VZ_3 = 3 (10.0 + 20.16) = 960$$

It is obvious that the first movement in the system will occur in the time of 660 min., thus the work on VZ_2 will be finished ($j = 2$), on parts of S_3 type ($i = 3$). The next change will be performed according to the genesis of the S_3 part, i.e. S_3 will pass to the VZ_3 machine into the F_3 queue. After vacating of VZ_2 the S_6 part will be shifted from the F_2 queue to VZ_2 .

The state after the time $T_1 = 660$ min.

$$F_1 = S_2, S_4 \quad \forall Z_1 = S_1$$

$$F \quad \forall Z_2 = S_6$$

$$F \quad \forall Z_3 = S_5$$

$$F \quad \forall Z_4$$

Calculation of interval of the second jump T_2 :

$$\forall Z_1 = 16(10.2 + 20.12) - 660 = 3500$$

$$T_2 = \forall Z_2 = 17(10.0 + 20.18) = 6120; \quad (\text{min}300)$$

$$\forall Z_3 = 3(10.0 + 20.16) - 660 = 300$$

$$T_2 = 300 \text{ min.}$$

The time of the second step is 300 min.

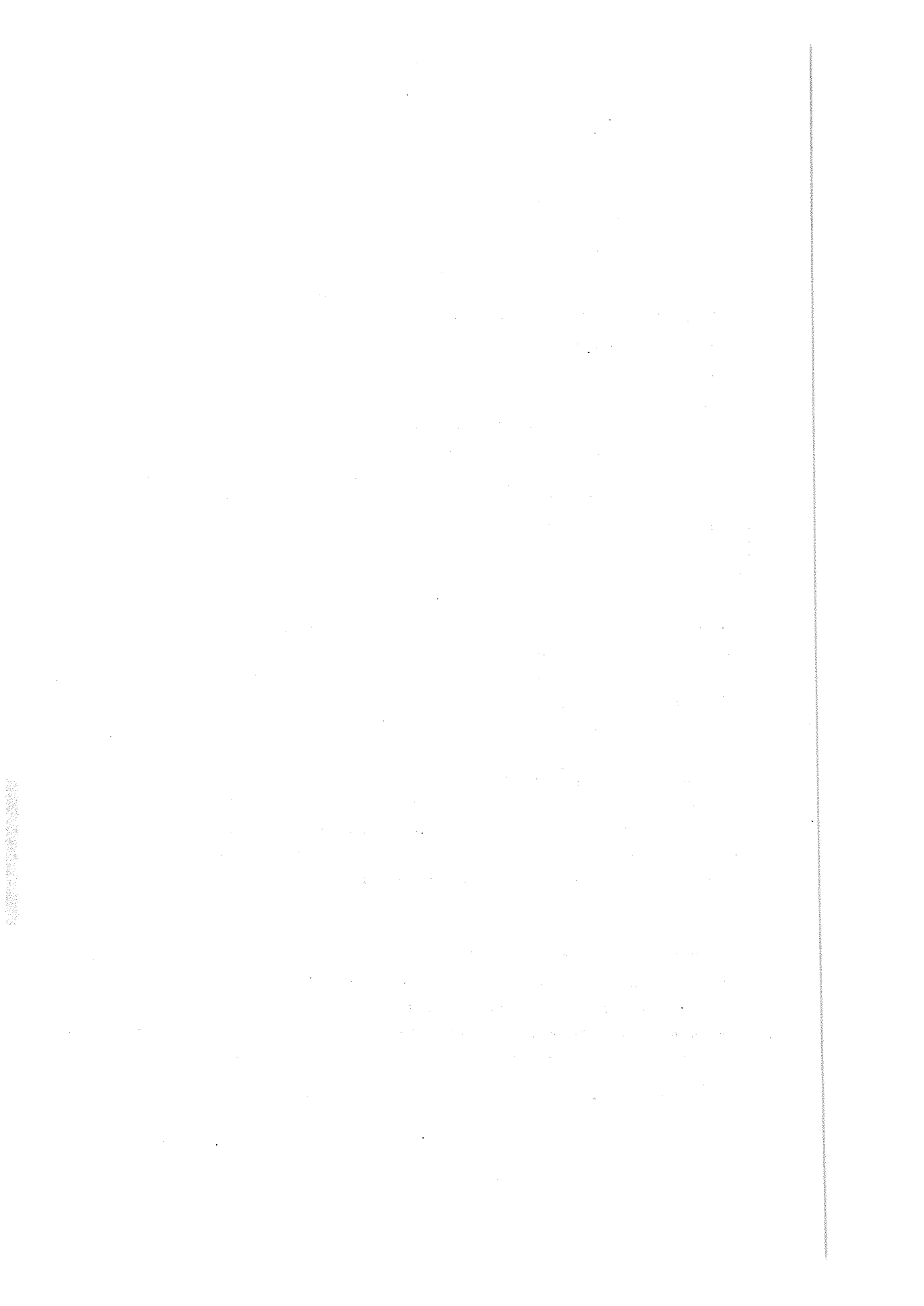
In this way it is possible to continue until final emptying of the system. In addition, it is possible to enter new doses into the system by the operator or automatically (open inputs), which will be distinguished by indexing (S_i^m). (The entry S_3^4 means the part No. 3 from the fourth dose). Mechanism of this algorithm enables to extend (narrow) the number of products A_v , manufacturing machines and equipments $\forall Z_j$ or part S_i without disruption, by re-declaration of matrixes and by continuation of calculation at the moment of completion.

The optimum of charging system can be approached, from the point of view of the above mentioned criteria (*), by complete combinatorial exchange in the sequence of parts and looking for minimum running production time.

The F_{Nj} queues are distinct in the system, thus we are able to dimension interoperational storage tanks, as well as capacity demands for transport. Vivid description and simplicity of this algorithm enables to control operatively and synoptically the production with outputs on the computer screen.

REFERENCE

- [1] Fecanin, J. a kol., Štruktúrna analýza a rozmiestňovacie modely, ALFA, Bratislava, 1985
- [2] Kant, K., Zucker, S., Planning Collision-Free Trajectories in Time-Varying Environments: A Two-Level Hierarchy.



B. Babić, V. Milačić¹

KONCEPT INTELIGENTNOG EKSPERT SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE FTS

Rezime

U radu se daje koncept inteligentne mašine koja vrši kreativno projektovanje FTS. Prvo se opisuje proces projektovanja zasnovan na aksiomima projektovanja. U skladu sa konceptom aksiomatskog projektovanja definišu se četiri nivoa mašine za projektovanje FTS; nivo definisanja funkcionalnih zahteva (FRs), nivo kreiranja parametara projektovanja (DPs), nivo za analizu projektnog rešenja, i nivo provere konačnog rešenja.

Ključne reči: Fleksibilni tehnološki sistemi, Projektovanje, Aksiomi projektovanja, Zaključivanje na bazi analogije, Teorija automata.

1. UVOD

Kreativni procesi obuhvaćeni projektovanjem fleksibilnih tehnoloških sistema (FTS) nisu sasvim proučeni. Izazovnu temu predstavlja razvoj inteligentne mašine za projektovanje FTS (FMS^{DM}) koja automatski generiše projektne koncepte.

Aktuelna projektna rešenja zavise od individualnog znanja projektanta. Za generisanje kreativnih projekata FMS^{DM} treba da ima širok opseg znanja i mogućnost pravilnog donošenja odluka. Svrha ovog rada je opis koncepta jednog ovakvog sistema koji je "snabdeven" i znanjem i principima za donošenje odluka.

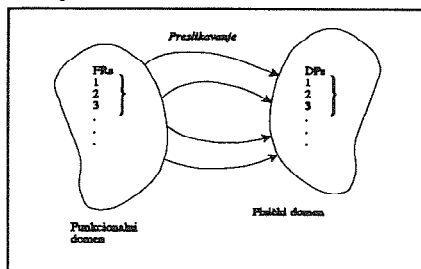
2. KONCEPT MAŠINE ZA PROJEKTOVANJE FTS

2.1. Teorija projektovanja

Teorija projektovanja, kao jedna od pretpostavki za razvoj inteligentnog sistema za projektovanje, koja se daje ovde, zasnovana je na pristupu koji je uveo profesor Nam P. Suh /1,2,3/. Po ovoj teoriji projektovanje se formalno definiše kao kreiranje sintetiziranih rešenja, u vidu proizvoda, procesa ili sistema koji zadovoljavaju iskazane potrebe, kroz proces

¹ Dr Bojan R. Babić, prof. dr Vladimir R. Milačić, Mašinski fakultet u Beogradu, Institut za proizvodno mašinstvo i računarski integrisane tehnologije

preslikavanja između funkcionalnih zahteva (FRs) u funkcionalnom domenu i parametara projektovanja (DPs) u fizičkom domenu /1/. Ovo je ilustrovano na slici 1. Cilj projektovanja je uvek definisan u funkcionalnom domenu, dok se fizičko rešenje uvek generiše u fizičkom domenu. Proces preslikavanja nije jedinstven odnosno moguće je izvesti više projektnih rešenja. Aksiomi projektovanja daju principe koje tehnika preslikavanja mora da zadovolji da bi se proizvelo dobro rešenje, a takodje obezbeđuju osnove za uporedjenje i izbor projektnih rešenja.



Slika 1

Koriste se sledeći aksiomi:

Aksiom 1: Aksiom nezavisnosti

Uspostaviti nezavisnost funkcionalnih zahteva.

Aksiom 2: Informacioni aksiom

Minimizirati informacioni sadržaj projekta.

Iz ovih aksioma proizilaze određene posledice koje predstavljaju pravila projektovanja. Ovde se navode samo posledice aksioma relevantne za projektovanje FTS:

- Posledica 1** Minimizacija funkcionalnih zahteva (FRs)
- Posledica 2** Integracija fizičkih delova
- Posledica 3** Primena maksimalnih tolerancija
- Posledica 4** Princip minimalnog informacionog sadržaja

2.2. Aksiomatsko projektovanje FTS

Opšta teorija projektovanja, data u prethodnom delu, konkretizovana je za problem projektovanja FTS. Ovo je ilustrovano na slici 2. Proces projektovanja započinje uspostavljanjem funkcionalnih zahteva u funkcionalnom domenu radi zadovoljenja datih potreba. Potrebe koje FTS projekat treba da zadovolji definisane su preko skupa delova koji teba da se izrađuju, veličine serija, rokova izrade, itd. Specifikacija potreba zajedno sa odgovarajućim tehnološkim procesima stvara osnovu za formiranje funkcionalnih zahteva (FRs). FRs se izražavaju u sledećem obliku:

FRs ($M_typ, Tac, K_pov, Gab, Deo_op$)

gde je: M_typ - vrsta obrade,
 Tac - tačnost obrade,
 K_pov - kvalitet obradjene površine,
 Gab - gabarit dela
 Deo_op - oznaka dela i redni broj operacije.

Postoje i funkcionalni zahtevi u odnosu na rokove izrade. Ovi funkcionalni zahtevi imaju sledeći oblik:

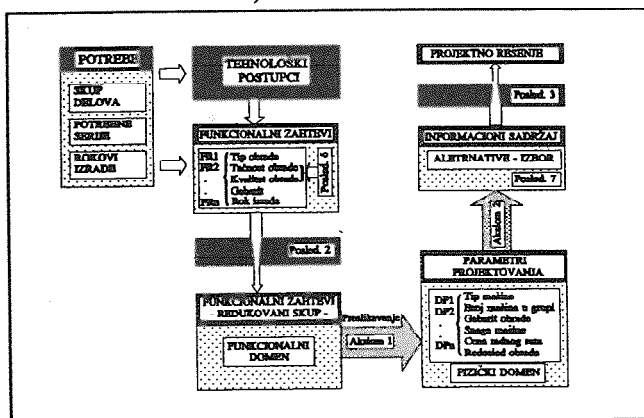
FRs(Deo, Rok_izrade).

Početni skup funkcionalnih zahteva se redukuje u skladu sa **posledicom 1**. Sledeći korak u aksiomatskom projektovanju FTS predstavlja preslikavanje između funkcionalnog i fizičkog domena. Parametri projektovanja, koji se tom prilikom generišu imaju sledeći oblik:

DPs ($M, No, M_tac, M_gab, P, Cph, M_Op_L$)

gde je: M - oznaka mašine,
 No - broj mašina u grupi,
 M_tac - tačnost mašine,

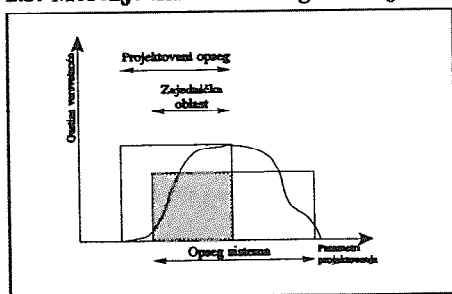
M_{gab} - maksimalna dimenzija obrade,
 P - snaga mašine,
 C_{ph} - cena radnog sata mašine,
 M_{Op_L} - lista [deo - operacija] za datu mašinu (veza sa funkcionalnim zahtevom)



Slika 2

Kao što je već napomenuto, proces preslikavanja nije jedinstven, odnosno moguće je da se pojavi više rešenja. Informacioni aksiom i posledica 4 obezbeđuju kriterijum za izbor optimalnog projektnog rešenja. Konačno projektno rešenje se dobija posle primene posledice 2. Posledica 2 sugerise integraciju fizičkih delova, ako je to moguće. U slučaju projektovanja FTS vrši se integracija obradnih stanica sa sličnim tehnološkim zadacima.

2.3. Merenje informacionog sadržaja u kontekstu FTS



Slika 3

U prethodnom delu je napomenuto da se optimalno rešenje bira na osnovu minimalnog informacionog sadržaja. U ovom delu se daje pregled metodologije za merenje informacionog sadržaja u kontekstu FTS prema /4/.

Informacija se definiše kao verovatnoća dostizanja funkcionalnih zahteva. Informacija se definiše kao:

$$I_i = \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) \quad (1)$$

Gde je p verovatnoća dostizanja funkcionalnog zahteva FRI. U slučaju da je neophodno zadovoljiti n FRs najbolje projektno rešenje je ono sa najmanjim informacionim sadržajem:

$$I_{\min} = \min \left(\sum_{i=1}^n I_i \right) \quad (2)$$

U slučaju projektovanja verovatnoća uspeha se daje u vidu specifikacije projektanta u obliku tolerancije (projektovani opseg) i onoga što sistem može da postigne (opseg sistema). Na slici 3. je prikazan prostor u kojem se nalazi prihvatljivo rešenje a koji predstavlja preklap između specifikacije projektanta - projektovanog opsega i prostora mogućnosti sistema -

opsega sistema. Kriva linija odgovara neuniformnoj raspodeli. U slučaju uniformne raspodele verovatnoće jednačina (1) se može napisati u obliku:

$$I = \log_2 \left(\frac{\text{Opseg sistema}}{\text{Opseg preklapanja}} \right) \quad (3)$$

Informacioni sadržaj koji se koristi u aksiomatskom projektovanju je nezavistan od specifične prirode parametara projektovanja (npr. kvalitet površine, troškovi, itd.). U slučaju FTS informacioni sadržaj se definiše kao suma sledećih parcijalnih sadržaja:

● **informacioni sadržaj u odnosu na geometrijsku tačnost**

U slučaju obrade nekog dela dimenzije L tolerancija koju specificira projektant se kreće u opsegu od (L-e) do (L+e), a opseg tačnosti mašine je u oblasti od a₁ do a₂. Zajednička oblast, koja predstavlja preklapanje između specificirane tolerancije i tačnosti mašine, jednaka je e₁+e₂, dok oblast sistema predstavlja a₁+a₂. Prema tome na osnovu jednačine (2) sledi da je informacioni sadržaj s obzirom na geometrijsku tačnost:

$$I_{\text{tac}} = \ln \frac{a_1 + a_2}{e_1 + e_2} \quad (4)$$

● **informacioni sadržaj u odnosu na kvalitet površine**

U ovom slučaju projektant specificira maksimalnu dozvoljenu hrapavost R_{max} dok se za donju granicu uzima 0. Prema jednačini (2) sledi:

$$I_{\text{kval}} = \ln \frac{a_1 + a_2}{e_1 - a_1} \quad (5)$$

● **informacioni sadržaj u odnosu na proizvodni kapacitet**

Informacioni sadržaj vezan za proizvodni kapacitet se izračunava na osnovu potrebnog kapaciteta i raspoloživog kapaciteta a prema metodologiji datoj u /4/. Ovde se, zbog prostora, navode samo konačni izrazi.

$$I_{\text{kap}} = \frac{SR_g}{SR_g - DR_{\text{min}}} \quad (6a)$$

$$I_{\text{kap}} = \frac{SR_g}{DR_{\text{max}} - DR_{\text{min}}} \quad (6b)$$

Formula (6a) važi za slučaj kada je SR_g < DR_{max}, a (6b) za slučaj SR_g > DR_{max}.

● **informacioni sadržaj u odnosu na proizvodne troškove**

Opseg sistema vezan za proizvodne troškove se određuje prema:

$$C_{\text{max}} = T_{\text{max}} * C_{\text{ph}} * N \quad (7)$$

$$C_{\text{min}} = T_{\text{min}} * C_{\text{ph}} * N \quad (8)$$

gde je:

C_{ph} - cena radnog sata mašine,

T_{max}, T_{min} - min. i max. vreme obrade dela na mašini,

N - broj delova.

Projektovani opseg, ukoliko nije drugačije zadat, se procenjuje preko:

$$Cd_{\text{max}} = \frac{\bar{C}_{\text{max}} + \bar{C}_{\text{min}}}{2} \quad (9)$$

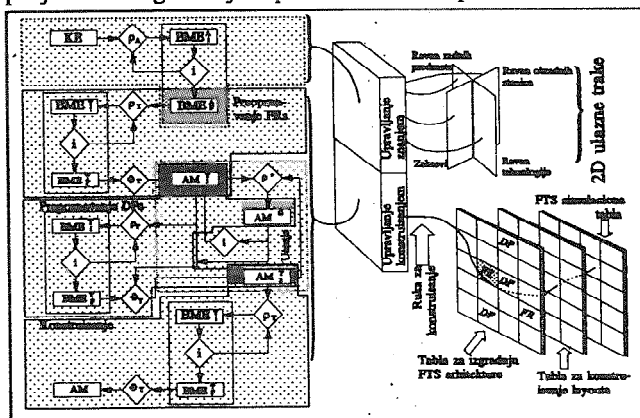
gde su \bar{C}_{max} i \bar{C}_{min} prosečni maksimalni i minimalni troškovi za sve delove.

3. ARHITEKTURA INTELIGENTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE FTS

Na osnovu prethodnih razmatranja definiše se arhitektura inteligentnog sistema za projektovanje FTS. U skladu sa konceptom aksiomatskog projektovanja neophodna su sledeća četiri nivoa:

- Nivo 1 Definisane funkcionalnih zahteva
- Nivo 2 Formiranje idejnih rešenja
- Nivo 3 Analiza predlozenih rešenja radi izbora najboljeg
- Nivo 4 Provera konačnog rešenja

Na prvom nivou definiše se skup funkcionalnih zahteva u funkcionalnom domenu radi zadovoljenja iskazanih potreba. Zatim se definiše skup DPs u cilju zadovoljenja FRs definisanih na nivo 1. Potom se analizira prihvatljivost predlozenih rešenja. Konačno se proverava uklapanje konačnog rešenja u početno iskazane potrebe.



Slika 4

Osnovni model inteligentnog sistema za projektovanje FTS je dat na slici 4 /4/. Sistem za upravljanje znanjem je podeljen u tri glavna segmenta: upravljanje znanjem, upravljanje konstruisanjem na bazi znanja i učenje na bazi analogije i otkrića.

Sistem za upravljanje znanjem je izgradjen primenom lingvističke teorije automata kroz blokove znanja. Pet procesora znanja, medjusobno povezanih, čine jedinicu za upravljanje znanjem:

- mašina za akviziciju znanja
- mašina za prepoznavanje funkcionalnih zahteva
- mašina za prepoznavanje parametara projektovanja
- mašina za učenje
- mašina za konstruisanje

Znanje neophodno za iznalaženje projektog rešenja je predstavljeno višedimenzionalnim prostorom koji se sastoji iz sledećih 2D traka: traka radnih predmeta (dimenzije delova, materijal, itd.); traka tehnologije (operacije, opis površina, tolerancije); traka mašina (karakteristike mašina koje se koriste); traka proizvodnih zahteva (serije, proizvodnost, itd.)

Glavni program, koji predstavlja mašinu za upravljanje znanjem, realizovan je u PROLOGu. Programski moduli, koji odgovaraju napred definisanim modulima inteligentne mašine za projektovanje FTS detaljno prodiskutovani u /4/. Kompletan proces projektovanja

i transfer znanja, generisanog u pojedinim podmodulima, se odvija preko table za konstruisanje. Podmoduli su rekurzivni što im daje karakteristike ćelijskih automata sa svojstvima računanja, konstruisanja i samoreprodukcije /4/. Konačno rešenje, koje se generiše na tabli za konstruisanje, sadrži strukturu layouta FTS i optimalan redosled obrade. Konačno rešenje se proverava pomoću simulacione mašine (simulaciona tabla).

4. ZAKLJUČAK

Inteligentni sistem za projektovanje FTS je verifikovan kroz više primera iz industrije. Ističu se dva primera, prvi vezan za proizvodnju delova mašina alatki, i drugi vezan za proizvodnju komponenti rudarskih pumpi. U oba slučaja razvijeni ekspertni sistem pokazao je značajne prednosti u odnosu na postojeće simulacione sisteme.

Snaaga inteligentnog sistema za projektovanje FTS leži u bogatoj bazi znanja dostignutoj kroz puno sesija projektovanja FTS. Računari sa bogatom bazom znanja će imati sposobnost sintetizacije kreativnih rešenja. Dalja istraživanja su vezana za implementaciju drugih vrta inferencije (osim inferencije na bazi analogije).

Istraživanja opisana u ovom radu su samo korak u razvoju praktično primenljive tehnologije procesiranja znanja radi susretanja sa izazovima nadolazeće industrije sa intenzivnim znanjem.

5. LITERATURA

- [1] N.P. Suh, *The Principles of Design*, Oxford University Press, New York, 1990.
- [2] N.P. Suh, "Design of Thinking Design Machine", *Annals of the CIRP*, Vol. 39/1/1990, pp. 145-148.
- [3] S.J. Kim, N.P. Suh, "Design of Software System Based on Axiomatic Design", *Annals of the CIRP*, Vol. 40/1/1991, pp. 165-170.
- [4] B.R. Babić, *Razvoj inteligentnog sistema za projektovanje višenamenskog FTS*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 1993.
- [5] V.R. Milacic, B.R. Babić, "Concept of FMS Design Machine", *Proceedings of The World Congress on Expert Systems*, Lisbon, 1994, pp. 658-665
- [6] P.G. Ranky, *The Design and Operation of FMS*, North Holand, UK, 1983.

B.Babić, V. Milačić

CONCEPT OF AN INTELLIGENT EXPERT SYSTEM FOR FMS DESIGN

Summary

A concept of an intelligent machine for performing creative FMS designs is presented in this paper. First, the general design process based on the design axioms is described. In accordance with the axiomatic design concept four levels of FMS machine design are defined: functional requirements (FRs) definition level, design parameters (DPs) creation level, design solution analysis level and final solution verification level. Computer software for dealing with each of the four levels is discussed.

Keywords: Flexible Manufacturing System, Design, Design Axioms, Reasoning by Analogy, Automata Theory.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Z. Krivokapić, M. Perović¹

ESTEh - EKSPERT-SISTEM ZA PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKOG POSTUPKA OBRADJE REZANJEM

Rezime:

Ekspert-tehnolog sistem (ESTEh) je izgrađen na bazi modularnog principa kako bi se mogla izvršiti postupna izgradnja sistema. Uvažavajući težnje RIP koncepta insistira se na čvrstoj vezi sa RPK-a sistemom, pa se kao ulaz usistem koriste rešenja ostvarena u modulu RPK-a sistema. Sistem je koncipiran da omogućava rad korišćenjem generativne i varijantne metode projektovanja, kako bi se postigla što veća efikasnost rada sistema. Na bazi ove koncepcije do nivoa prototipskog rešenja izgrađen je ESTEH sa bazom znanja ograničenom na osnosimetrične delove.

1. UVOD

Razvoj sistema, za računarom podpomognuto projektovanje tehnološkog postupka (SRPT) obrade rezanjem, rukovodjen je težnjom za ostvarivanje kvalitetnih tehnoloških rešenja povećanjem konzistentnosti podataka i informacija, što kraćim vremenom projektovanja i smanjenjem troškova, kako bi se omogućilo udaljenje tehnologa iz procesa projektovanja automatizovanjem i onih faza projektovanja za koje ne postoji mogućnost algoritamskog rešenja, a ne kao što je kod većine izgrađenih sistema osnov bio oslobađanje tehnologa od rutinerskih zadataka. Za realizaciju sistema SRPT koji bi svojom koncepcijom obezbijedio fleksibilnost sistema na bazi postavljenih zahtjeva izabran je pristup na bazi ekspert-sistema.

2. KONCEPCIJA SISTEMA ESTEH

Poznata je činjenica da faze projektovanja tehnološkog postupka obuhvataju i aktivnosti, koje se teško mogu formalizovati, pri čemu je prisutan veliki broj uticajnih faktora koji imaju protivrečna dejstva što povećava teškoće u formalizaciji ovog tipa zadataka, to je za računarsku podršku projektovanja tehnološkog postupka, posebno teško formalizovanih faza, neophodno je koristiti dostignuća koje pruža ekspert-sistem.

Ekspert tehnolog je projektant tehnološkog postupka koji posjeduje ekspertnost u ovoj oblasti.

Ekspert-tehnolog sistem je ekspert-sistem za projektovanje tehnološkog postupka na bazi ugrađene ekspertnosti.

ESTEh (EkSpert-TEHnolog sistem) je ekspert-tehnolog sistem koji ima zadatak da projektuje (automatski) tehnološki postupak obrade rezanjem u skladu sa postavljenim zahtjevima definisanim u uvodu.

Koncepcijski ovaj sistem treba svojom fleksibilnošću da obezbijedi struktuiranje osnovnih podataka za projektovanje kako bi se prilikom projektovanja generisala podaci koji predstavljaju moguće

¹Dr Zdravko Krivokapić, docent, Mašinski fakultet, Podgorica, Cetinjski put b.b.
Dr Milan Perović, redovni profesor, Mašinski fakultet, Podgorica, Cetinjski put b.b.

projektno rešenje. Na slici 1. daje se logička struktura osnovnih elementa koji služe kao baza za razvoj ESTEH-a.

Ova sistematika, sa iskazanim vezama za pravila projektovanja, predstavlja osnovu za postavljanje koncepta ESTEH-a. Konceptijsko rešenje ESTEH-a na osnovu ovakvog prilaza je prezentirano na slici 2.[1]

Kao što je očigledno sa slike 1. i slike 2. za izgradnju ESTEH-a je prihvaćen modularni pristup kako bi se omogućio postupan razvoj sistema za projektovanje, pri čemu su osnovni moduli definisani u skladu sa prihvaćenom metodologijom projektovanja tehnološkog postupka obrade rezanjem. Prihvaćena koncepcija podrazumijeva korišćenje RPK-a sistema kao ulaz u ovaj sistem, jer model formiran tokom konstruisanja mora da se koristi u ostalim sistemima RIP koncepta.

3. GENERATIVNO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKOG POSTUPKA

Generativno projektovanje tehnološkog postupka zasnovano je na sintezi projektnih rešenja čime se obezbeđuje velika fleksibilnost projektovanja i varijantnost nomenklature delova zahtijevajući potpun opis geometrijskih i tehnoloških karakteristika dijela.

Kao distributer za rad sistema služi analiza radnog predmeta, koja na bazi logike definiše tehnološki prepoznatljive elemente za transformaciju u određene tehnološke aktivnosti, pri čemu se dirigovanje u ESTEH sistemu ostvaruje posredstvom mehanizma zaključivanja.

Modul za generativno projektovanje tehnološkog postupka ESTEH-a sa vezom za bazu znanja je dat na slici 3.

Strukturu ovog modula grade tri logike koje su definisane u skladu sa prihvaćenom definicijom projektovanja tehnološkog postupka:

- logika projektovanja strukture tehnološkog postupka,
- logika projektovanja lokacije tehnološkog postupka i
- logika projektovanja parametara tehnološkog postupka.[2]

Za ostvarivanje ovih logika i u njima sadržanih elementarnih logika služi baza znanja kod koje se kao što je jasno izraženo slikom 3, mogu uočiti sledeći elementi:

- meta-pravila strategijskog nivoa,
- meta-elementarna pravila specifična za elementarne logike,
- osnovna pravila kojima se definišu elementarne logike i
- činjenice (fakta) specifična za konkretnu elementarnu logiku.

Ovakvo prihvaćena koncepcija omogućava jednostavniji način pretraživanja.

4. VARIJANTNO PROJEKTOVANJE TEHNOLOŠKOG POSTUPKA

Mehanizam zaključivanja u slučaju aktiviranja varijantne metode ima ulogu upravljanja sistemom tj. usmjerenja na proceduralnu aktivnost, koja je specifična za prihvaćeni pristup tipskog rešavanja problema u skladu sa postavkama datim u radovima [3,4].

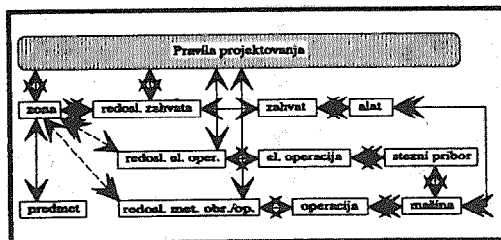
Tok procedure se može definisati sa blok dijagramom predstavljenim na slici 4.

Kako su faze definisane ovim blok dijagramom detaljno objašnjenje u radu [3] ovdje se napominje specifičnost prve faze iskazane blok-dijagramom kojom se ostvaruje pretraživanje prisustva kompleksnog dijela za traženi dio, gdje se potencijalna pripadnost definiše na osnovu granica za odnos l_{max}/d_{max} i granica dužine predmeta čime se definišu kodne vrijednosti kako za već definisanu datoteku kodnog dijela tako i datoteke traženog dijela.

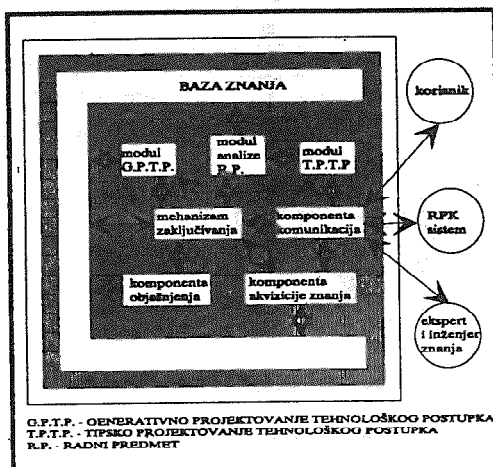
Datoteka kompleksnog dijela sadrži matricu elementarnog učešća i matricu dijela kako za spoljnu tako za unutrašnju konturu, pa ako je uočena sličnost sa stanovišta definisane pripadnosti određenim granicama, onda se tek pristupa fazama uporedjenja matrica Bulovim operatorom.

Ovaj problem potrebnih matičnih relacija zbog lošeg rada PROLOG-a sa numeričkim vrijednosima riješen je na bazi manipulacije sa lista.

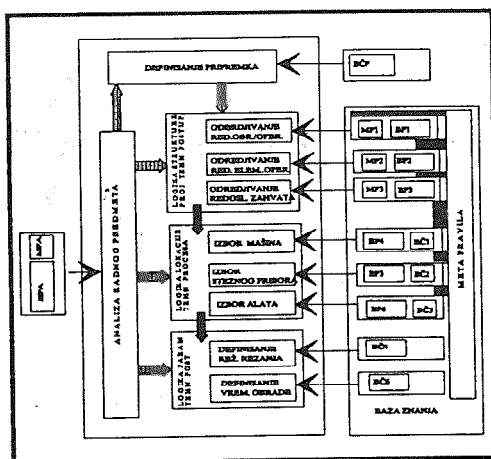
Slika 5 daje i način testiranja rezultata dobijenih generativnom i varijantnom metodom, koja govori o pouzdanosti sistema.



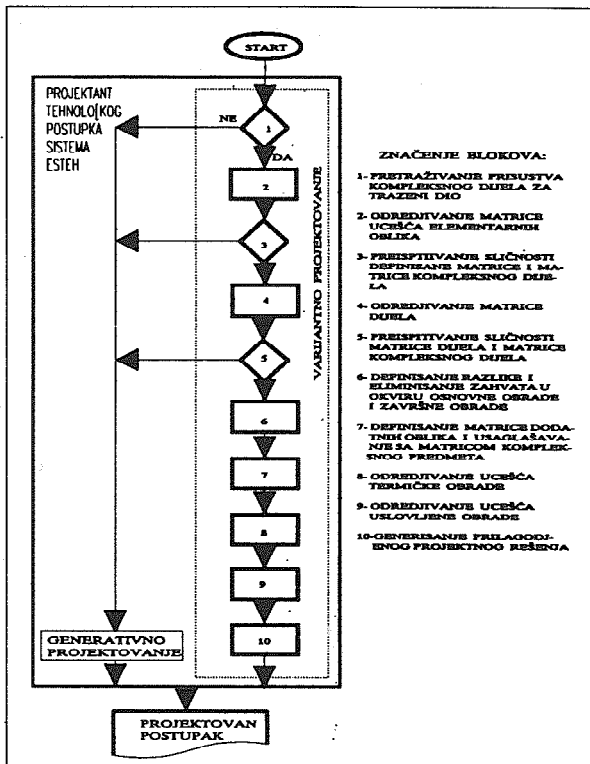
Slika 1. Logička struktura osnovnih elemenata tehnološkog postupka



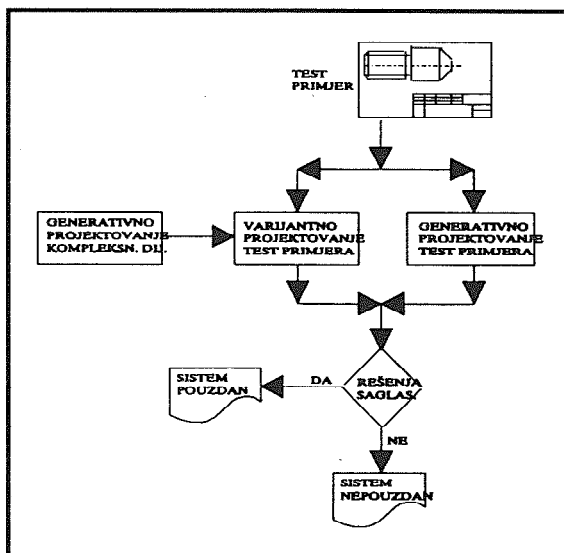
Slika 2. Koncept ekspert-sistema za projektovanje tehnološkog postupka



Slika 3. Modul za generativno projektovanje tehnološkog postupka



Slika 4. Blok dijagram projektovanja na bazi varijantnog projektog rešenja



Slika 5. Test rešenja generativne i varijantne metode

5. OPIS RADA SISTEMA

Sistem je izgrađen tako da u korisnički prilagodljivoj formi na bazi menija tehnike obezbijedi zavidan nivo komunikacije sa korisnikom. Kao sredstvo izgradnje ove tehnike korisno je postupila korisnička datoteka Turbo PROLOG-a menu.pro. Izgled sistema sa pripadajućim menijem mogućnostima dat je na slici 6.

Kao element ovog sistema posebno je izdvojena cjelina koja ima mogućnost za prikazivanje koračnog toka rada sistema, zavisno od toga da li je aktivirana ugrađena trace mogućnosti, koja se aktivira u početnoj fazi startovanja izborom opcije iz menija.

Aktiviranje rada ovog sistema vrši se izborom metode projektovanja, pri čemu na raspolaganju korisniku stoji mogućnost izbora generativne ili varijantne metode. Ako se korisnik odluči za generativnu metodu, onda se od korisnika traži izbor tipa datoteke za dalji rad, pri čemu na raspolaganju stoje dvije alternative, da se zahtijeva korišćenje datoteke ekstenzije DXF ili definiše u normalnom radu modul analize crteža. Poslije izbora tipa datoteke, tipa DXF ili ZON, daje se na ekranu spisak postojećih datoteka, gdje korisnik sistema na osnovu imena datoteke prepoznaje radni predmet i vršeći njegov izbor predaje datoteku sistemu na dalje korišćenje. Pored ovog sistema u sledećem koraku nudi korisniku i mogućnostno zadavanja dodatnih ograničenja, pri čemu ta ograničenja su u ovoj fazi isključivo vezana za kapacitet, pri čemu nije predviđeno pretraživanje datoteke projektovanog kapaciteta, već se samo kao ograničenje eliminišu mašine koje ne ulaze u razmatranje pri izboru mašina pripadajuće grupe, jer je projektovano opterećenje ovih mašina takvo da se one ne mogu koristiti pri analizi projektnog rješenja. Kada je i ova aktivnost završena sistem prelazi u automatski sistem rada definišući modulom analize crteža radnog predmeta samo geometrijske, a ne i tehnološke parametre. Poslije ove faze mora korisnik pristupiti nadopuni potrebnih parametara neophodnih za projektovanje tehnološkog postupka i tek onda sistem prelazi u potpuno automatizovan rad.

Za varijantno izabrani metod procedura startovanja je istovjetna kao i kod generativnog s tim što se ovdje ne nude i dodatna ograničenja.

U toku faze startovanja i intervencije korisnika sistem može da odgovara na pitanje zašto, jer je to pitanje isključivo vezano kod komponente objašnjenja za interaktivni rad korisnika.

Kvalitet ekspert-sistema je u najvećoj mjeri zavisn od kvaliteta baze znanja tako da je od posebnog značaja način izgradnje baze znanja. specifičnost SRPT-a se izražava slabom adaptivnošću konkretnim proizvodnim uslovima pa zato komponenta akvizicije znanja ima zadatak da omogući jednostavnu nadgradnju i specifičnih pravila korisnika, vodeći računa o njihovoj konzistentnosti sa već ugrađenim pravilima. Izgradnja baze znanja za ESTEH je prikazana u radu [3].

Rezultati testiranja rada ESTEH-a su prikazani u radu [3] na primjerima sa poznatim projektnim rešenjima, na osnovu baza znanja ograničene na osnosimetrične djelove.

6. ZAKLJUČAK

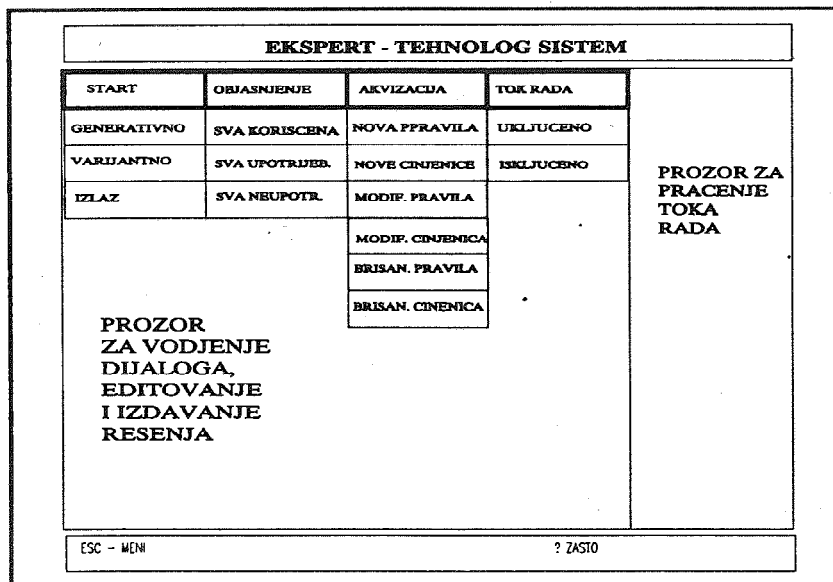
U skladu sa ciljem postavljenim u radu i metodološkim osnovama projektovanja tehnološkog postupka, postavlja se koncept koji zagovara intenciju da se fleksibilan sistem za projektovanje tehnološkog postupka može obezbijediti primjenom ekspert-sistema uz izgradnju baze znanja orjentisane na projektovanje tehnološkog postupka obrade rezanjem, gdje jezgro žini analiza crteža radnog predmeta, a efikasnost rada sistema omogućava primjena generativne ili varijantne metode projektovanja.

Konceptija sistema ESTEH je realizovana do nivoa prototipskog rešenja i testirana na izabranim primjerima, na osnovu baze znanja orjentisane na osnosimetrične djelove.

LITERATURA

- [1] Krivokapić Z., Perović M.: Izgradnja sistema za računom podržano projektovanje tehnološkog postupka obrade rezanjem, XIX JUPITER konferencija, Prohor Pčinjski, 1993.
- [2] Krivokapić Z., Perović M.: Generativno projektovanje tehnološkog postupka, Naučna konferencija IS-93, Novi Sad, 1993.
- [3] Krivokapić Z.: Prilog automatskom projektovanju tehnološkog postupka obrade rezanjem posredstvom ekspert sistema, Doktorska disertacija, Podgorica, 1993.

- [4] Krivokapić Z.: Varijantno projektovanje tehnološkog postupka realizovano sistemom ESTEH, XX JUPITER konferencija, Beograd, septembar 1994.



Slika 6. Mogućnosti ESTEH sistema na bazi meni tehnike

Z. Krivokapić, M. Perović

ESTEH - EXPERT SYSTEM FOR PROCESS PLANNING

Summary

The expert-technologist system (ESTEH) is based on the modular principle in order to enable its design in phases. Having in mind the CIM concept trends a strong connection with a CAD system is maintained by using the solutions created by a CAD system module as an entrance into the system. The system concept enables work by using generative and variant design methods, in order to achieve better efficiency of the system. An ESTEH containing the knowledge base limited to axially symmetric working pieces was created using the given concept, at the prototype solution level.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

G. D. Putnik

**FORMALNA DEFINICIJA REZNIH ALATA PREKO
TEORIJE AUTOMATA**

Rezime

Slozen entitet reznog alata je definisan kao struktura petorke koristeći formalnu teoriju automata. Svi entiteti reznih alata su predstavljeni preko dva sistema i to sistema klasa alata i sistema singularnih alata. Sistem klasa alata je sistem apstraktnih ili logickih entiteta koji je definisan rekurentno kao slozena atribuirana struktura. Sistem singularnih alata je sistem fizickih entiteta takodje definisan rekurentno kao slozena atribuirana struktura. U okviru ovih struktura izvršeno je dalje detaljno strukturisanje na primitivne i slozene entitete odnosno terminalne i neterminalne strukture. Uvodjenje teorije automata za definisanje entiteta proizvodnih sistema, u ovom slucaju reznih alata, omogućava primenu rigoroznih matematskih metoda i kriterijuma u procesu projektovanja proizvodnih sistema.

1. UVOD

Opisivanje sistema i elemenata sistema preko liste atributa je dovoljno za slucajeve kada nije potrebno uzeti u obzir i neku unutrašnju strukturu sistema u kojoj su elementi sistema u nekoj relaciji. U slucaju kada relacije izmedju elemenata mogu da imaju neki uticaj (u mnogim slucajevima taj uticaj je kljucni) u opis sistema je potrebno uneti i opis relacija izmedju elemenata razmatranog sistema. U svakom slucaju za opisivanje proizvodnih sistema i njegovih elemenata definisanje strukture je od kljucnog znacaja. Imati metodologiju za opisivanje struktura znaci imati alat za prepoznavanje (kao prvu fazu) analizu i sintezu sistema. Za formalno definisanje sistema reznih alata je izabrana reprezentaciona klasa automata, odnosno jezika. Uvodjenje strogog matematskog formalizma za definisanje entiteta proizvodnih sistema, u ovom slucaju reznih alata, omogućava primenu rigoroznih matematskih metoda i kriterijuma u procesu projektovanja proizvodnih sistema kao i njegovu automatizaciju (ovde se pod mogućnošću autonmatizacije podrazumeva mogućnost algoritimizacije cija je realizacija u svakom slucaju preko automata, odnosno teorije automata, ma kakva bila neka druga usvojena

Goran D. Putnik, Dr., Masinski fakultet - Beograd, ul. 27. marta br. 80., 11000 Beograd
sadasnja adresa: University of Minho, Department for Production and systems,
Azurem, 4800 Guimaraes, PORTUGAL

reprezentaciona klasa).

Iz razloga prostora u ovom radu, neće se dalje obrazlagati razlozi usvajanja teorije automata i njenog značaja već će se to ostaviti za neki drugi put. U ovom radu ćemo se zadržati samo na predstavljanju primene teorije automata za strogu matematičku definiciju sistema alata. Naglasak će biti na definisanju strukture dok će se definisanje liste atributa za svaki entitet posebno smatrati poznatim.

2. DEFINICIJE ENTITETA SISTEMA ALATA

Blok znanja o alatima, koji obuhvata ukupan sistem alata SAL, sastoji se iz dva podbloka i to (pod)bloka znanja o klasama alata i (pod)bloka znanja o singularnim alatima koji obuhvataju odgovarajuće podsisteme alata SAL i SAL'.

$$SAL = (SAL \cup SAL')$$

Svi entiteti ukupnog sistema alata, koji je složen, definišu se u okviru odgovarajuće strukture petorke koja obuhvata osnovne klase znanja o alatima i funkcije preslikavanja nad njima.

Sistem klasa alata je definisan rekurentno kao složen sistem na sledeći način:

Definicija 1. : Sistem klasa alata je složena atribuirana struktura petorke i to:

1. Sistem klasa alata je petorka

$$SAL = (FB_T, SB, SB_0, SB_f, \rho), \quad A(FB_i), A(SB_i), f_\rho$$

2. Sistem klasa alata je petorka

$$SAL = ((FB_T \cup FB_N), SB, SB_0, SB_f, \rho), \quad A(FB_i), A(SB_i), f_\rho$$

gde su:

FB_T, FB_N - terminalni i neterminalni fundamentalni blokovi znanja o apstraktnim entitetima alata klase alata, u osnovnoj oznaci SAL, gde $SAL \in FB_N$ i gde je svakom fundamentalnom bloku pridružen skup atributa $A(FB_i) = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$. Fundamentalni blokovi $(FB_T \cup FB_N)$ su domen ukupnog sistema klasa alata D_{SAL} nad kojim se definiše sistem klasa alata.

SB - strukturni blokovi koji sadrže strukturno znanje sistema klase alata gde su SB_0, SB_i, SB_f početna struktura, medjustrukturna i završna struktura sistema klase alata. Svakom strukturnom bloku je pridružen skup atributa $A(SB_i) = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$.

ρ - funkcija sprežanja kojom se definiše relacija između sadržaja znanja o alatima i njegove strukture. Funkcija sprežanja preslikava skup uredjenih parova entiteta fundamentalnog znanja o alatima, klasa alata SAL, i strukture tog znanja u novu izmenjenu strukturu.

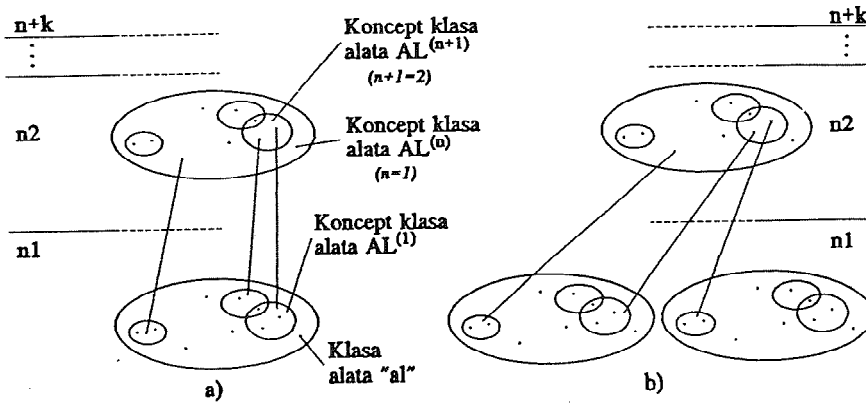
$$\rho : SB \times FB \rightarrow SB$$

Semantickom delu funkcije sprežanja odgovara semanticko pravilo f_ρ koje vrši preslikavanje između skupova atributa $A(SB_i)$ i $A(FB_i)$

$$f_\rho (A(SB_i), A(FB_i)) = A(SB_{i+1})$$

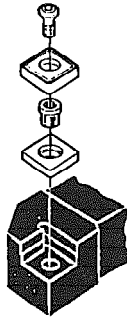
S obzirom da predhodna definicija dozvoljava da jedan koncept alata uključi u sebe drugi koncept kao element (ulazno slovo), složena struktura može da se predstavi kao hijerarhija, slika 1.

Na slici 1. terminom "klasa alata" je označen primitivni, ili terminalni, element koji nije struktura nad nekim drugim elementima. Koji je entitet alata u realnom tehnološkom sistemu



Slika 1.

primitiv zavisi od našeg definisanja da li ćemo uspostaviti logički primitiv (koji može da bude različit od fizičkog primitiva ili će primitiv biti jednak fizičkom primitivu). Na primer, klasu alata, na slici 2. možemo da posmatramo kao primitiv ako za naše poslove (na svim nivoima upravljanja alatom) nije od interesa njegovo dalje razlaganje a ako je dalje razlaganje potrebno onda će primitivi biti npr. drzac pločice, pločica TM, vijak, itd., pa će klasa alata biti i pločica, vijak, itd.



Slika 2.

Ostali entiteti alata su strukture komponovane nad elementima koji su primitivi ili neke druge strukture i ti entiteti (slozeni) su nazvani konceptima klasa alata, što je u saglasnosti sa terminologijom koja se koristi u teoriji skupova i formalnoj računskoj teoriji učenja. Primeri koncepata klasa alata su dati u tacki 3.

Sistem singularan alat je definisan rekurentno kao slozen sistem na sledeci nacin:

Definicija 2. : Sistem singularan alat je slozena atribuirana struktura petorka i to:

1. Sistem singularan alat je petorka

$$SAL' = (FB_T, SB, SB_0, SB_f, \rho), \quad A(FB_i), A(SB_i), f_p$$

2. Sistem singularan alat je petorka

$$SAL' = ((FB_T \cup FB_N), SB, SB_0, SB_f, \rho), \quad A(FB_i), A(SB_i), f_p$$

gde su:

FB_T, FB_N - terminalni i neterminalni fundamentalni blokovi znanja o fizickim entitetima alata singularan alat, u osnovnoj oznaci SAL' , gde $SAL' \in FB_N$ i gde je svakom fundamentalnom bloku pridruzen skup atributa $A(FB_i) = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}$. Fundamentalni blokovi ($FB_T \cup FB_N$) su domen ukupnog sistema singularni alat $D_{SAL'}$ nad kojim se definiše sistem singularni alat.

SB - strukturni blokovi koji sadrže strukturno znanje sistema singularan alat gde su: SB_0, SB_i, SB_f pocetna struktura, medjustrukturna sistema i završna struktura sistema singularan alat. Svakom strukturnom bloku je pridruzen skup atributa $A(SB_i) = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$.

ρ - funkcija sprezanja kojom se definiše relacija izmedju sadržaja znanja o alatima i njegove strukture. Funkcija sprezanja preslikava skup uredjenih parova entiteta fundamentalnog znanja o alatima, singularan alat SAL' , i strukture tog znanja u novu izmenjenu strukturu.

$$\rho : SB \times FB \rightarrow SB$$

Semantickom delu funkcije sprezanja odgovara semanticko pravilo f_ρ koje vrši preslikavanje izmedju skupova atributa $A(SB_i)$ i $A(FB_i)$

$$f_\rho (A(SB_i), A(FB_i)) = A(SB_{i+1})$$

Sto se tice nacina definisanja singularnih alata, on je isti po prirodi sa nacinom definisanja klasa alata, tj. kao hijerarhiska struktura sa priivnim ili terminalnim elementima "singularan alat" i slozenim entitetima, strukturama, "konceptima singularnih alata". Razlika je u tome što se ovde radi o fizickim entitetima.

Izmedju ove dve klase znanja o alatima moze da se uspostavi preslikavanje preko funkcije komponovanja ϕ , koja preslikava blok znanja o klasama alata u blok znanja o singularnim alatima.

Definicija 3. : Sistem alata je slozena atribuirana struktura petorka i to:

1. Sistem alata je petorka

$$SAL = (FB_T, SB, OB, \rho, \phi), A(FB_i), A(SB_i), V(OB_i), f_\rho, f_\phi$$

2. Sistem alata je petorka

$$SAL = ((FB_T \cup FB_N), SB, OB, \rho, \phi), A(FB_i), A(SB_i), V(OB_i), f_\rho, f_\phi$$

gde su:

FB_T, FB_N - terminalni i neterminalni fundamentalni blokovi znanja o apstraktnim entitetima alata klasa alata, u osnovnoj oznaci SAL , gde $SAL \in FB_N$ i gde je svakom fundamentalnom bloku pridruzen skup atributa $A(FB_i) = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{im}\}$. Fundamentalni blokovi ($FB_T \cup FB_N$) su domen ukupnog sistema klasa alata D_{SAL} nad kojim se definiše sistem klasa alata.

SB - strukturni blokovi koji sadrže strukturno znanje sistema alata gde su: SB_0, SB_i, SB_f pocetna struktura, medjustrukturna i završna struktura sistema alata. Svakom strukturnom bloku je pridruzen skup atributa $A(SB_i) = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$.

OB - operativni blokovi, takodje varijabilni blok (V) (koji sadrži skup operativnih blokova), koji sadrže operativna znanja o fizickim entitetima singularan alat, u osnovnoj oznaci SAL' , gde je svakom operativnom bloku pridruzen vektor vrednosti atributa $V(OB_i) = \{v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{in}\}$. Vrednosti atributa v_{ij} su definisani nad domenima vrednost atributa.

ρ - funkcija sprezanja kojom se definiše relacija izmedju sadržaja znanja o alatima i njegove strukture. Funkcija sprezanja preslikava skup uredjenih parova entiteta fundamentalnog znanja o alatima, klasa alata SAL , i strukture tog znanja u novu

izmenjenu strukturu.

$$\rho : SB \times FB \rightarrow SB$$

Semantickom delu funkcije spreznja odgovara semanticko pravilo f_ρ koje vrši preslikavanje izmedju skupova atributa $A(SB_i)$ i $A(FB_i)$

$$f_\rho (A(SB_i), A(FB_i)) = A(SB_{i+1})$$

ϕ - funkcija komponovanja kojom se definiše relacija izmedju sadržaja istrukture znanja o alatima i operativnog znanja o alatima. Funkcija komponovanja preslikava skup uredjenih parova fundamentalnog znanja o alatima, klasa alata SAL, i strukture tog znanja u operativno znanje o alatima, singularan alat SAL':

$$\phi : SB \times FB \rightarrow OB$$

Semantickom delu funkcije komponovanja odgovara semanticko pravilo f_ϕ koje vrši preslikavanje izmedju skupova atributa $A(SB_i)$, $A(FB_i)$ i vektora vrednosti atributa $V(OB_i)$

$$f_\phi (A(SB_i), A(FB_i)) = V(OB_i)$$

Formalna teorija za analizu i sintezu sistema alata je automat, odnosno teorija automata.

Za predhodni stav je moguće uspostaviti odgovarajuće teoreme koje kazu da :

1. Sistem klasa alata SAL je model automata akceptora ,
2. Sistem singularan alat SAL' je model automata akceptora i
3. Sistem alata SAL je model automata pretvaraca (transdujera) .

Same teoreme i dokazi se neće navoditi jer je njihovo navodjenje u suštini samo od interesa kompletnosti definicija (drugi razlog je ograničen prostor za ovaj rad). Dokaz stava da je teorija automata formalna teorija za analizu i sintezu sistema alata je trivijalan i zasnovan je na izomorfizmu struktura automata i predloženih struktura (blokova znanja i relacija nad njima) za predstavljanje znanja o alatima. Detaljan tekst se može naći u /5/.

Na ovaj način je uspostavljena formalna teorija za analizu i sintezu sistema alata, a to je teorija automata. Formalna teorija (teorija automata) za predstavljanje sistema klasa alata je jezik za sistem alata. Ovo je od prvorazrednog značaja jer je na ovaj način obezbeđena velika sloboda i rigoroznost u načinu definisanja i najsloženijih struktura, što je lako uočiti.

3. PRIMERI DEFINISANJA ALATA

Primer 1: Koncept klase alata AL-163, pod nazivom "alat za bušenje", je atribuirana petorka (za razliku od predhodnog primera ovde se uvodi širi domen fundamentalnih blokova klase alata):

$$AL-163 = (FB_T, SB, SB_0, SB_f, _), A(FB_i), A(SB_i), f_$$

Kompletna definicija koncepta alata AL-163 je :

$$AL-163 = (FB = \{ d15, d1, n10, d5, r1, r2 \} ,$$

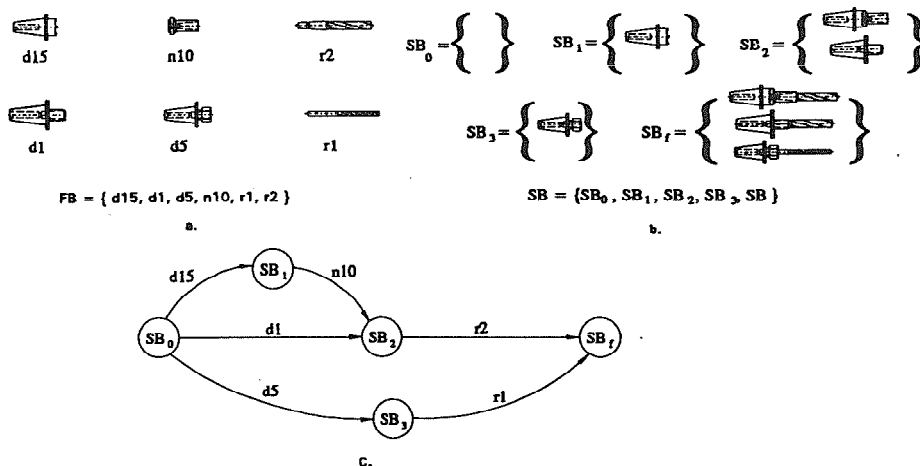
$$SB = \{ AL-163_0, AL-163_1, AL-163_2, AL-163_3, AL-163_f \} ,$$

$$SB_0 = \{ AL-163_0 \} ,$$

$$SB_f = \{ AL-163_f \} ,$$

$$\rho = \{ AL-163_0 \times d15 \rightarrow AL-163_1, AL-163_0 \times d1 \rightarrow L-163_2, AL-163_0 \times d5 \rightarrow AL-163_3, AL-163_1 \times n10 \rightarrow AL-163_2, AL-163_2 \times r2 \rightarrow AL-163_f, AL-163_3 \times r1 \rightarrow AL-163_f \})$$

U ovom posebnom slučaju, baza znanja (ili blok znanja) o konceptu alata za bušenje oznacen (baza, blok) AL-163 sadrzi tri rešenja (sigurno da je moguće definisati i koncepte sa samo jednim rešenjem), Strukturi koncepta klasa alata AL-163, koristeći formalnu teoriju, odgovara automat predstavljen kao na slici 3.



Slika 3.

Primer 2. U ovom primeru domen fundamentalnog bloka sadrzi složene strukture koncepte klasa alata koji se tretiraju kao neterminalna azbuka ulaznih slova. Koncept klase alata AL-TTS15, pod nazivom "alat za tipsku tehnološku sekvencu 15 (TTS15)", je atribuirana petorka:

$$AL-TTS15 = (FB_N, SB, SB_0, SB_f, _), A(FB_i), A(SB_j), f_$$

Kompletna definicija koncepta alata AL-TTS15 je :

$$AL-163 = (FB = \{ AL-217, AL-163, AL-1, AL-2, AL-12, AL-28 \}, \\ SB = \{ AL-TTS15_0, AL-TTS15_1, AL-TTS15_2, AL-TTS15_3, \\ AL-TTS15_4, AL-TTS15_5, AL-TTS15_f \},$$

$$SB_0 = \{ AL-TTS15_0 \},$$

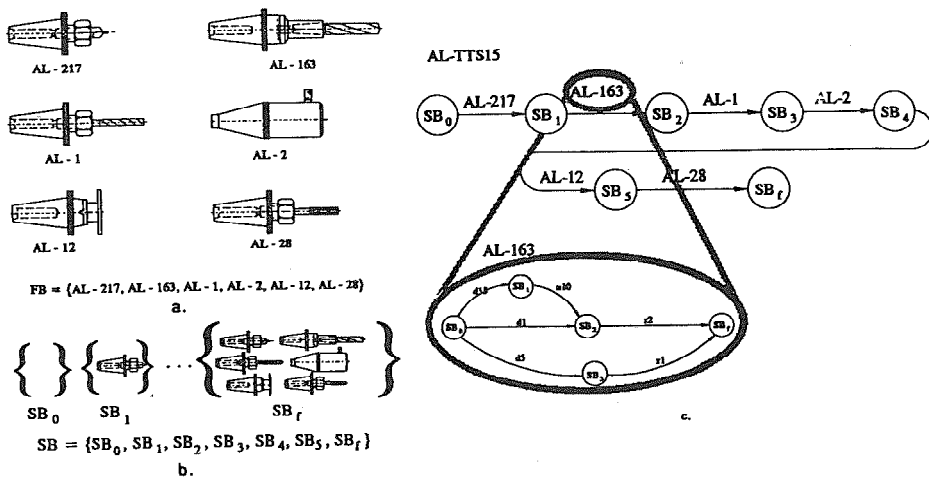
$$SB_f = \{ AL-TTS15_f \},$$

$$\rho = \{ AL-TTS15_1 \times AL-163 \rightarrow AL-TTS15_2, AL-TTS15_2 \times AL-1 \rightarrow \\ AL-TTS15_3, AL-TTS15_3 \times AL-2 \rightarrow AL-TTS15_4, AL-TTS15_4 \\ \times AL-12 \rightarrow AL-TTS15_5, AL-TTS15_5 \times AL-28 \rightarrow AL-TTS15_f \}$$

Strukturi koncepta klasa alata AL-TTS15 odgovara automat predstavljen kao na slici 4.

Napomena : U primerima nisu dati odgovarajući pridruženi skupovi atributa. Za potrebe ovog rada može se smatrati da je ovaj kontekst poznat.

Primer 3. : Preko funkcije komponovanja ϕ vrši se preslikavanje, "transformacija", "pretvaranje", "transdukcija", bloka znanja (ili baze znanja) o klasama alata u blok znanja (ili bazu znanja) o singularnim alatima, kako je to već definisano na po_etku tacke 2. Prvi blok znanja smo nazvali fundamentalnim a drugi blok znanja smo nazvali operativnim. Ako je funkcija komponovanja



Slika 4.

$$\phi : SB \times FB \rightarrow OB$$

onda semantickom delu funkcije odgovara semanticka funkcija - pravilo f_ϕ koje vrši preslikavanje izmedju skupova atributa $A(FB_i)$ i $A(SB_i)$ i vektora vrednosti atributa $V(OB_i)$

$$f_\phi (A(FB_i), A(SB_i)) = V(OB_i)$$

odnosno izmedju domena skupova atributa $A(FB_i)$, $A(SB_i)$ i vektora vrednosti atributa $V(OB_i)$

$$f_\phi ((D_{\alpha 1i} \times D_{\alpha 2i} \times \dots \times D_{\alpha ni})_{SB}, \{D_{\alpha 1i} \times D_{\alpha 2i} \times \dots \times D_{\alpha mi}\}_{FB}) = V(v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{ik})$$

Funkcija preslikavanja logickih entiteta u fizicke entitete f_ϕ je najcesce data tablicama (sto je zapravo katalog alata) kao na slici 5.

ID	d	l	l ₁	φ	mat
01	7.4	109	69	118	HSS
02	7.5	109	69	118	HSS
03	7.6	117	75	118	HSS
04	7.7	117	75	118	HSS
05	7.8	117	75	118	HSS

Slika 5.

4. ZAKLJUCAK

Jedna velika prednost primene teorije automata je njena vrlo dobra razvijenost i mate-

natička rigoroznost. Govoreći u terminima teorije automata i pridruženih formalnih jezika (ili obrnuto) možemo da kažemo

Definisati alat znači generisati rečenicu - sekvencu elemenata alata koja može da bude prepoznata od odgovarajućeg automata.

U svakom slučaju ova definicija ima smisla ukoliko sistem alata definišemo i u odnosu na njegovu funkciju, odnosno u tom slučaju govorimo o projektovanju ili izboru alata za zadati sistem mašine alatke i zadati sistem elementarne transformacije (zahvata). Proširujući primenu zloženog koncepta primenjujemo teoriju automata i za definisanje sistema mašine alatke i sistema elementarne transformacije (zahvata).

Način definisanja složene strukture će zavistiti od znanja kojim se raspolaze na početku procesa u konkretnim slučajevima.

Primeri koji detaljno opisuju izloženi koncept, uključujući i sve specijalne slučajeve, mogu se naći u /5/.

5. LITERATURA

- /1/ Denning P.J., Dennis J.B., Qualitz J.E.: "Machines, Languages and Computation", Prentice - Hall Inc., 1978.
- /2/ Kim S.H.: "An Automata - Theoretic Framework for Intelligent Systems", Robotics & CIM, Vol. 5, No. 1, pp 43-51, 1989.
- /3/ Kim S.H.: "Designing Intelligence", Oxford University Press, New York, 1990.
- /4/ Milacic V.R.: "Theoretical Aspects of Intelligent Manufacturing Systems Design", rukopis, 1992.
- /5/ Putnik G. D. : "Primena induktivnog učenja baziranog na teoriji automata za izbor alata u projektovanju tehnoloških procesa obrade metala rezanjem", doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu - Masinski fakultet, 1993.

G. D. Putnik

CUTTING TOOLS FORMAL DEFINITION BY AUTOMATA THEORY

Summary

A complex cutting tool entity is defined as a quintuple using the formal automata theory. All cutting tool elements are represented by two systems. These systems are class tools and singular tools. A class tool system is a system of abstract or logical entities which is defined recursively as a complex attributed structure. A singular tools system is a system of physical entities also defined recursively as a complex attributed structure. These structures are further decomposed into primitive and complex structures, that is in terminal and non terminal structures. Introducing the automata theory for the production system entities definition, in this case a tool system entities definition, allows the application of rigorous mathematical methods and criteria in the production systems design process.

V. Stoiljković¹
B. Veljković²

Ekspertni sistem za servisiranje pumpi

Rezime

Servisiranje pumpi zahteva veliko iskustvo i znanje. Zato je taj domen rada u fabrikama koje proizvode pumpe povoljan za aplikaciju ekspertnih sistema. U ovom radu se predstavlja razvijeni ekspertni sistem za potrebe servisiranja pumpi koje proizvodi Fabrike pumpi "Jastrebac" u Nišu. Program *SP: servisiranje pumpi* se sastoji iz dve celine: baze podataka razvijene pod *Microsoft Access* relacionom bazom podataka i ekspertnog sistema razvijenog u *Personal Consultatn Easy* školjci ekspertnog sistema. Baza podataka je klasična relaciona baza prilagođena potrebama rada servisa, dok je ekspertni sistem specifičan dijagnostički sistem namenjen servisiranju proizvodnog programa Fabrike pumpi.

1. Uvod

Rad servisa je specifičan po tome što kroz njega prolazi veoma veliki broj raznovrsnih pumpi u toku godine, i veoma je teško savladavati toliku količinu podataka bez pomoći računara. Konkretno, servis jedne Fabrike pumpi može da ima do 200 i više zaposlenih. I tako veliki broj zaposlenih ne može u nekim periodima da zadovolji zahteve kupaca u pogledu servisiranja proizvoda. To znači da fabrika nije u mogućnosti da zadovolji jedan od elemenata sistema kvaliteta po ISO 9000 koji se odnosi na servisiranje. Ovaj problem može da se reši korišćenjem relacionih baza podataka i baza znanja. Za razvoj ekspertnog sistema izabrana je relaciona baza *MS Access*, jer radi pod *Windows*-om i ima vrlo dobar korisnički interfcjs.

S druge strane, proces servisiranja se uglavnom oslanja na iskustveni rad velikog broja ljudi, počev od šefa servisa odnosno njegovih zamenika, koji prima reklamacije, preko tehnologa, pa sve do radnika-servisera. To iskustvo najčešće odlazi sa ljudima koji odu u penziju ili promene fabriku. Kako je ono suviše dragoceno potrebno je da se na neki način formalizuje i sačuva za budućnost. Jedan od najboljih načina su upravo ekspertni sistemi.

¹ Prof. dr. Vojislav Stoiljković, redovni profesor na Mašinskom fakultetu u Nišu

² Dipl. ing. elektr. Bratislav Veljković, saradnik na Mašinskom fakultetu u Nišu

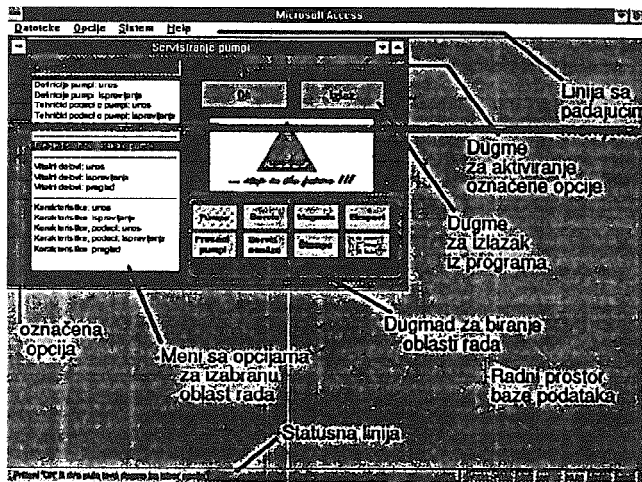
Fabrika ima dužnost da servisira pumpe po osnovu garancije godinu dana, ali pod uslovom da kvar nije nastao usled narušavanja preporuka koje je dao proizvođač. Međutim, popriličan broj kvarova nastaje upravo zbog nestručne upotrebe ili instalacije pumpi. Kupcima u tom slučaju treba objasniti da sami snose krivicu za kvar pumpe a ne fabrika, što oni obično nerado prihvataju. Tu ekspertni sistem može da posluži kao nepristrasni sudija u takvom sporu. Mogućnost ekspertnog sistema da objasni na osnovu čega je došao do određenih zaključaka može argumentovano da obrazloži dijagnozu. I najzad, ekspertni sistem može da preporuči korisnicima na šta da obrate pažnju kod korišćenja pumpe i kako da preduprede novo nastajanje kvarova.

U nastavku je rad izložen u četiri odeljka. U odeljku dva se opisuje program za servisiranje pumpi, definiše se oblast rada u bazi podataka i daje se prikaz ekspertnog sistema. Odeljak tri diskutuje podelu pumpi sa stanovišta servisiranja, a u odeljku četiri je razmatrana baza podataka programa. Najzad, u zaključku se ukazuje na značaj korišćenja ekspertnih sistema kao i na puteve daljeg razvoja u ovom domenu.

2. O programu SP: Servisiranje Pumpi

Programski sistem *SP: Servisiranje pumpi*, je zaokružena celina za podršku u radu servisnih stanica za popravku i održavanje svih vrsta pumpi. Postoje tri osnovne namene ovog programskog sistema [1]:

- kao baze podataka sa tehničkim podacima o proizvodnom programu pumpi,
- kao baze podataka za vođenje poslovanja servisa i analizu podataka,
- kao ekspertnog sistema, koji će davati svoju dijagnozu o uzrocima kvara pumpe.



Slika 1 Glavni meni programa

informacije koje nisu namenjene klijentima van fabrike.

Na slici 1 se vidi glavni meni programa i objašnjenje nekih od delova ekrana.

Prva dva dela su organizovana u kompaktnu celinu, kao baza podataka u *Microsoft Access-u*. Ekspertni sistem radi u okviru školjke ekspertnih sistema *PC Easy*, i može se koristiti zajedno sa bazom podataka, ali i kao samostalna celina. Preciznije rečeno, postoje dva ekspertna sistema: jedan namenjen servisu, i jedan namenjen klijentima, tj. korisnicima van fabrike. Ekspertni sistem namenjen servisu sadrži i neke

2.1 Oblasti rada u bazi podataka

Baza podataka je podeljena po oblastima. Svaka oblast obrađuje određeni skup podataka. U svim oblastima postoje opcije za unos, ispravljanje i pretraživanje podataka. Podaci o pumpama se obrađuju u dve *oblasti rada* u programu. To su oblasti *Pumpe* i *Preseci pumpi*.

U okviru oblasti *Pumpe* postoje sledeći podaci: podaci o definicijama pumpi, tehnički podaci o pumpama, podaci o karakteristikama (dijagrami karakteristika) i podaci o vitalnim delovima pumpi.

Oblast *Preseci pumpi* radi samo sa dve grupe podataka: delovi pumpe i preseci pumpi.

U oblasti *Servis* se definišu i ispravljaju svi dokumenti sa kojima se radi u servisu. U okviru ove oblasti može se raditi sa sledećim dokumentima: *povratnica*: radi se o povratnici tuđe robe, *radni nalog*: to je osnovni dokument u toku servisiranja pumpe, *defektažna lista* i *zahtev za proizvodnju*.

Oblast *Servis analiza* služi za pretraživanje po dokumentima servisa ili grafičkog pregleda dokumenata u prethodnim godinama. Zato postoje sledeće opcije: *povratnice: pregled, radni nalozi: pregled, defektažne liste: pregled, zahtev: pregled* i statistički pregled povratnica. Opcija *Statistički pregled povratnica* je pre svega namenjena za predviđanje budućeg rada i prometa u servisu, ali je sasvim pogodna i za pregled rada u prethodnoj (ili prethodnim) godinama. Naime, ova opcija pregleda sve povratnice iz nekoliko prethodnih godina, da bi dala statistički pregled šta je, i koliko dolazilo na pregled, i na osnovu ovoga predviđa stanje u tekućoj godini.

2.2 Ekspertni sistem

Ekspertni sistemi *PumpeSer* i *PumpeKor* su namenjeni za nalaženje uzroka kvara pumpi. Razvijeni su u školjci ekspertnog sistema *PC Easy*. Razlika između ova dva ekspertna sistema je jedino u ciljnoj grupi kojoj su namenjeni: *PumpeSer* je namenjen osoblju servisa, a *PumpeKor* klijentima i kupcima. Spolja, nema bitnijih razlika u načinu rada sa bilo kojim od ova dva, pa se zato u nastavku ne pravi razlika između njih.

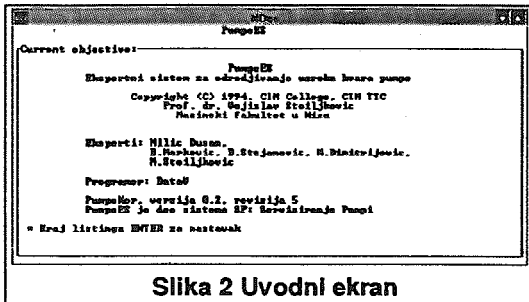
Radi ispunjenja predviđene namene ekspertni sistem sadrži sledeće baze znanja:

- bazu znanja za utvrđivanje uzroka grešaka kod pumpi;
- bazu znanja za otklanjanje uzroka grešaka kod pumpi i
- bazu znanja za predviđanje vremena do ponovnog servisiranja pumpi kako bi se preupredila pojava kvara.

Formiranje baze znanja detaljno je opisano u literaturi [2], kao i u radovima [3],[4], pa se stoga ovde ne izlaže detaljnije.

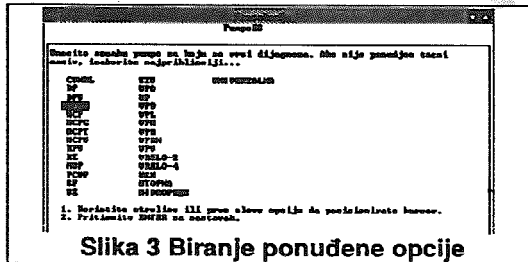
Pokretanjem ekspertnog sistema, startujete *konsultaciju*. U toku konsultacije ekspertni sistem postavlja niz pitanja, i na kraju daje svoju konstataciju. Cilj ove konsultacije je da otkrije uzrok kvara pumpe. Šta se konkretno pokvarilo na pumpi uglavnom se ne može prognozirati, već je ipak najpametnije da se pumpa otvori i tačno utvrdi u čemu je kvar. Zato je namena ovog ekspertnog sistema da utvrdi uzrok kvara, a ne sam kvar. Ako Vam je poznat

uzrok, možete da pokušate da ga otklonite i tako predupredite ponovno nastajanje takvih ili sličnih kvarova.



daje spisak mogućih uzroka kvarova. Jasno je da su svi uzorci zapravo ažurirano zanje eksperata u bazi znanja. Svaki od tih mogućih uzroka ima pridružen *faktor pouzdanosti*, meru koja pokazuje koliko je verovatan taj uzrok. Pomoću ovih faktora pouzdanosti dobija se jasna slika koji je od mogućih uzroka kvarova najverovatniji.

Kada se daju ekspertnom sistemu na sva pitanja koja su ga zanimala (pitanja nisu uvek ista), na ekranu će se pojaviti dijagnoza, slično slici 4. U dijagnozi se mogu uočiti nekoliko delova, koji se međusobno jasno razlikuju bojom. U tabeli su date celine koje ulaze u dijagnozu:



Boja	Celina	Opis
žuta	Sistemske poruke	Razne poruke koje daje ekspertni sistem, uputstva korisniku
ljubičasta	Globalne konstatacije	Globalni opis mogućeg uzroka greške
zelene	Poruke za servis	Specifične poruke, samo za servis
bela	Napomene	Napomene vezane direktno za pumpu
bela	Dijagnoze	Razni uzroci kvara koje navodi ekspertni sistem

Iza svake dijagnoze sledi procenat, koji predstavlja faktor pouzdanosti. Taj procenat ne treba da shvatite bukvalno, već više kao neku meru po kojoj sistem ocenjuje koje su dijagnoze verovatnije a koje manje verovatne. U principu, dijagnoze sa faktorom pouzdanosti od 100% (on se ne ispisuje), su najverovatnije uzrok kvara pumpe, 90% označava vrlo verovatne razloge itd. Faktor pouzdanosti od 50% označava one uzroke kvarova koji se inače mogu javiti, ali za konkretni primer baš i nisu mnogo verovatni, dok oni od 30-40% označavaju uzroke kvarova koji su vrlo malo verovatni.

3. Podela pumpi sa stanovišta servisiranja

Za potrebe ekspertnog sistema napravljena je specifična podela pumpi sa stanovišta servisiranja [5,6,7,8]. Podelu iznosimo u nastavku:

Hidraulične pumpe se mogu podeliti po raznim osnovama, a u programu SP je k
orišćena sledeća:

- lopatične
 - centrifugalne
 - prema naporu H
 - pumpe niskog napora ($H < 20mVS$, eventualno do $H < 35mVS$)
 - pumpe srednjeg napora ($H < 60mVS$)
 - pumpe visokog napora ($H > 60mVS$)
 - prema načinu dovođenja tečnosti
 - jednostrujne
 - dvostrujne
 - aksijalne (osne)
 - zavojne
- zapreminske
 - klipne
 - rotacione
- strujne
 - injektori
 - ejektori
- parne (pneumatske)

4. Struktura baze podataka programa SP

U nastavku dajemo prikaz strukture relacije baze podataka za program SP: Servisiranje Pumpi. Baza podataka je napravljena na osnovu relacije baze podataka *Microsoft Access v1.0*.

Program *Servisiranje pumpi* je u najvećoj meri baziran prema tome kakve baze već postoje u DP "Jastrebac", odnosno na osnovu dokumenata koji se već koriste u servisu. Baza podataka je izgrađena potpuno realaciono i potpuno je otvorena prema drugim realacionim bazama podataka na IBM PC računarima. Baza podataka sadrži sledeće osnovne grupe podataka:

- Tehnički podaci o pumpama, obično podaci koji se daju u katalozima,
- Podaci o presecima pumpi, uključujući i grafičku reprezentaciju preseka,
- Podaci i dokumentacija vezani za svakodnevi rad servisa, i dodatni podaci potrebni za bazu znanja.
- Ostali opšti podaci, koji nisu direktno vezani za gornje grupe podataka, ili su predviđeni za dalji razvoj programa *SP*.

5. Zaključak

Ekspertni sistem za servisiranje pumpi predstavlja moćan "alat" za efikasan i pouzdan rad servisa. Sakupljanjem znanja većeg broja eksperata sa dugogodišnjim iskustvom bilo je

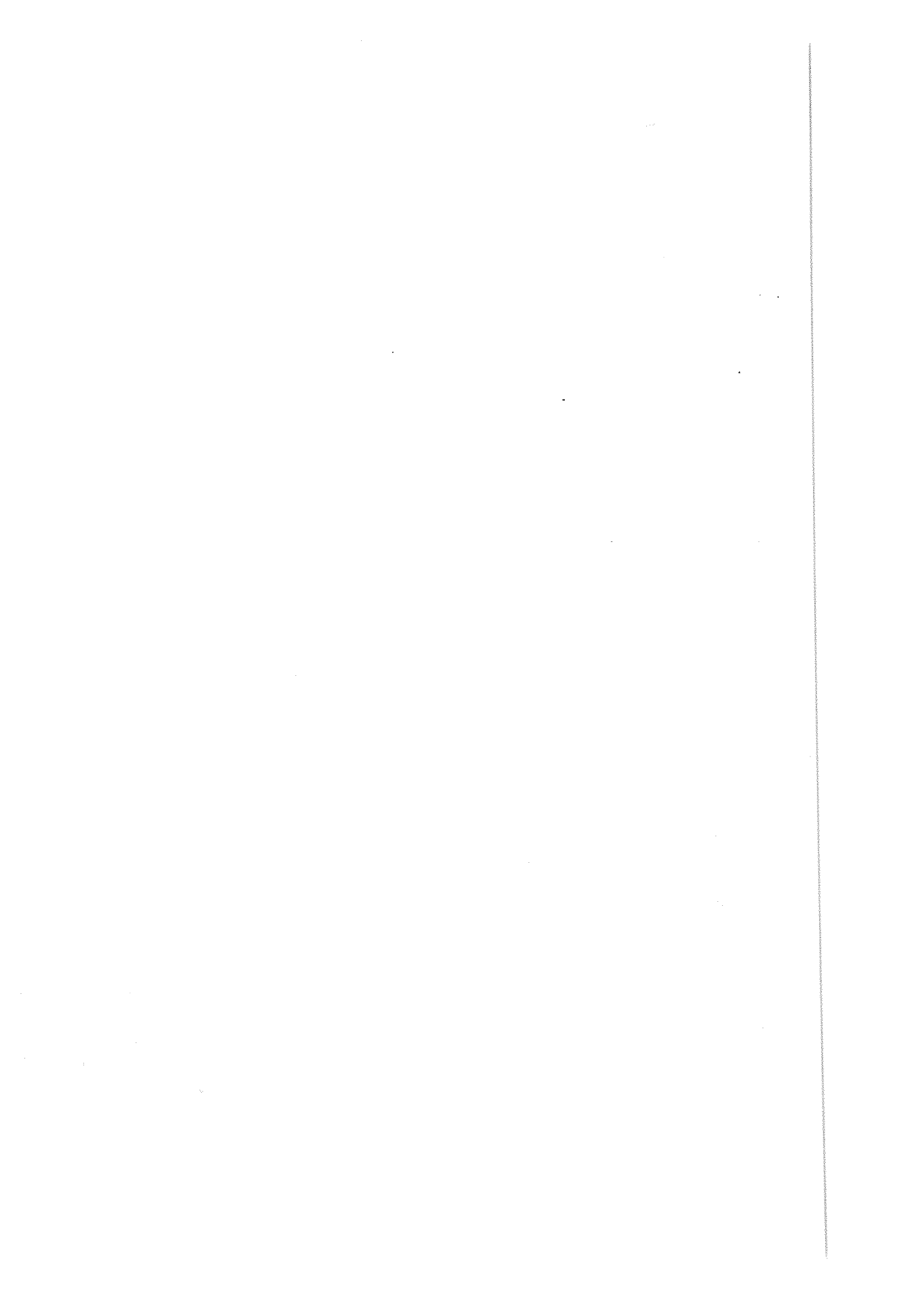
- [7] Grupa autora, Dijagrami karakteristika pumpi, Fabrika pumpi "Jastrebac"
[8] Grupa autora, Tehnički podaci, dijagrami i tabele, Tehničke informacija, Fabrika pumpi "Jastrebac"

V. Stoiljković, B. Veljković,

SP: A PUMP SERVICING EXPERT SYSTEM

Summary

The "Jastrebac" pump factory has a wide product range that must be serviced. Pump servicing is a complex problem because it includes many different pumps and is based mainly on human experience. The Pump factory has a large repair service, with many services performed yearly. The SP: Servisiranje Pumpi expert system was developed to simplify the daily work at the pump service. SP is a database which contains all the data necessary for maintaining the service administration and also an expert system which can diagnose the cause of the pump damage and thus prevent future damages. This paper gives a complete summary of this program.



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

B. Živković, I. Čosić, M. Govedarica, *

**PRILOG RAZVOJU EFEKTIVNE STRUKTURE
EKSPERTNOG SISTEMA**

Rezime

U radu se razmatraju neki zahtevi u razvoju ekspertnih sistema za projektovanje fleksibilnih montažnih sistema. Prezentirane su i analizirane neke karakteristike klasične strukture i efektivne strukture ekspertnih sistema. Naglasak je stavljen na efektivnu strukturu, u okviru koje je definisana objektno-orijentisana struktura podataka i razvijena baza znanja. Posebno se razmatra problem izbora inteligentne baze podataka, kao i veza između baze podataka i baze znanja.

1. UVOD

Veoma složene potrebe inženjerske prakse, rastući zahtevi u pogledu kvaliteta i ekonomičnosti, uslovljavaju razvoj i primenu savremenih softverskih alata. Tendencije su u integraciji tradicionalnog pristupa bazama podataka sa sistemima za računarom podržano projektovanje - CAD i novijim informacionim tehnologijama: objektno orijentisanim razvojem, ekspertnim sistemima, hipertekst sistemima, u okruženje inteligentne baze podataka.

Na Institutu za industrijske sisteme se u okviru rada na međunarodnom istraživačkom projektu: "Projektovanje fleksibilnih montažnih sistema korišćenjem objektno orijentisanih alata, baziranih na CAD/CAP - modelu proizvoda", u saradnji sa IAO institutom iz Štutgarta, čine napori u razvoju objektno orijentisanog sistema za projektovanje fleksibilnih montažnih sistema, zasnovanog na ekspertskom znanju i objektno orijentisanoj bazi podataka.

2. EKSPERTNI SISTEMI I BAZE PODATAKA

Ekspertni sistem se generalno definiše kao [3]:

Kompjuterski program koji se oslanja na znanje i rasuđivanje pri obavljanju složenih zadataka koje obično izvršava samo čovek-ekspert. Ekspert rasuđuje i dolazi do zaključaka na osnovu ličnog znanja. Na sličan način, ekspertni sistem rasuđuje i donosi zaključke bazirane na znanju koje poseduje.

Osnovne karakteristike ekspertnih sistema su:

- obuhvat i korišćenje ekspertskog znanja,
- odvajanje podataka od metoda,

* Branko Živković, asistent, dipl. inž. maš., Dr Ilija Čosić, red. prof., dipl. inž. maš., Miro Govedarica, asistent, dipl. inž. geod., Fakultet tehničkih nauka, Institut za industrijske sisteme, 21000 Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 7

- uključenje kvalitativnih i neodređenih podataka,
- objašnjenje toka rasuđivanja,
- izmene i proširenje podataka bez izmene logike,
- komunikacija prirodnim jezikom sa korisnikom,
- visok nivo prezentacije.

Centralno mesto u strukturi ES, sa stanovišta korisnika, ima baza znanja, koja je najčešće implementirana kroz "bazu pravila" i "bazu činjenica". Baza znanja je dakle, znanje eksperata iz raznih oblasti, formalizovano na način podesan za procesiranje od strane inferencne komponente ES. Inferencna komponenta ES je skup strategija i tehnika za upravljanje znanjem, njegovo interpretiranje, dostizanje zaključaka i objašnjenje toka zaključivanja. Nezavisnost podataka od metoda koji operišu nad njima je jedna od bitnih karakteristika i prednosti tehnologije ES.

Znanje se u ekspertnim sistemima izražava u formi činjenica, pravila i frejmova. Produkciona pravila (Newell & Simon 1972.) predstavljaju osnovnu strukturu za formalizaciju znanja u formi pogodnoj za zaključivanje. Bazirana su na propozicionoj logici i najčešće imaju "IF-THEN" formu. Kombinovana sa činjenicama, pravila se koriste za donošenje zaključaka koji predstavljaju nove činjenice u bazi podataka. Proces kombinovanja činjenica i pravila radi dedukovanja novih činjenica predstavlja proces zaključivanja. Čest slučaj je predstavljanje procesa zaključivanja putem "stabla mogućnosti" ili "stabla zaključivanja", koje pruža mogućnost dijagramskog prikazivanja strukture znanja i pomaže u vizualizaciji dinamičkog procesa zaključivanja.

Inteligentne baze podataka (IBP) se najopštije mogu definisati kao *baze podataka koje upravljaju informacijama na prirodan način, čineći lakšim čuvanje, pristup i korišćenje informacija* [1]. Korišćeni termin "informacija", umesto "podatak", ukazuje da inteligentne baze ne funkcionišu na način tradicionalnih aplikacija, već koriste mogućnosti integracije novih informacionih tehnologija - ekspertnih sistema, hipermedije, on-line pretraživanja informacija i objektivne orijentacije.

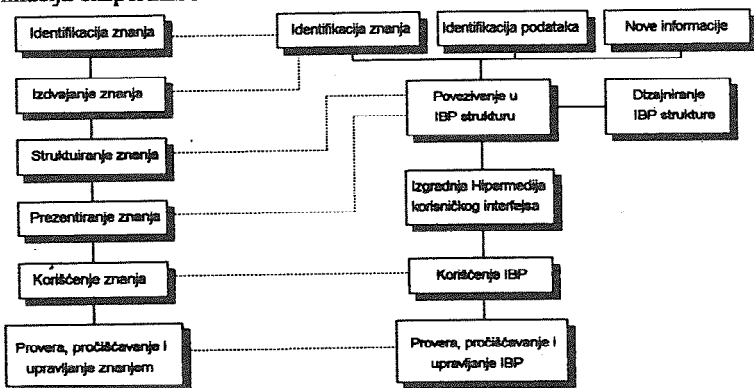
Centralni problem u razvoju inteligentnih baza podataka je proširenje modela baze podataka predstavljanjem znanja i mogućnostima zaključivanja. Način za realizaciju takvog modela je integracija ekspertnih sistema i baza podataka, preko modela za prezentovanje relacija baze podataka u okviru baze znanja (objektni model i model predikata), čime se dobijaju visoke mogućnosti programiranja i formalizmi za prezentovanje znanja. Ekspertni sistemi ne pružaju samo mogućnost arhiviranja ekspertiza, znanja o bazama podataka u formi pogodnoj za deduktivno pretraživanje i njihovo korišćenje po potrebi, već pružaju i jezičke konstrukcije visokog nivoa, za programiranje i izgradnju softverskog interfejsa između sistema za upravljanje bazama podataka i samih ekspertnih sistema: pravila "backward" & "forward", pridružene predikate, relacione predikate, prezentaciju znanja, itd.

Sistemi inteligentnih baza podataka pružaju način kombinovanja najboljih svojstava sistema baza podataka i ekspertnih sistema. Činjenice, pravila, objekti i inferencna komponenta su osnovni alati za prezentovanje znanja i zaključivanje u okviru inteligentnih baza podataka, a takođe su korisni u izgradnji hipertekst sistema, konvencionalnih baza podataka, i naprednijih sistema za interpretaciju i pretraživanje teksta.

Integracija ekspertnih sistema i sistema baza podataka u okviru inteligentne baze podataka je posebno pogodna, jer omogućuje korisniku da direktno manipuliše semantikom baze podataka, za razliku od prilaza gde je semantika čvrsto vezana za model podataka. Ovim se eliminiše potreba za definisanjem kompleksnih semantičkih konstrukcija u okviru osnovnog jezika baze podataka. Potencijalne mogućnosti sistema integracije ekspertnog sistema i baze podataka su sledeće:

- mogu se izraziti sofisticirani upiti, kao rekurzivni upiti,
- mogu se razviti napredni interfejsi, kao na primer komunikacija prirodnim jezikom,

- rad sa pravilima i podacima odvija se u istom programskom okruženju, bez korišćenja spoljnih alata za razvoj i korišćenje ekspertnih sistema; klasične aplikacije baza podataka i njihovo inteligentno procesiranje funkcionišu zajedno,
- deklarisanje i upravljanje uslovima integriteta baze podataka odvija se na prirodan, neproceduralan način; omogućen je konkurentni pristup istoj bazi podataka različitih aplikacija ekspertnih sistema.



Slika 1. Metodološke osnove razvoja ekspertnog sistema i inteligentne baze podataka

Izgradnja ekspertnog sistema i inteligentne baze podataka je složen proces. Slika 1. ilustruje analogiju između ta dva metodološka postupka.

Integracija sistema baza podataka i ekspertnih sistema u okruženje inteligentne baze podataka je mnogo više od jednostavne I/O veze između ekspertnog sistema i baze podataka. Ona zahteva tesno povezivanje ovih sistema na nivou jezika, na programskom i razvojnom nivou, na nivou korisničkog okruženja, i na nivou konkurentnog pristupa i oporavka.

Integracija razvojnih okolina sistema baza podataka i ekspertnih sistema zahteva proširenje paradigme oba sistema. Tipične karakteristike razvoja ekspertnog sistema kao što su editovanje, provera grešaka i tok izvršenja pravila, treba da budu proširene da podrže interakcije sa bazom podataka. Tradicionalni moduli, kao što su ulaz podataka ili generisanje izveštaja u sistemima baza podataka takođe moraju biti modifikovani i prilagođeni za interakciju sa ekspertnim sistemom. Mehanizam za objašnjavanje procesa zaključivanja takođe treba da bude inkorporiran u aktivnosti baze podataka, kao što su generisanje izveštaja i aplikacija.

3. MODEL INTELIGENTNE BAZE PODATAKA

U okviru ovog rada biće predstavljen konceptualni model podataka sistema koji povezuje osnovne koncepte integracije baza podataka i ekspertnih sistema. Osnovne ideje podržane u konceptijskom modelu podataka sistema su:

- Objektna orijentacija je korišćena kao osnovna paradigma u predstavljanju svih podataka i znanja. Svi koncepti, baze podataka, objekti i drugo, su posmatrani sa tačke gledišta objektno orijentacije.
- Korišćen je prošireni DBMS sa modučnostima "forward", "backward" i neegzaktan zaključivanja sa unifikacijom. Inferencna komponenta može simultano da operiše i sa objektno orijentisanim i sa logičkim pogledom u istu bazu podataka; objektno orijentisane karakteristike i karakteristike bazirane na pravilima su integrisane u mašinu.
- Tehnologije razvijene pod tačkama a) i b) se koriste za podršku dinamičkom hipermedija sistemu. Svi objekti sistema (forme, slike, direktorijumi, slogovi, itd.) se tretiraju kao

objekti smešteni u objektno orijentisanom, deduktivnoj bazi podataka. Dinamičke veze među objektima se implementiraju kroz eksplicitne tvrdnje baze podataka i deduktivna pravila.

Primenjena metodologija dizajna se oslanja na niz tehnika koje su manje ili više zasnovane na apstrakciji. Globalni dizajn je izvršen prvi, u cilju izgradnje globalnog modela podataka i specifikacije procesa. U narednim fazama, ovaj globalni model je dekomponovan u hijerarhiju detaljnih specifikacija. Entiteti su dekomponovani u njihove komponente (agregacija), podtipove (generalizacija) i »member« tipove (pokrivanje). Ova strukturalna dekompozicija je ostvarena korišćenjem sekvencijalnih, uslovnih i selektivnih kompozicijskih pravila. S druge strane, entiteti na višem nivou su izvedeni iz već definisanih, koristeći prethodno opisane apstrakcije.

Lokalizacija je korišćena neprekidno, praktično na način specificiranja apstraktnih akcija za svaki tip entiteta, čime je omogućen postupni dizajn i smanjenje kompleksnosti svake faze dizajna. Primenjena metodologija zahtevala je definisanje:

- objekata (primitivnih, jednostavnih, složenih) kao predstave fizičkih i konceptualnih stvari iz naše radne okoline (montažno radno mesto),
- instanci kao specifičnih stvari ili karakteristika,
- klasa kao objekata za kreiranje instanci, odnosno kao šablona i opisa za kategoriju ili kolekciju sličnih stvari, a ujedno i interfejsa ovih stvari prema okolini,
- vrednosti kao instanci klasa,
- rekurzivnih koncepata kao složenih klasa: nadređeno-podređenih klasa i meta klasa,
- metoda (Selector, Constructor, Iterator).

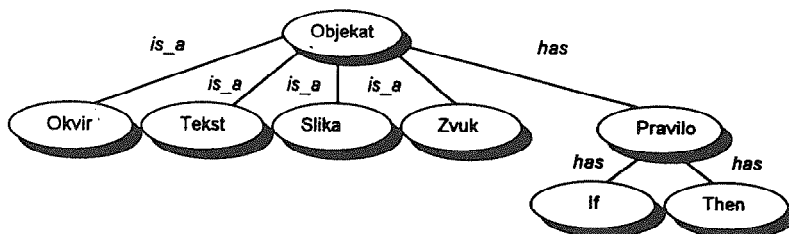
Osnovni strukturalni koncept ovog modela je »objekat«, koji odgovara konceptu objekta u okviru objektno orijentisanog sistema ili konceptu elementa hipermedija sistema. U različitim kontekstima »objekat« ima sledeće manifestacije:

- u kontekstu ekspertnog sistema predstavlja *okvir*,
- u objektno orijentisanom sistemu je *objekat*,
- u hipertekst sistemu je *tekst fragment*,
- u hipermedija sistemu je *slika, dijagram ili zvuk*.

Veoma važno svojstvo, na ovaj način definisanog modela, je unifikacija očigledno različitih entiteta u jednu konceptijsku strukturu »objekat«, koja naglašava zajedničku funkciju obuhvata i predstavljanja informacija, što je ilustrovano slikom 2.

Objekti poseduju atribute, karakterisane u skladu sa kontekstom u kome se pojavljuju. Svaki atribut je određen imenom koje je lokalno za taj objekat. Atributi mogu imati dodeljene vrednosti, a vrednosti mogu biti i drugi objekti sistema, tako da isti objekat može biti vrednost atributa u više objekata. Za atribute se uobičajeno vezuju i »pridruženi predikati« koji se aktiviraju pri svakom pristupu atributu. Postoje tri definisana tipa pridruženih predikata koji ugrađuju dinamička svojstva objektima:

- if-added* - aktivira se pri svakom pristupu vrednosti atributa,
- if-added* - aktivira se pri svakom modifikovanju vrednosti atributa,
- if-removed* - aktivira se pri brisanju vrednosti atributa,



Slika 2.

Da bi objekte mogli koristiti, izvršavati operacije nad njima, neophodno je definisati skup *metoda* - operacija, lokalnih za dati objekt. Kolekcije atributa i metoda dodeljenih objektu, određuju ponašanje objekta. Svaki objekat ima lokalnu *bazu činjenica*, određen broj tvrdnji specifičnih samo za taj objekat, kojoj se pristupa i menja putem metoda. Izmenom baze činjenica može se izmeniti interno stanje objekta, čime je omogućeno skrivanje informacija (*information hiding*), tj. skrivanje interne implementacije objekta.

Svaki objekat ima najmanje jednog *objekta roditelja*, a može ih imati i više, čime je obezbeđen princip višestrukog nasleđivanja. Objekti nasleđuju attribute i metode svojih roditelja. Svaki objekat može imati skup instanci, generičkih replika strukture objekta.

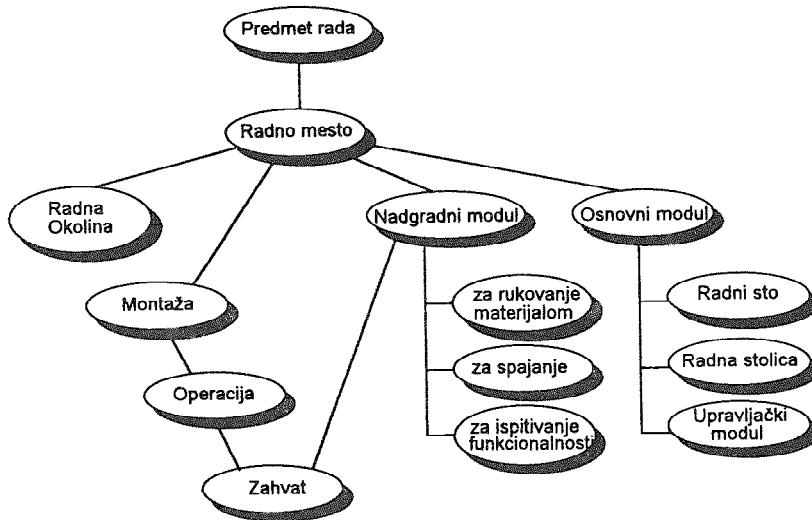
Skupovi atributa i metoda nam omogućavaju da objekte koristimo za predstavljanje znanja, a svaki objekat posebno ima svoju *prezentaciju*, koja definiše način na koji će objekat biti prezentiran korisniku. Ovaj mehanizam pruža mogućnost da se znanje i podaci sagledavaju na različite načine, putem dijagrama, slika, pravila, tekstualnih fragmenata itd. Svaka prezentacija objekta može imati i skup *veza (links)* koje upućuju na druge objekte:

- direktne veze posebno formulisane ili
- dinamičke veze dobijene zaključivanjem.

Operacijsku komponentu modela čine sledeći metodi, definisani u okviru »objekta«:

- Select(), Prikaz(), Pregled(),
- Dodaj(), Promeni(), Briši(),
- PrimeniPraviloBC(), PrimeniPraviloFC(), Objasni().

Slika 3. prikazuje osnovnu strukturu objekata podsistema za projektovanje montažnog radnog mesta.



Slika 3.

Struktura objekata konkretnog problema je načelno određena, tj. identifikovani su svi neophodni objekti i njihove međusobne veze u postupku izbora i rasporeda nosača predmeta rada na radnom mestu. Model objekata je moguće proširiti, u skladu sa zahtevima kompletne metodologije projektovanja montažnih sistema, a da se ne naruši prethodno definisana struktura.

Korišćenjem definisanih struktura (okvir, tekst, slika, objekat) lako je nadograditi postojeći model povezivanjem novih objekata, kao na primer klasa uređaja za ostvarenje navojnih spojeva, za presovanje, lemljenje, zakivanje itd.

4. ZAKLJUČAK

Objektno orijentisani model podataka predstavljen u ovom radu je pokušaj izgradnje inteligentne baze podataka (IBP) u oblasti projektovanja montažnih sistema. Niz prednosti objektno orijentisanog dizajna, mogućnosti koje pružaju deduktivne tehnologije hipermedije i sam problem projektovanja montažnih sistema bili su polazna osnova za ovaj rad.

Kao rezultat rada definisan je opšti model inteligentne baze podataka u okviru kojeg je zatim definisan i model izbora i rasporeda nosača predmeta rada na montažnom radnom mestu.

Pravci daljeg istraživačkog rada su u razradi konceptijskog modela definisanog ovim radom i postupnoj, faznoj implementaciji prototipa inteligentne baze podataka.

5. LITERATURA

- [1] Parsaye, K., Chignell, M., Khoshafian, S., Wong, H., "Intelligent Databases, Object-Oriented, Deductive Hypermedia Technologies", John Wiley & Sons, New York, 1989.,
- [2] Meyer, B., "Object-Oriented Software Construction", Prentice Hall, Englewood Cliffs, 1988.,
- [3] Kulikowski, C., Weiss, S., "A Practical Guide to Designing Expert Systems", Chapman & Hall, London, 1987.,
- [4] Alagić, S., "Object-Oriented Database Programming", Springer-Verlag, New York, 1989.,
- [5] Zelenović, D., Čosić, I., "Montažni sistemi", Naučna knjiga, Beograd, 1991.,
- [6] Čosić, I., "Razvoj sistema zasnovanog na znanju za oblikovanje montažnih sistema", IAO-Stuttgart, 1991.,
- [7] Čosić, I., Živković, B., Anišić, Z., "Razvoj strukture efektivnog ekspertnog sistema za projektovanje montažnih sistema", str. 1.48 - 1.51, Naučno-stručna konferencija INDUSTRIJSKI SISTEMI IS '93, Novi Sad, 1993.,
- [8] Čosić, I., Živković, B., Govedarica, M., "Istraživanje uslova za povezivanje baza podataka i baza znanja u objektno-orijentisanim informacionim sistemima", rad prihvaćen na V Međunarodnoj naučno-stručnoj konferenciji MMA '94 FLEKSIBILNE TEHNOLOGIJE, Novi Sad, Jugoslavija, 08. - 09.06.1994.,

B. Živković, I. Čosić, M. Govedarica

A CONTRIBUTION TO THE DEVELOPMENT OF AN EFFECTIVE EXPERT SYSTEM

Summary

This paper presents some demands in the development of expert systems for flexible assembly systems planning. Some characteristics of the traditional structure and the effective structure of expert systems are presented. Emphasize is placed on the effective structure. An object-oriented data structure and database are defined within it. The problem of choosing an intelligent database is particularly examined, as well as the connection between the database and the knowledge base.

KVALITET

Sistemi kvaliteta
Tehnike inženjerstva kvaliteta
CAQ model

QUALITY

Quality Systems
Quality Engineering
CAQ

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

S. Arsovski, M. Perović, Z. Arsovski, Z. Mirović, M. Lazić *

**MODELIRANJE CILJEVA KVALITETA POMOĆU PETRIJEVIH
MREŽA**

Rezime

U radu su date osnove politike i ciljeva kvaliteta u skladu sa serijom standarda JUS ISO 9000. Primenom konceptualnog modeliranja utvrđena je hijerarhija ciljeva koji su modelirani pomoću Petrijevih mreža. U radu su prikazani delimični rezultati modeliranja ciljeva kvaliteta.

1. UVOD

U CIM konceptu naglašena je primena informacionih tehnologija radi integracije poslovnih procesa i odgovarajućih informacionih tokova. Isti zahtevi slede i iz serije standarda JUS ISO 9000. Zbog toga se pri razvoju CIM koncepta domaće industrije mora maksimalno uključiti i aspekt kvaliteta. To se označava akronimom CIMQ, gde Q označava uključivanje aspekta kvaliteta (Q - Quality).

Sinteza CIM sistema i sistema kvaliteta kroz CIMQ koncept mora se ostvariti na svim nivoima upravljanja. Osnova za ovu sintezu je utvrđivanje zajedničkih ciljeva CIM sistema i ciljeva kvaliteta. Ugradnjom ciljeva kvaliteta u CIM ciljeve, ili kako je realizovano u predloženom CIMQ konceptu, razvojem globalnog poslovnog cilja u kome su ciljevi kvaliteta reprezent ekonomskih ciljeva, stvara se osnova za razvoj odgovarajuće strategije CIM-sistema i korespondentne strategije kvaliteta.

* Prof Dr Slavko Arsovski, dipl. inž., Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac, Sestre Janjić, br. 6
Prof Dr Milan Perović, dipl. inž., Mašinski fakultet, 81000 Podgorica
Mr Zora Arsovski, dipl. inž., viši predavač, Viša tehnička škola, smer za informatiku, 34000 Kragujevac, Trg topolivaca, br. 14
Zoran Mirović, dipl. inž., samostalni istraživač, Fabrika kamiona, 34000 Kragujevac, Trg topolivaca, br. 4
Prof Dr Miodrag Lazić, dipl. inž., Mašinski fakultet, 34000 Kragujevac, Sestre Janjić, br. 6

U radu su prikazani delimični rezultati modeliranja ciljeva kvaliteta pomoću Petrijevih mreža.

2. CILJEVI KVALITETA

Ciljevi poslovnog sistema proizilaze iz motiva funkcionisanja u ekonomskoj, socijalnoj i etičkoj sferi. Ciljevi su željena stanja preduzeća do kojih se dolazi ili ne dolazi nakon realizacije određenih planskih odluka. Oni izražavaju viziju poslovnog sistema (preduzeća) u budućnosti. Nakon definisanja ciljeva, kao primarnih planskih odluka, oni postaju orijentir za razvoj optimalnih politika i strategija i nezaoblazni element kontrole efikasnosti upravljanja. Za razliku od ciljeva, planski zadaci predstavljaju operacionalizaciju ciljeva. Dok se ciljevi mogu dati i u opštim formulacijama, planski zadaci se postavljaju kao tačno preciziran rezultat, koji se mora ostvariti u određenom vremenskom trenutku ili intervalu vremena. Iskazano na drugi način, ciljevi su orijentisani na stanja ili situacije, koje se žele ostvariti, pa su stoga rezultat interakcije preduzeća i okruženja. Planski zadaci odnose se na interne aktivnosti preduzeća i njima se daju odgovori na sledeća pitanja: šta, ko, kada, kako i gde treba da obavi.

Svi ciljevi treba da su komplementarni i medjusobno uskladjeni. Ovo je vrlo teško obezbediti, jer u najvećem broju slučajeva postoji konflikt ciljeva. Nikad ne postoji samo jedan cilj, već skup ciljeva, koji se može urediti u odgovarajući sistem ciljeva sa vertikalnom i horizontalnom strukturom. U strukturi ciljeva definišu se i njihovi prioriteti. Ciljevi moraju biti jasno definisani i po mogućstvu kvantificirani, što je vrlo teško postići.

Sistem ciljeva kvaliteta mora obuhvatiti ključne elemente kvaliteta kao što su pogodnost za upotrebu, radna svojstva proizvoda, bezbednost i pouzdanost proizvoda. Metodom konceptualnog modeliranja utvrđene su relacije između navedenih podciljeva kvaliteta. Analize ukazuju da u skladu sa standardima serije JUS ISO 9000, u sistem ciljeva kvaliteta treba uvrstiti i troškove kvaliteta i orijentisanost prema kupcu. Troškovi kvaliteta su vezni element za produktivnost koja može biti poseban cilj poslovnog sistema (odnosno CIM sistema), ili se može posmatrati u okviru ciljeva kvaliteta. Orijetisanost prema kupcu je vezni element sa fleksibilnošću, koja može biti nezavistan cilj poslovnog sistema (ili CIM sistema) ili uključena u sistem ciljeva kvaliteta. Na taj način izvršeno je modeliranje ciljeva kvaliteta i stvoreni su svi predušlovi za početak radova na simulaciji ciljeva kvaliteta.

Politika je planska odluka, kojom se preciziraju principi ili kriterijumi koji služe za usmeravanje procesa odlučivanja. Poslovna politika se formuliše za područja od posebne značaja za ceo poslovni sistem ili njegove podsisteme.

Vrlo važan segment poslovne politike preduzeća je politika kvaliteta. Definisane ciljeva, a zatim i politike i strategije kvaliteta, kao i programa unapredjenja kvaliteta mora započeti kreiranjem klime i kulture preduzeća u pogledu kvaliteta, dok se njihova realizacija spro-vodi izvođenjem akcija, koje unapredjuju kvalitet.

Kultura preduzeća sadrži vrednosti i norme koje treba da usvoje i primenjuju svi zaposleni u preduzeću. Vrednosti su vremenski stabilni iskazi zaposlenih o željenim stanjima poslovnih resursa, a norme su vrednosti čije poštovanje ili nepoštovanje je pozitivno ili negativno sankcionisano.

Pored zvanične kulture, u svakom preduzeću postoje i subkulture, koje mogu biti međusobno ili u odnosu na zvaničnu kulturu komplementarne, indiferentne ili konfliktne. Zadatak najviših rukovodećih struktura preduzeća je da stvore konzistentnu i snažnu motivacionu kulturu, a u okviru nje poželjnu kulturu kvaliteta. Kultura je rezultat interakcije sa okruženjem, strategijom i organizacijskom strukturom preduzeća.

Nakon kreiranja kulture kvaliteta, zadatak upravljačkih struktura je da definišu ciljeve, politiku i strategiju kvaliteta.

3. STRATEGIJE KVALITETA

Strategija je planska odluka, kojom se definišu osnovni načini ostvarivanja ciljeva preduzeća. Osnovni zadatak pri formulisanoj strategiji je davanje odgovora na pitanje "šta treba uraditi danas da bi se sutra ostvarili ciljevi". Pri formulisanoj strategiji treba uzeti u obzir orijentaciju strategije na ostvarivanje efektivnosti i efikasnosti poslovanja, promenu pozicije preduzeća na tržištu, rast i razvoj preduzeća.

Strategija je aktivna reakcija preduzeća na promene na tržištu. Pri tome se određuju oblasti na koje se može uticati (tzv. kontrolisani faktori), i oblasti u kojima se preduzeće mora prilagodjavati spoljašnjim uticajima.

U zavisnosti od oblasti delovanja razlikuju se:

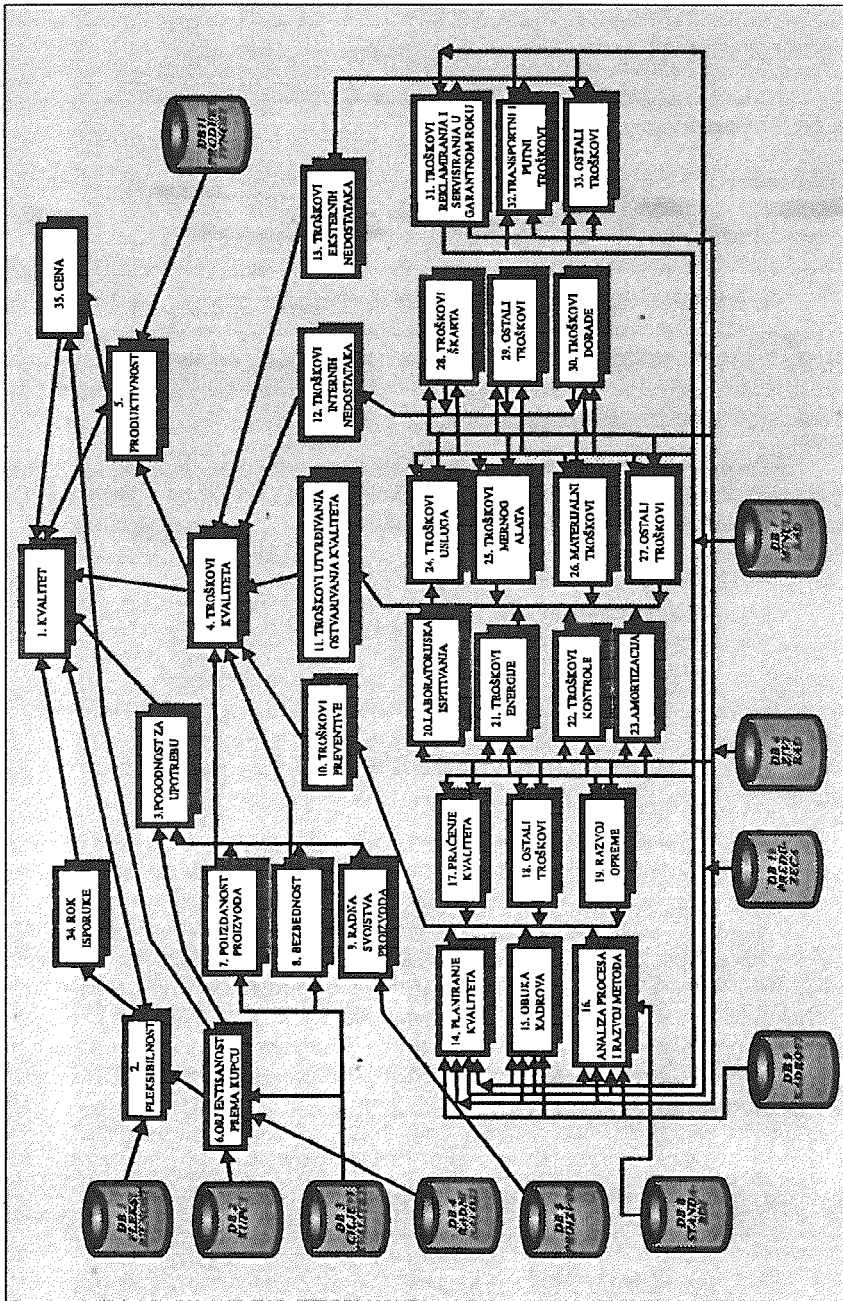
- proizvodne strategije,
- informacione strategije,
- strategije kvaliteta itd.

Strategije kvaliteta razvijaju se u skladu sa ciljevima i politikama kvaliteta. U domaćoj literaturi neke od navedenih strategija su manje poznate i ne postoji adekvatan naziv za njih, pa su navedeni i originalni nazivi na engleskom jeziku. Zbog ograničenog prostora ne daju se šira objašnjenja navedenih strategija.

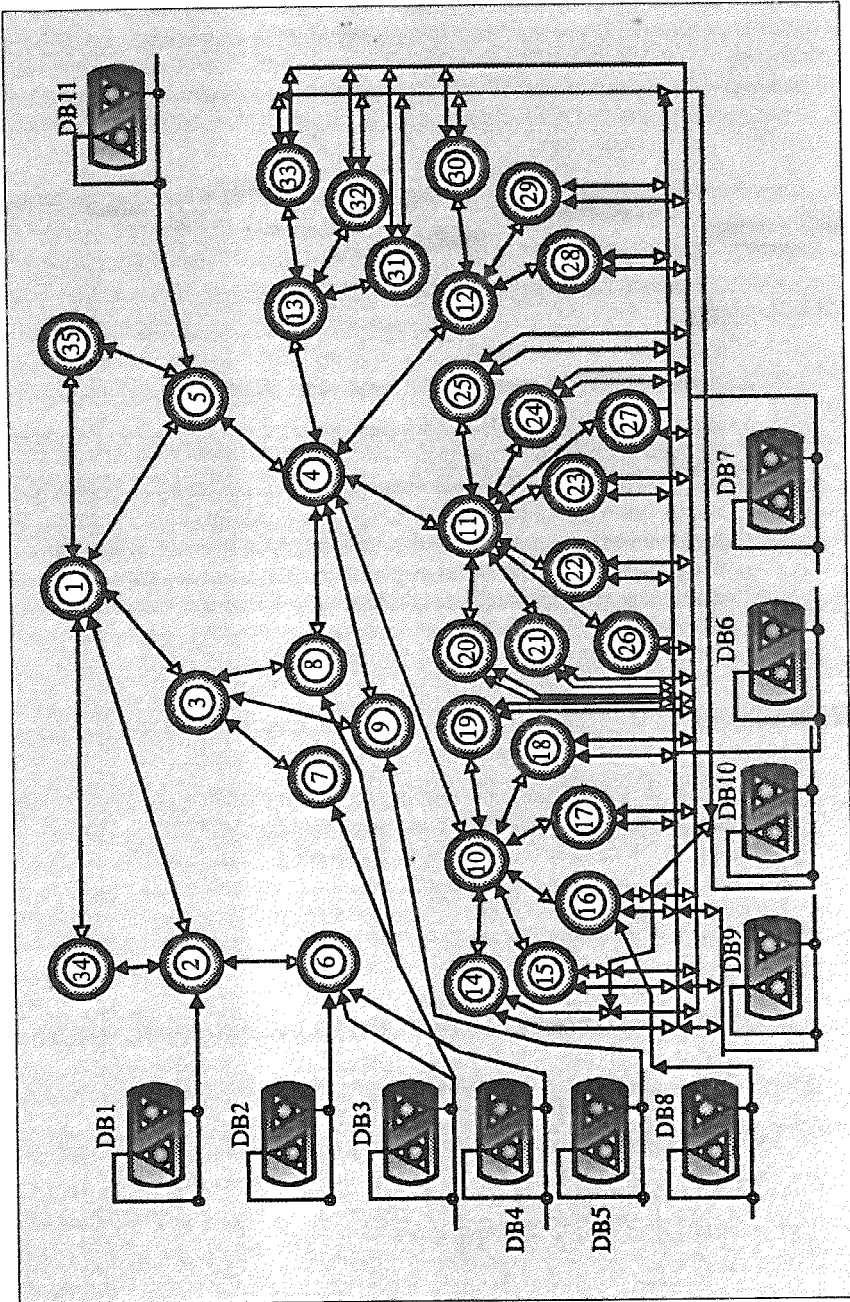
Od navedenih strategija kvaliteta u savremenim proizvodnim uslovima posebno su značajne strategije čija realizacija ne zahteva visoka materijalna ulaganja. To su strategije kvaliteta koje se odnose na kulturu preduzeća u odnosu na kvalitet, sistem obučavanja i organizaciju baziranu na vremenu, kao i socijalno okruženje. Ostale strategije kvaliteta su dugoročnog karaktera, zahtevaju visok nivo znanja i investicija. Efekti njihove primene se mogu odrediti "ex ante" odgovarajućim simulacionim tehnikama i na taj način, za date proizvodne uslove, može se odrediti optimalna strategija kvaliteta. Kako je strategija kvaliteta segment CIM strategije, u drugom koraku razvoja poslovne strategije potrebno je izvršiti uskladjivanje strategije kvaliteta i ostalih komponentnih strategija, a pre svega proizvodne i informacione strategije.

4. MODELIRANJE CILJEVA KVALITETA

U oblasti ciljeva kvaliteta, primenom metode konceptualnog modeliranja, utvrđen je model kvaliteta koji uključuje kao podciljeve produktivnost i fleksibilnost (sl. 1). Korišćenjem metode proširenih Petrijevih mreža utvrđen je simulacioni model kvaliteta (sl.2) na osnovu tzv. bidirektivnih grafova.



Sl. 1 Model kvaliteita



Sl. 2 Petrijev model kvaliteta

Iz izloženog modela kvaliteta može se sagledati struktura ciljeva kvaliteta. Na osnovu podataka smeštenih u odgovarajućim DB primenom softvera napisanog u jeziku C++ utvrđene su veličine podciljeva kvaliteta i ukupni nivo kvaliteta referentnog preduzeća u grani i preduzeća korisnika. Na osnovu utvrđenog ranga uticaja pojedinih veličina sistema kvaliteta, kroz određena pravila korisnik se vodi tako da izborom ciljeva kvaliteta i varijacijama veličina inputa ostvari željeni nivo kvaliteta za različite kombinacije veličina inputa. Kroz pretraživanje pravila iz baze znanja utvrđuje se prioritet, preporučene aktivnosti i redosled njihovog odvijanja.

DSS softver za oblast modeliranja ciljeva kvaliteta je u fazi razvoja inicijalnog prototipa.

5. ZAKLJUČCI

Iz navedenog mogu se izvući sledeći osnovni zaključci:

- povezivanje CIM koncepta i koncepta kvaliteta mora započeti još u fazi definisanja ciljeva i strategija,
- u domaćim proizvodnim uslovima od mogućih strategija kvaliteta pednost imaju one strategije koje zahtevaju manja materijalna ulaganja, što uslovljava prethodno modeliranje efekata primene svake strategije,
- zbog toga se uspešno upravljanje kvalitetom ne može zamisliti bez informacionog sistema kvaliteta podržanog računarnom, odnosno CAQ/CIQ sistema.

6. LITERATURA

- [1] Arsovski Z., Razvoj sistema za odlučivanje pri projektovanju CIM - a, Doktorska disertacija (predata aprila 1994.), Mašinski fakultet, Podgorica, 1994.
- [2] Arsovski S., Vukčević T., Lazić M., Smiljanić S., Stanković S., Stefanovi Ž., Kvalitet i menadžment, Ministarstvo za nauku i tehnologiju Republike Srbije, Beograd, 1993.

QUALITY GOALS MODELLING USING EXTENDED PETRI NETS

Summary

The paper gives basic information about quality goals, policies and strategies according to the JUS ISO 9000 series standards. The hierarchy of goals modelled by extended Petri nets was established by conceptual modelling. The paper presents partial results of quality goals modelling.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Bulatović M.*
Perović M.

SISTEM KVALITETA U FUNKCIJI KRITERIJUMA ODRŽAVANJA OPREME

Rezime

Sistem kvaliteta definisan internacionalnim standardima serije ISO 9000 na više mjesta pominje opremu za koju treba imati garancije da može osigurati traženi kvalitet (9001-9002).

Medjutim taj zahtjev se dalje ne razradjuje osim što se u standardu JUS ISO 9004 u tacki 11.3 - kontrola opreme i održavanje, kaže "Radi osiguranja stalne sposobnosti procesa, treba izraditi program preventivnog održavanja".

Uloga održavanja u sistemu kvaliteta je mnogo veća nego što pokazuje navedeni citat, a održavanje kao proces zaslužuje puni tretman, postavljanje i provjere procedura u sistemu kvaliteta.

Namjera autora bila je da ovim radom skrenu pažnju čitalaca na jedan važan segment preduzeća i ukažu na ulogu i mjesto održavanja opreme u sistemu obezbijedenja kvaliteta.

1. UVOD

Jedna od definicija i shvatanja sistema kvaliteta da je to "skup svih svojstava i karakteristika proizvoda, procesa i usluga, koji se odnosi na mogućnost da zadovolji utvrđene ili indirektno traženi kvalitet" i, možda pretenciozna karakteristika održavanja sredstav za rad da je to "osnovni podsistem proizvodnog sistema", s druge strane, potstakli su autore da u sistemu kvaliteta detaljnije razrade ulogu funkcije održavanja sistema.

ISO 9000 kao medjunarodno priznati standardi o upravljanju i obezbedjenju kvaliteta odmah poslije donosenja 1987 g. postali su svetski model savremenih sistema kvaliteta. Postoji podatak da ih je usvojilo ili sa njima usaglasili svoje nacionalne standarde 40 zemalja sirom svijeta.

Priroda i stepen organizacije, struktura, resursi, mogućnosti, procedure i procesi cine osnovu upravljackih odluka, koje se odnose na kvalitet.

Standardi ISO 9000 i njihova primjena, sprecavajući potencijalne greske, eleiminisu mnoge "decje bolesti" procesa, kvaliteta kao i visoke troskove.

* mr Miodrag Bulatović, prof. dr Milan Perović, Mašinski fakultet u Podgorici

Proizvodni sistem može ostvariti ciljeve :

- raspoloživost proizvodne strukture,
- tržišnu sigurnost (kvalitet, količinu i rokove isporuke),
- držanje parametara procesa rada u dozvoljenim granicama,
- mogućnost predviđanja događaja u proizvodnom procesu,
- ekološku sigurnost,
- pozitivnu motivaciju zaposlenih i dr.,

samo ako ima potreban nivo efektivnosti koja je određena relacijom

$$Es(t) = G(t) P(t) FP(t)$$

i u funkciji je stanja sistema u radu i otkazu, pri čemu su dati činioci efektivnosti gotovost sistema, pouzdanost sistema i funkcionalna podobnost ili podobnost održavanja.

Efektivnost sistema je jedan od osnovnih pokazatelja uspješnosti održavanja, što potvrđuje tezu autora da, u procesu izrade procedure i provjera koje zahtijevaju standardi ISO 9001-9004, održavanje dobije zasluženo mjesto.

2. ODRZAVANJE U PROCESU UPRAVLJANJA KVALITETOM I OBEZBEDJENJA KVALITETA (JUS ISO 9000)

Faktori izbora odgovarajućeg modela za proizvod ili uslugu svaki posebno na direktan način vezani su za funkciju održavanja:

-Složenost procesa projektovanja, koji se odnosi na složenost izrade projekta za proizvod, dijelom zavisi od tražene i/ili projektovane pouzdanosti proizvoda. U najvećem broju slučajeva podaci o ponasanju proizvoda u eksploataciji, posebno kada su u pitanju masine i oprema, kao i njihovi dijelovi, potiču iz održavanja i zavise od kvaliteta sistema održavanja u svim njegovim elementima.

-Složenost proizvodnog procesa, koji se odnosi na raspoloživost proizvodnih procesa, potrebu za razvojem novih procesa, broj i raznolikost proizvodnih procesa i uticaj procesa na funkcionisanje proizvoda ili obavljanje usluga elementarno je povezana sa procesom održavanja.

-Bezbednost proizvoda ili usluga, zavisi od rizika nastanka otkaza i posledica koje nastaju zbog otkaza i također je čvrsto povezan sa procesom održavanja, kako podacima u toku projektovanja tako funkcijom u procesu eksploatacije.

-Ekonomičnost, se pojavljuje kao logična posledica prethodnih faktora i, zajedno s njima, održavanja.

Ilustracijom učesca funkcije održavanja u faktorima izbora modela za proizvod ili uslugu praktično je dokazano mjesto održavanja u sistemu kvaliteta kao ravnopravnog činioca a ne činioca koji se podrazumijeva ili sasvim sporedno pomena.

3. ODRZAVANJE KAO MODEL KOJI UČESTVUJE U OBEZBIJEDJENJU KVALITETA U PROJEKTOVANJU-RAZVOJU, PROIZVODNJI I SERVISIRANJU (JUS ISO 9001)

Ovim međunarodnim standardom utvrđuju se zahtjevi za sistem kvaliteta kada se ugovorom između dvije strane od isporučioca zahtijeva da pokaže svoju sposobnost da projektuje i isporuci proizvod.

Održavanje dolazi do izražaja u dijelu sposobnosti izrade i isporuke proizvoda.

U oblasti odgovornosti rukovodstva za sistem kvaliteta (4.1) u okviru verifikacionih aktivnosti potrebno je imati kadar za provjeru i verifikaciju održavanja, kao podsistema, koje, da bi zadovoljilo svoju funkciju cilja mora biti podvrgnuto kontrolisanju i procenju procesa.

U dokumentovani sistem kvaliteta (4.2) koji obuhvata pripremu i efikasnu primjenu postupaka i uputstava dokumentovanog sistema kvaliteta, ulazi i jedna aktivnost koja, kada je u pitanju održavanje zahtijeva posebnu pažnju i na čiji tretman kupac obraća posebnu pažnju, a to je:

-utvrđivanje potreba i nabavka uređaja i opreme za kontrolisanje sredstava za proizvodnju i obucenost kadrova koji su neophodni za postizanje neophodnog kvaliteta.

Organizacione i tehnicke veze (4.2.2.) između različitih grupa (cinioca u procesu proizvodnje) moraju se utvrditi, neophodne informacije dokumentovati, prenijeti i redovno ispitati. Ovaj zahtjev znači postojenje informacionog sistema, pri čemu informacioni sistem održavanja svojom strukturnom slicnošću sa proizvodnim procesom zauzima posebno mjesto

U okviru kontrole procesa (4.9) isporučilac osigurava da se proizvodnja i ugradnja odvijaju pod kontrolisanim uslovima koji obuhvataju faktore posebno važne za funkciju održavanja procesa:

-nacin koriscenja odgovarajuce opreme za proizvodnju i ugradnju,
-procenje i kontrolu cinilaca procesa i proizvodnje tokom izrade proizvoda,

-potvrda o procesu i opremi (stanju opreme).

Nepotpuno je davati misljenje o procesu proizvodnje a ne dati misljenje o radnoj sposobnosti opreme, od pouzdanosti do tacnosi, sto ni na koji nacin ne moze iskljuciti verifikaciju sistema kvaliteta održavanja.

Kada dodje do neusaglasenog proizvoda (4.13.1) ondase proizvod preispituje i klasira uz odredjenu statisticku obradu pri čemu isporučilac mora preduzeti korektivne mjere koje između ostalog obuhvataju:

-analiziranje svih procesa(i postupke održavanja), -preduzimanje mjeraza rjesavanje uocениh problema, -provjera rezultata preduzetih mjera.

Za ovakvu aktivnost u oblasti održavanja potrebno je imati ovlascene poznavaoce procedura i tehnologija održavanja.

Servisiranje (4.19) je poseban vid održavanja koji se ispoljava kroz podobnost proizvoda za jednostavno i brzo vraćanje proizvoda u radno sposobno stanje i sposobnost proizvođača da sprovede takvu akciju. Servisiranje, kao vid održavanja, zahtijeva postojanje precizne procedure podržane uslovima za njeno efikasno izvršenje. Ovaj oblik održavanja, koji na odredjeni nacin ilustruje kvalitet održavanja kompletnog proizvodnog sistema koji učestvuje u procesu, neizostavno je dio provjere i značajna karika u formiranju misljenja o sistemu kvaliteta nekog subjekta.

4. ODRZAVANJE KAO MODEL OBEZBEDJENJA KVALITETA U PROIZVODNJI I UGRADNJI (JUS ISO 9002)

Znacaj i uloga održavanja u ovoj oblasti sistema kvaliteta posebno je istaknuta u preporukama o kontroli procesa (4.8) gdje u kontrolisane uslove proizvodnje i ugradnje spadaju, između ostalog:

-pisana uputstva za rad... koja obuhvataju i koriscenje odgovarajuce opreme za proizvodnju i ugradnju, odgovarajucu radnu okolinu, usgalsenost sa odredjenim standardima itd.,.....

-kriterijume za dobar rad koji, u najvecoj mjeri moraju da budu utvrdjeni u pisanim standardima...

Pisana procedura i standardizovane velicine parametara uslov su za ozbiljno planiranje, pripremu i izvodjenje prevencivnog održavanja kao osnovnog oblika logisticke podrške proizvodnom procesu u ispunjavanju uslova sistema kvaliteta.

Mora se napomenuti da isporucilac u domenu provjere postupaka održavanja najcesce pribjegava internoj provjeri kvaliteta (4.16) sto ne umanjuje njegovu odgovornost, obzirom na uticaj funkcije održavanja na rezultate proizvodnog procesa i kvalitet proizvoda.

Radnici koji obavljaju poslove posebne strucne odgovornosti moraju posjedovati odgovarajuce obrazovanje, osposobljenost i iskustvo sto se u sistemu kvaliteta podrazumijeva pod strucnom osposobljenoscju radnika (4.17).

Ovdje do punog izrazaja dolazi kriterijum održavanja o strucnoj osposobljenosti radnika za obavljanje poslova zavarivanja, rukovanja mehanizacijom i sredstvima za unutrašnji transport, termoizolaterskih radova, održavanje termotehnickih uređjaja, elektricarskih poslova na naponskim postrojenjima itd. Moraju se formirati, sticati, kontrolisati i cuvati odgovarajuci zapisi o osposobljenosti kadrova.

I sa aspekta primjene statistickih metoda (4.18) koji se zahtijevaju za verifikovanje prihvatljivosti sposobnosti procesa i karakteristike proizvoda za održavanje sa svojim stohastickim pojavama potpuno je prihvatljivo. Razradjenost statistickih metoda u procesu utvrdjivanja stanja opreme u funkciji održavanja spada u visi nivo primijenjenih statistickih metoda i vjerovatnoce. Definicija efektivnosti sistema i njenih cinilaca najbolja su ilustracija ovoj konstataciji.

5. ULOGA ODRZAVANJA U MODELU OBEZBEDJENJA KVALITETA U ZAVRSNOJ KONTROLI I ISPITIVANJU (JUS ISO 9003)

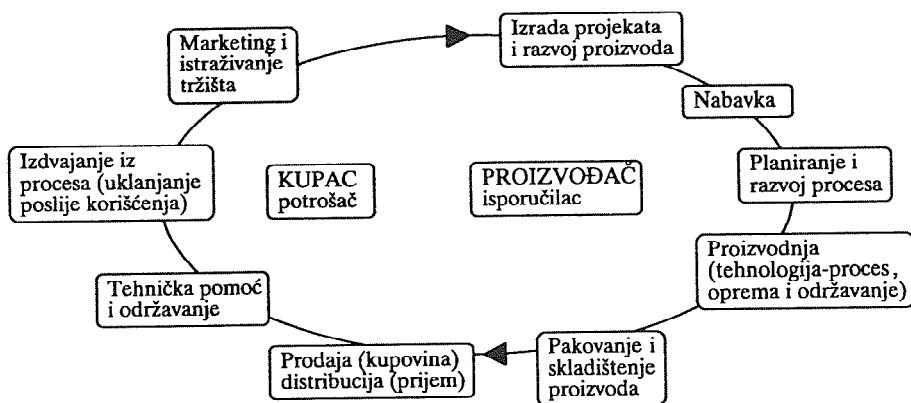
Ovo je dio standarda o sistemu kvaliteta gdje održavanje, kada se misli na gotov prizvod, najmanje moze da utice sa aspekta procesa. Ovdje se održavanje pojavljuje kao funkcija održavanja mjernih karakteristika opreme za završnu kontrolu i ispitivanje. Svoj uticaj na proces izrade proizvoda održavanje je pokazalo ranije a tada je bio zadatak podvrci ga verifikaciji po svim kriterijuma standarda o sistemu kvaliteta o cemu je i pisano.

Iz zapisa o kvalitetu (4.10) tj.o kontrolisanju i ispitivanju koji se cuvaju u toku ugovorenog perioda moguće je, statistickom obradom, utvrditi neke pravilnosti u greskama i tada ici na njihovo sitematsko otklanjanje. U okviru toga moguće je uociti uticaj odrzavanja i preduzeti odredjene korektivne mjere.

6. ODRZAVANJE KAO ELEMENT SISTEMA KVALITETA I NJEGOVA ULOGA U UPRAVLJANJU KVALITETOM (JUS ISO 9004)

U petlji kvaliteta odrzavanje je upisano kao komponenta zavisna od kvaliteta proizvoda i nalazi se u sferi kupac-potrosac.

Ovim radom pokazuje se uticaj odrzavanja na kvalitet proizvoda i trazi njegov tretman u procesu provjere sistema kvaliteta ne samo kao dijela proizvodnje koji se krije pod njenim imenom nego faktora od koga direktno zavisi kvalitet proizvoda.



Dopunjena petlja kvaliteta

Standard JUS ISO 9004 tacka 0.3. ukazuje na dva medjusobno povezana aspekta zadovoljenja potreba i to:

-Za **proizvodjaca**: poslovna potreba da postigne i odrzi kvalitet pri optimalnom trošku uz planirano i efikasno koriscenje tehnoloskih, ljudskih i materijalnih resursa,

-Za **kupca**: potreba za povjerenje u mogucnost proizvodjaca da ostvari zeljeni kvalitet i da moze dosledno da odrzava taj kvalitet.

Ovi aspekti upravljanja kvalitetom zahtijevaju objektivni dokaz o obliku informacija i podataka koji se odnose na kvalitet sistema i kvalitet proizvoda proizvodjaca.

JUS ISO 9004 na posredan nacin obuhvata odrzavanje kao uticajan faktor u sistemu kvaliteta:

-0.4.2.1 rizik od nedostataka na proizvodima,

-0.4.3.1 troškovi zbog loseg proizvoda (gubitak materijala dorade, prepravke, popravke u eksploataciji itd.),

-0.4.4.1 povecanje rentabilnosti,

-5.2.4 osoblje, oprema (eksploatacija i odrzavanje)

-7.2 informacija i o proizvodu (znacajna za odrzavanje u eksploataciji),

-7.3 povratna informacija od kupca-korisnika (znacajna za projektovanje i proizvodnju novog proizvoda), ova informacija dolazi iz eksploatacije i odrzavanja.

U tacki 11.3 - Kontrola opreme i odrzavanje, konacno nailazimo na termin odrzavanje ali samo u kontekstu odredjene potrebe a ne i precizno definisane verifikacije gdje stoji "radi osiguranja sposobnosti procesa, treba izraditi program preventivnog odrzavanja".

7. ZAKLJUČAK

Znacaj odrzavanja masina i opreme kako u procesu izrade proizvoda tako i u procesu pripreme za eksploataciju i eksploatacije sve do izdvajanja iz procesa proizvoda je takav da se ukazuje potreba za standardizacijom i preciznom verifikacijom njegovih procesa saglasno standardima sistema kvaliteta JUS ISO 9000 (9001-9004).

8. LITERATURA

-Jugoslovenski standard, JUS ISO 9000-9004

-Osnovi uspjesnog odrzavanja, Institut za industrijske sisteme, Novi Sad, Seminar, 1993.

-Skup literature o odrzavanju sredstava za rad.

QUALITY SYSTEM AS THE EQUIPMENT MAINTENANCE CRITERION

Summary

Quality system defined by international standards of the ISO 9000 series mentions in several instances the equipment for which it is necessary to be guaranteed of being able to provide the required quality (9001-9002).

However, this requirement is not developed further, except that the JUS ISO 9004, in 11.3 - equipment control and maintenance, says the following: "In order to ensure permanent process ability, it is necessary to develop a preventive maintenance program".

The role of maintenance within the quality system is much greater than it is indicated by the mentioned quote, and maintenance as a process deserves a full treatment, setup and verification of procedures within the quality system.

The authors' intention was to draw the readers' attention to a very important segment of an enterprise and to point out the role of the equipment maintenance as a part of the quality providing system.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Lj. Dimitrijević-Marković*

METROLOŠKI SISTEM SRBIJE FUNKCIJE SISTEMA I NJEGOVA EGZISTENCIJA -

Re z i m e

Metrologija predstavlja osnovni činilac tehnološke infrastrukture sa unapredjenjem privrede i njene ekspanzije u izvozu, zaštite u uvozu, zaštite zdravlja, prirode i dr. Osnovu metrološkog sistema zemlje predstavljaju: naučnoistraživački rad u oblasti metrologije, zakonska metrologija, etaloni i akreditacija, metrološko informisanje, međunarodna saradnja i kadrovi i njihovo obrazovanje.

Na osnovu stanja u metaloprerađivačkoj industriji Srbije, predlaže se model decentralizovanog metrološkog sistema. Rad ima za cilj da podstakne vodeće stručne i naučne nosioce znanja u metaloprerađivačkoj industriji Srbije da pristupe izradi i postavljanju metrološkog sistema.

1. UVOD

Privredno i političko stanje u zemlji ukazuje na potrebu postavljanja i uvođenja definisanih sistema u svim oblastima života. Metrologija kao interdisciplinarna nauka zastupljena je gotovo u svim privrednim oblastima. Kako metrologija predstavlja osnovni činilac tehnološke infrastrukture bez koje nema uslova za unapredjenje privrede i njene ekspanzije u izvozu, zaštite domaćeg tržišta u uvozu, zaštite zdravlja i prirode i drugo, to postavljanje metrološkog sistema države, predstavlja osnovu za uvođenje novih odnosa u funkcionisanje čitavog sistema.

Metrološki sistem jedne zemlje obuhvata:

- naučnoistraživački rad u oblasti metrologije,
- zakonsku metrologiju,
- etalone i akreditaciju,
- metrološko informisanje,
- međunarodnu saradnju, i
- kadrove i njihovo obrazovanje.

Organizovanost metrološkog sistema jedne zemlje predstavlja sposobnost privrede da u svakom trenutku odgovori na postavljene zahteve za obezbeđenje kvaliteta.

Mr Ljiljana Dimitrijević-Marković, dipl.inž.maš., saradnik u nastavi, Mašinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 11000 Beograd, Ul. 27. mart br. 80.

Modeli metroloških sistema razvijenih država sveta izvedeni su kao:

- centralizovani - sa naučnoistraživačkim institucijama visokog potencijala i nivoa, koji su locirani na jednom mestu (RTV - Braunšvajg, Nemačka; NPL - Tedington, Engleska; VSL - Delft, Holandija; NBS - C.A.2; NPL - Delhi, Indija, i dr.);
- razudjeni (dislocirani) - primarni i sekundarni etaloni pojedinih fizičkih veličina locirani su u primarnim i sekundarnim laboratorijama koje se nalaze u vodećim naučnim institucijama širom zemlje, a sve zajedno čine metrološki sistem zemlje (Francuska, Švedska, Danska i druge zemlje).

U Saveznoj Republici Jugoslaviji za oblast metrologije zadužen je Savezni zavod za mere i dragocene metale (SZMDM). U okviru ove savezne institucije obavljaju se sve aktivnosti vezane za zakonsku metrologiju i obezbeđuje se etalonska baza države.

Savezni zavod za standardizaciju (SZS) u okviru svojih kompetencija obezbeđuje standarde kojima se definiše metrološka baza.

Obzirom na uvođenje sistema normi kvaliteta serije ISO JUS 9000 u sve privredne grane Srbije, odnosno Jugoslavije, neophodno je napomenuti da kompetencije pripadaju Saveznom zavodu za standardizaciju.

2. NEKE KARAKTERISTIKE POSTOJEĆEG SISTEMA METROLOGIJE U SRBIJI (SR JUGOSLAVIJI)

Kao osnovu izvršenih analiza stanja i metroloških potreba metaloprerađivačkoj industriji Srbije (20 reprezentativnih fabrika) mogu se istaći sledeće specifičnosti koje treba uzeti za osnovne kod izrade metrološkog sistema.

2.1. Metrološka oprema (za dužine)

Metrološku opremu čine etaloni i merni instrumenti u laboratorijama anketiranih fabrika.

2.1.1. Etalonska baza Srbije sastoji se od:

- jednog primarnog etalona verifikovanog od BIPM-a,
- tri odnosno pet sekundarnih etalona (tipa laser) i šest (nekompletnih) garnitura planparalelnih graničnih merila,
- većeg broja radnih etalona tipa planparalelna granična merila (sedam garnitura), induktivni merači dužina, elektrokomparatori i drugi.

2.1.2. Merni instrumenti obuhvataju:

- univerzalne merne mašine za dužine,
- alatne mikroskope,
- trokoordinatne merne mašine i drugu opremu.

2.1.3. Zakonski propisi obuhvataju:

- pravilnike o načinu upotrebe i klasifikaciji etalona,
- pravilnike o metrološkim uslovima za etalone,
- metrološka uputstva za pregled etalona,
- pravilnike o metrološkim uslovima za pomična merila, mikrometre i komparatore,
- metrološka uputstva za pregled pomičnih merila, mikrometara i komparatora (mernih satova).

2.1.4. Jugoslovenskim standardima obuhvaćeni su:

- tehnički uslovi za granična merila, merne trake, merne lenjire, merne letve, pomična merila i tolerancijska merila (račve i čepove).

2.2. Ovlašćene laboratorije

U Srbiji postoji trinaest ovlašćenih laboratorija za dužine od kojih jedna ima status primarne i dve status sekundarne laboratorije.

Karakterističan je raspored laboratorija: četiri - primarna, sekundarna i radne su u Beogradu, dve radne u Čačku, po jedna radna u Valjevu (sekundarna), Subotici, Trsteniku, Kruševcu, Kragujevcu, Nišu i Smederevskoj Palanci.

2.3. Metrološki kadrovi

U laboratorijama anketiranih fabrika radi 30 radnika, od kojih je jedan sa doktoratom, osam sa visokom spremom, šest sa višom, jedanaest sa visom i ostali sa nižim spremom.

3. ODREDNICE FUNKCIJE SISTEMA

Polazeći od koncepcije da funkcionisanje sistema čine elementi koji određuju njegovu definisanost, na slici 1 se daje prikaz osnovnih činilaca, njihova funkcionalna veza u sistem i veza sa svetskim institucijama.

Iz prikazanog modela uočava se da su osnovni činioci sistema određene državne institucije sa definisanim kompetencijama i ovlašćenjima, naučnoistraživačke vojne i civilne institucije, fakulteti, ovlašćene laboratorije i korisnici merila (fabrike).

Na osnovu studije problema definisanja metrološkog sistema Srbije kroz praćenje stanja zakonskih propisa, proizvodne i tehnološke organizovanosti velikih (elektroprivreda, pošta, železnica, vojska), srednjih (fabrike mašinogradnje, automobila, traktora i druge) i malih sistema, kroz međusobnu zavisnost njihovih uticaja uvidja se potreba da se izabere decentralizovanje modela kao optimalni.

Obrazloženje:

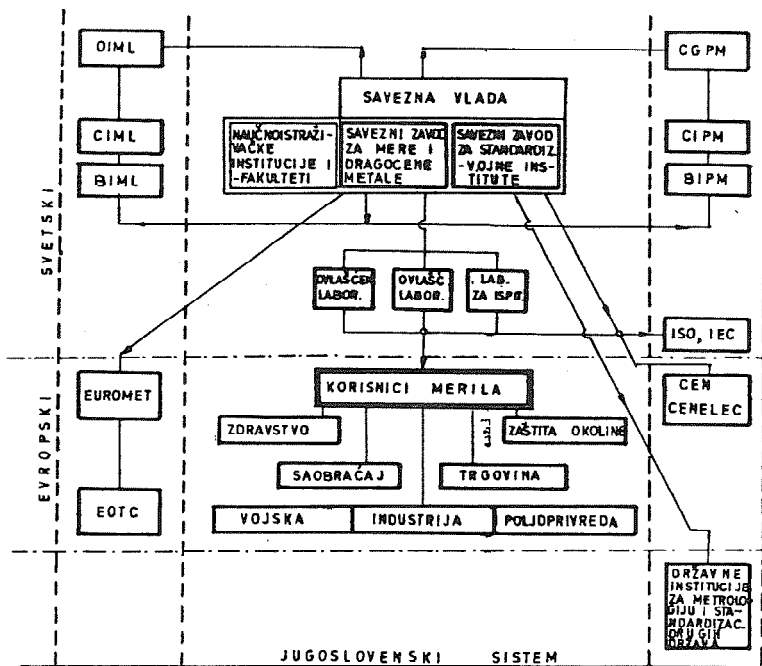
- Srbija predstavlja malu zemlju prema broju stanovnika i površini koju zauzima;
- Metalopreradivačka industrija je koncentrisana na centralni deo zemlje na potezu Niš, Kraljevo, Trstenik, Kraljevo, Kragujevac, Čačak, Valjevo i Užice, sa izuzetkom Beograda;
- Naučnoistraživačke institucije su koncentrisane u Beogradu, Novom Sadu, Kragujevcu i Nišu;
- Fakultetski centri su: Beograd, Novi Sad, Niš, Kragujevac, Kraljevo i Priština;
- Putna i železnička mreža je na vrlo niskom nivou;
- Informacioni sistem nije razvijen.

Uvažavajući navedene činjenice ističe se prednost opredeljenja za uvođenje decentralizovanog odnosno razudjenog metrološkog sistema. Na slici 2 prikazana je struktura naznačenog koncepta.

Kao što je naznačeno, u izradi i postavljanju metrološkog sistema učestvuju ovlašćene državne institucije, naučnoistraživački instituci i fakulteti i sva proizvodna preduzeća.

Napominje se da se na slici 2 pod "primarne i sekundarne laboratorije" podrazumevaju ovlašćene laboratorije odgovarajućeg ranga.

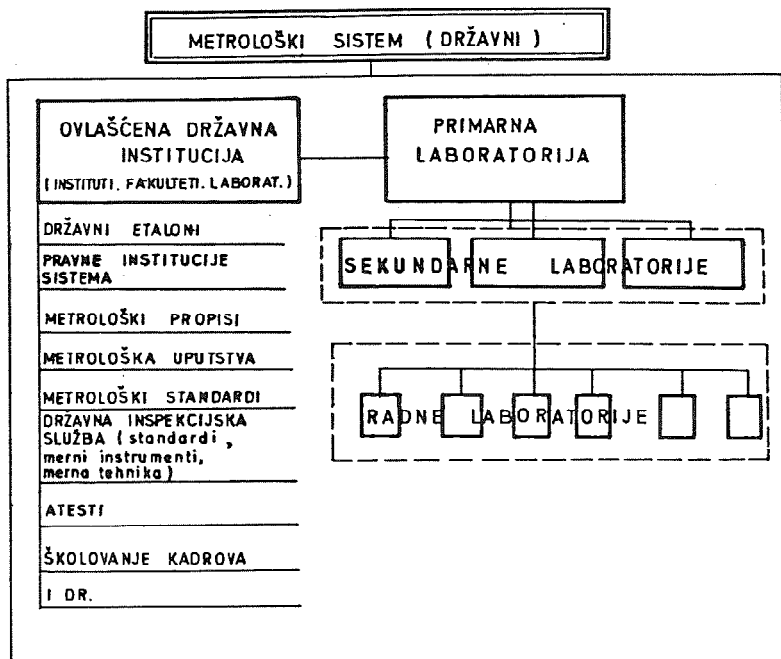
Kod predloženog modela nisu naznačena ograničenja sistema tipa industrijska svojina, patenti i drugo, koja se podrazumevaju pod kompetencijama određenih institucija.



Slika 1. Jugoslovenski (srpski) metrološki sistem - Evropa i Svet

Primenjene oznake:

- OIML - Medjunarodna organizacija za zakonsku metrologiju
- CGPM - Generalna konferencija za tegove i mere
- CIML - Medjunarodni komitet za zakonsku metrologiju
- CIPM - Medjunarodni komitet za tegove i mere
- BIML - Medjunarodni biro za zakonsku metrologiju
- BIPM - Medjunarodni biro za tegove i mere
- ISO - Medjunarodna organizacija za standardizaciju
- IEC - Medjunarodna organizacija za standardizaciju električnih veličina
- EUROMET - Evropska saradnja u oblasti metrologije
- CEN - Evropski odbor za standardizaciju
- CENELEC - Evropski odbor za elektro-tehničke standarde
- EOTC - Evropska organizacija za ispitivanje i overavanje



Slika 2. Struktura metrološkog sistema

4. KAO ZAKLJUČAK

U srpskim fabrikama i odgovarajućim državnim institucijama (prema dosadašnjem iskustvu) mala se pažnja posvećuje metrologiji. Metrologija predstavlja osnovu za objektivnu ocenu stanja proizvodnje i proizvoda.

Potrebna za reorganizacijom preduzeća i fabrika izbacuje u prvi plan rešenje problema ostvarenog kvaliteta u okviru JUS ISO 9000 pa je u tom smislu i prioritet postavljanje i rešenje problema metrološkog sistema Srbije. S obzirom da je akutnost kvaliteta i trenutka za rešenje problema metrologije uopšte očigledna, ovaj rad ima za cilj da podstakne nosioce znanja u metaloprerađivačkoj industriji Srbije za uredjenje metrološkog sistema Srbije i njegovo postavljanje.

Predloženi model, s obzirom na ekonomske kriterijume i propise JUS ISO 9000 predstavlja optimalno rešenje pa se nadam da ćemo učestvovati u njegovoj realizaciji.

5. LITERATURA

- /1/ Živković, V., Hijerarhijska šema merila dužina, Zbornik referata ISEMEC 85, 103-110.
- /2/ Dimitrijević-Marković, Lj., Metrologija dužina kao baza kvaliteta proizvoda, 24. Savetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Zbornik radova, knjiga 4, Novi Sad, 1992
- /3/ Spiridonović, S., Privredni prioriteti koji diktiraju razvoj metrologije u Srbiji, Dokumenta br. 1, Privredna komora Srbije, Beograd, 1993

**SERBIAN METROLOGY SYSTEM
- SYSTEM FUNCTIONS AND ITS EXISTENCE -**

Summary

Metrology represents a basic factor of the technological infrastructure under the conditions of economical progress and its export expansion, import protection, health care, environment protection etc. Basic parts of a country's metrological system are: scientific research in the field of metrology, legislative metrology, standards, metrological information, international cooperation and personnel education.

According to the conditions in the machining industry in Serbia, a decentralized metrology system model is proposed. The goal of this paper is to induce the leading scientists and experts in Serbian machining industry to accept the idea of creating and setting up a metrological system.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Heleta*, M. Đapić**, Lj. Lukić**

RAZVOJ FUNKCIJE KVALITETA U LOLA KORPORACIJI

Rezime

U radu je predstavljen program razvoja sistemskih metoda i tehnika u funkciji kvaliteta LOLA korporacije, polazeći od osnovnih zahteva koji se postavljaju pred novu generaciju tehnoloških sistema, zatim CIM koncepta i TQM koncepta kao odgovora na ove zahteve.

1. UVOD

Kvalitet je globalni fenomen naše epohe koga svi mi, kao kupci ili potrošači proizvoda osećamo u potpunom značenju. Njegov novi koncept predstavlja novu filozofiju poslovanja i življenja, koja omogućuje dugoročni opstanak i razvoj. Ukidanjem trgovinskih barijera, što je trend na slobodnom svetskom tržištu omogućuje da kvalitet postane ključ uspeha sveke firme.

Funkcija kvaliteta se definiše kao skup aktivnosti, kojim se postiže pogodnost proizvoda za upotrebu, odnosno kvalitet proizvoda. Većina naših firmi ima određene aktivnosti, koje su vezane za kvaitet proizvoda ili bolje rečeno za kontrolu karkteristika kvaliteta proizvoda. Da bi funkcija kvaliteta dala adekvatno rešenje, a to je stalno zadovoljenje zahteva i potreba kupca, prvi korak je da se postojeće aktivnosti uobličie i obogate novim, i tako zajedno integrišu u jedan skladan i efikasan sistem kakav je propisan serijom standarda ISO 9000.

U LOLA korporaciji je donesen program unapređenja kvaliteta na čijen čelu se nalazi top menadžment. U njemu je precizno definisana uloga LOLA instituta, koja se ogleda u razvoju sistemskih metoda i tehnika za potrebe funkcije kvaliteta.

2. ZAHTEVI NOVE GENERACIJE TEHNOLOŠKIH SISTEMA

Karakteristike proizvodnog inženjerstva zadnjih godina se ogledaju u porastu broja varijanti proizvoda, redukovanju vremena proizvodnje, porastu složenosti proizvoda i skraćenju vremena zadržavanja proizvoda na tržištu (sl. 1).

* Mr Milenko Heleta, dipl. inž., LOLA korporacije, Beograd,

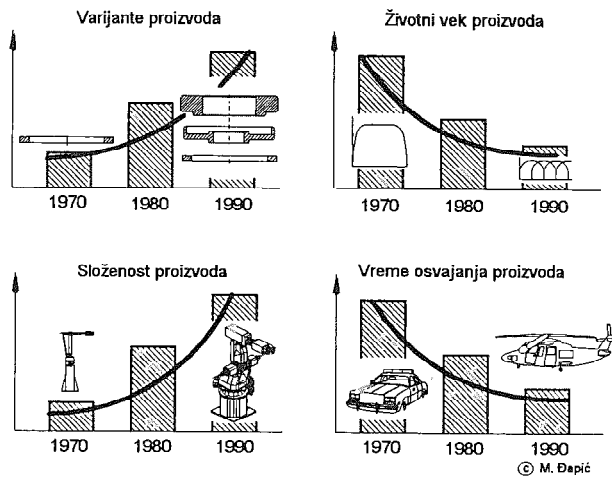
** Mr Mirko Đapić, dipl. inž., LOLA institut, Beograd, Kneza Višeslava 70a,

** Dr Ljubomir Lukić, dipl. inž., LOLA institut, Beograd, Kneza Višeslava 70a

Za ispunjenje prethodnih zahteva ključne su u najširem smislu dve stvari, koje su međusobno povezane. To su:

1. Uspostavljanje CIM koncepta preduzeća.

CIM koncept u svojoj osnovi omogućuje integraciju podataka, informacija i poslovnih procesa različitih funkcionalnih celina preduzeća. Osnovni cilj je da se omogući funkcionalnim celinama da rade, komuniciraju i dele nadležnosti kao tim. Njihovom integracijom omogućava se jednovremeno korišćenje i razmena informacija u vezi mnogih događaja, koji se ostvaruju u različitim fazama poslovanja. Da bi se to ostvarilo moraju postojati sredstva za prikupljanje podataka, zatim mogućnost njihove integracije na nivou upravljanja, kao i sredstva i alati za komunikaciju sa eksternim dobavljačima, kooperantima i kupcima.



Slika 1. Novi zahtevi koji se postavljaju pred tehnološke sisteme

Za ispunjavanje prethodnih zahteva posebno su značajne aktivnosti koje omogućavaju paralelno odvijanje pojedinih procesa, što je naročito izraženo u području istraživanja, razvoja i projektovanja proizvoda. Ovaj novi prilaz razvoju proizvoda, koji se naziva simultano ili konkurentno inženjerstvo, predstavlja višu fazu izgradnje i primene koncepta CIM-a. On u svojoj osnovi sadrži koncept TQM-a.

2. Uspostavljanje koncepta TQM-a

Upravljanje kvalitetom predstavlja skup aktivnosti funkcije menadžmenta, koje se odnose, prvo na definisanje politike kvaliteta, ciljeva i odgovornosti i drugo, na implementaciju toga kroz sredstva kao što su:

- planiranje kvaliteta,
- obezbeđenje kvaliteta,
- kontrolu kvaliteta i

- unapređenje kvaliteta.

Dodavanjem tome globalne strategije menadžmenta na duge staze, zatim participativnim učešćem svih zaposlenih, a sve u cilju dobijanja maksimalne koristi za vlasnika firme, sve zaposlene, kupca i društvo u najširem smislu, dolazimo do totalnog upravljanja kvalitetom odnosno do TQM-a.

TQM se može definisati kao koncept potpunog upravljanja, koji realizuje menadžment, a sastoji se u uspostavljanju sklada između stalno promjenjivih potreba kupca i interesa vlasnika preduzeća, uz korišćenje potencijala svih zaposlenih.

Uspostavljanjem koncepta totalnog kvaliteta, omogućuje se ostvarivanje svih poslovnih i društvenih ciljeva. On predstavlja najpotpuniji poslovni koncept do danas poznat. Sa druge strane, na putu do TQM-a postoji toliko prepreka da je neuspeh vrlo verovatan, ukoliko se ne ostvare korenite promene u uspostavljanju jasnog i motivisanog vlasništva, otvorenog tržišta i konkurencije, i na kraju ako se ne ostvare promene u samom menadžment stilu.

Ciljevi uspostavljanje TQM koncepta su:

- predviđanje i kontinualno zadovoljenje potreba kupca,
- održavanje procesa stalnih poboljšanja,
- smanjenje troškova poslovanja,
- upravljanje poslovnim procesima i povećanje efikasnosti,
- obezbeđenje stalnog rasta firme,
- gradnja efektivnih partnerskih odnosa sa kupcima i dobavljačima,
- ostvarenje novog menadžment stila i organizacione kulture,
- motivisano uključivanje zaposlenih u kreiranje poslovnih procesa itd.

Uspostavljanje TQM procesa i uvođenje sistema kvaliteta po ISO 9000 kao prvi korak u tom procesu, predstavlja kompleksan i dugoročan zadatak. Za složenu firmu, kakva je LOLA korporacija, to zahteva preduzimanje usklađenih akcija u svim poslovnim funkcijama, na svim nivoima i kod svakog zaposlenog. Zbog toga je donesen program unapređenja kvaliteta LOLA korporacije, čiji je osnovni cilj uspostavljanje koncepta TQM-a.

3. PROGRAM UNAPREĐENJA KVALITETA (QIP) LOLA KORPORACIJE

Program unapređenja kvaliteta (QIP) je kompleksan program top menadžmenta LOLA korporacije i svih menadžmenta fabrika i organizacionih celina LOLE, čiji je cilj dostizanje svetske klase kvaliteta proizvoda, poslovnih procesa i usluga.

Program unapređenja kvaliteta se sastoji od četiri posebna, ali međusobno interaktivna programa, čijim skladnim odvijanjem treba da se ostvare postavljeni ciljevi programa. Ti programi su:

1. Program uspostavljanje korporativne kulture kvaliteta LOLA korporacije
2. Program uvođenja sistema kvaliteta po ISO 9000 u LOLA fabrike i organizacione celine
3. Program obrazovanja i obuke za kvalitet
4. Program uspostavljanja TQM procesa

4. RAZVOJ SISTEMSKIH METODA I TEHNIKA KVALITETA

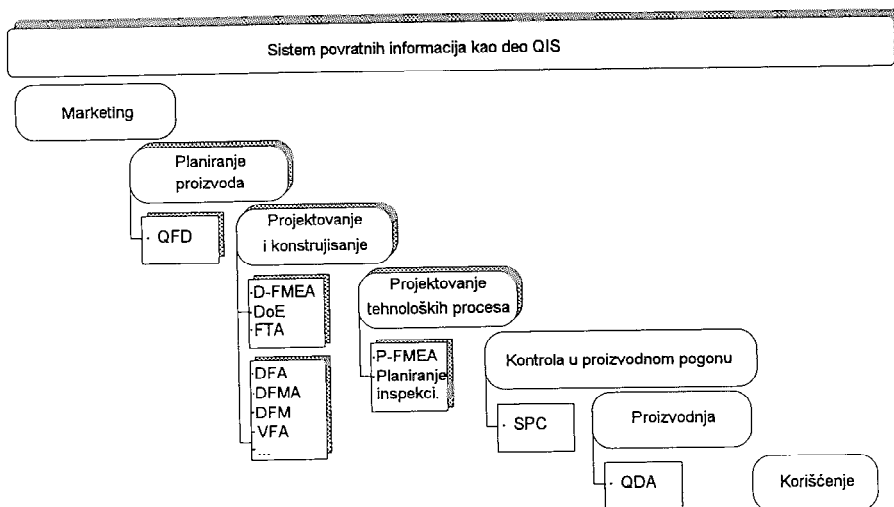
LOLA institut za potrebe LOLA korporacije realizuje razvojni program neophodan za unapređenje kvaliteta na nivou celog sistema. Program istraživačkih aktivnosti se odnosi na razvoj sopstvenih znanja, primenu svetskih iskustava i međunarodnih standarda u oblasti modeliranja funkcije kvaliteta u novoj generaciji kompjuterom integrisanih tehnoloških sistema. Pošto se funkcija kvaliteta u ovim sistemima modelira po konceptu totalnog kvaliteta i konkurentnog inženjerstva, to se posebno pažnja posvećuje ovim oblastima kroz razvoj i projektovanje inženjerskih metoda i na njima zasnovanih softverskih alata za (sl.2):

1. Projektovanje za kvalitet
 - a). Metode obezbeđenja kvaliteta
 - QFD (Quality Function Deployment)
 - Analiza načina i uticaja greški (FMEA metoda)
 - Taguchi metod robusnog projektovanja
 - Projektovanje za održavanje
 - ...
 - b). Metode podizanja kvaliteta projektnih rešenja
 - Projektovanje za montažu (DFA)
 - Projektovanje za proizvodnju (DFM)
 - ...
2. Kvalitet u proizvodnji
 - a). Metode prikupljanje podataka o kvalitetu (QDA)
 - b). Metode statističke procesne kontrole (SPC)
3. Kvalitet u eksploataciji

Razvoj ovih metoda prati razvoj i standardizacija odgovarajućih "sistematika", u kojima su sistematizovana sva znanja za pojedine oblasti, a pre svega za funkciju razvoja proizvoda, kao i

definisanje odgovarajućih "dispozicionih mehanizama", koji vezuju ovu funkciju sa svim drugim duž proizvodnog ciklusa. Cilj je uspostavljanje:

- Planiranja razvoja/konstrukcije
 - Definisanjem:
 - Odgovornosti
 - Međuveza
 - Protoka informacija
 - Definisanjem specifikacije ulaznih podataka / zahteva za konstrukciju
 - Definisanjem specifikacije izlaznih podataka o konstrukciji
 - Verifikacijom konstrukcije
 - Izmenama konstrukcije



Slika 2. Problemski orijentisani alti konkurentnog inženjerstva zajedno sa QA (obezbeđenje kvaliteta) alatima

Posebna pažnja se posvećuje razvoju metoda za verifikaciju konstrukcija, odnosno za ocenu kvaliteta konstrukcija, koje se zasnivaju na primeni savremenih statističkih metoda i matematičkoj teoriji evidencije, odnosno matematičkoj teoriji neodređenosti. Cilj je optimizacija konstrukcije do potpune konsenzusne saglasnosti o svim karakteristikama kvaliteta. Ovo nameće potrebu definisanja, modeliranja i merenja tehnološkičnosti (proizvodljivosti) konstrukcija.

Posebna grupa aktivnosti u razvoju funkcije kvaliteta odnosi se na integraciju prethodnih metoda inženjerstva kvaliteta u CIM koncept LOLA instituta. Ovo podrazumeva integraciju funkcije kvaliteta u sve segmente CIM-a. Zahtevi za ovom integracijom su proizašli iz potrebe

integracije informacionih modela proizvoda, procesa, kao i informacija iz pogona. Ovakva informaciona baza treba da omogući postavljanje informacionog modela za kvalitet (QIS). Uspostavljanjem ovog modela omogućava se baza za upravljanje kvalitetom i korišćenje povratnih informacija o kvalitetu, koje su naročito značajne za razvoj.

Shodno ovom poslednjem, nameće se potreba razvoja metodologije za prikupljanje, vođenje i informisanje o troškovima kvaliteta sa odgovarajućim softverskim alatima.

5. ZAKLJUČAK

Primena novog koncepta kvaliteta u praksi LOLA poslovnih procesa i funkcija, svih organizacionih delova, znači unapređenje kvaliteta proizvoda, koji zadovoljavaju potrebe i zahteve kupca, te odgovarajuće standarde i propise, uz istovremeno sniženje troškova poslovanja i povećanje efikasnosti i efektivnosti. Razvoj sistemskih metoda i tehnika u celom tom procesu zauzima značajno mesto.

6. LITERATURA

- /1/ Heleta, M., Program unapređenja kvaliteta LOLA korporacije, LOLA korporacija, Beograd, 1993.
- /2/ Heleta, M., Kvalitet - nacionalni prioritet, Kvalitet i standardizacija, Broj 3-4, Bograd, 1992, str. 15-19.
- /3/ Kalinosky, I., S., The Total Quality System - Going Beyond ISO 900, Quality Progress, June, 1990.
- /4/ Krause, F., L., Ulbrich, A., Woll, A., Methods for Quality-Driven Product Development, Annals of the CIRP, Vol. 42/1, 1993.
- /5/ Đapić, M., Projektovanje proizvoda na bazi tehnološkičnosti konstrukcija, (magistarska teza), Mašinski fakultet, Beograd, 1993.

M. Heleta , M. Đapić , Lj. Lukić

QUALITY FUNCTION DEVELOPMENT AT THE LOLA CORPORATION

Summary

In this paper we started with basic requirements for the new generation of manufacturing systems. Then we introduced the CIM concept and TQM concept in response to these requirements. We finally presented the quality function development program for the LOLA Corporation.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

G.J.Ivanović *
R.Šofranac *

METODOLOŠKE OSNOVE OSIGURANJA KVALITETA U PROCESU RAZVOJA NOVOG PROIZVODA

R e z i m e :

U radu je dato objašnjenje prednosti principa CE(konkurentnog inženjerstva)u odnosu na tradicionalan način razvoja proizvoda. Rad pokušava da objasni strukture petlji kvaliteta i njenih elemenata preko principa CE,kroz uopšteni primjer konverzije tržišnih karakteristika kvaliteta u inženjerske karakteristike kompleksnog proizvoda.

1. UVOD

Razvoj novog proizvoda je vrlo složen i kompleksan posao,sa velikim stepenom rizika i neizvjesnosti. U cilju povećanja vjerovatnoće za uspjeh od vitalnog značaja je da se organizacionim propisom definišu i standardizuju postupci, veze i odnosi za učesnike u svim djelovima tog procesa. Odgovarajući na zahtjeve ISO 9001 standarda,ovaj rad je pokušaj da uz objašnjenje funkcije kvaliteta u razvoju novog proizvoda,posebno definišu specifikacije projekta i njihovo formalizovanje u ulaznim podacima. Uspješno izvodjenje projektnog rešenja direktno je vezano za listu zahtjeva ulaznih podataka, što nezaobilazno mora dati konverziju tržišnih zahtjeva za kvalitetom novog proizvoda u inženjerske karakteristike kvaliteta proizvoda.To nameće pitanje i daljem pristupu projektovanju koje se uglavnom sada svodi na dilemu tradicionalni i konkurentni način projektovanja.

* Goran J.Ivanović,dipl.ing.-istraživač, H.I."R.Dakić", DD FM-IRC

* Mr.Rajko Šofranac,dipl.ing.-istraživač,H.I."R.Dakić", DD FM-IRC

2. DEFINISANJE PRISTUPA KVALITETU U RAZVOJU PROIZVODA

Obezbedjenje kvaliteta (QA) u procesu razvoja novog proizvoda pretpostavlja potreban okvir procedura (vještina) uklopljenih u heuristički koncept ISO 9001 standarda, koji u osnovi treba da, za uspješan razvoj novog proizvoda, omogući ostvarenje traženih ciljeva kvaliteta. Pogrešno postavljene ciljevi neminovno uslovljavaju, da aktivnosti koje se izvode u fazama projektovanja i konstruisanja, nabavljanja sirovina i komponenti, proizvodnje i prodaje, stvaraju za preduzeće, nepotreban trošak tj. gubitak. Principi konkurentnog inženjerstva (CE) uz zahteve ISO 9000 standarda, omogućavaju kreiranje petlji kvaliteta koje su osnov za QA u procesu projektovanja proizvoda i procesa. (1) (4)

Međutim sadržina djelovanja ove funkcije (aktivnosti) u skraćenom globalnom obliku sa prikazanim uobičajnim fazama procesa projektovanja novih proizvoda data je preko 10 faza :

- Faza 1. Određivanje tehničkih i funkcionalnih karakteristika i glavnih parametara proizvoda.
- Faza 2. Izrada idejnog (konceptijskog) rešenja proizvoda.
- Faza 3. Izrada stila (dizajna) proizvoda (izrada modela u pogodnoj razmeri, najčešće u prirodnoj veličini - 1:1).
- Faza 4. Proračunavanje vitalnih elemenata, agregata i integralnog proizvoda.
- Faza 5. Projektovanje (konstruisanje) proizvoda u celini i njegovih agregata, sklopova i elemenata (izrada konstrukcijske dokumentacije za prototip proizvoda).
- Faza 6. Izrada prototipova proizvoda (1 do n).
- Faza 7. Ispitivanje prototipova proizvoda (laboratorijska, poligonska i ambijentalna - u uobičajenim eksploatacionim uslovima).
- Faza 8. Izrada radioničke (proizvodne) konstrukcijske dokumentacije za proizvod i tehničko odobrenje proizvoda.
- Faza 9. Izrada raznovrsne tehničke dokumentacije za proizvod radi njegove uspešne komercijalizacije (uputstvo za upotrebu, uputstvo za održavanje, katalog rezervnih delova, slike, sheme i fotografije za propagandne publikacije i dr.).
- Faza 10. Praćenje proizvodnje proizvoda i eksploatacije proizvoda i sprovođenje potrebnih konstrukcijskih poboljšanja.

Koncept CE, koji podržava razvoj konkurentnog proizvoda, ustvari predstavlja uporednu ili simultanu kooperaciju više KS, prilikom odvijanja projektovanja proizvoda i procesa. CE predstavlja nov integralan pristup razvoju proizvoda, pomoću kojeg se može u početnim fazama uvodjenja ISO 9000 standarda identifikovati petlje kvaliteta i sam način njihovog regulisanja. Uz zadovoljenje potrebnog nivoa kvaliteta proizvoda, nova praksa razvoja proizvoda mora biti u mogućnosti da istovremeno uključi i integriše širok spektar inženjerstva, proizvodnje i marketinga. Koncept CE se predlaže kao potencijalno sredstvo implementacije takve prakse (3). Osnovna ideja je u suštini, da se istovremeno zadovolji funkcionalnost, pouzdanost, mogućnost proizvodnje (montaže) i marketinga proizvoda još u razvojnoj fazi proizvoda, tj. upravo onda kada se radjaju najveći i ključni troškovi kvaliteta. Za razliku od tradicionalnog, iterativnog postupka razvoja proizvoda, CE-koncept zahtjeva paralelnu interakciju svih KS (slika 1.b.), ukoliko je to moguće. QA-aktivnosti u razvoju (projektovanju proizvoda i procesa) treba modelirati kao proces u petlji kvaliteta i dekomponovati ga na skup oblika, operacija i ciljeva. Ciljevima kroz izvore znanja, se operiše i oni se transformišu u odluke.

Naprimjer u domenu konstruisanja ciljevi su konkretni instrumentarij kojim se predstavljaju podaci kvaliteta konstruisanja u vidu informacija i znanja (primjer uključuje sheme, skice, modele, liste kvaliteta itd...). Operacije su

metode zasnovane uglavnom na principima sistemske heuristike, jer se radi o vještinama, koje transformišu ciljeve radi kreiranja novih ili izmijenjenih ciljeva ili odluka.

Odluke, kao rezultat "prekretnica" ili "konflikta" u procesu razvoja proizvoda, determinišu akcije pa su zajedno sa operacijama sastavni dio dinamičkog aspekta petlji kvaliteta (npr. procjena kvaliteta varijanti konceptijskog rješenja dobijenog morf. bloškom sintezom ili simulacijom procesa). Pristup CE se, u suštini, gradi na istim ciljevima, objektima odlučivanja i operacijama kao i kod tradicionalnog pristupa, stim što se ovdje stvar potencira na ilustriranju složene interakcije između navedena tri subjekta. Činjenica, da se ISO 9000 standardi mogu uvesti ili uvode u sredinama sa tradicionalnim pristupom razvoju proizvoda, ne govori mnogo u prilog tezi da stvari ne treba mijenjati, jer suština i jeste u stvaranju efikasnih petlji kvaliteta, što CE pristup omogućava regulacijom elemenata strukture petlji: izvori znanja, operacije, odluke (sl.l.b.), (sl.l.c).

3. SPECIFICIRANJE KVALITETA PROIZVODA

Da bi se specificirao kvalitet novog proizvoda nužno je utvrditi relativni stepen važnosti pojedinih karakteristika kvaliteta kao i poteškoće u proizvodnji ili unapredjenju tih karakteristika na osnovu konverzije tržišno-zahitjevanih karakteristika kvaliteta i inženjerske karakteristike kvaliteta elemenata koje rezultiraju zahitjevanje karakteristike proizvoda. KS-izvori znanja, paralelno saradjuju sa stručnjacima ostalih funkcija proizvodjača, omogućujući rangiranje inženjerskih karakteristika kvaliteta u racionalne modele upravljanjem procesom izrade proizvoda zahitjevanog kvaliteta. Odnos između zahitjevanog kvaliteta gotovog proizvoda i inženjerskih karakteristika elemenata kvaliteta, koji treba da se realizuju određuje se najlakše preko tabela kvaliteta. Slika 2 je samo dio opšte tabele kvaliteta za hidraulični bager. Medjutim izrada ovih tabela, koje su proceduralno neophodne pogotovu, kada se radi o kompleksnim proizvodima, uključuju: izuzetno jak i multidisciplinarni tim.(2).

Performansne specificacije su uglavnom subjektivne i zavise od slučaja do slučaja, a sa druge strane, pretpostavke o mogućnosti izrade proizvoda nisu konsistentne postojećim i raspoloživim resursima CE-koncept. (sl.l.d) sugerise operacije odlučivanja sa karakterom porasta odlučivanja, paralelno u svim faza projektovanja proizvoda i procesa. Razlike koje se odmah uočavaju između tradicionalnog i CE pristupa je u ukupnoj strukturi i tokovima informacija između makroaktivnosti projektovanja proizvoda i procesa. Suština je u integraciji različitih KS i mogućnosti izvodjenja paralelnih operacija pri razvoju proizvoda. Naprimjer, konceptalna struktura proizvoda iz preliminarog projektovanja je odmah dostupna svim učesnicima, tako da su moguće procjene kvaliteta proizvoda i njihove izrade već u početnoj fazi projektovanja te u slučaju nezadovoljenja biće vraćena aktivnostima projektovanja. Drugim riječima, projektovanje procesa može početi čim bude procijenjena izvodljivost konceptijskog rješenja sa aspekta kvaliteta, bez čekanja da se završi crtež ili modul proizvoda. Jedna od suštinskih novina je u sistemu za podršku odlučivanju, jer je kod CE-pristupa znanje integrisano prije donošenja odluke, u bilo kojoj fazi, pa je onda i vrijednost odluke veća (postoji podijeljena "konkurentnost" i participacija KS). To obećava, dinamičnu akciju, preko odluka u datom momentu, na "prekretnicama" ili izazvanim konfliktnim situacijama, jer se ne čeka da se povratno iterativno ponovi proces ili uključi potreban izvor znanja. Zbog osobina integrativnosti, fleksibilnosti i kooperativnosti, KS kod CE-koncepta zahitjevaju slojevit strukturu, čime se obavezno mora obuhvatiti složeni aspekt odlučivanja na osnovu zadovoljenja specificiranih ciljeva kvaliteta i troškova proizvoda.

- (2) Deixler, A.:Quality of development-prerequisite for product quality; Proceedings 31 th EOQC Munich 1989.
- (3) Kalajđžić M.,Bojanić P; konkurentno inženjerstvo 5.jugoslovenski simpozijum CAD/CAM, XIX JUPITER konferencija , Prohor Pčinjski,1993 god.
- (4) Ivanović G., Šofranac R.; Funkcija projektovanja u razvoju novog proizvoda i konkurentno inženjerstvo, časopis KVALITET I STANDARDIZACIJA, br.1-2 god.22, 1994 .

METHODOLOGISCHE GRUNDLAGEN ZUR QUALITÄTSSICHERUNG IM PRINZIP DER ENTWICKLUNG EINES NEUEN ERZEUGNISSES

Zusammenfassung :

In der Arbeit wird der Vorteil des Prinzipes CE (Konkurrenzingenieurwesen) in Bezug auf eine traditionelle Art der Erzeugnisentwicklung erklärt.

Die Arbeit versucht,durch Prinzip, CE und ein verallgemeinertes Beispiel der Umwandlung von Marktcharakteristiken der Qualität in die Ingenieurcharakteristiken des Erzeugnisses die Struktur der Qualitätsmaschinen und deren Elemente zu erklären.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

S. Jovičić,

J. Todorović

SIGURNOST FUNKCIONISANJA ZNAČAJAN ČINILAC KVALITETA

Rezime

U radu je prikazana nova karakterizacija "kvaliteta" u kojoj se naglašavaju svojstva proizvoda u procesu upotrebe, odnosno "upotrebnii kvalitet" i njegova komponenta "sigurnost funkcionisanja". Dat je prikaz standarda kvaliteta koji su izrađeni od strane ISO i IEC i posebno su analizirani svojstva i elementi standarda serije JUS IEC 300. U vezi s tim, izneti su neki od problema iz naše prakse i različita gledanja na njihovo rešavanje.

1. TEHNOLOŠKI PRODORI I POSLEDICE

"Talas kvaliteta" koji je najzad došao i do naših obala prirodna je posledica velikih promena, izazvanih brojnim i intenzivnim naučnim i tehnološkim prodorima, koje su se tokom prošlih decenija sručile velikom silinom. Još osamdesetih godina je upozoravano da se eksplozija naučnih i tehnoloških inovacija "...može uporediti sa prelaskom čovečanstva, hiljadama godina ranije, sa lova na agrikulturnu, ili znatno kasnije sa prelaskom na industrijsko društvo..." /1/. Nikada ranije u istoriji pojava novih tehnologija nije bila uzrok tako brzih i dubokih promena u razvoju društva. To je učinilo da je kvalitet postao jedna od osnova za karakterizaciju društva, mera bogatstva ili siromaštva, značajan činilac progresu /2/.

Masovna industrijska proizvodnja, sa svim svojim prednostima, ali i slabostima, otvorila je put novom postindustrijskom, informatičkom društvu, sa masovnim korišćenjem nauke, znanja i informacija. To je dovelo do objektivnih potreba da se menja ukupni tehnološki koncept daljeg razvoja, usmeravajući ga u najvećem mogućem stepenu ka zadovoljavanju zahteva i potreba korisnika, odnosno kupca - potrošača. To je uticalo na dalji razvoj materijalne proizvodnje i ekonomike u celini, izazivajući velika restrukturiranja (re-engineering), realokacije, vertikalne integracije ili dezintegracije mnogih firmi, pa i celih poslovnih sistema.

Ako se ostvari prognoza kretanja svetske proizvodnje i trgovine koja govori da "će se krajem ovog veka na međunarodnom tržištu nalaziti polovina ukupne svetske proizvodnje", onda se može očekivati da će na tržištu opstati samo oni proizvodi koji u najvećem stepenu zadovoljavaju kupce. U tom smislu sasvim realistično deluju reči J. M. Jurana, izgovorene 1990. godine u Dublinu na konferenciji EOQ, da je kvalitet "najznačajniji fenomen našeg vremena" i da on, pored ostalog predstavlja i "važnu odbranbenu snagu od opasnosti tehnološkog društva u odnosu na čovekovu bezbednost i bezbednost njegove okoline ...".

2. NOVA KARAKTERIZACIJA "KVALITETA" TEHNIČKIH SISTEMA

Intenzivni i kontinualni napredak u tehnici izazvao je i niz teškoća. Proizvodni procesi i proizvodni sistemi postali su mnogo složeniji po svim svojstvima (strukturi, operativnim mogućnostima, tehnologijama rada i održavanja), tako da su potrebe za novim načinom definisanja zahteva, projektovanja, razvoja, verifikacije, proizvodnje, eksploatacije i održavanja postale vrlo aktuelne. U vremenu kada se mašinstvo i elektronika, hardver i softver, računarstvo, informatika i telekomunikacije sve više prožimaju, navedeni složeni aspekti eksploatacije, održavanja i logističke podrške, povezani i sa ukupnim troškovima veka, odnosno životnog ciklusa, prosto su nametnuli potrebu za generalnijom karakterizacijom kvaliteta tehničkih sistema u njihovoj upotrebi, gledano prvenstveno sa strane korisnika, ali i sa stane proizvođača. Ovo je najpre došlo do izražaja u kosmotehnici i tehnici vojnih sistema, a zatim u vazduhoplovstvu, saobraćaju i sličnim sistemima, da bi se ubrzo počelo da preliva i u skoro sve druge segmente svetskog reprodukcionog sistema.

Ovo je istovremeno i izraz nužnosti, jer se samo tako mogu premostiti problemi koji objektivno postoje između raznih disciplina, a koji proističu iz međusobne zavisnosti različitih performansi i složenih uticaja svake od njih na ukupne troškove životnog ciklusa. Drugim rečima, pojam "kvalitet" treba da obuhvati ne samo operativne mogućnosti i pogodnosti već i sva druga važna svojstva tokom upotrebnog veka proizvoda, uključujući i bezbednosno - ekološke.

Ovo je u punoj meri došlo do izražaja u novom Jugoslovenskom terminološkom standardu, koji je izraden na bazi međunarodnog standarda IEC IEV 50 (191), i koji se nalazi pred usvajanjem. Ovaj standard, pored ostalog, na relativno nov način definiše pojam "kvaliteta", naglašavajući svojstva proizvoda u procesu upotrebe, odnosno pojam "upotrebnog kvaliteta" i njegovu komponentu "sigurnost funkcionisanja" - sl. 1, /6,8/.

"Upotrebnii kvalitet", pri tome, označava ukupni efekat svih radnih performansi koji određuje stepen zadovoljenja korisnika. Istovremeno, vezujući pojam upotrebne vrednosti za svojstva "postojanosti" i "dostupnosti" u realnim uslovima korišćenja, ukupna valjanost tehničkih sistema se iskazuje pre svega u odnosu na njegove "radne mogućnosti" i "sigurnost funkcionisanja". Značaj ovog pojma još je vidljiviji iz njegove definicije, koja govori da se radi o zbirnom pojmu, koji opisuje ukupna svojstva "raspoloživosti" i komponentne činioce koji "raspoloživost" određuju: "performanse pouzdanosti", "performanse pogodnosti održavanja" i "performanse logističke podrške".

IZ ovoga proizilazi da je upotrebnii vrednost tehničkih sistema kompleksno svojstvo, načelno stohastičkog karaktera, slično ranijem pojmu "efektivnost", za koji je ocenjeno da ne može na najprikladniji način da izrazi sva važna i relevantna svojstva i osobine sistema, odnosno sve komponente njegovog ukupnog kvaliteta. Sistem može da bude funkcionalno podoban, može da bude pouzdan i da ima zadovoljavajuću pogodnost održavanja, ali ne mora da bude i raspoloživ, ukoliko nema odgovarajuću logističku podršku. Zbog toga se "sigurnost funkcionisanja" i izražava kao složeno svojstvo uslovljeno osobinama pouzdanosti i pogodnosti održavanja i logističkom podrškom održavanju /3/.

Pri tome se ne sme zaboraviti da je pojam "upotrebnii kvalitet" snažno vezan i za "ukupne troškove životnog ciklusa" proizvoda, što zahteva da se o ovome vodi računa u svim fazama ovog ciklusa, počev od definisanja zahteva, projektovanja i razvoja, preko proizvodnje i održavanja, tj. u vremenu kada se stvara i rada, odnosno ugrađuje kvalitet proizvoda.

3. STANDARDI KVALITETA

Dobro je poznato da problematiku kvaliteta regulišu i kod nas često pominjani standardi JUS ISO 9000, koji su prihvaćeni i kao standardi Evropske zajednice (EN 29000). Poznato je da je pod uticajem ovih standarda u cejoj Evropi u toku snažan "pokret kvaliteta", usmeren ka poboljšanju kvaliteta, ali i ka merama koje sistemski treba da omoguću sigurno upravljanje kvalitetom i njegovo obezbeđenje u realnim uslovima proizvodnje. Već danas je posedovanje odgovarajućih "uverenja" ili "sertifikata kvaliteta", definisanih ovim standardima, jedan od bitnih preduslova za izlazak na tržište.

Pored Medunarodne organizacije za standardizaciju - ISO, na standardima iz oblasti kvaliteta radi i druga veoma značajna organizacija iz ove oblasti - Medunarodni komitet za elektrotehniku IEC. Najvažniji standardi o kvalitetu IEC su standardi serije 300, koji uskoro i kod nas treba da se pojave kao Jugoslovenski standard JUS IEC 300 /9/.

Standardi JUS ISO 9000 i JUS IEC 300 su međusobno komplementarni, oni se neposredno dopunjuju. Ovo je dobro iskazao K. Strandberg, sekretar Tehničkog komiteta IEC/TC56K, upozoravajući da ne treba dozvoliti da se zaboravi činjenica da "performanse pouzdanosti", "performanse pogodnosti održavanja" i "performanse logističke podrške održavanju" predstavljaju najvažnije karakteristike upotrebnog kvaliteta proizvoda /3/. Pri tome se naglašava da obezbeđenje zahtevanog "upotrebnog kvaliteta" i zahtevane "sigurnosti funkcionisanja" nije isključiva i posebna odgovornost samo isporučioaca ili samo korisnika tehničkih sistema, nego je to odgovornost i jednog i drugog. Ovo upućuje na čvrstu kooperativnost između proizvođača i korisnika i to tokom većine faza veka proizvoda.

U vezi sa ranije datim definicijama pojmova "upotrebnii kvalitet" i "sigurnost funkcionisanja", shodno standardima JUS ISO 50 (191), korisno je da se istakne da "sigurnost funkcionisanja" nije nikakva podvrsta kvaliteta, ili obratno. Osnovni činioci "sigurnosti funkcionisanja" su uvedeni da bi se iskazale neosporna i bitna svojstva proizvoda u upotrebi i da bi ova svojstva mogla da se na pravi način kvantitativiraju, dok pojam "kvalitet" ili "integralni kvalitet" izražava sposobnost proizvoda da zadovolji sve zahteve i potrebe. Na taj način "kvalitet u upotrebi" ili "upotrebnii kvalitet" je komplementaran koncept pojmu "sigurnost funkcionisanja", sa određenim zajedničkim elementima. Iz svega proizilazi da se o "kvalitetu" i "sigurnosti funkcionisanja" mora govoriti zajedno. Pri tome ne treba izgubiti iz vida da zadovoljenje ove grupe zahteva traže sopstveno planiranje, posebne programe realizacije i praćenje realizacije, specifične metode i tehnike. Sprezanje ovih aktivnosti upravo obezbeđuju standardi JUS IEC 300 i JUS ISO 9000.

Iz ovoga je proistekla i potreba šire saradnje i u području standardizacije. To je dovelo 1989. godine do formiranja stalne Koordinacione grupe ISO i IEC, tzv. Grupe IEC/ISO JCG QDS (Joint Coordination Group - Quality - Dependability - Statistics), u koju su ušli predstavnici tehničkih komiteta ISO/TC 176 (Kvalitet), ISO/TC 69 (Statistika) i IEC/TC 56 (sigurnost funkcionisanja).

Zadatak ove zajedničke organizacije je identifikacija suštinskih problema u procesu standardizacije, utvrđivanje zajedničke tehnike upravljanja i (statističkih) metoda u oblasti kvaliteta i sigurnosti funkcionisanja, kao i izrada harmonizovanih standarda, odnosno revizija dosadašnjih i definisanja programa sva tri komiteta. Postoje inicijative da se ovoj grupi pridruži i IEC/ISO JTC1/SC7, zajednički tehnički komitet iz oblasti informacionih tehnologija. Time bi se i pitanja softverskog inženjstva, kvaliteta softvera i sigurnosti funkcionisanja softvera takode zajedno analizirala i rešavala.

Formiranje zajedničkih radnih grupa ISO i IEC ne znači utapanje odgovarajućih komiteta u

jednu celinu. Komiteti ISO i IEC će i dalje raditi i samostalno i izvršavati svoje programske zadatke. Povezivanje tehničkih komiteta znači, međutim, da se njihov domen rada proširuje, kako bi se što bolje obuhvatili svi činioci koji utiču na kvalitet sigurnost funkcionisanja proizvoda i usluga. Prožimanje mašinstva i elektrotehnike, odnosno elektronike, na ovaj način takode dolazi do punog izražaja.

4. STANDARDI JUS IEC 300

Pošto se o standardima seriji JUS ISO 9000 dosta govori u poslednje vreme, zadržaćemo se na nekoliko značajnih svojstava i elemenata standarda serije JUS IEC 300. Najpre treba da se podvuče da ovi standardi zahvataju one oblasti koje u standardu ISO 9000 nisu pokriveno. Oni su dakle komplementarni sa standardima JUS ISO 9000, odnosno čine njihovu neophodnu dopunu.

S tim u vezi treba najpre da se istakne da je Tehnički komitet IEC TC 56 dosad definisao preko 30 standarda, dok je preko 40 u toku izrade. Označavanje ovih standarda, međutim, nije dovoljno ukazivalo na njihovu međusobnu povezanost, pa je to otežavalo i njihovo prepoznavanje. Standardi definisani u publikaciji IEC 300 otklonili su ove nedostatke. Ova publikacija se prvi put pojavila 1969. godine ("Aspekti upravljanja pouzdanošću"), da bi se revizijom iz 1984, odnosno u publikaciji pod naslovom "Upravljanje pouzdanošću i pogodnošću održavanja" dao dalji doprinos sistematizaciji ove materije. Konačno se nedavno pojavio dokument, odnosno standard IEC 300 pod naslovom "Upravljanje sigurnošću funkcionisanja", koji povzuje sva važna svojstva proizvoda, odnosno sve relevantne discipline sistemskih nauka (inženjerstvo pouzdanosti, inženjerstvo održavanja i inženjerstvo logističke podrške), u skladu sa opisanim novim terminološkim opredeljenjima. Uz ovo je bilo neophodno dati i novu organizacionu strukturu i označavanje ovih publikacija, što je nedavno i učinjeno. Ovaj novi koncept je utvrdio četiri nivoa standarda, odnosno dokumenata (publikacija):

- osnovni dokumenti (main/ambrela documents),
- smernice/uputstva za primenu (application guide), koji određuju "kada" i "šta",
- pomoćni dokumenti (tool documents), koji određuju "kako" i
- prateći dokumenti (supporting documents), koji daju ostale potrebne direktive (rečnici i sl.).

Ovim se postiglo da sve četiri grupe dokumenata budu uniformne i konzistentne u odnosu na označavanje i terminologiju. Na sl. 2 shematski je prikazana nova struktura IEC 300 standarda.

Na taj način standardi serije IEC 300 se javljaju kao centralna, fokusna tačka u procesu obezbeđenja "sigurnosti funkcionisanja". Oni, dakle, imaju istu ulogu u procesu korišćenja proizvoda koju serija ISO 9000 ima u procesu "upravljanja i obezbeđenja" kvaliteta. Ovi standardi se, dakle, dopunjuju, oni ne zamenjuju jedan drugog ni u kom pogledu. Zadatak standarda IEC 300 je da reguliše sve aktivnosti vezane za "sigurnost funkcionisanja", slično kao što serija standarda JUS ISO 9000 definiše sva pitanja vezana za obezbeđenje kvaliteta u proizvodnim ili uslužnim sistemima /4/. Ovo direktno proističe iz nove karakterizacije kvaliteta tehničkih sistema u njihovoj upotrebi, i novih terminoloških opredeljenja, shodno standardima IEC/IEV 50(191) i ISO 8402.

Uprošćeno govoreći, cilj i zadatak standarda JUS IEC 300 je da se spreče situacije da iz jedne fabrika, koja je uvela i atestirala svoje sisteme za obezbeđenje kvaliteta u skladu sa zahtevima JUS ISO 9000, izlaze proizvodi koji neće zadovoljavati sve zahteve korisnika ili kupca, odnosno zahteve "upotrebnoq kvaliteta" i "sigurnosti funkcionisanja" /7/. U tom smislu ovim standardima se regulišu sledeća osnovna pitanja:

- upravljanje performansama "sigurnosti funkcionisanja"

- obezbeđenje "sigurnosti funkcionisanja"
- program obezbeđenja "sigurnosti funkcionisanja" i
- plan obezbeđenja "sigurnosti funkcionisanja".

Programi za obezbeđenje "sigurnosti funkcionisanja" izrađeni u duhu IEC 300 treba da osiguraju prave veze između organizacije proizvođača i organizacije korisnika tehničkih sistema, kako bi performanse "sigurnosti funkcionisanja", kao suštinskog dela "upotrebnog kvaliteta", zadobile ono mesto koje zaslužuju.

Pri ovome se uzima u obzir situacija u kojoj će ceo program biti realizovan, zatim potrebe kupca u odnosu na proizvod, ostvarivanje veza sa programom korisnika, stanje ugovora, određene faze veka proizvoda, druge performanse proizvoda (pouzdanost, pogodnost održavanja, logistička podrška i td.).

Bitno je da se istakne da osnovni cilj svih ovih aktivnosti, odnosno obezbeđenje zahtevane "sigurnosti funkcionisanja", obuhvata analizu i definisanje pre svega sledećih elemenata:

- mesto i uloga, način organizovanja i procese rada, tj. tehnologije, kao i odgovornosti svih struktura - upravnih i rukovodnih, projektantskih i razvojnih, kako kod proizvođača i tako i kod korisnika, i to u svim fazama životnog ciklusa, počev od prethodnih studija, planiranja, programiranja i praćenja realizacije, i sprovođenja svih drugih mera usmerenih na obezbeđenje zahtevanih performansi "sigurnosti funkcionisanja", posebno u odnosu faze korišćenja i održavanja,
- uzajamni odnosi, tj. sinergijski prilaz svim relevantnim performansama (razumljivost, pouzdanost, pogodnost održavanja i logistička podrška), u njihovoj međupovezanosti na svim nivoima, i na nivou sistema u celini,
- "ukupni troškovi veka" ili "ukupni troškovi životnog ciklusa" (Life Cycle Costing - LCC), postupci i metode analize ovih troškova, u cilju identifikovanja generatora troškova i izbora alternativnih i kompromisnih rešenja, kao i višekriterijumske analize i optimizacije konačnih rešenja,
- organizovanje i sprovođenje svih vrsta "zvaničnih revizija projekta" koji omogućavaju verifikaciju ostvarenih rezultata do određenog trenutka vremena,
- alociranje svih aktivnosti u poznatih "pet faza životnog ciklusa" proizvoda (zahtevi i koncepcija, projektovanje i razvoj, proizvodnja i instalisanje, eksploatacija i održavanje, povlačenje iz upotrebe).

Na ovaj način standardi JUS IEC 300, pored funkcionalnih i operativnih aspekata, tretiraju ovu problematiku i iz organizaciono - planskih, normativno - regulativnih i ukupnih ekonomskih aspekata.

Ovakav metodološki prilaz u punoj meri odgovara projektovanju i proizvodnji mnogih proizvoda (industrijskih, profesionalnih, široka potrošnja. Bitno je, međutim, da se naglasi da kod tehničkih sistema visokih stepena složenosti, postupci analize utvrđeni ovim standardima predstavljaju, verovatno, jedini mogući način da se zahtevi i potrebe korisnika, odnosno tržišta, zadovolje racionalno, i blagovremeno.

5. NEKI NAŠI PROBLEMI I POGLEDI

I mi se u našoj praksi dugo suočavamo sa mnogim problemima iz ove oblasti. Izdvojicemo samo tri karakteristična /5/:

- ne postoji opšte prihvaćen i dovoljno jedinstven prilaz problematici održavanja tehničkih sistema, a s tim u vezi prisutno je različito tumačenje i shvatanje pojma "pogodnost održavanja" i "inženjerstvo održavanja" ovo posebno dolazi do izražaja pri formulisanju zahteva, ugovaranju, projektovanju i ispitivanju, odnosno ocenjivanju proizvoda,

- performansama "pogodnosti održavanja" i s njima vezanim performansama

"logističke podrške", još uvek nije priznat status važnog svojstva tehničkih sistema, koji ima isti stepen važnosti kao što imaju druge karakteristike otuda se još tokom projektovanja generišu neskladi između zahteva u pogledu operativnih performansi i zahteva koji se odnose na pogodnost održavanja i logističku podršku,

- nije poklanjana ni dovoljna pažnja konceptu analize "ukupnih troškova životnog ciklusa" ili "ukupnih troškova veka" tehničkih sistema (LCC). To je posebno izraženo kod tehničkih sistema visokog stepena složenosti, kod kojih su troškovi održavanja sve dominantniji faktor.

Prisutna su različita gledanja i na problem ocene ostvarenog kvaliteta. Iako ima i drugačijih mišljenja, naša iskustva govore da se kvalitet proizvoda ne dobija samo završnim ispitivanjima niti samo propisnim "sistemom upravljanja kvalitetom". Završnim ispitivanjima se dobija samo orijentacija o stepenu ispunjenja zahteva i potreba korisnika, dok se puna verifikacija ovih svojstava dobija tokom procesa korišćenja. Pri tome, naravno, treba imati u vidu da se "upotrebnim kvalitetom", odnosno kvalitetom u procesu korišćenja, ne može obezbediti ako to projektom nije omogućeno, on se ne može "dodati" naknadno. Kvalitet u upotrebi se stvara i ugrađuje tokom projektovanja i razvoja, obezbeđuje u proizvodnji, a realizuje tokom eksploatacije i održavanja.

Uz to, i naša i tuđa praksa pokazuje da osvajanje proizvodnje jednog proizvoda može da traje značajno duže od njegovog projektovanja i razvoja, posebno u slučaju kada se ne obrati blagovremeno pažnja na sve potrebne zahteve. To objašnjava zašto se danas u razvijenom svetu od samih početaka usko povezuju timovi koji projektuju sa timovima koji osvajaju tehnologiju proizvodnje i definišu metode i tehnologije korišćenja i održavanja. Radi se o nužnosti koja proističe iz različitog karaktera problema koji treba da se rešavaju i koji traže multidisciplinarno angažovanje brojnih iskusnih inženjera specijalista. Iskustva drugih ukazuju da se ovo angažovanje može realizovati smišljenim i dobro organizovanim i vodenim "Zvaničnim revizijama projekta" (na pr, prema IEC 1160), koje su zapravo metode zajedničkih razmatranja dodirnih problema od strane autorativnog tima specijalista. Praksa je pokazala da je doprinos svakog pojedinca na zajedničkoj reviziji znatno veći od sume doprinosa kada svaki pojedinac sam razmatra projekt.

Sve to upućuje na osmišljeno i organizovano delovanje kako bi metode i tehnike "inženjerstva održavanja" i drugih srodnih grana sistemskih nauka konačno dobile svoje pravo mesto. Ovo se odnosi na sve složene tehničke sisteme, kakvi su sistemi vojne i aerotehnike, saobraćaja, energetike, procesne industrije, i naročito fleksibilni proizvodni sistemi, visokog stepena automatizacije i robotizacije, koji uključuju niz elemenata i podsistema, različitih svojstava i karakteristika.

6. ZAKLJUČCI

Navedena razmišljanja nas upućuju na zaključak da u današnjem vremenu zaista dominira "kvalitet" proizvoda i usluga, i to u svim sferama svetskih reprodukcionijskih potencijala, u kojima se sve više prepliću mnoge naučne, tehničke i tehnološke oblasti. Ovo sa jedne strane traži poboljšanje sveukupne organizovanosti u procesu rada, ali istovremeno i dalje zaokruživanje, produbljivanje i razvoj novih tehnologija i novih znanja, iz svih važnih disciplina sistemskih

nauka.

U tom okviru se javlja i potreba zajedničkog posmatranja i implementacije standarda serije JUS ISO 9000 i JUS IEC 300. Na taj način pojam "kvalitet", shodno novim terminološkim opredeljenjima i novim prilazima njenoj karakterizaciji, neće biti samo tehničko - tehnološka, već u punoj meri i ekonomska i upravna, odnosno upravljačka kategorija. Zato obezbeđenje kvaliteta u skladu sa međunarodnim standardima nije samo problem tehničkih struktura nego istovremeno i svih ostalih, a posebno menadžmenta i države.

7. LITERATURA

1. Howkins, J., World Administration Radio Conference, Geneva, 1979
2. Liebovitz, H., Emerging technologies and new institution arrangements, The George Washington University, 1989
3. Strandberg, K., IEC 300 The dependability counterpart of ISO 9000, Proceedings of Annual Reliability and Maintainability Symposium, 1991
4. Strandberg, K., IEC 300-Dependability complement to ISO 9000, TC 56 (Sc), 1991.
5. Todorović, J., Jovičić, S., Upotrebnost i sigurnost funkcionisanja, Naučno stručna konferencija Industrijski sistemi, Novi Sad, 1993.
6. Todorović, J., Inženjerstvo održavanja važna tehnologija za dostizanje visoke funkcionalne sigurnosti vozila, JUMV SP, Beograd, 1993
7. Todorović, J., Inženjerstvo održavanja tehničkih sistema, JUMV, Beograd, 1993
8. Jovičić, S., Efektivnost i logistika danas. CESil, Beograd, 1993
9. Jovičić, S., Obezbeđenje pogodnosti održavanja - Uputstva prema IEC 706, Naučno-tehničke informacije VTI Beograd, br. 1, 1992

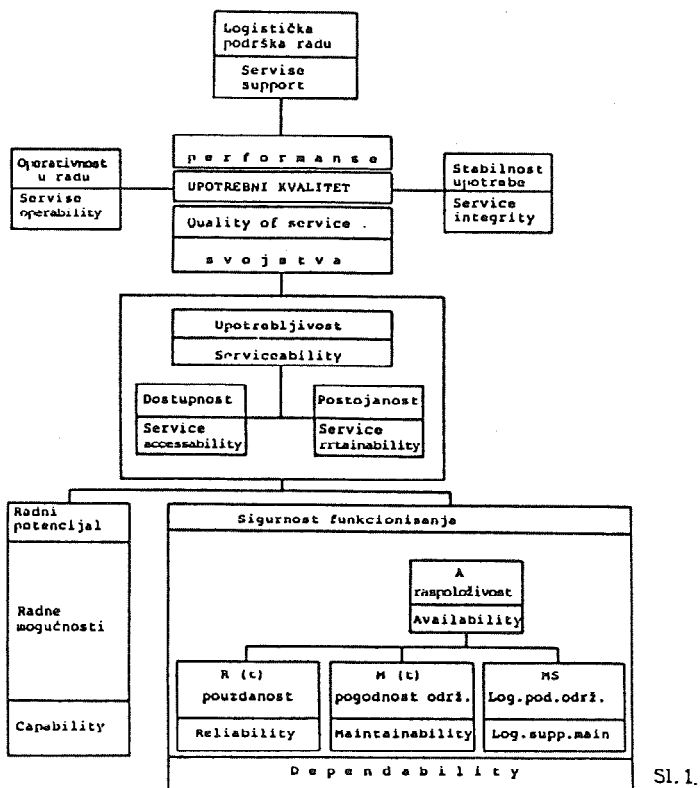
S. Jovičić

J. Todorović

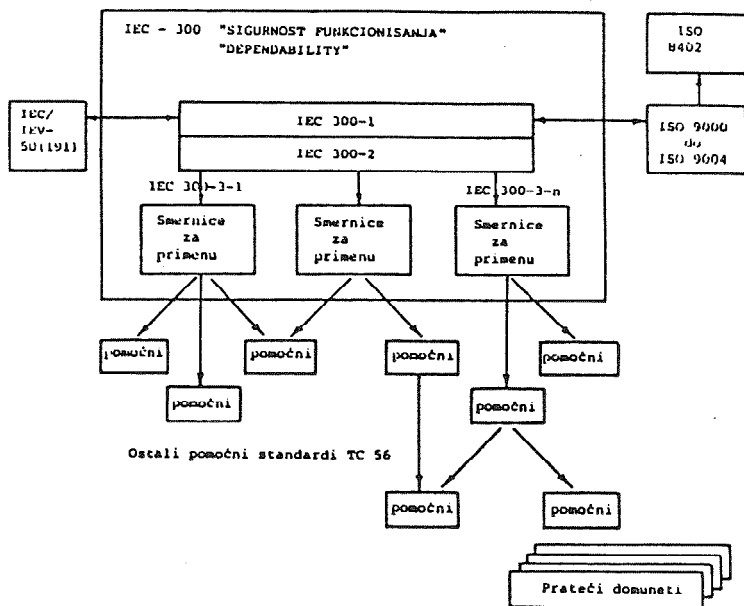
DEPENDABILITY - AN IMPORTANT QUALITY COMPONENT

Summary

A new explanation of "quality" is presented in the paper with a particular emphasize on the product performance during service, i.e. "quality of service" and "dependability" as its components. Standards concerning quality developed within ISO and IEC are presented and analyzed. The JUS IEC 300 series standards are analyzed in more detailed form. In relation to this, some problems from our experience are given and different problem solving approaches are elaborated.



Sl. 1.



Sl. 2.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

V. Majstorović, J. Stanić¹

SISTEM KVALITETA - STANJE I DALJI RAZVOJ

Rezime

Sistem kvaliteta kao globalni međunarodni projekat ima vrlo intenzivan razvoj. U njega je uključena vrlo široka struktura subjekata (vlade, privreda, istraživačke organizacije i stručna udruženja).

Ovaj rad prikazuje neke ključne aspekte razvoja sistema kvaliteta i obuhvata: (i) stanje i razvoj standarda ISO 9000 serije, (ii) internacionalni / nacionalni prilaz razvoju sistema kvaliteta, (iii) neki istraživački pravci u razvoju kvaliteta, i (iv) zaključak.

Ključne reči: Sistem kvaliteta, Menadžment, Razvoj, TQM.

1. UVOD

Medjunarodni standardi kvaliteta ISO 9000, usvojeni 1987. god., već su u svetu izazvali značajne promene, u razvoju kvaliteta proizvoda i usluga.

Danas možemo govoriti o tri aspekta tih promena: (i) stanju i budućem razvoju ove serije standarda sa aspekta ISO TC 176, (ii) internacionalnim / nacionalnim prilazu i razvoju sistema kvaliteta, i (iii) istraživačkim pogledima na ovu propulzivnu oblast.

Bez obzira što se ove promene međusobno prožimaju, ipak je moguće uočiti bitnije karakteristike ovih prilaza.

Ovaj rad daje sistematiku ove problematike i predstavlja pokušaj autora da osvetle različite aspekte razvoja sistema kvaliteta proizvoda i usluga.

2. STANJE I RAZVOJ STANDARDA ISO 9000 SERIJE

Kada su 1987. god., na predlog ISO TC 176, usvojeni standardi ISO 9000 serije, oni su obuhvatili šest dokumenata [2]. Danas, polovinom 1994. god., ovaj broj je proširen sa 16 novih dokumenata [1], koji su izvornu verziju ovih standarda, koja je dopunjena 1991. i 1993. god., proširili sa: (i) dokumentima serije 9004-x (uputstva za procesne materijale, itd., i (ii) dokumenti iz serije ISO 10013 (uputstva za izradu poslovnika o kvalitetu) i ISO 10014

¹) Doc. dr Vidosav D. Majstorović, dipl. inž., prof. dr Joko Stanić, dipl. inž., Laboratorija za proizvodnu metrologiju i kvalitet, Mašinski fakultet, 27. marta 80, Beograd 11000.

(uputstvo za ekonomiku kvaliteta).

Takodje se procenjuje da je do polovine 1994. god. [1], već izdato oko 50.000 sertifikata sistema kvaliteta. Prema broju izdatih sertifikata Velika Britanija je ubedljivo na prvom mestu (preko 60%), zatim slede Evropa (preko 20%), Severna Amerika (preko 5%), itd.

U 1993. god., izvršena je značajna dopuna standarda ISO 9001, pod oznakom ISO 9001-1. Veće dopune su učinjene u elementima sistema kvaliteta br. 1, 2, 4, 9, 10, 11, 14 a manje u 3, 5, 6, 15, 17, i 20.

Dalje značajne dopune ovih standarda se očekuju 1996. god., a one će biti uradjene zbog: (i) obavezna primena standarda za elektronsku razmenu podataka (EDI), pod nazivom UN/EDIFACT, od od 1995. god., i (ii) smatra se takodje da će do navedene godine, biti u svetu završen glani posao na uvodjenju ovih standarda u svetsku privredu, pa će tek tada biti opravdano ići u njihovu dopunu.

Na šta će se te promene odnositi? Oblast primene u novoj verziji standarda se širi na sve industrijsko-ekonomske grane i sektore: administracija, javne službe, obrazovanje, bankarstvo, kosmos, telekomunikacije, itd. One se definišu kao grupa isporučilaca čije ponude tržištu zadovoljavaju slične potrebe kupaca ili čiji su kupci čvrsto povezani na tržištu. Takodje se oni odnose na sledeće kategorije proizvoda: hardware, software, procesne materijale i usluge. Oni se odnose na bilo koju kategoriju proizvoda ili na sve njihove moguće kombinacije.

Verzija ovih standarda do 1993. god., jednoznačno definiše dve komponente kvaliteta proizvoda / usluge: (i) kvalitet ugradjen kroz projektovanje, i (ii) kvalitet usaglašen sa projektnom dokumentacijom. Karakteristike kvaliteta definisane u procesu projektovanja utiču na funkcionalnost i dugovečnost proizvoda pod različitim uslovima eksploatacije.

Koncept totalnog kvaliteta, definiše kvalitet proizvoda prema zahtevima tržišta, a koji se na istom tom tržištu verifikuju. Kupac danas samo na bazi kvaliteta donosi odluku da kupi robu određenog proizvođača. Zbog toga se kvalitet u tržišno razvijenim ekonomijama ne određuje samo na osnovu standarda, već na njegov nivo deluje i tržište, odnosno i konkurencija. Prema toge, najčešće je tržišni nivo kvaliteta veći od onog propisanog standardima. Na ovaj način tržište utiče na poboljšanje postojećih standarda i motiviše proizvođače na proizvodnju proizvoda sve višeg kvaliteta.

Zbog toga kvalitet ugradjen kroz projektovanje treba da bude viši od kvaliteta definisanog dokumentacijom za proizvodnju, što će jasno bitio iskazano u izmenama ovih standarda.

Standardi ISO 9000 serije definišu pet osnovnih grupa nosilaca interesa: dobavljači, kupci, vlasnici, zaposleni i društvo. Novom verzijom ovih standarda biće jasno ukazano da potrebe svake grupe moraju biti zadovoljene. Sa druge strane svaka organizacija ili subjekt mora da teži ostvarenju sledeća tri cilja: (i) da dostigne, održava i stalno poboljšava kvalitet svojih proizvoda/usluga, i (iii) da obezbede poverenje svojih kupaca u kvalitet svojih proizvoda/usluga.

Rad u bilo kojoj organizaciji se izvodi preko procesa, koji imaju svoje ulaze i izlaze (jednu od četiri kategorije proizvoda ili njihove kombinacije). Njime se vrši transformacija koja povećava vrednost, pa organizacije koje imaju sistem kvaliteta ne bi trebale da imaju procese koji ne povećavaju vrednost.

Procesi podležu kontroli: ulazi u proces, u kontrolnim tačkama procesa kao i izlaza iz procesa. Oni su vezani za: tokove materijala (jednosmerne i sa povratnim petljama) i tokove informacija (prate tokove materijala, povratni i bočni tokovi).

Ipak kod realnih organizacija, rad se izvodi u mreži procesa, koja je po pravilu vrlo složena, a obuhvata: planiranje, istraživanje, projektovanje (proizvoda/tehnologije), proizvodnju, nabavku, održavanje, itd.

Stvaranje, održavanje i poboljšanje kvaliteta organizacije vrši se preko mreže procesa, koje treba, prema novim zahtevima ovih standarda stalno poboljšavati.

Jedan od dominantnih zahteva kvaliteta u budućnosti biće njihov ekološki aspekt, ka ojedan od gorućih problemadanašnjeg sveta, koji će biti posebno istaknut u novoj verziji standarda kvaliteta.

Najzad poslednji aspekt se odnosi na ocenu sistema kvaliteta, gde za svaku funkciju treba da bude ostvareno: (i) da procesi budu dokumentovani, (ii) da procesi budu potpuni, i (iii) da budu ostvarena stalna poboljšanja. U novoj verziji ovih standarda biće posebno istaknut značaj stalnih poboljšanja kvaliteta procesa, kao generator kvaliteta proizvoda ili usluga.

Može se zaključiti da će u novim verzijama standarda ISO 9000 biti posebno istaknuta uloga menadžmenta, marketinga i razvoja, kao ključnih elemenata za razvoj sistema kvaliteta iz koga će biti razvijen izvanredan poslovni sistem. On treba da omogući proizvodnju bez greške, na bazi projektovanog tržišnog kvaliteta, koji će se ostvariti u proizvodnji uz minimalne ukupne troškove.

Menadžment treba da se bavi razvojem strategije kompanije, organizacijom, planiranjem, politikom kvaliteta, menadžment procesima.

Marketing treba da radi strateško planiranje, razvoj funkcije kvaliteta, istraživanje i analizu tržišta/dobavljača, promociju proizvoda i obaveštavanje kupaca.

Najzad, razvoj na bazi marketinškog pristupa treba da generise proizvode visokog kvaliteta, korišćenjem pre svega novih tehnika i software-skih alata (konkurentno inženjerstvo, QFD karte, geometrijsko modeliranje, ekspertni sistemi).

3. INTERNACIONALNI/NACIONALNI PRILAZ RAZVOJU SISTEMA KVALITETA

Svetski nivo modela sistema kvaliteta je japanski koncept TQM-a. On se, pored već poznate definicije TQM, karakteriše i performansama svetske klase, slika 1 [8].

Svetsku klasu kvaliteta karakterišu: (i) optimalne vrednosti karakteristika kvaliteta u životnom veku proizvoda (Taguchi-jeva funkcija), (ii) proizvodnja bez škarta (šest sigma model), i (iii) potpuno zadovoljenje zahteva, očekivanja pa čak i sklonoski kupca. Temelj ovog koncepta je obuka svih zaposlenih u kompaniji za kvalitet.

Evropski prilaz razvoju sistema kvaliteta se bazira na njegovom poboljšanju kroz tehnološka unapredjenja, a ne i kroz razvoj menadžmenta. Naime, sertifikovan sistema kvaliteta predstavlja samo dobru osnovu za koncept TQM kao svetsku klasu kvaliteta.

Veliki broj sertifikovanih sistema kvaliteta evropskih kompanija čine osnovu za rad na TQM unapredjenjima, kroz njegovo uključivanje u poslovnu strategiju kompanije. Postoji opasnost da sadašnji tehnički aspekt kvaliteta na bazi "papirologije" i "birokratije" stvori nefleksibilnu kompaniju [4], čime će biti onemogućen razvoj TQM modela.

Slični problemi postoji i u SAD, s'tim da menadžent često smatra da na razvoj TQM modela utiče veliki broj faktora, pa je on kao takav nedostižan za njihove kompanije.

Može se konstatovati da: (i) sistem kvaliteta predstavlja samo polaznu osnovu za unapredjenje kvaliteta, i (ii) menadžent treba da ima ključnu ulogu u razvoju sistemakvaliteta [3].

Naš prilaz ovom problemu je masovno otpočinjanje uvođenja sistema kvaliteta, ali sa velikim brojem pratećih problema [4,5]. Polazna osnova kvaliteta u našoj privredi je na relativno niskom nivou, zbog velikog broja objektivnih i subjektivnih problema.

Medjutim, već dvogodišnji rad na uvođenju sistema kvaliteta daje početne rezultate [5,6], koji su nažalost još uvek daleko od željenih i potrebnih efekata.

4. NEKI ISTRAŽIVAČKI PRAVCI U RAZVOJU KVALITETA

U radovima istraživača u oblasti kvaliteta, uvode se novi termini: "klasični" kvalitet, "empirijski" kvalitet i "novi" kvalitet [12]. Želi se ukazati na različite aspekte parametara kvaliteta, pri čemu se istražuju dva komplementarna cilja: kvalitet i produktivnost, slika 2.

Naime ključni element za realizaciju koncepta "šest sigma" je tehnološki sistem, kao dominantni element za ostvarivanje visokog kvaliteta proizvoda. Današnji istraživački pravci u svetu, u široj oblasti kvaliteta su: (i) razvoj nove generacije software proizvoda za kvalitet na bazi znanja (inteligentni software), (ii) novi prilazi problemima projektovanja proizvoda i procesa (projektovanje za kvalitet), (iii) inženjerska dimenzija TQM-a, (iv) programi kontinuiranog unapređenja kvaliteta na bazi primene novih alata i tehnika, i (v) razvoj nove teorije menadžmenta.

Ekspertni sistemi druge generacije su inteligentni software proizvodi za podršku različitim inženjerskim aktivnostima. U oblasti kvaliteta oni rešavaju različite probleme projektovanja, planiranja i upravljanja, a osnovna karakteristika danas im je da svojom bazom znanja pokrivaju relativno uzak domen [9].

Teorija projektovanja za kvalitet je formalizacija inženjerskih procedura za projektovanje proizvoda i procesa, respektujući i zahteve za kvalitet [7].

Osnovu TQM-a čine organizacioni-upravljački aspekti problema kvaliteta. Inženjerska dimenzija TQM-a je izuzetno važna za ukupnu podršku ovom modelu, pa se zbog toga ona posebno istražuje i razvija [11].

Kontinualno unapređenje kvaliteta je najvažnija karakteristika TQM modela. Za to se koriste različiti alati i tehnike, koji se stalno istražuju i razvijaju [10].

Najvažniji preduslov za uspeh u TQM programu

Najvažniji preduslov za uspeh u TQM programu je promena odnosa menadžmenta prema kvalitetu. Od onih koji predstavljaju kočnicu razvoju kvaliteta u svakoj kompaniji, što se posebno odnosi na našu zemlju, oni treba da postanu glavni generator stalnog unapređenja kvaliteta. Zbog toga se, posebno u razvijenim zemljama izgradjuu nove forme menadžmenta (korporativni menadžment), kao podrška novom razvoju kvaliteta.

5. ZAKLJUČAK

Sistem kvaliteta predstavlja svetski projekat koji se intenzivno radi i razvija.

Naša zemlja se u njega uključila sa zakašnjenjem, ali su ipak postignuti neki početni rezultati (iniciranje državnih organa i privrede, stvorena je kritična masa kompanija i institucija koje rade na uvođenju sistema kvaliteta, razvijaju se i istražuju novi prilazi kvalitetu).

Širenje fronta znanja o kvalitetu je osnovni zadatak naučno-istraživačkih institucija u ovoj oblasti.

6. LITERATURA

- [1] ISO 9000 NEWS, 1992, 1993, 1994.
- [2] Marquardt, D., et al Vision 2000 - A Strategy for International Standards Implementation in the Quality Arena During the 1990s, EOQ Quality, No. 2, pp. 30-36, 1991.
- [3] Juran, M. J., Juran's Message for Europe, European Quality, No. 1, 1994
- [4] Heleta, M., ISO 9000 osnova za TQM, 21 Godišnja konferencija JUSK-a, Beograd, 1994.
- [5] Majstorović, B., Sistem kvaliteta - strategija menadžmenta, Ministarstvo za nauku i tehnologiju R Srbije, Beograd, 1994.

- [6] Stoiljković, V., Uzunović, R., Majstorović, V., i drugi, Kvalitet podržan računarom, CIM College, Nis, 1994.
- [7] Majstorović, V., Projektovanje za kvalitet, 25 Savetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd, 1994.
- [8] Horst, R., Value Focus - Performance, Not Conformance, Peak Productivity Center, Lancaster, 1993.
- [9] Spur, G., Specht, D., Knowledge Engineering in Manufacturing, Technical University, Berlin, 1993.
- [10] McKoewn, P., Implementig Quality Improvement Programmes, Cranfield Institute of Technology, Cranfield, 1993.
- [11] Majstorović, V., Inženjerska dimenzija TQM-a, Časopis "Kvalitet i standardizacija", Broj 1/2, str. 37-40, Beograd, 1994.
- [12] Vargas, G. A., Key factors Affecting the Productivity / Quality Choice, California State University, Fullerton, 1993.

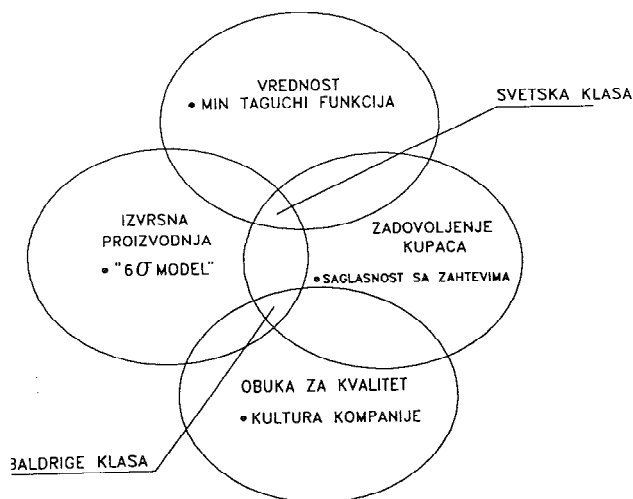
QUALITY SYSTEM - STATE OF THE ART

Summary

Quality system is being intensively developed as a global international project . It includes a great number of subjects (governments, companies, research organizations and expert teams).

This paper presents some key aspects of quality systems development and includes the following elements: (i) ISO 9000 standard state of the art, (ii) international/national approach to quality system developing, (iii) quality developing research directions and (iv) conclusion.

Key words: Quality system, Management, Developing, TQM.



SLIKA 1. ELEMENTI PERFORMANSI SVETSKE KLASI

PRIORITYET KARAKTERISTIKA	TRZISNE KARAKTERISTIKE PROIZVODA	STRATEGIJA KONKURENTNOSTI	PRIMENJENA TEHNOLOGIJA	ELEMENTI RAZVOJA
KVALITETU ORJENTISAN SISTEM	<ul style="list-style-type: none"> • DUGOVECNI PROIZVOD • VELIKI BROJ VARJANTI • STALNI RAST TRZISTA 	<ul style="list-style-type: none"> • DEVERSIFIKACIJA • KONTINUALNO UNAPREĐENJE • PROFIT NA BAZI KVALITETA 	<ul style="list-style-type: none"> • KOMPLEKSNA • DUGA MEDJUVRREMENA • ORJENTISANA PROCESU • FLEKSIBILNA 	<ul style="list-style-type: none"> • KAPITAL / ZNANJE • RAZVOJ
TEHNOLOSKI SISTEM ORJENTISAN PRODUKTIVNOSTI	<ul style="list-style-type: none"> • PROIZVOD KRATKOG ZIVOTNOG CIKLUSA • MALI BROJ VARJANTI • OGRANICEN RAST TRZISTA 	<ul style="list-style-type: none"> • MODEL TROSKOVA • DISKONTINUALNO NAPREĐENJE • PROFIT NA BAZI KOLICINE 	<ul style="list-style-type: none"> • JEDNOSTAVNA • SPECIJALIZOVANA • ORJENTISANA PROIZVODU • KRATKA MEDJUVRREMENA 	<ul style="list-style-type: none"> • RADNA SNAGA / RESURSI • USAVRSAVANJE POSTOJEĆEG SISTEMA

SLIKA 2. KLJUCNI PARAMETRI KVALITETA I PRODUKTIVNOSTI TEHNOLOSKIH SISTEMA

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Mr. R. Šofranac, dipl. ing.
G. J. Ivanović, dipl. ing.
Dr. M. Perović, dipl. ing.
Dr. S. Arsovski, dipl. ing.

PRILOG METODOLOGIJI OCJENE POSTOJEĆEG STANJA SISTEMA KVALITETA U PREDUZEĆU.

R e z i m e :

Uspješno uvođenje sistema kvaliteta u preduzeću počinje sa ocjenom postojećeg stanja. Tako se dobija jasna disproporcija između stvarnog i potrebnog sistema kvaliteta.

U radu je metodološki prikazan postupak ocjene postojećeg stanja sistema kvaliteta u preduzeću

1. UVOD

Da bi mogli prići implementaciji standarda serije ISO 9000 neophodno je prvo odrediti stepen njihovog zadovoljenja u preduzeću. To se rešava ocjenom postojećeg stanja sistema kvaliteta. Ta ocjena za preduzeće znači utvrđivanje razlike između stvarnog i zahtijevanog kvaliteta. Ovo je veoma bitno jer preduzeće ima svoj nivo kvaliteta koji može da limitira brže i efikasnije uvođenje sistema kvaliteta. U svakom slučaju standardi serije ISO 9000 su na višem nivou kvaliteta od kvaliteta u našim preduzećima.

2. KAKO ISPRAVNO OCIJENITI POSTOJEĆE STANJE

Da bi bilje odredili disproporciju između stvarnog i sistema kvaliteta zahtijevanog standardima ISO potrebno je ovom problemu prići krajnje oprezno i odgovorno. Tu se prvenstveno misli na sledeće :

1. Pri ocjeni postojećeg stanja sistema kvaliteta u preduzeću treba subjektivnost svesti na najmanju moguću mjeru. U svakom pa i ovom vidu ocjenjivanja postoji određena doza subjektivnosti, ali treba nastojati da ona bitnije ne utiče na konačnu ocjenu postojećeg stanja.

Mr. Rajko Šofranac, dipl. ing. istraživač u DD Fabrici mašina HI "RD"
Goran J. Ivanović, dipl. ing. istraživač u DD Fabrici mašina HI "RD"
Dr. Milan Perović, dipl. ing. redovni profesor na Mašinskom fakultetu u Podgori.
Dr. Slavko Arsovski, dipl. ing. vanredni prof. na Maš. fakultet u Kragujevcu

2. Prilikom analize i ocjene postojećeg stanja potrebno je analizirati sve procese i funkcije u preduzeću, počevši od radanja ideje za novi proizvod do njegovog korišćenja. Na taj način jednim mnogougaoim pristupom, gdje pod lupu stavljamo sve procese i njihovu dokumentovanost dolazimo do stepena odstupanja postojećeg od potrebnog sistema kvaliteta.

3. Potrebno je obezbijediti i podršku rukovodilaca svih procesa u preduzeću. Ta podrška podrazumijeva objektivni pristup pri ocjeni postojećeg stanja. Drugim riječima rukovodioci pri ocjeni ne smiju zauzimati neki unapred odbrambeni stav prilikom odgovora na pitanja i ocjenjivanja poslovne funkcije kojom rukovode.

3. PRIMJER OCJENE POSTOJEĆEG STANJA U DD FABRIKA MAŠINA, HOLDING INDUSTRIJE "RADOJE DAKIĆ" PODGORICA

DD Fabrika mašina posluje u sastavu Holding industrije "Radoje Dakić." Ovo preduzeće usvojilo je model ISO 9001 zbog djelokruga poslova kojima se bavi. Metodologija ocjene postojećeg stanja bila je:

a) Naredba direktora preduzeća, da se pristupi provjeri i ocjeni sistema obezbeđenja kvaliteta.

b) Razgovor i upoznavanje rukovodilaca sektora i službi sa njihovim obavezama pri provjeri.

c) Za svaki od 20 segmenata standarda ISO 9001 koncipirali smo određeni broj pitanja, tako da smo ukupno za provjeru pripremili 200 ekspertnih pitanja.

Naprimjer za "Odgovornost rukovodstva" imali smo sledeća pitanja :

1. Da li je rukovodstvo definisalo i dokumentovalo politiku kvaliteta?
2. Da li su definisane i dokumentovane odgovornosti svih zaposlenih za kvalitet ?
3. Postoji li organizaciona šema koja pokazuje strukturu rukovodstva i medjusobne veze ?
4. Da li je imenovan predstavnik rukovodstva, odgovara i ovlašćen da osigura primjenu i održavanje ovog standarda ?
5. Postoje li procedure koje pokrivaju sve aktivnosti definisane ovim odeljkom ?

d) Za ocjenu svakog pojedinačnog elementa sistema obezbeđenja kvaliteta predviđeno je šest vrijednosti koji pokrivaju dijapazon, atributa od "loš" do "odličan" vrednujući ih brojnim vrijednostima od 0 do 10, što predstavlja realne zahtijeve za dobijanje odgovarajuće ocjene kako cijelog sistema tako i njegovih funkcionalnih djelova. Znači, poslije svakog pitanja data je tabela kao na slici, gdje se evidentira ocjena za dato pitanje.

Svakom pitanju unaprijed je dodijeljen određeni broj bodova, shodno njegovoj važnosti.

e) Poslije ocjene svih pitanja u sklopu segmenta ISO 9001 data je zbirna tabela na slici, sa konačnom ocjenom tog sistema.

Ocjena						dodijeli max.br. bod. za pitanje	procent zadov. na osnovi oceni	osvojeni broj bodova
loše	slabo	neubedlj.	granično	spasobno	odlično			
0	2	4	6	8	100			
0 %	20 %	40 %	60 %	80 %	100 %			

dodijeljeni br. bodova za ele- ment-kval. (funkciju)	osvojeni broj bodova. Σ bodova svih pitanja	procentualni odnos zadovoljenja	ocjena funkcije kvaliteta

f) Bodove pojedinim segmentima dodeljivali smo na osnovu njihove važnosti sa stanovišta djelatnosti našeg preduzeća. Ključne funkcije u našem preduzeću (pošto se radi o montažnoj industriji su: Razvoj, nabavka i ugradnja. Zato su ti segmenti dobili najviše bodova i to:

1. Kvalitet u projektovanju	190
2. Nabavka	110
3. Proizvodnja	130
4. Odgovornost rukovodstva	50
5. Preispitivanje ugovora	30
20. Statističke metode	30

Zbir svih bodova je 1000.

g) Izrada termin plana za ocjenu postojećeg stanja, poslije koje se pristupilo realizaciji naredbe.

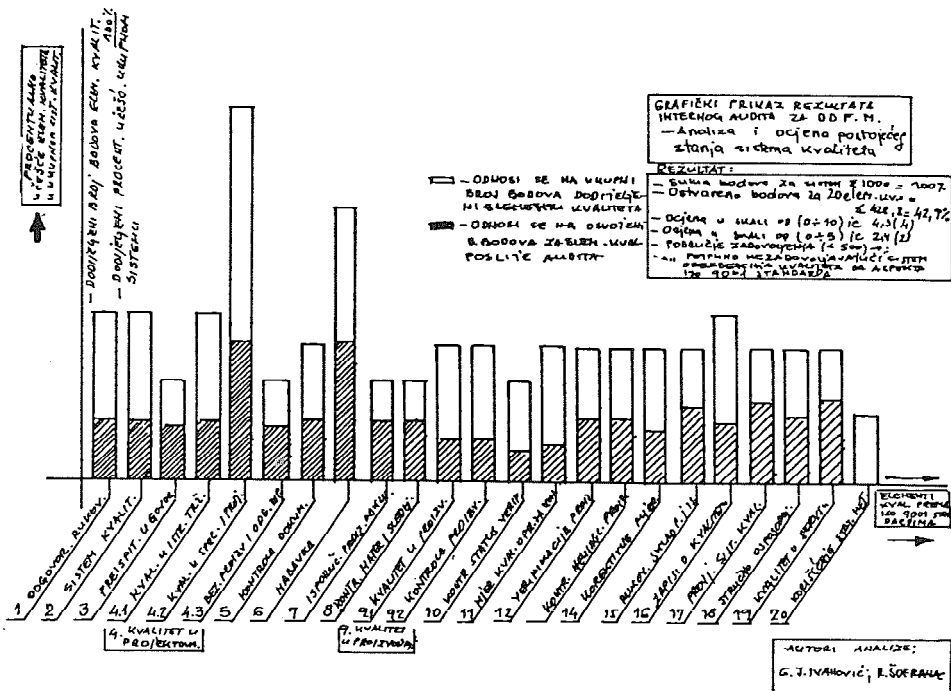
h) Poslije sprovedenih razgovora sa rukovodiocima službi i sektora, te njihovog odgovora na postavljena pitanja, izvršeno je ocenjivanje po sledećim kriterijumima :

- Ako se aktivnosti u datoj funkciji ne sprovedu ne približno zahtevima standarda, te ne postoje pisane procedure ocjena je bila 0 ili 2 što predstavlja najniži nivo kvaliteta kojem odgovara atribut "loše",
- Ako se aktivnosti sprovedu a ne postoje pisane procedure ocjena je 4 "neubedljivo",
- Ako procedure postoje a samo se djelimično sprovedu ocjena je 6 "granično",

- Ako procedure postoje i dobrim dijelom se sprovode ocjena je 8 "sposobno" ,
- Ocjenu 10 "odličan" koja predstavlja najviši nivo kvaliteta, nije smo dodijelili ni jednom segmentu, jer ova ocjena odgovara najvišim zahtjevima organizacije, poslovanja i razvoja.

j) Poslije sprovedenih aktivnosti i ocjene svih segmenata ISO 9001 dali smo histogramski prikaz postojećeg stanja sistema kvaliteta u preduzeću. Ovakav prikaz omogućuje pregledno predstavljanje postojećeg stanja i dijagnosticiranje "crnih tačaka" u sistemu.

Na osnovu ovako sprovedene ocjene postojećeg stanja, pruža se solidna osnova da se kvalitetno pride uvodjenje sistema kvaliteta u preduzeću. Ovo iz razloga, široki raspon ocenjivanja filtrira prioritete uvodjenja.



PRIKAZ REZULTATA OCJENE POSTOJEĆEG STANJA

UMJESTO ZAKLJUČKA :

Metodologija prikazana u ovom radu, pruža dobre pretpostavke za objektivnu ocjenu postojećeg stanja. Veliki broj ekspertnih pitanja, široki raspon ocjena i objektivnost ocenjivača omogućava realno sagledavanje sistema kvaliteta i u tako složenom proizvodno-poslovnom sistemu kakav je Fabrika mašina.

4. LITERATURA

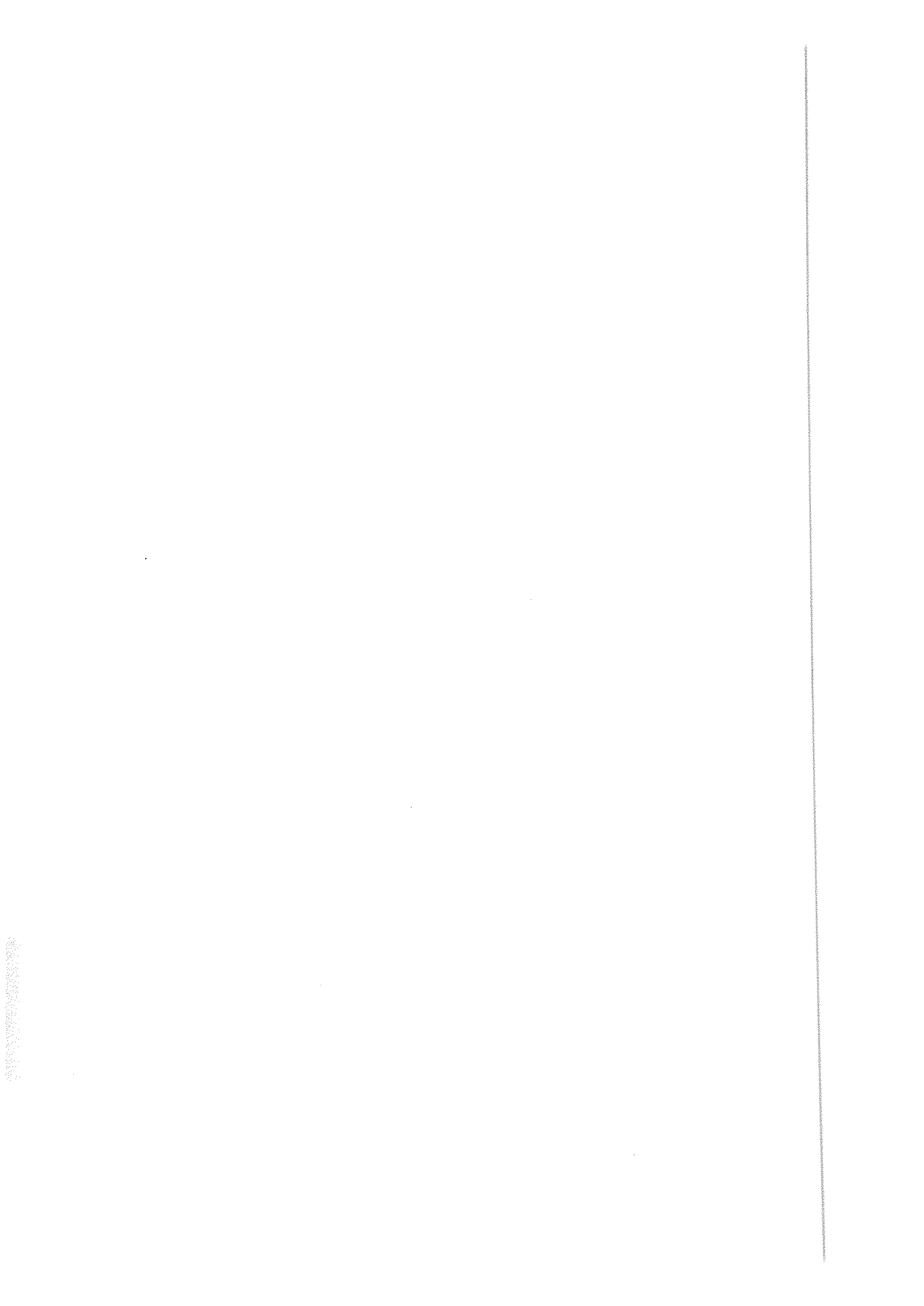
- (1) Jonos L.Perry, ISO 9000-meting The New International Standards
Mc Graw-Hill, Inc, (1993).
- (2) Dokić Žarko, Veljić Milivoje, Metoda za procjenu sistema za upravljanje
kvalitetom zasnovana na programu za obezbedjenje kvaliteta Allis-
Chalmers, Organizacija rada br.3-4 (1991).

ANLAGE ZUR METHODOLOGIE DER BEURTEILUNG DES VORHANDENEN ZUSTANDES DER QUALITATSSYSTEME IM UNTERNEHMEN

Zusammenfassung :

Eine erfolgreiche Einleitung des Qualitätssystems in das Unternehmen fängt mit der Beurteilung des vorhandenen Zustandes an. So erhält man eine klare Disproportion zwischen dem wirklichen und notwendigen Zustand der Qualitätssicherung.

In der Arbeit ist ein methodologisches Verfahren der Beurteilung des vorhandenen Zustandes des Qualitätssystems im Unternehmen gegeben worden.



Г.Глобочки Лакић, С.Зрнић, Н.Средић

ОЦЈЕНА ПОУЗДАНОСТИ РАЗВОДНИКА ПАЉЕЊА РПС-16Е2 НА ОСНОВУ ПРИСПЕЛИХ РЕКЛАМАЦИЈА У ГАРАНТНОМ РОКУ

Резиме

У раду је извршена анализа квалитета позданости разводника паљења РПС-16Е2 на основу отказа овог производа у току његове експлоатације, тј. у гарантном року од годину дана. Моделирање емпиријског распореда извршено је путем одређених теоријских модела - експоненцијалног, Вејбуловог и нормалног и након тестирања (Колмогоров-Смирновљев тест и χ^2 -тест) прихваћена је нормална расподела отказа. Због јако великог броја отказа разводника паљења у експлоатацији извршена анализа утицајних фактора на поузданост овог производа кориштењем Паретовог метода и дат приједлог корективних акција у циљу побољшања укупног квалитета производа.

1.0. УВОД

Комуникација међу произвођачима наметнула је три главна параметра којима вреднујемо производ; квалитет, цијена и рок испоруке. Квалитет производа постао је главно мјерило за избор производа, а условно га можемо дефинисати овако; „Квалитет је вриједност, ваљаност неке ствари, њена примјереност одређеним узорима и нормама”. [6] Да би се постигао захтијевани ниво квалитета неког производа потребно га је планирати и контролисати. Појам „Контрола квалитета”, подразумијева одређени плански циклус на основу кога се постиже жељени циљ - подобност за кориштење. Велика улога ове службе је и у прихватању рекламација од стране купца, њихова обрада, те повратно дјеловање на процес производње чиме се тежи постизању оптималног квалитета - квалитета које тржиште тражи и прихвата уз минималне трошкове произвођача и минималне трошкове у експлоатацији. Једна од кључних функција укупног квалитета производа је поузданост квалитета производа у експлоатацији под одређеним условима експлоатације и временом експлоатације.

Гордана Глобочки Лакић, дипл.инг., асистент; др Славко Зрнић, дипл.инг.доцент; Недељко Средић, дипл.инг.асистент, Машински факултет Банјалука, В.Степе Степановићабр.57.

2.0 ПРОГРАМ И УСЛОВИ ИСПИТИВАЊА

Разводници паљења РПС-16Е2 и РПС-24Е2 производе се у предузећу „Електромеханика” - Холдинг компанија Чајавец чији је асортиман производа врло широк: разводници паљења, електроокретачи (стартери), мотори брисача стакла за аутомобиле, мотори вентилатора, бобине, прекидачи и др. Разлика између два наведена типа разводника паљења је у промјени угла предпаљења у зависности од броја окретаја мотора и у томе што се уграђују у различите моторе. Ови разводници паљења се углавном уграђују у аутомобиле „Црвене заставе”: З-101 и ЈУГО 55. Сви њихови регистровани откази настали су у гарантном року у експлоатацијским условима (гарантни рок је годину дана). Рекламације су евидентирани у сервисима „Застава-ауто”. Рекламирали разводници паљења су прегледани и дефектирани у присуству купца и произвођача: „21 мај” Београд и „Чајавец Холдинг” Бања Лука.

На основу ових информација, примјеном статистичких метода обраде података, урађени су одговарајући дијаграми и дата оцјена поузданости овог производа.

3.0 ОБРАДА РЕЗУЛТАТА

Поузданост производа је врло важан али и сложен технички параметар који утиче на дефинисање квалитета неког производа. Карактеристике поузданости односе се на стање, понашање, вијек трајања и одрживост производа у експлоатацији. Појам поузданости квалитета производа је вјероватноћа да ће производ извршити задане функције у одређеном времену трајања при дефинисаним режимима и условима експлоатације.

За купца неког техничког производа веома је битно да тај производ задовољава неке основне захтјеве: максималну дужину рада без отказа, минималне трошкове поправке или замјене, прихватљив естетски изглед и цијену.

При статистичкој обради података кориштени су слиједећи изрази за карактеристике поузданости.

$$R(t) = \frac{N_0 - n_i(t)}{N_0} = \frac{N_i(t)}{N_0} - \text{функција поузданости}$$

$$F(t) = 1 - R(t) = 1 - \frac{N_i(t)}{N_0} = \frac{n_i(t)}{N_0} - \text{вјероватноћа отказа (функција непоузданости)}$$

$$f(t) = \frac{n(\Delta t)}{N_0 \Delta t} - \text{учестаност отказа (функција густине отказа)}$$

$$\lambda(t) = \frac{f(t)}{R(t)} = \frac{n(\Delta t)}{N_{стр} \Delta t} - \text{брзина отказа (функција интензитета отказа)}$$

$n_i(t)$ - број свих отказаних разводника паљења (РП) по истеку времена t

$n(\Delta t)$ - број отказаних РП у временском интервалу Δt (овдје је то период од мјесец дана)

$N_{стр} = (N_i + N_{i+1}) / 2$ - средњи број исправних РП који раде у истом временском интервалу

N_i - број исправних РП на почетку i -тог интервала

N_{i+1} - број исправних РП на крају i -тог интервала

$N_i(\Delta t)$ - број исправних РП по истеку времена t

N_0 - број РП који су испоручени за годину дана

$t_i = \left(i - \frac{1}{2}\right) \Delta t$ - средина текућег временског интервала

Величина испоручене серије за годину дана је $N_0 = 98722$ комада, а рекламације су праћене у току наредне године, јер је гарантни рок годину дана. Од укупно испоручених РПС-16Е2 рекламирано је 3814 комада. Откази су регистровани у временском интервалу од мјесец дана тј.

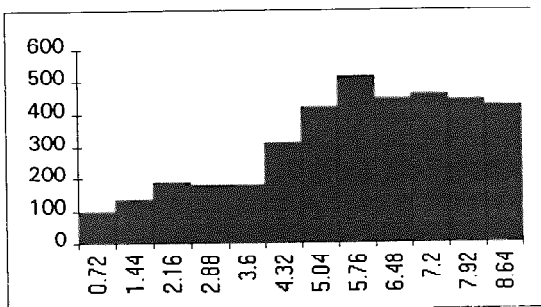
$\Delta t = 30$ дана \times 24 часа = 720 часова

мјесец	interval $t_i \cdot 10^3$ [cas]	средина interval $t_i \cdot 10^3$ [cas]	$n(\Delta t)$ [kom]	$m(\Delta t)$ [kom]	$N(t)$ [kom]	$N_{sk}(t)$ [kom]	$R(t)$	$F(t)$	$f(t) \cdot 10^{-6}$ [cas ⁻¹]	$\lambda(t) \cdot 10^{-6}$ [cas ⁻¹]
0-1	0,72	0,36	101	101	98621	98671,5	0,998997	0,001023	1,4209	1,4216
1-2	1,44	1,08	136	237	98485	98553	0,997600	0,002400	1,9133	1,9166
2-3	2,16	1,80	187	424	98298	98391,5	0,995706	0,004294	2,6308	2,6396
3-4	2,88	2,52	180	604	98118	98208	0,993882	0,006118	2,5323	2,5456
4-5	3,60	3,24	180	784	97938	98028	0,992059	0,007941	2,5323	2,5502
5-6	4,32	3,96	311	1095	97627	97782,5	0,988909	0,011091	4,3753	4,4174
6-7	5,04	4,68	422	1517	97205	97416	0,984634	0,015366	5,9369	6,0165
7-8	5,76	5,40	517	2034	96688	96946,5	0,979397	0,020603	7,2735	7,4067
8-9	6,48	6,12	448	2482	96240	96464	0,974859	0,025141	6,3027	6,4503
9-10	7,20	6,84	460	2942	95780	96010	0,970200	0,029800	6,4715	6,6543
10-11	7,92	7,56	444	3386	95336	95558	0,965702	0,034298	6,2464	6,4533
11-12	8,64	8,28	428	3814	94908	95122	0,961367	0,038663	6,0213	6,2492

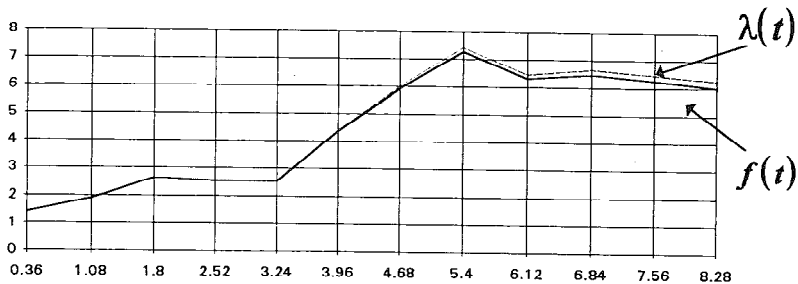
Табела Т.1. Преглед рекламираних РПС - 16Е2 у гарантном року по мјесецима са израчунатим карактеристикама поузданости

$t_i \cdot 10^3$ [cas]	0,72	1,44	2,16	2,88	3,60	4,32	5,04	5,76	6,48	7,20	7,92	8,6
$n(\Delta t)$	101	136	187	180	180	311	422	517	448	460	444	428
$m(\Delta t)$	101	237	424	604	784	1095	1517	2034	2482	2942	3386	381
$R(t)$	0,9735	0,93786	0,88884	0,84164	0,79445	0,71290	0,60226	0,4667	0,34924	0,22864	0,1122	0,0
$F(t)$	0,02648	0,062139	0,11116	0,15836	0,20555	0,28710	0,39774	0,5332	0,65076	0,7714	0,8878	1,0

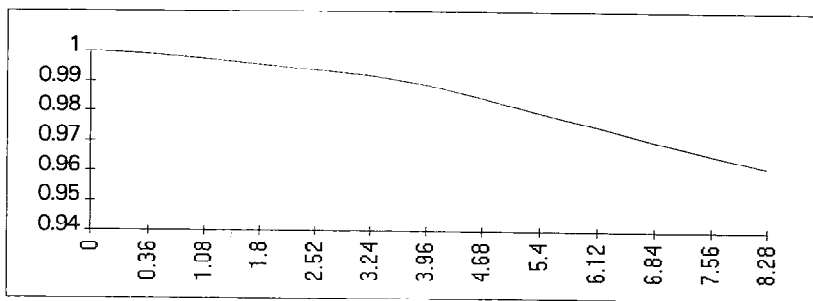
Табела Т.2. Преглед рекламираних РПС - 16Е2 са функцијама $R(t)$ и $F(t)$



Слика 1. Хистограмски приказ отказа РПС - 16Е2 у гарантном року



сл. 2 Графици функција $f(t)$ и $\lambda(t)$



сл. 3 График функције $R(t)$

4.0 ОДРЕЂИВАЊЕ ТЕОРИЈСКОГ МОДЕЛА РАСПОДЈЕЛЕ ОТКАЗА

Кориштен је графички метод (критеријум). Суштина овог метода је у упоређивању графика датог емпиријског распореда са моделисаним (теоријским) графиком када се претходно оба учртају на тзв. папир вјероватноће на којем се иначе крива функција неког распореда (функција вјероватноће) пресликава у праву линију.

Све полазне хипотезе (експоненцијални, Вејбулов и нормални распоред) тестиране су d_α - тестом (Колмогоров-Смирнов тест) и χ^2 - тестом са повјерењем од $P=0,9$.

Од три претпостављене расподјеле отказа посматраног разводника паљења могу се, на основу њиховог тестирања, са повјерењем $P=0,9$ могу се прихватити два закона расподјеле - нормални и Вејбулов. Наимс, тестирањем по χ^2 - тесту могу се прихватити обе расподјеле док се тестирањем по d_α - тесту одбијају обе расподјеле. Предлажем као боље варијантно рјешење нормални закон расподјеле отказа јер се по d_α - тесту одбацује мање рјешења, док се код Вејбулове расподјеле по овом тесту не може прихватити ни једно рјешење. Међутим, и овај закон расподјеле се мора прихватити са одређеном резервом због претходно наведених разлога.

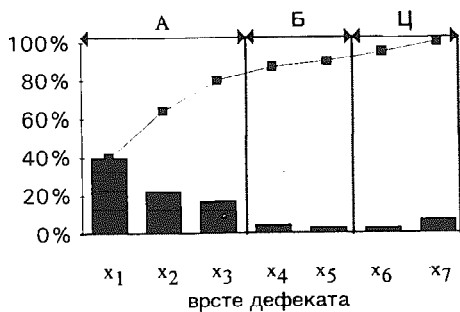
Анализирајући табелу Т.1. и слику сл.3. видимо да укупна поузданост испоручене серије РПС-16Е2 износи $R(t)=0,961367$, а то практично значи да ће на стотину уграђених разводника паљења отказати $3,864 \approx 4$, што је доста лош резултат. Даље, функција интензитета отказа показује знатно осциловање и

сталан пораст, а то значи да се у контроли квалитета још увијек, у највећој мјери, само констатује одређени број рекламација без већих корективних захвата. Крива поузданост $R(t)$ - сл.3. има тенденцију опадања што је и логично, јер поузданост опада са повећањем временског периода коришћења у ком се захтијева задовољење одређене функције. Ако је постигнут захтијевани ниво квалитета неког производа, укупна крива поузданости би требала да буде константна на крају гарантног рока.

Закључак након проведене анализе је слједећи - неопходне су одговарајуће корекционе мјере да би се побољшала поузданост квалитета датог производа у експлоатацији, јер су трошкови рекламација изузетно високи. Исто тако, треба побољшати квалитет одржавања и опслуживања производа у експлоатацији преко развоја мреже оспособљених сервиса, јер ове активности знатно утичу на повећање нивоа поузданости.

5.0 АНАЛИЗА УТИЦАЈНИХ ФАКТОРА НА ПОУЗДАНОСТ КВАЛИТЕТА РПС-16Е2

Поузданост квалитета производа је једна од темељних функција укупног квалитета производа. Анализа фактора квалитета се одвија кроз три фазе гдје је најбитнија прва фаза - идентификација свих фактора за које се зна или претпоставља да утичу на карактеристику квалитета производа. [1] За откривање и спецификање утицајних фактора примјењен је Паретов метод.



Група фактора А:

- x₁ - пукла еластична чивија
- x₂ - слаб спој ротор - шупља осовина
- x₃ - увећан зазор дуга осовина - лежаж

Група фактора Б:

- x₄ - оштећен извод намотажа
- x₅ - велики аксијални ход осовине

Група фактора Ц:

- x₆ - лупају тегови
- x₇ - остали дефекти

сл.4. Паретов метод откривања утицајних фактора на поузданост квалитета разводника паљења РПС-16Е2

Група фактора А чини 79,79% укупних дефеката, односно отказа разводника паљења у експлоатацији у гарантном року, што значи да отказивањем узрока којих до њих доводе много се повећава поузданост овог производа. То су слиједећи фактори:

1. Пуцање и испадање еластичне чивије у жљебу ротора и шупље осовине.

Узроци који доводе до овог дефекта су:

- а) Еластичне чивије су набављене на тржишту као готова роба, из Загреба. Проблем је у томе што је то једини произвођач такве врсте чивија на домаћем тржишту који није био способан да испуни захтјеве „Електромеханике“, није постигнут одговарајући квалитет материјала и није постигнута одговарајућа термичка обрада). Због рата на овом подручју испоруке су потпуно обустављене, па произвођач овога производа покушава

наћи новог добављача. Значи, свјесно се ишло у одређени ризик -отказ еластичне чивије у склопу јер су то диктирала одређени услови на тржишту.

б) Грешке у изради осталих позиција у чији склоп улази еластична чивија (одступања облика и димензија као и квалитета обрађених површина шупље осовине и жљеба на шупљој осовини и ротору у који улази еластична чивија). Резултат помјерања чивије је помјерање момента паљења и заустављање мотора.

Корективне мјере за отклањање овог најугицајнијег фактора, односно узрока највећег броја отказа РПС-16Е2 су :

- замјена еластичне чивије за осигурање ротора сензора са пуном чивијом (са преклопом - утискује се). Пуну чивију, до чијег испадања може доћи у току експлоатације усљед појаве центрифугалних сила, осигурати са обе стране додатним подлошкама и сегер осигурачима (прстеновима). (Детаљ А на склопном цртежу РПС-16Е2).

2. Слаб спој ротор-шупља осовина

У овом случају је јако утицајан људски фактор (раднице на монтажи ротора на шупљу осовину не би смјеле оставити ротор који лако наилази на шупљу осовину - не смије бити лабав спој или се исто тако деси да раднице на монтажи грешком и непажњом ставе двије подлошке умјесто једне).

3. Увећан радијални зазор дуга осовина - лежај (тијело разводника)

Узроци овог дефекта могу бити:

а) непостигнута саосност тијела осовине и лежаја, па долази до повећаног радијалног зазора у току експлоатације што за последицу има запињање „лера” индуктивног давача за изводе статора и индуктивног давача, а то опет доводи до поремећаја угла пред паљења при смањеним брзинама мотора.

б) синтер лежајеви - набављају се као готова роба од добављача из Ужица који није у могућности да постигне одговарајућу класу квалитета.

Групу утицајних фактора Б чине:

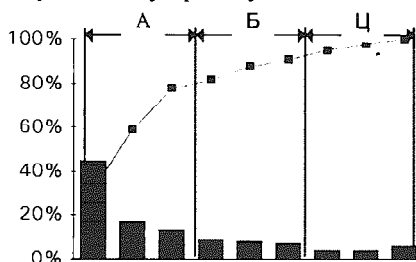
1. оштећење каблова индуктивног давача

Као варијантно рјешење могуће је покушати са чврстим изводима (кабловима) који иду директно са индуктивног давача на конектор.

Група фактора Ц:

1. лупање тегова

Анализом ових дефеката који су довели до великог броја рекламација, види се да је већини њих узрок нека „банална” грешка, или објективни услови тржишта или пак људски фактор, односно свијест о квалитету сваког учесника у процесу.



сл.5 Паретов дијаграм са факторима који доводе до најчесталијег отказа

- Ф 1 - Материјал еластичне чивије
- Ф 2 - термичка обрада еластичне чивије
- Ф 3 - одступање облика и димензија у изради
- Ф 4 - одступање облика и димензија жљеба на шупљој осовини
- Ф 5 - људски фактор
- Ф 6 - квалитет обраде шупље осовине
- Ф 7 - машина
- Ф 8 - кориштени алати
- Ф 9 - остали фактори

6.0 ЗАКЉУЧАК

Анализа поузданости квалитета неког производа у експлоатацији од великог је значаја за остваривање укупног квалитета производа. Врло је важно функционисање повратне спреге, односно повратног тока информација.

У овдје извршеној анализи неизбежно се намеће слиједећи закључак: Свијест о квалитету у нашим условима је још увијек на недовољном нивоу и неопходно је увести правовремено информисање о квалитету и о томе да сви запослени једнако учествују у томе.

7.0 ЛИТЕРАТУРА

- [1] Станић Ј., Управљање квалитетом производа, Методи I, Машински факултет, Београд, 1989.
- [2] Станић Ј., Управљање квалитетом производа, Методи II, ИРО „Грађевинска књига“, Београд, 1985.
- [3] Ивановић Г., Станивуковић Б., Поузданост техничких система, Збирка ријешених задатака, Машински факултет, Београд, 1987.
- [4] Павлић Ј., Статистичка теорија и примјена, Техничка књига, Загреб
- [5] Jugan J.M., Gupa M.F., Планирање и анализе квалитета, од развоја производа до коришћења, Привредни преглед, Београд, 1974.
- [6] Дусман Ф. - Предавања на постдипломским студијама ФСБ Загреб из предмета Осигурање квалитета.
- [7] Глобачки Лакић Г. - Семинарски рад из предмета Осигурање квалитета на ФСБ, Загреб
- [8] Извјештај о дефактажи и унапређењу квалитета фабрике „Електромеханика“, Чајавец Холдинг.

Г.Глобачки Лакић, С.Зрнић, Н.Средић

THE RPS-16E2 IGNITION DISTRIBUTOR'S RELIABILITY EVALUATION ON THE BASIS OF THE COMPLAINTS RECEIVED IN THE WARRANTY PERIOD

Summary

The RPS-16E2 ignition distributor's reliability was analyzed in this paper on the basis of the product's failures during its exploitation in the one-year warranty period. The empirical disposition modelling was performed by means of some theoretical models - exponential Weibuls and normal model, and the normal distribution of breakdowns was accepted after testing. Factors which influence the ignition distributor's reliability were analyzed using Pareto's method because of the numerous breakdowns of that product during exploitation. Corrective actions for improving the product's general quality are suggested.



25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

V. Majstorović¹

PROJEKTOVANJE ZA KVALITET

Rezime:

Projektovanje proizvoda i procesa mora u sebi uključiti i sve zahteve za kvalitet, koji se najbolje iskazuju kroz koncept konkurentnog inženjerstva. On se odnosi na ukupni životni vek proizvoda i u sebe eksplicitno integriše sve zahteve za kvalitet, u istraživanju i razvoju, projektovanju, pripremi proizvodnje, proizvodnji i eksploataciji.

U ovom radu se detaljno razmatra prilaz projektovanju za kvalitet, za koji se izlaže opšti pristup i daju neki istraživački rezultati, dobijeni u Laboratoriji za proizvodnu metrologiju i kvalitet.

Ključne reči: Kvalitet, Aksiomatsko projektovanje, Taguchi model, Projektovanje.

1. UVOD

Projektovanje je visoko kreativni inženjerski proces, koji se zasniva na: (i) intuiciji i znanju inženjera projektanta, i (ii) korišćenju različitih software-skih alata.

Projektovanje za kvalitet je deo ukupne teorije projektovanja [1-3], koja se razvija kao integralni prilaz projektovanja proizvoda, procesa i sistema za kvalitet [4].

Metodologija projektovanja za kvalitet po Taguchi modelu je integrisana u koncept nove filozofije kvaliteta, kroz sledeće činjenice:

1. Važna dimenzija kvaliteta gotovog proizvoda je njegova funkcija gubitaka za društvo.
2. U tržišnoj ekonomiji, kontinualno unapredjenje kvaliteta i smanjenje troškova su neophodni uslovi za uspeh u posovanju.
3. Program kontinualnog unapredjenja kvaliteta mora obuhvatiti smanjenje odstupanja karakteristika performansi proizvoda oko njihovih nominalnih vrednosti.
4. Gubici kupca prouzrokovani odstupanjem performansi proizvoda približno su proporcionalni kvadratu odstupanja karakteristika performansi od njihovih nominalnih vrednosti,
5. Kvalitet i troškovi gotovog proizvoda se najviše generišu u njegovom projektovanju (proizvoda i procesa).

¹) Doc. dr Vidosav Majstorović, dipl. inž., Laboratorija za proizvodnu metrologiju i kvalitet, Mašinski fakultet, 27. mart 80, 11000 Beograd.

6. Smanjenjem varijanse performansi proizvoda (ili procesa) može se smanjiti efekat uticaja nelinearnosti na ove parametre.
7. Statističko planiranje eksperimenata može pomoći da se identifikuju parametri kvaliteta i smanji odstupanje karakteristika proizvoda (ili procesa).

Navedeni Taguchi-jevi principi se direktno ili indirektno odnose i na projektovanje za kvalitet, slika 1 [5].

Ovaj rad se odnosi na postavku koncepta projektovanja za kvalitet, sa aspekta razvoja nekih prilaza projektovanju danas.

2. AKSIOMI PROJEKTOVANJA I UPRAVLJANJE KVALITETOM

Aksiomi projektovanja su osnovni principi koji daju specifičnu metodologiju za povećanje kvaliteta proizvoda, na bazi povećanja kvaliteta proizvoda i procesa. Oni se zasnivaju na različitim statističkim tehnikama, koje se koriste u projektovanju, pripremi proizvodnje, proizvodnji i eksploataciji gotovog proizvoda.

Zbog toga se postavlja pitanje: "Kako inženjer projektant ili planer procesa može doneti racionalnu odluku ili korektivnu akciju, posebno u fazi projektovanja, a koja se odnosi na kvalitet gotovog proizvoda".

Polazna pretpostavka je da se odluke moraju zasnivati na nekim osnovnim principima, a to su aksiomi projektovanja [2], i to:

1. Aksiom nezavisnosti - održati nezavisnost funkcionalnih zahteva, i
2. Informacioni aksiom - informacioni sadržaj treba minimizirati.

Proces projektovanja može da se shvati kao preslikavanje iz jednog u drugi domen, $D_{i-1} \rightarrow D_i$, slika 2.

Zahtevi kupca (ZK) čine skup karakteristika projektovanja, koji se preslikavanjem prevode u skup funkcionalnih karakteristika (FK). Po istoj analogiji vrše se i ostala preslikavanja, koja se opisuju sledećim sistemom jednačina projektovanja:

$$\begin{aligned}
 [ZK] &= [A] [FK] \\
 [FK] &= [B] [KPD] \\
 [KPD] &= [C] [KPS]
 \end{aligned} \tag{1}$$

gde su: $[ZK]$ - vektor zahteva kupaca, $[FK]$ - vektor funkcionalnih karakteristika, $[KPD]$ - vektor karakteristika proizvoda, $[KPS]$ - vektor karakteristika procesa, $[A]$ - matrica parametara zahteva, $[B]$ i $[C]$ - matrice projektovanja. Elementi matrica projektovanja su:

$$B_{ij} = \frac{\partial FK_i}{\partial KPD_j} \quad i \quad C_{jk} = \frac{\partial KPD_j}{\partial KPS_k} \tag{2}$$

Prema aksiomu 1, potrebno je da za matricu $[B]$, j bude veće ili jednako i . Kada je $B_{ij}=0$ za $i \neq j$, dobijamo dijagonalnu matricu, i u ovom slučaju mi imamo nespregnuto (idealno) projektovanje. Isti slučaj imamo kada je $B_{ij}=0$ a $i \neq j$ a $j > i$, i tada imamo

raspregnuto (prihvatljivo) projektovanje. U oba navedena slučaja zadovoljen je aksiom nezavisnosti. U svim ostalim slučajevima nije zadovoljen aksiom 1 i mi imamo spregnuto projektovanje, što nije prihvatljivo projektno rešenje.

Drugi, informacioni aksiom daje vezu parametara projektovanja, preko informacionog sadržaja, koji se daje izrazom:

$$I = \log_2 \left(\frac{1}{p} \right) \quad (3)$$

gde je p - verovatnoća sa kojom se npr. parametri projektovanaja KPD_j ostvaruje funkcionalna karakteristika FK_i.

3. METODOLOGIJA PROJEKTOVANJA ZA KVALITET

Prvi aksiom, koji se odnosi na nezavisnost funkcionalnih zahteva, može se posebno primeniti u projektovanju za kvalitet (proizvoda i procesa) i to u sledećim slučajevima.

Određiti odgovarajući skup parametara projektovanja [KPD], koji su više verovatni da će ostvariti funkcionalne karakteristike [FK] u odnosu na postojeći projekat. Naime, u najvećem broju slučajeva tehnološke mogućnosti naših pogona su takve da imamo više varijanti za karakteristike procesa za datu karakteristiku proizvoda. U tom slučaju, primena aksioma 1 nam omogućuje da pretraživanjem skupa karakteristika procesa [KPS], odredimo parametre projektovanja sa najvećim uticajem (t.j. $\partial KPD_j / \partial KPS_k$ sa najvećom vrednošću).

Taguchi je razvio statistički pristup projektovanju za kvalitet (sistem, parametri, tolerancije), gde je moguće primeniti napred izloženi koncept.

U proceduri izbora parametara projektovanja vektora KPD prema prema parametrima vektora funkcionalnih karakteristika FK, standardna devijacija σ^2 za date parametre FK_i se može odrediti variranjem parametara projektovanja vektora KPD. Standardna devijacija n vrednosti parametra FK je:

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{p=1}^n (FK_{i,p} - FK_i)^2 \quad (4)$$

gde je: $FK_{i,p}$ je p -ta vrednost parametra FK_i koja odgovara p -toj vrednosti parametra KPD_j.

Srednja vrednost od n ($FK_{i,p}$) parametra se može napisati kao:

$$\overline{FK}_i = m = \frac{1}{n} \sum_{p=1}^n FK_{i,p} \quad (5)$$

Taguchi definiše parametar poremećaja (SN), koji daje osetljivost parametra funkcionalnih karakteristika FK_i, preko izraza:

$$SN = 10 \log_{10} \left(\frac{m^2}{\sigma^2} \right) \quad (6)$$

Uopšteno govoreći, vrednost m je različita od $(FK)_0$, što se može izraziti jednačinom:

$$b = (FK)_0 - m$$

Povećanjem kvaliteta proizvoda, b mora težiti 0, izmenom parametra (KPD)_j, slika 3.

Jedan od preduslova za ostvarivanje visokog kvaliteta proizvoda, su njegove funkcionalne karakteristike, koje je definisao projektant, a odnose se na primer na geometriju, i moraju biti ostvarene u tehnološkom procesu. Kada je to u potpunosti moguće, verovatnoća

je jednaka 1 i nisu potrebne dodatne informacije. Kada je verovatnoća manja od 1, imamo situaciju kao na slici 3. Parametar karakteristike proizvoda je projektant definisao opsegom projektovanja, a on se može ostvariti opsegom (sposobnošću) sistema (a-b). Zajednički opseg predstavlja zajedničku oblast preklapanja ovih parametara (a-d).

Informacioni sadržaj, definisan jednačinom 3, za zajednički opseg, može se napisati kao:

$$I = \left[\frac{\text{OPSEG SISTEMA}}{\text{ZAJEDNICKI OPSEG}} \right] = \log_2 \left[\frac{\int_a^c f(FK) d(FK)}{\int_a^b f(FK) d(FK)} \right] = \log_2 \left[\frac{1}{\int_a^b f(FK) d(FK)} \right]$$

Za slučaj većeg broja parametara FK i KPD, ukupni informacioni sadržaj predstavlja sumu pojedinačnih informacionih sadržaja za date parametre.

Teoreme: 3(redudantno projektovanje), 8(nezavisnost i tolerancije), 9(projektovanje za proizvodnju), kao i korolari: 4(standardizacija), 5(simetrija) i 6(veličina tolerancija) predstavljaju teorijsku osnovu teorije projektovanja za kvalitet, kao celine aksiomatskog projektovanja [2].

4. IZABRANI PRIMER PROJEKTOVANJA ZA KVALITET

Veći broj primera projektovanja za kvalitet, koristeći elemente konkurentnog inženjerstva i geometrijskog modeliranja, prikazan je u [7,8]. Ovde se navodi primer automatskog menjača i njegovih elemenata (opruge i prstena), kojise ugradjuju u Ford-ove automobile [6].

Eksperimentalni oblik Taguchi-jeve funkcije je peikazan na slici 4. Kada je vrednost sile opruge 34 N, pri kojoj se izvodi proces promene pod potpuno regularnim uslovima, njegova funkcija je u potpunosti ostvarena. Dozvoljena odstupanja su 4 N. Veća ili manja odstupanja, što izaziva reklamacije kupaca nastaju iz dva osnovna razloga: (i) slabljenje opruge, koje nastaje kao posledica greški u materijalu i/ili postupku izrade, i (ii) oštećenje prstena, koje prouzrokuje "zaglavljivanje" opruge, pa samim tim i potrebne su veće sile za njegov rad. Istraživanje je pokazalo da je osnovna funkcionalna karakteristika sila menjača i to: $FK_1 = 34 - 4$ N. Parametri projekovnja su: KPD_1 - promena prečnika prstena, i KPD_2 - konstantna sila opruge. Prema ovom modelu, primenjuje se teorema 3 (redudantno projektovanje), koje se primenjuje kada je broj parametara projektovanja veći od broja funkcionalnih karakteristika, čime je ispunjen i aksiom 1.

I informacioni aksiom je takodje primenjen u ovom slučaju. Raspodela verovnoća parametra projektovanja je prikazana na slici 5. Informacioni sadržaj je:

$$I = \log_2 \left[\frac{c - a}{d - a} \right] \quad (9)$$

a težnja je da $b \rightarrow 0$, pri čemu bi tehnološki proces omogućio postizanje uskih tolerancija izrade prstena. Time bi i informacioni sadržaj bio minimiziran, što je suština aksioma 2.

5. ZAKLJUČAK

Projektovanje za kvalitet po Taguchi metodu uz korišćenje aksiomatskog projektovanja je jedan od prilaza koji se danas sve više koristi. Drugi prilazi su: (i) QFD karte, (ii) primena različitih tehnika inženjerstva kvaliteta, (iii) konkurentno inženjerstvo, i (iv) JIT koncept.

Iz ove analize se može zaključiti da koncept projektovanja za kvalitet ima vrlo širok prilaz. Iz tih razloga pri njegovoj primeni treba izabrati odgovarajući model, što je posebno navedeno u [7,8], a i ovde se ističe.

Istraživanja koje se izvode u Laboratoriji za proizvodnu metrologiju i kvalitet, na Mašinskom fakultetu u Beogradu, imaju za cilj da ove prilaze učine dostupnim i našoj industriji.

6. LITERATURA

- [1] Milačić, V., Teorija projektovanja tehnoloških sistema, Masinski fakultet, Beograd, 1987.
- [2] Suh, N., The principles of Design, Oxford University, Press, New York, 1990.
- [3] Yoshikawa, H., General Design Theory, University of Tokyo, Tokyo, 1990.
- [4] Bendell, T., Taguchi Methods, Elsevier Applied Science, London, 1991.
- [5] Horst, R., Value Focus - Performance, Not Conformance, Peak Productivity Center, Lancaster, 1993.
- [6] Oh, L., Modeling variation to enhance quality in manufacturing, Proceedings of the Conference on Uncertainty in Engineering Design, Washington, 1989.
- [7] Majstorović, V., TOM - inženjerska dimenzija, V Medjunarodna naučno - stručna konferencija, str. 355 - 361, Novi Sad, 1994.
- [8] Majstorović, V., Elementi konkurentnog inženjerstva za tehnološke sisteme, Projekat 1106, Elaborat o izvršenim istraživanjima u 1993. god., Mašinski fakultet, Beograd, 1994.

V. Majstorović

DESIGN FOR QUALITY

Summary

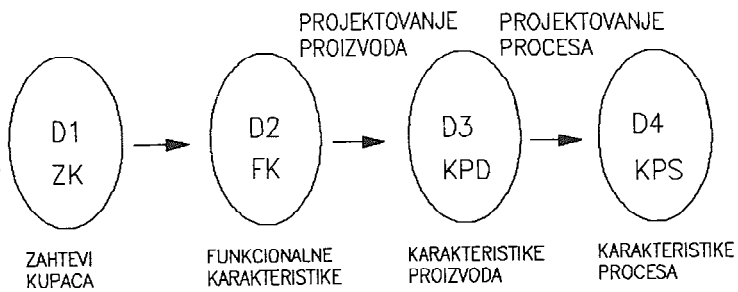
The products and processes design must include all the quality requirements, which are most adequately defined by the concurrent engineering concept. It is related to the product life cycle and integrates by itself all the quality requirements for research and development, design, process planning, manufacturing and exploitation.

In this paper we give the design for quality approach, a general concept and experimental results.

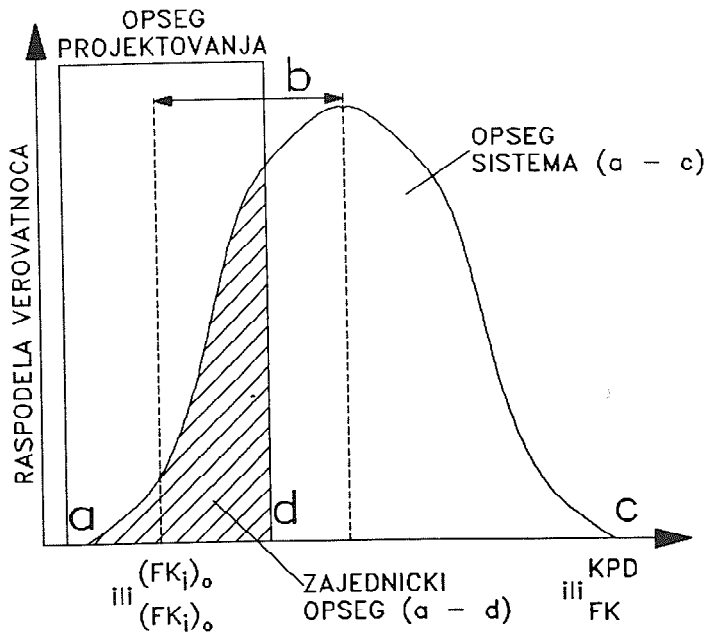
Key words: Quality, Design Axioms, Taguchi model, Design.

NIVO PERFORMANSI	DEFINICIJA KVALITETA	NEOPHODNE AKTIVNOSTI	PARAMETRI OCENE KVALITETA	ALATI	PARAMETRI
VREDNOST/ CENA (SVETSKA KLASA)	USPOSTAVLJANJE OCEKIVANJA KUPCA	ANALIZA GUBITKA KUPCA (KVANTITATIVNA)	VREDNOST GUBITKA ZA DRUSTVO	TAGUCHI FUNKCIJA	GUBITAK ZA KUPCA (\$)
POGLED KUPCA (BALDRIGE KLASA)	ZADOVOLJENJE OCEKIVANJA KUPCA	ANALIZA POVRATNIH INFORMACIJA OD KUPCA (KVALITATIVNE)	PERFORMANCE PROIZVODA NASPRAM CENE	<ul style="list-style-type: none"> * PREGLED KUPACA * ANALIZA IDEJA * RAZLIKA PROIZVODA CENA * VARIJACIJA PERFORMANSI 	<ul style="list-style-type: none"> * RAZLIKA PROIZVODA CENA * VARIJACIJA PERFORMANSI
KVALITET (SVETSKA KLASA PROIZVODNJE)	SAGLASNOST SA ZAHTEVIMA	ANALIZA NE-USKLADJE- NOSTI	UNAPREDJENJE PROIZVODNO/ DOBAVLJACKIH PROCESA	<ul style="list-style-type: none"> * JEDNACINA PRODUKTI- VNOSTI * SPC * ISO 9001 	<ul style="list-style-type: none"> * PRODUKTIVNOST (VREME CIKLUSA) * RASPOLOZIVOST ppm/ppb

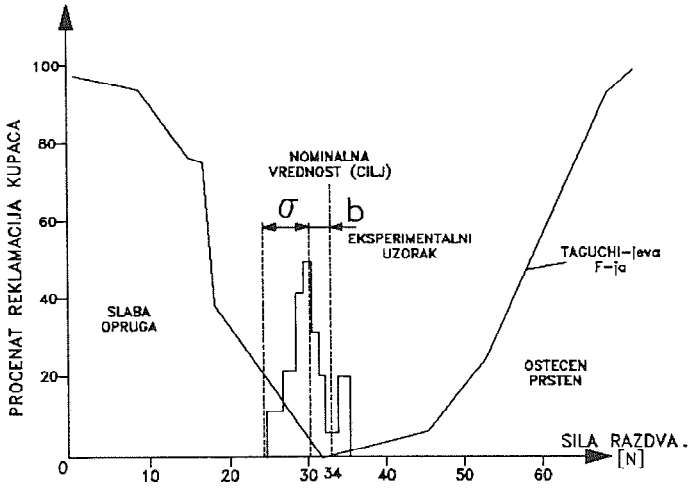
SL. 1 NIVOI PERFORMANSI IZVRSNOSTI



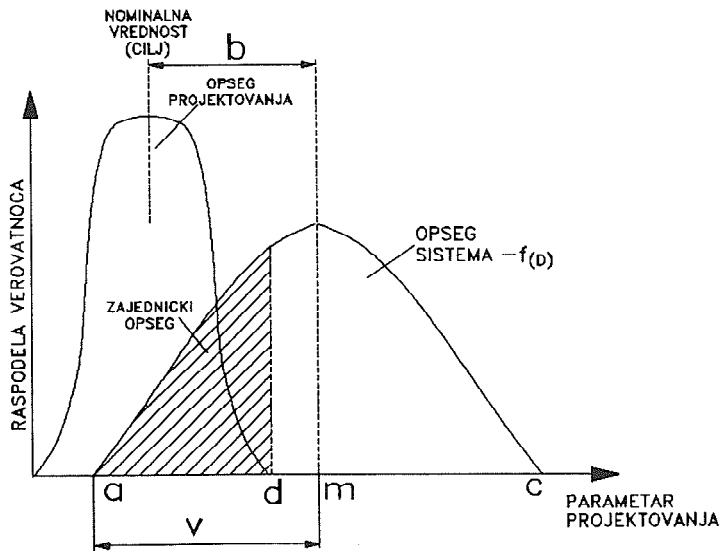
SLIKA 2. DOMENI PRESLIKAVANJA KOD PROJEKTOVANJA ZA KVALITET



SL.3. DEFINISANJE PARAMETARA OPSEGA



SL.4. EKSPERIMENTALNI OBLIK TAGUCHI-jeve FUNKCIJE



SL.5. RASPODELA VEROVATNOCA PARAMETARA PROJEKTOVANJA

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

B. Popović, M. Dimitrić, B. Vukić¹

TAČNOST, PRECIZNOST I STABILNOST PROCESA OBRADE

Projektovanje i uvođenje Sistema kvaliteta, po metodi Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, koje se vrši u nizu preduzeća domaće industrije (fabrike Industrije mašina i traktora, fabrike Industrije kotrljajućih ležajeva, itd.), obuhvata upravljanje kvalitetom koje provode podsistemi Kontrole i Obezbeđenja kvaliteta. Kontrola kvaliteta u odeljenjima ulazne, procesne i izlazne kontrole ostvaruje tehničko upravljanje kvalitetom kojim se kvalitet proizvoda ili usluga podešava prema granicama, u čemu izuzetan značaj ima Procesna kontrola koja kontroliše procese obrade i izrade (polu)proizvoda.

1. UVOD

Postupci Procesne kontrole pripadaju skupu opštih postupaka upravljanja u Sistemu kvaliteta sa: operativnim upravljanjem, proverom i preispitivanjem upravljanja. Operativno upravljanje se provodi posle kontrolisanja a ono obuhvata planiranje, utvrđivanje i izvođenje upravljačkih akcija tokom svih faza proizvodnog procesa.

Za Procesnu kontrolu je posebno značajno proveravanje ispravnosti (polu)proizvoda u pogledu kvaliteta korišćenjem Memnih i Kontrolnih sistema, odnosno njihovih procesa merenja i kontrolisanja, koji se provode u pogonskim kontrolama i u Metrološkoj laboratoriji [9]. Procesi kontrolisanja obuhvataju Kontrolne sisteme i njihove karakteristike: metode, principi, postupci, rezultat.

Savremene metode u Procesnoj kontroli obuhvataju brojne atributivne i numeričke metode kontrolisanja. U industriji prerade metala posebno su značajne Numeričke metode koje uglavnom sadrže: Kvantitativnu kontrolu, Pretkontrolu, Kontrolu mogućnosti, Kontrolu ispravnosti (prema standardu MIL-STD-414), Kontrolu tačnosti, Kontrolu preciznosti, Kontrolu stabilnosti i Potpunu kontrolu procesa.

2. PRETHODNA KONTROLA MAŠINE I PROCESA

Kontrola mogućnosti, tačnosti i preciznosti obuhvata prethodnu i završnu kontrolu. Prethodna kontrola obuhvata kontrolisanje mašine (obradne ili montažne) i procesa na osnovu manjeg broja ($m=10$) malih uzoraka ($n=5$), obično u jednoj smeni.

Prethodna kontrola mašine omogućava proveru izbora i eventualno podešavanje mašine, zbog neprilagodene geometrije ili nepodešenog mehanizma. Ovde se raspolaze sa poznatim merama uzoraka (srednje vrednosti x_i , standardna odstupanja s_{x_i}) kao i nepoznatim

¹Dr Branko Popović, dipl.inž., redovni profesor, Dr Milenko Dimitrić, dipl.inž., profesor, Boris Vukić, dipl.inž., asistent, Institut za industrijske sisteme, Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad

mera ma skupa odnosno serije (μ , σ) a primenjuje se određivanje indeksa tačnosti i indeksa preciznosti rada mašine [6].

Rad mašine karakterišu uzorci sa sledećim statističkim merama srednjih vrednosti i raspona:

$$\bar{x}_j = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i, \quad j=1,2, \dots, m. \quad (1)$$

$$R_j = x_{i_{\max}} - x_{i_{\min}} \quad (2)$$

Kako uzorci mogu biti različite veličine izračunavaju se srednje vrednosti raspona, procena standardnog odstupanja kao i širina raspona mašine, uz parametar kontrolisanja d_2 :

$$\bar{R} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m R_j, \quad (3)$$

$$s_R = \frac{\bar{R}}{d_2}, \quad (4)$$

$$W_m = 8s_R. \quad (5)$$

Koristeći dobijene vrednosti i datu toleranciju mašine (T_m) dalje se određuju Indeksi preciznosti i tačnosti kao i kritična mera mašina:

$$c_m = \frac{T_m}{6s_R}, \quad (6)$$

$$c_{mk} = \frac{\Delta m}{3s_R}, \quad (7)$$

$$\Delta m = \min(\bar{x} - DGT_m, GGT_m - \bar{x}), \quad (8)$$

Indeks preciznosti mašine pokazuje: nepreciznost za $c_m < 1$, kritičnu preciznost za $c_m = 1$ i preciznost za $c_m \geq 4/3$. Indeks tačnosti mašine pokazuje: netačnost za $c_{mk} < 1$, kritičnu tačnost za $c_{mk} = 1$ i tačnost za $c_{mk} \geq 4/3$. Određivanje greške podešavanja je neophodno u slučaju kada je mašina netačna, kritično precizna i neprecizna.

Prethodna kontrola procesa omogućava proveru izbora elementa Obradnog ili montažnog sistema (sirovina, alat, pomoćni pribor, upravljanje) i eventualno podešavanje procesa, zbog pogrešnih elemenata ili nepodešenog upravljanja. Ovde se takođe raspolaže sa poznatim merama uzorka kao i nepoznatim merama skupa a primenjuje se određivanje indeksa tačnosti i indeksa preciznosti procesa [1].

Proces karakterišu uzorci sa statističkim merama: srednjih vrednosti (9), raspona (10), srednje vrednosti raspona (11) i procese standardnog odstupanja (12) dok je širina raspona procesa:

$$W = 6s_R \quad (9)$$

Koristeći dobijene vrednosti dalje se određuju Indeksi preciznosti i tačnosti kao i kritična mera procesa :

$$c_p' = \frac{T}{6 \cdot s_R} \quad , \quad (10)$$

$$c_{pk}' = \frac{\Delta p}{3 \cdot s_R} c_{pk} = \frac{\Delta p}{3 \cdot s_R} \quad , \quad (11)$$

$$\Delta p = \min(\bar{x} - DGT, GGT - \bar{x}) \quad , \quad (12)$$

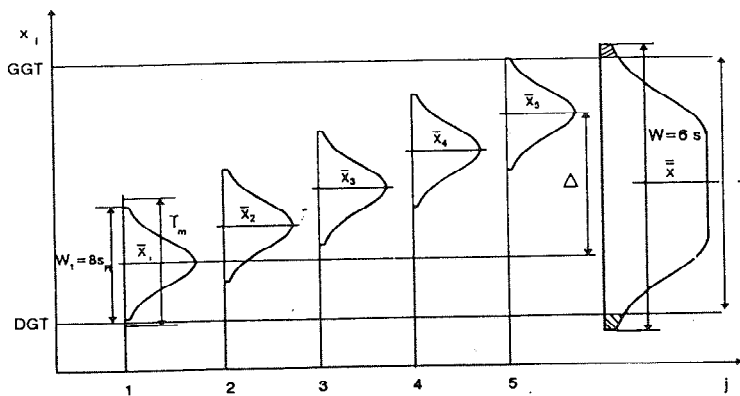
uz srednju vrednost procesa:

$$\bar{x} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m \bar{x}_j \quad , \quad (13)$$

Indeks preciznosti procesa pokazuje: nepreciznost za $c_p' < 1$, kritičnu preciznost za $c_p' = 1$ i preciznost za $c_p' > 4/3$. Indeks Tačnosti procesa pokazuje: netačnost za $c_{pk}' < 1$, kritičnu tačnost za $c_{pk}' = 1$ i tačnost za $c_{pk}' > 4/3$. Određivanje greške podcšavanja procesa je neophodno u slučaju kada je mašina netačna, kritično precizna ili neprecizna [2].

3. ZAVRŠNA KONTROLA PROCESA

Završna kontrola procesa omogućava naknadnu proveru izbora elemenata Obradnog ili montažnog sistema (sirovina, alat, pomoćni pribor, upravljanje) kao i eventualno podešavanje procesa, zbog pogrešnih elemenata ili nepodešenog upravljanja. Završna kontrola obuhvata kontrolisanje procesa na osnovu većeg broja ($m=20$) malih uzoraka ($n=5$), obično tokom 5 radnih dana. Prethodne kontrole mašine i procesa kao i završna kontrola procesa zasnovani su na oblikovanju raspodele procesa koja je shematski prikazana na slici 1.



Slika 1. Shema oblikovanja raspodele procesa

Ovde se takođe raspolaze sa poznatim merama uzoraka kao i nepoznatim merama skupa a primenjuje se određivanje indeksa tačnosti i indeksa preciznosti procesa [5]: Proces karakterišu uzorci sa statističkim merama: srednjih vrednosti (1), raspona (2), srednje vrednosti raspona (3) i srednje vrednosti procesa (4) dok su ukupni broj (polu)proizvoda, standardno odstupanje i širina raspona procesa:

$$N = m \cdot n \quad (14)$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2} \quad (15)$$

$$W = 6 \cdot s \quad (16)$$

Koristeći dobijene vrednosti kao i kritičnu meru procesa (10) dalje se određuju Indexi preciznosti i tačnosti procesa:

$$c_p = \frac{T}{6 \cdot s} \quad (17)$$

$$c_{pk} = \frac{\Delta p}{3 \cdot s} \quad (18)$$

Indeks preciznosti procesa pokazuje: nepreciznost za $c_p < 1$, kritičnu preciznost za $c_p = 1$ i preciznost za $c_p > 4/3$. Indeks Tačnosti procesa pokazuje: netačnost za $c_{pk} < 1$, kritičnu tačnost za $c_{pk} = 1$ i tačnost za $c_{pk} > 4/3$. Određivanje greške podešavanja procesa je neophodno u slučaju kada je mašina netačna, kritično precizna ili neprecizna [2].

U ovim kontrolama pored određivanja Indeksa preciznosti (c_m , c_p' , c_p) nekad se primenjuje [3] i određivanje procenta preciznosti u prethodnoj kontroli:

$$PC_m = \frac{100\%}{c_m} = \frac{6 \cdot s_R}{T_m} \cdot 100\% \quad (19)$$

$$PC = \frac{100\%}{c_p'} = \frac{6 \cdot s_R}{T} \cdot 100\% \quad (20)$$

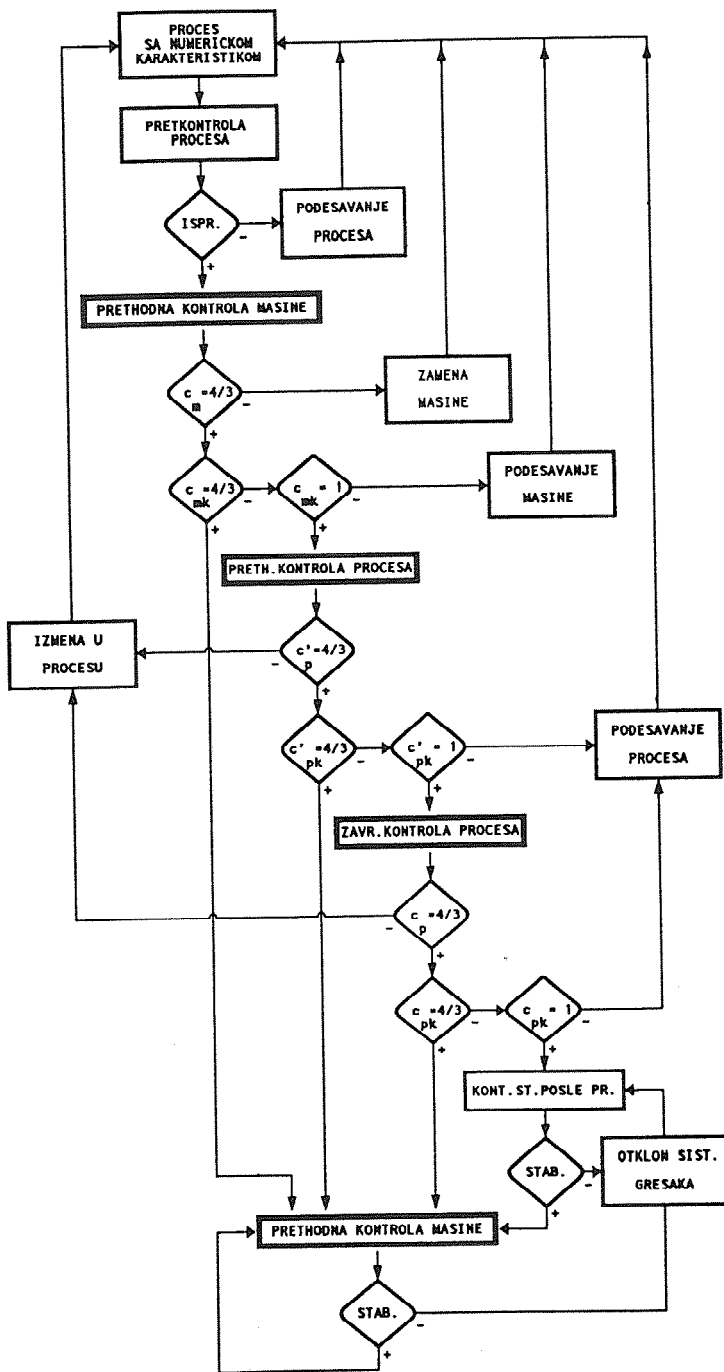
kao i procenta preciznosti u završnoj kontroli:

$$PP = \frac{100\%}{c_p} = \frac{6 \cdot s}{T} \cdot 100\% \quad (21)$$

4. TOKOVI KONTROLISANJA PROCESA

Tokovi kontrolisanja procesa obuhvataju Pretkontrolu, Prethodnu kontrolu mašine, Prethodnu kontrolu procesa, Završnu kontrolu procesa, Kontrolu stabilnosti posle završenog procesa i Kontrolu stabilnosti u toku procesa prema algoritmu na slici 2. Posle ovih kontrola primenjuju se Potpuna kontrola i Kontrola ispravnosti.

Ako su mašina ili proces netačni (c_{mk} , $c_{pk}' < 1$) uvek se ide na podešavanje a ako proces nije precizan ($c_p', c_p < 4/3$) uvek ide na izmenu odnosno zamenu elemenata sistema.



Slika 2. Algoritam tokova kontrolisanja procesa

5. ZAKLJUČAK

Proces projektovanja, uvođenja i atestiranja Sistema kvaliteta u oblasti proizvodnog mašinstva zahteva primenu savremene Procesne kontrole sa njenim potencijalima, postupcima, tokovima i metodama, koji su u ovom radu samo delimično razmotreni. Posebni značaj imaju Kontrole mogućnosti, tačnosti i preciznosti procesa koje su brže i efikasnije u odnosu na klasični postupak kontrolisanja procesa.

Kontrola mogućnosti, tačnosti i preciznosti obuhvata prethodnu kontrolu mašine (obradne ili montažne) i procesa kao i završnu kontrolu procesa. Obimnija i dublja analiza Procesne kontrole u Sistemu kvaliteta [11] ukazala je na brojnije i složenije zadatke, koji u odnosu na raniju Procesnu kontrolu zahtevaju: savremeniju opremu, računare i softver kao i manji broj kontrolora sa višom kvalifikacijom.

LITERATURA:

- [1] J.M. Juran, L.A. Seder, F.M. Gryna, Quality Control Handbook, McGraw-Hill Book Co, New York -London (1974)
- [2] D.C.Montgomery, Introduction to Statistical Quality Control, John Wiley & Sons, New York (1985)
- [3] Statistical Process Control, American Society for Quality Control, Milwaukee (1986)
- [4] B.Popović, B.Kamberović, Upravljanje kvalitetom, Zbirka rešenih zadataka sa objašnjenjima, Naučna knjiga, Beograd (1987)
- [5] L.K.Chan, S.W.Cheng, F.A.Spiring, A New Measure of Process Capability: Cpm, Journal of Quality Technology, 20(1988)162-175
- [6] R.A.Boyles, The Taguchi Capability Index, Journal of Quality Technology, 23(1991)17-26
- [7] N.L.Johnson, S.Kotz, W.L.Pearm, A Unified Treatment of Process Capability Indices, Journal of Quality Technology, 24 (1992)11-32
- [8] B.Popović, Obezbedenje kvaliteta proizvoda (Quality Assurance), Beograd, Nauka(1992)
- [9] B.Popović, Ulazna kontrola kvaliteta (Incoming-material Control), Naučna knjiga, Beograd (1993)
- [10] B.Popović, B.Kamberović, Merenje i kontrolisanje geometrije u Sistemu kvaliteta (Dimensional Measurements), Nauka, Beograd (1994)
- [11] B.Popović, Procesna kontrola u Sistemu kvaliteta (Statistical Process Control, Nauka, Beograd (1995)

B.Popović, M. Dimitrić, B. Vukić

PUNCTUALITY, ACCURACY AND STABILITY OF THE PRODUCTION PROCESS

Summary

Quality system design includes Quality Control and Quality Assurance. Quality control in the departments for input, process and output control accomplishes technical quality control. Statistical process control has special significance because it inspects semi-finished and finished products processing.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE
25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

M. Rakić, J. Stanić¹

**MATEMATIČKO MODELIRANJE OPERACIJE INSPEKCIJE
PRIMENOM CENTRALNOG KOMPOZICIONOG PLANA**

Rezime:

Matematičko modeliranje operacije inspekcije se najlakše može izvesti pomoću eksperimenata. Centralni kompozicioni plan predstavlja najčešće korišćen metod matematičkog modeliranja ovakvih objekata.

Rad sadrži sledeće celine: a) uvod, b) matematičko modeliranje objekata, c) inspekcija krivih linija, d) centralni kompozicioni plan, e) rezultati istraživanja i f) reference.

Ključne reči: Inspekcija, Operacija, Modeliranje, Centralni kompozicioni plan.

1. UVOD

U specifičnoj oblasti metrologije koja se naziva merenje i inspekcija na NUMM-ma, javlja se jedan poseban problem vezan za merenje i inspekciju krivih linija i površina. U ovoj oblasti metrologije kao poseban problem se javlja problem matematičkog modeliranja operacije inspekcije. Matematički model operacije inspekcije omogućuje da se na bazi definisanih faktora koji opisuju operaciju inspekcije dodje do "površine reagovanja". Na bazi tako definisane "površine reagovanja" može da se izvrši i optimizacija vremena trajanja operacije inspekcije na NUMM.

U ovom radu su korišćene reference [1-3].

2. MATEMATIČKO MODELIRANJE OBJEKATA

Model objekta se može definisati, kao skup organizovanih informacija koje daju određenu predstavu o objektu [1]. Na ovaj način definišemo realni objekat ili objekat modeliranja.

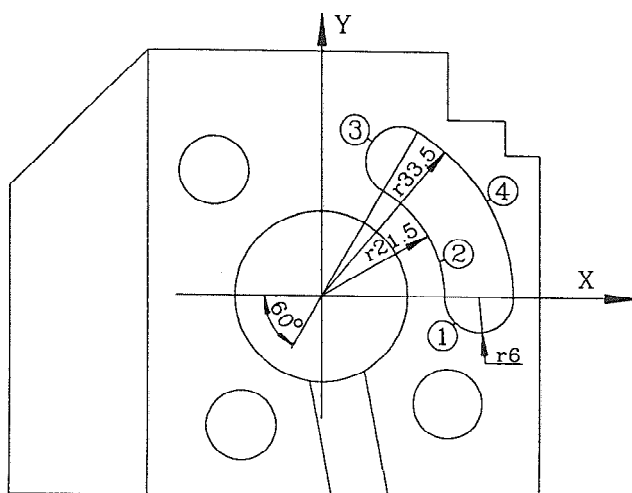
¹) Milutin Rakić, dipl. inž., prof. dr. Joko Stanić, dipl. inž., Laboratorija za proizvodnu metrologiju i kvalitet, Mašinski fakultet, 27. mart 80, 11000 Beograd.

Najčešći ciljevi formiranja modela su:

- proučavanje i analiza objekta radi dobijanja, pomoću modela, potpunijih znanja i novih zakonitosti o objektu,
- provera postavljenih hipoteza o zakonitostima i mehanizmima unutrašnjih međudejstava u objektu,
- programiranje ili predikcija stanja i ponašanja objekta,
- optimiranje objekta na osnovu postavljenih kriterijuma optimizacije i
- upravljanje objektom u prostoru i vremenu.

Procedura definisanja *matematičkog objekta* sastoji se iz tri osnovne faze, prema [1]:

- formalizovano opisivanje,
- matematičko opisivanje i
- postavljanje algoritma.



Slika 1. DEMO deo sa konturom čija se inspekcija izvodi.

Proces modeliranja operacije inspekcije na NUMM predstavlja veoma složen zadatak zbog sledećih činjenica:

- veoma mnogo faktora utiče na samu operaciju,
- svaka od krivih linija zahteva poseban metrološki tretman,
- ograničeni resursi sistema NUMM (kuglice određenih prečnika, ograničenja u pogledu brzine SCANNING-a, itd.),
- postojanje matematičkih ograničenja i
- medjuzavisnost parametara operacije.

3. INSPEKCIJA KRIVIH LINIJA

Sustina inspekcije krivih linija je u tome da se prema kompletno definisanoj dokumentaciji obavi inspekcija tolerancija na mernom predmetu. Detaljna uputstva su data u literaturi [2,3].

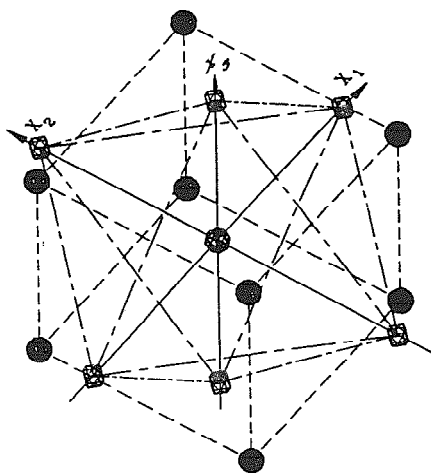
Kao što je prikazano na slici 1, kriva linija čija se inspekcija izvodi, sastoji se iz 4 radijusa koji se nadovezuju jedan na drugi.

Ovde treba naglasiti da je broj tačaka i njihov položaj jedan od parametara koji utiču na inspekciju mernog predmeta, pa će kao takav biti dat i u planu eksperimenta.

Treba naglasiti da postoje i druga ograničenja pri inspekciji krivih linija na NUMM. Jedan od njih je i maksimalni prečnik kuglice mernog pipka, i korak SCANNINGA-a. Ograničenja tih faktora koji su dati objašnjena su literaturi [2,3].

4. CENTRALNI KOMPOZICIONI PLAN

U teoriji planiranja eksperimenta [1], date su teorijske osnove eksperimentalnih planova.



Slika 2. Centralni kompozicioni plan.

Centralni kompozicioni plan je dobio naziv po tome što se centar plana poklapa sa osnovnim nivoom faktora objekta koji se modelira. U toj centralnoj tački "hiper-prostora" se izvodi i grupa ponovljenih eksperimenata koja ima za cilj da se oceni disperzija izmerenih vrednosti.

Kompozitnost plana se ogleda u tome, što je matrica plana komponovana iz tri celine eksperimentalnih tačaka, i to:

- eksperimentalne tačke na temenima "hiper-kuba" (2^k),
- eksperimentalne tačke na središnjim osama ($2k$) i
- eksperimentalne tačke u centru eksperimentalnog "hiper- prostora".

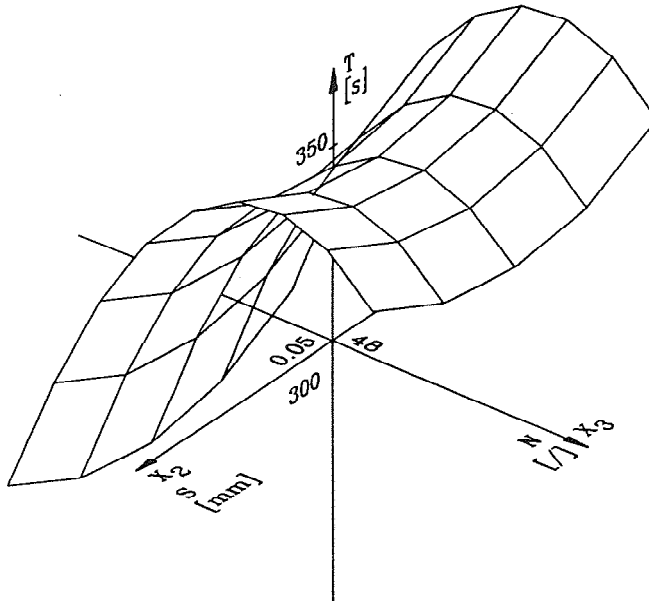
Ovako koncipiran plan eksperimenata omogućuje da se za relativno kratko vreme dobiju merodavne informacije o objektu koji se modelira (efekti plana).

"Višak" tačaka u centru plana omogućuje disperzionu analizu modela i ocenu adekvatnosti modela reda koji je izabran. U nekim složenim slučajevima treba ići na efekte plana višeg reda (drugog, trećeg itd.) da bi se dobio adekvatan model objekta. U posmatranom primeru pokazalo se da treba ići do modela drugog reda.

5. REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Imajući u vidu sve rečeno u prethodnim poglavljima doslo se do koncepcije eksperimentalnog rada na modeliranju operacije inspekcije krive linije.

Ekperimenti su bili obavljeni na DEMO delu firme KOMEG, koja je proizvođač NUMM-e UMC-850. Objekat čija je inspekcija obavljena je kontura prikazana na slici 1. Tehnički detalji vezani za programiranje inspekcije dati su u [2,3]



Slika 3. Površina reagovanja za slučaj mernog pipka $r = 5$ mm.

Kao faktori izabrani su korak SCANNING-a, broj tačaka sa kojim je definisana kontura i prečnik meme kuglice. Osnovni nivoi ovih faktora su:

- korak SCANNING-a $s = 0.05$ [mm],
- broj tačaka $N = 48$ i
- prečnik meme kuglice $d = 3$ [mm].

Intervali varijacije faktora su dati:

- korak SCANNING-a $W_s = 0.01$ [mm],
- broj tačaka $W_N = 9$ i
- prečnik meme kuglice $W_d = 1$ [mm].

Ekperimentalni plan je definisan u [1]. Za konkretan primer prikazan je u tabeli 1. Pored matrice plana u tabeli 1 dati su i rezultati eksperimenata, kao i efekti plana prvog i drugog reda.

Medju rezultatima je zanimljivo pogledati tačku 13. Rezultat koji je dobijen u eksperimentalnoj tački 13 očigledno odudara od ostalih rezultata. U toj tački se slučajno dogodilo da svi faktori plana daju operaciju koja dugo traje zato što ima relativno mali broj

tačaka u odnosu na korak SCANNING-a i prečnik merne kuglice.

Na ovaj način se mogu odrediti i granice mogućeg opsega pojedinih izabranih faktora. Na primer, fizičko ograničenje prečnika mernog pipka je $0.5 R_k$. Gde je R_k u ovom slučaju najmanji prečnik na konturi čija se inspekcija izvodi. Broj tačaka je ograničen činjenicom da se radijus mora postaviti kroz minimum tri tačke, odnosno, kontura prikazana na slici 1 od četiri puta po tri tačke.

Ovo navodi na to da se pri izvođenju operacije treba voditi računa o međusobnim ograničenjima.

FAKTORI		Matrica plana reda 2^k i $2^k + 2k + n_0$											Eksperim. rezultati T[s]
		X_0	X_1	X_2	X_3	X_1^2	X_2^2	X_3^2	X_1X_2	X_1X_3	X_2X_3	$X_1X_2X_3$	
Skup tačaka na temenima "kuba" 2^k	Tacka ①	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	329.84
	Tacka ②	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	+1	317.90
	Tacka ③	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	+1	336.21
	Tacka ④	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	-1	312.80
	Tacka ⑤	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	339.67
	Tacka ⑥	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	-1	+1	-1	-1	320.03
	Tacka ⑦	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	338.84
	Tacka ⑧	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	324.35
Skup tačaka na centr. osama 2^k	Tacka ⑨	+1	-1.682	0	0	2.829	0	0	0	0	0	0	343.48
	Tacka ⑩	+1	+1.682	0	0	2.829	0	0	0	0	0	0	302.57
	Tacka ⑪	+1	0	-1.682	0	0	2.829	0	0	0	0	0	335.80
	Tacka ⑫	+1	0	+1.682	0	0	2.829	0	0	0	0	0	336.16
	Tacka ⑬	+1	0	0	-1.682	0	0	2.829	0	0	0	0	490.98
	Tacka ⑭	+1	0	0	+1.682	0	0	2.829	0	0	0	0	320.67
Skup centralnih tačaka n_0	Tacka ⑮	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	334.06
	Tacka ⑯	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	331.84
	Tacka ⑰	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	330.28
	Tacka ⑱	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	333.30
	Tacka ⑲	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	331.87
	Tacka ⑳	+1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	331.09
Efekti plana reda 2^k	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}	MODEL JE ADEKVATAN	
	327.5	-8.66	.565	3.267	/	/	/	-78c	.153	.277	2.077		
Efekti plana reda $2^k + 2k + n_0$	b_0	b_1	b_2	b_3	b_{11}	b_{22}	b_{33}	b_{12}	b_{13}	b_{23}	b_{123}	MODEL JE ADEKVATAN	
	328.4	-10.12	.417	41.42	9.13	13.67	-48.34	-78c	.153	.277	/		

Tabela 1. Plan eksperimenta i efekti plana prvog i drugog reda za centralni kompozicioni plan.

Zanimljiv rezultat modeliranja ove operacije predstavlja činjenica da su adekvatni modeli prvog i drugog reda. Ova činjenica navodi na zaključak da je interval varijacije faktora relativno mali pa se on može proširiti bez opasnosti da se dodje do rezultata kao u eksperimentalnoj tački broj 13. Na uskom segmentu zadatih faktora operacija inspekcije se može opisati i sa jednom ravni, a ne samo sedlastom krivom površinom koja je data na slici 3.

Jedna od osobina ovakvog postupka modeliranja je i ta da eksperimentator mora da na neki način poznaje objekat koji se modelira da bi ocenio osnovne nivoe i intervale varijacije faktora. Na ovaj način se izbegavaju mogućnosti postavljanja preuskog intervala varijacije i pogresnog određivanja osnovnih nivoa faktora.

6. ZAKLJUČAK

Modelirana je operacija inspekcije krive linije na DEMO delu firme KOMEG, proizvođača NUMM-e UMC-850, koja se nalazi u Laboratoriji za proizvodnu metrologiju i kvalitet Mašinskog fakulteta u Beogradu.

Rezultati modeliranja su dati tabelarno i grafički. Faktori koji su uzeti u daljim istraživanjima mogu biti i zamenjeni drugim a mogu im biti i promenjene granice prema istraživanjima koja se izvedena u okviru ovog rada.

Ova metodologija se može u sledećim istraživanjima primeniti i na drugim delovima, koji na sebi imaju krive linije ili površine.

6. REFERENCE

- [1] Stanić, J., Metodi inženjerskih merenja, Mašinski fakultet, Beograd, 1990.
- [2] Majstorović, V., Rakić, M., Stanić, J., Inspekcija i merenje krivih linija i površina, XVI JUPITER konferencija, Cavtat, 1990.
- [3] N.N., KUM-300 Operation Instructions, Oberkochen, 1987.

M. Rakić, J. Stanić

MATHEMATICAL MODELLING OF INSPECION OPERATION APPLYING CENTRAL COMPOSSION PLAN

Summary:

Central composition plan is most frequent using method for object mathematical modelling.

Paper is consist of: a) introducion, b) objects mathematicall modelling methods, c) curve lines inspection, d) central composition plan, e) research results and f) references.

Key words: Inspection, Operation, Modelling, Central composition plan.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

Stojković, S., Majstorović, V.¹

GEOMETRIJSKO MODELIRANJE ZA KVALITET

REZIME

Sistem kvaliteta, podržan računom, danas predstavlja novi doprinos razvoju funkcije kvaliteta, na putu ka konceptu TQM. Ovaj cilj se ostvaruje kontinualnim unapređenjem postojećeg sistema kvaliteta. Dalji razvoj sistema kvaliteta podržanog računom bazira na: (i) geometrijskom modeliranju, (ii) CIM konceptu, i (iii) ekspertnim sistemima. Ovaj rad se odnosi na geometrijsko modeliranje za kvalitet.

Ključne reči: TQM, Geometrijsko modeliranje, Kvalitet, CAD

UVOD

Predmet istraživanja Laboratorije za proizvodnu metrologiju i kvalitet je, između ostalog, i geometrijsko - tehnološko - metrološka integracija, radi realizacije CIM koncepta. Istraživanje obuhvata razvoj matematičkih metoda i softvera koji u okviru CAI modela (slika 1) omogućuju da se realizuju sledeći prilazi:

- (i) merenje (merni predmet - NUMM - merni rezultati)
- (ii) inspekcija (merni predmet - CAD - NUMM - inspekcija)
- (iii) reverzibilno inženjerstvo (model - NUMM - CAD)
- (iv) planiranje inspekcije (CAD - CAI - plan merenja)

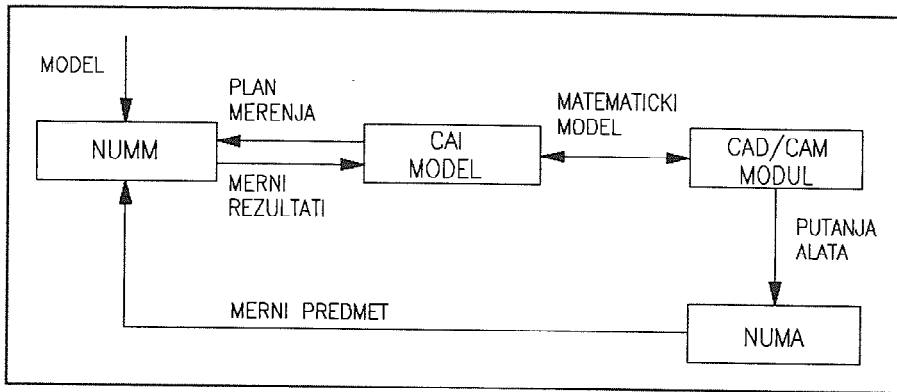
Bazni element svih prilaza je geometrijska informacija, odnosno geometrijsko modeliranje kao izlaz ili ulaz informacionog toka. Na taj način se vrši CAD i CAI integracija.

Geometrijsko modeliranje pruža mogućnosti za značajno smanjenje cene projektovanja, proizvodnje i testiranja postojećih, a naročito novih proizvoda.

GEOMETRIJSKO MODELIRANJE

Projektovanje i proizvodnja unikatnih proizvoda postaje karakteristika nove generacije tehnoloških sistema. Ona se zasniva na proizvodnji delova koji po pravilu imaju složene površine.

1) Stojković Suzana, dipl inz., Doc. dr Majstorović Vidosav, dipl inz., Masinski fakultet, Beograd



Slika 1. CAI - model za složene površine

Merenje i inspekcija krivih linija i površina predstavlja u svojoj sustini matematički, tehnološki, konstruktivni i informacijski problem. U ovom radu data su dva karakteristična primera modeliranja krive linije u ravni i krive površine.

Potrebno je napomenuti da složene površine u opštem slučaju možemo podeliti u tri osnovne grupe:

- analitički definisane krive/površine,
- krive/površine definisane nizom/mrežom tačaka koje su dobijene na različite načine, a najčešće eksperimentalnim putem, tzv. sintetičke krive/površine, i
- krive/površine dobijene kao funkcije neke druge površine koja je analitički definisana.

Zavisno od vrste krive odnosno površine javljaju se različiti problemi pri formiranju niza ili mreže nominalnih tačaka potrebnih na primer za njihovu inspekciju. Ovi problemi odnose se uglavnom na određivanje veličine prostora između tačaka (raspored tačaka) u zavisnosti od lokalnih krivina, i propisane tolerancije ili načina inspekcije.

GEOMETRIJSKO MODELIRANJE KRIVE LINIJE U RAVNI

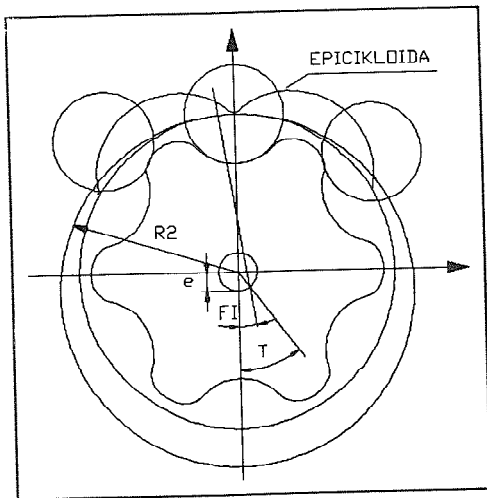
U velikom broju slučajeva analitički definisane krive se dobijaju kao funkcije neke druge krive definisane preko parametarskih jednačina. Posledica je neravnomernost raspodele tačaka pri proračunu upotrebom konstantne promene koraka.

Geometrija "zvezde" (proizvodni program firme LIFAM - Stara Pazova) nastaje kretanjem centra valjčića po epikloidi čija je jednačina poznata (slika 2). Zvezda se obradjuje na brusilici profilisanim točilom.

Analiziranjem modela dobijenog korišćenjem konstantnog parametra dobijen je neravnomeran raspored tačaka na nominalnoj konturi (slika 3). Uočljivo je da je u pojedinim segmentima rastojanje između tačaka preveliko, dok je u pojedinim segmentima broj tačaka koji definišu nominalnu krivu nepotrebno velik.

U cilju optimizacije inspekcije zvezde potrebno je odrediti optimalni broj tačaka u kojima se vrši opipavanje.

Kao uslov za određivanje položaja dodirnih tačaka ravanskih krivih obično se koriste poluprecnik krivine i dozvoljeno odstupanje. Zbog prirode parametarskih jednačina zvezde



Slika 2. Polazna dokumentacija

Kao ulazni podatak uzeto je dozvoljeno odstupanje i na osnovu njega se postavljaju pravolinijski segmenti. Odredjivanje druge tacke pravolinijskog segmenta odredjuje se iterativnim postupkom odnosno metodom približenja.

* U prvoj iteraciji druga tacka je odredjena usvojenim korakom u zavisnosti od zone. Ovaj pravolinijski segment ogranicava jedan kruzni luk koji pripada krivoj. Zatim se racunaju tacke na tom luku u ravnomernom intervalu od 1/10 koraka I njihovo odstojanje (d) od pravolinijskog segmenta. Za sledecu iteraciju referentna je tacka cije je odstojanje maksimalno. Dalje proces moze ici u tri pravca (slika 7.)

1. $D >$ tolerancija - korak se smanjuje za 1/10.
2. $D <$ usvojena granicna vrednost - korak se povecava za 1/10. Usvojena granicna vrednost je 4σ i usvojena je zato da bi se na neki nacin odredila vrednost koja bi znacila znatno povecanu tacnost iznad one koja je propisana.
3. Tolerancija $> d >$ usvojena granicna vrednost - iteracija se prekida i time je odredjen polozej druge, tj naredne tacke.

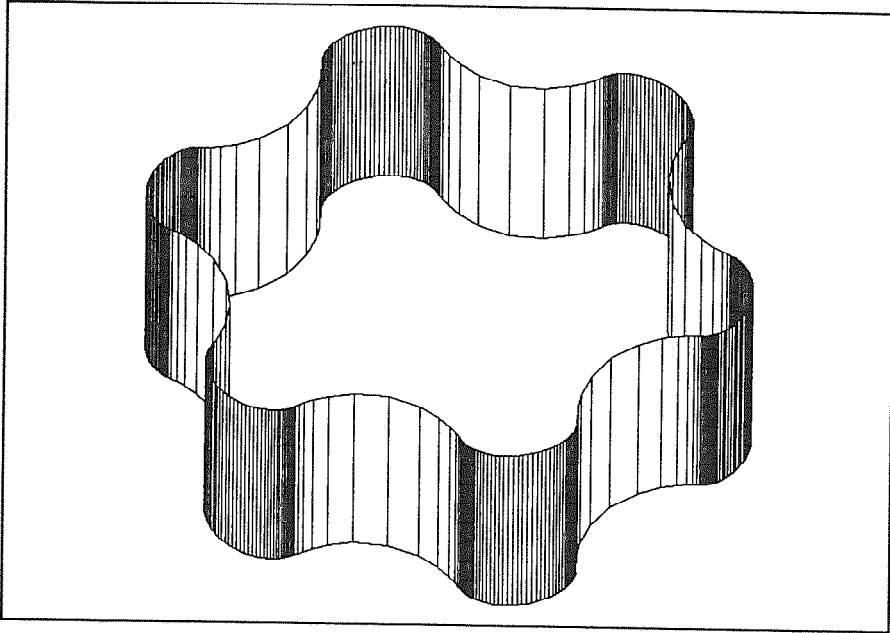
Nominalna kontura za inspekciju zvezde dobija se primenom metoda pretraživanja krive i približenja optimalnom rastojanju izmedju susednih tacaka. Dobijeno rastojanje je funkcija tolerancije i oblika krive. Kao granične vrednosti za proračun uzete su propisana tolerancija - gornja granica, dok je donja granica odredjena pravilom 2σ . Donja granica je usvojena kako bi se onemogućilo da tačke na konturi budu previše blizu.

Primenom ovog metoda odredjivanja koraka kretanja pipka pri inspekciji krive odredjen je optimalni broj tacaka u kojima se vrši opipavanje. Na slici 3. data je zvezda čija je kontura dobijena proračunom tacaka sa konstantnim korakom od 1° , dok je na slici 4. data kontura zvezde dobijene koriscenjem optimizacione metode. Vazno je napomenuti da je broj tacaka kojima je opisana kontura zvezde u prvom slučaju 360, dok je u drugom slučaju taj broj neznatno povecan na 384, što čini povecanje manje od 10%.

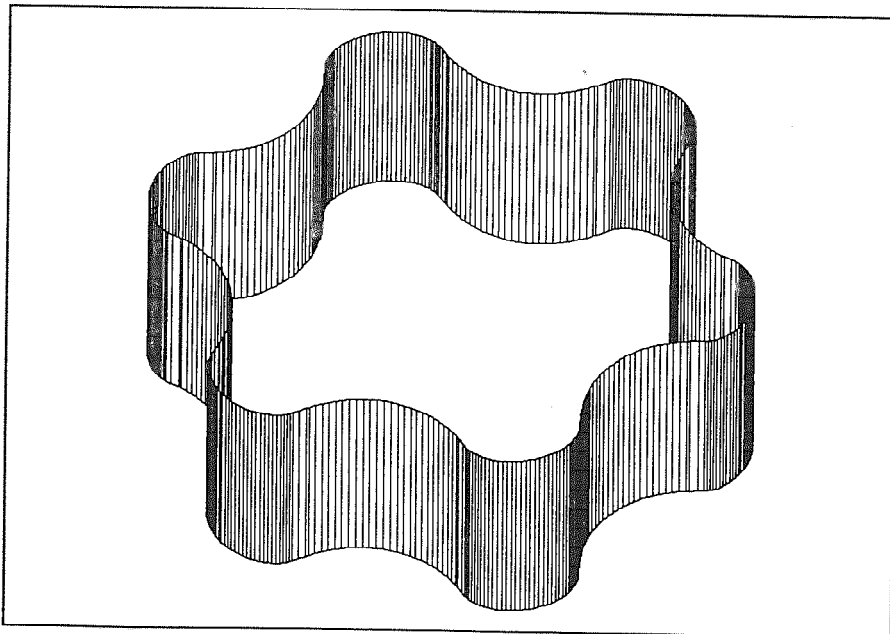
tesko je postaviti dovoljno tacne matematicke jednacine koje bi dale zadovoljavajuce rezultate (odstupanje < 0.005).

Testiranjem rezultata dobijenih na primenom klasičnog metoda (dva uzastopna poluprecnika krivine su jednaki i imaju isti centar krivine pa je moguće formirati jednakokraki trougao) dobijene su vrednosti koje su nekolikoko desetina puta veće od pretpostavljenih.

Kako bi se izbegle proizvoljnosti u odredjivanju kontrolnih tacaka primenjen je drugaciji pristup koji se zasniva na sledecem:



Slika 3. Kontura zvezde dobijena klasičnim metodom



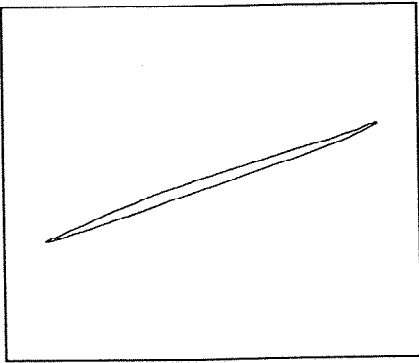
Slika 4. Kontura zvezde dobijena optimizacionim metodom

GEOMETRIJSKO MODELIRANJE SLOŽENE POVRŠINE

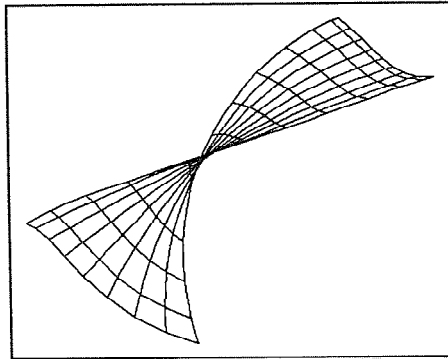
Kao primer geometrijskog modeliranja složenih površina data je lopatica turbinskog kola. Ova je sintetička površina predstavljena mrežom tačaka. Merenjem na NUMM dobijena je mreža 10 x 23 tačaka za gornju odnosno za donju površinu lopatice. Na osnovu dobijenih podataka izvršeno je geometrijsko modeliranje lopatice.

Osnovna ideja koja je korišćena pri modeliranju je da se problem interpolacije površine razbije na niz interpolacija u ravni. Ovo je omogućeno time što je merenje lopatice izvršeno preko ravanskih preseka. Kroz dobijene tačke provučeni su kubni splajnovi (ukupno 10). Na osnovu jednačina kubnih splajnova moguće je na površini lopatice definisati proizvoljan broj tačaka. Svodjenjem prostornog na ravanski problem moguće je definisati različit broj tačaka po svakom ravanskom preseku.

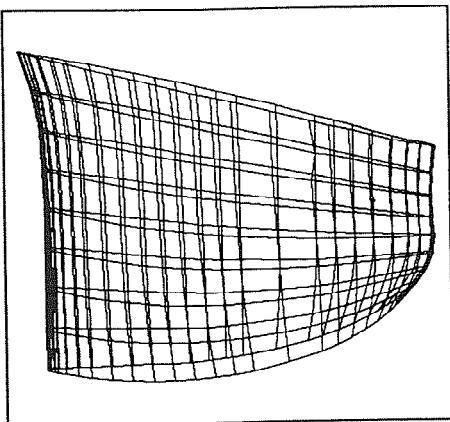
Na narednim slikama dat je proces geometrijskog modeliranja lopatice koji polazi od jednog preseka (slika 5), preko izgleda jedne strane lopatice (slika 6) i 3d izgled lopatice formirane provlačenjem kubnih splajna kroz tačke dobijene merenjem (slike 7. i 8.).



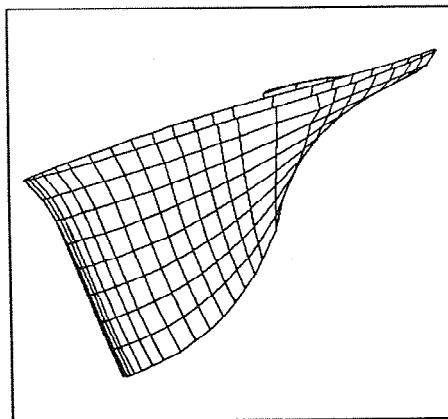
Slika 5.



Slika 6



Slika 7.



Slika 8.

ZAKLJUČAK

Za rešavanje različitih problema pri geometrijskom modeliranju složenih površina i krivih linija u ravni i prostoru razvijen je software koji se zasniva na jednostavnim matematičkim realcijama, iteracijama i jednostavnim procedurama. Pri odredjivanju optimalnog broja tačaka za inspekciju koriste se metode pretraživanja i približavanja. Kao pomoćni alat pri analiziranju složenih oblika koristi se grafički paket AutoCAD sa kojim se komunicira preko standardnog DXF fajla.

LITERATURA

- /1/ Stanić J., Uvod u teoriju tehnokonomске optimizacije, Mašinski fakultet, Beograd, 1988.
- /2/ Apsen B., Rešeni zadaci više matematike 2, Tehnička knjiga, Zagreb, 1986.
- /3/ Rogers D.F., Adams J.A., Mathematical Elements for Computer Graphics, McGraw - Hill, 1990.
- /4/ Wong C.L., Menq C.H., Bailey R., Computer-integrated dimensional inspection of manufactured objects having sculptured surfaces, Advanced Manufacturing Engineering, Vol 3. 1991
- /5/ Cardew-Hall M., Cosmas J., Ristic M., Automated Proff Inspection of Turbine Blades, The interantional Journal of Advanced Manufacturing Technology, 1988.

ABSTRACT

S. Stojković, V. Majstorović

GEOMETRIC MODELLING FOR QUALITY

Summary

A computer aided quality system represents an advanced approach in the quality function development, aiming towards the TQM concept. This goal is accomplished by continuous improvements of the existing quality system. Further development of the computer aided quality system is based on: (i) geometric modelling, (ii) CIM concept and (iii) expert systems. This paper deals with geometric modelling for quality.

Key words: TQM, Geometric modelling, Quality, CAD.

В. А. ТАРАНЕНКО *

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ДЕТАЛЕЙ

1.0 ВВЕДЕНИЕ

Решение комплексной задачи автоматического управления точностью формообразования нежестких деталей и обеспечение требуемого качества поверхности затрудняется тем, что в процессе обработки сама деталь, инструмент и узлы станка, находясь в относительном движении, представляют собой сложную динамическую систему, поведение которой заранее определить без целевых теоретических и экспериментальных исследований практически невозможно. Актуальность проблемы также связана с изучением физической сущности процесса формообразования упругодеформированных методов и средств автоматизации и управления точностью при точении и шлифовании. Наиболее целесообразным направлением решения проблемы автоматизации механической обработки нежестких деталей является адаптивное управление точностью их формообразования в упругодеформированном состоянии на основе научно обоснованных технологических методов воздействия на заготовку.

2.0 ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ МЕТОДОВ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ПОМОЩИ ТАБЛИЦ АНАЛИЗА

Для выявления путей дальнейшего исследования комплексной проблемы управления точностью формообразования нежестких деталей проведен анализ работ на основании метода, который позволил с позиций общей точностной модели рассмотреть допущения и предпосылки,

** Др. Виктор Тараненко, дипл. инж. редовни професор Севастопольский приборостроительный институт, Севастополь (республика КРЫМ, УКРАИНА)*

принимаемые различными авторами, а также сравнить между собой различные расчетные схемы решения данной задачи.

Подобный анализ проведен с помощью таблиц анализа, составленных аналогично таблицам соответствия, которые используются при автоматизированном проектировании [1, 2].

Формальное описание таблиц соответствия приведено в работе [1]. Параметры X_1, X_2, \dots, X_n определяют выбор решения, а $X_{1.1}, X_{1.2}, \dots, X_{1.n}$ – значения этих параметров. Множество

$$X = \{X_1, X_2, \dots, X_n\} (1)$$

представляет собой множество условий существования решений (область отправления). Множество Y возможных решений (область прибытия) записывается в виде

$$Y = \{Y_1, Y_2, \dots, Y_m\} (2)$$

где Y_1, Y_2, \dots, Y_m – значения отдельных решений, m – число решений. Строки таблицы (табл. 1) заполняются "+", если некоторое решение Y существует для параметра X . Тогда

$$Y = f(X_{ki}), X_{ki} \in X.$$

На основании анализа различных публикаций можно сформулировать подмножество Y_{P1} множества Y_P показателей X , качественно и количественно характеризующих комплексную задачу повышения точности обработки нежестких деталей.

В качестве исходных показателей выбраны следующие:

- X_1 – способ обработки: 1 – точение и растачивание, 2 – шлифование, 3 – многорезцовое точение, 4 – фрезерование, 5 – комбинированная обработка;
- X_2 – форма обрабатываемой детали: 1 – плиты и пластины, 2 – тела вращения (валы и оси), 3 – корпусные детали, 4 – детали произвольной формы;
- X_3 – характеристика детали: 1 – жесткая, 2 – нежесткая;
- X_4 – идеальная форма исследуемой поверхности: 1 – поверхность вращения, 2 – составная поверхность. 3 – винтовая;
- X_5 – статическая определимость задачи: 1 – определяемая, 2 – неопределяемая;
- X_6 – точностные показатели исследуемой поверхности: 1 – точность размеров, 2 – точность формы в продольном сечении, 3 – точность формы в поперечном сечении;
- X_7 – метод учета шероховатости поверхности: 1 – экспериментальный, 2 – линейная зависимость, 3 – степенная зависимость;

- X₈ – методы учета влияния собственных деформаций тел: 1 – экспериментальный, 2 – по теории балок, плит и пластин, 3 – по методу конечных элементов;
- X₉ – метод учета нагрузки: 1 – сосредоточенная, 2 – параметрическая;
- X₁₀ – характер нагружения: 1 – идеальное статическое, 2 – реальное статическое, 3 – динамическое;
- X₁₁ – пространство решения задачи: 1 – двухмерное, 2 – трехмерное;
- X₁₂ – подход к решению задачи: 1 – детерминированный, 2 – вероятностный;
- X₁₃ – метод исследования: 1 – экспериментальный, 2 – экспериментально-аналитический, 3 – аналитический (численный);
- X₁₄ – модель характера взаимодействия "деталь-инструмент: 1 – геометрическая, 2 – упругопластическая;
- X₁₅ – метод учета температурных факторов: 1 – экспериментальный, 2 – на основании уравнений теплопроводности, 3 – по методу конечных элементов;
- X₁₆ – метод учета износа инструмента: 1 – экспериментальный, 2 – теоретический;
- X₁₇ – характер теоретической модели, устанавливающей связь между погрешностями настройки, обработки и динамической: 1 – линейная, 2 – нелинейная;
- X₁₈ – метод достижения заданной точности обработки: 1 – статическая, 2 – динамическая настройка;
- X₁₉ – регулируемые параметры, обеспечивающие достижение заданной точности: 1 – подача продольная, 2 – подача поперечная, 3 – жесткость одного из элементов технологической системы, 4 – геометрия режущего инструмента, 5 – упругодеформированное состояние детали, 6 – направленные колебания или вибрационная обработка, 7 – комбинация параметров, 8 – тепловое воздействие;
- X₂₀ – динамическая модель технологической системы: 1 – одностепенная, 2 – двухстепенная, 3 – многостепенная;
- X₂₁ – учет количества степеней свободы: 1 – одностепенные, 2 – две степени свободы, 3 – три степени свободы, 4 – многостепенные модели;
- X₂₂ – учет динамических характеристик процесса резания: 1 – квазистатическая, 2 – динамическая характеристика, 3 – динамическая характеристика с учетом времени запаздывания.

В таблице 1 анализа указана лишь часть показателей, характеризующих проблему управления точностью обработки нежестких деталей, полученных различными исследователями (в качестве примера Таблица

приведены ссылки только на работы нескольких авторов для пояснения методики составления данной таблицы). Конкретные качественные и количественные значения показателей пронумерованы числами 1, 2, . . . , т. д. в порядке записи. Источники публикаций обозначены по фамилии первого автором и номером, соответствующим позиции публикации в списке использованных источников. Как следует из таблицы анализа одни из показателей представлены более детально, чем другие. Выбор данного конкретного подмножества показателей объясняется частотой их применения при решении задач повышения и управления точностью обработки деталей.

Кроме наглядного представления логических связей в процессе решения проблемы управления точностью обработки нежестких деталей, таблица анализа позволяет дать методическое средство и может быть положена в основу при создании банка данных по работам, связанных с обработкой нежестких деталей. С помощью таблиц анализа по заданным признакам находятся ссылки на соответствующие литературные источники.

3.0 КЛАССИФИКАЦИЯ СПОСОБОВ УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТЬЮ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ НЕЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ

В работе [3] системы автоматического управления точностью обработки классифицируются по следующим характерным признакам: 1 – по структуре системы; 2 – по назначению; 3 – по методу управления; 4 – по измеряемому параметру; 5 – по регулируемому воздействию, что позволяет оценить из возможности и обеспечить правильный выбор для разных случаев обработки при автоматизации технологических процессов. С учетом аналитических исследований технологических методов управления точностью формообразования нежестких деталей классификация может быть расширена и дополнена за счет учета новых способов управления точностью, положенных в основу функционирования систем.

Способы управления точностью формообразования нежестких деталей (рис. 1) могут быть реализованы методом компенсации или методом стабилизации [2]. Упругие деформации компенсируются изменением размера статической настройки по величине перемещения, возникающего в технологической системе за счет регулирующих воздействий: смещением заднего центра, выравниванием податливости технологической системы, изменением поперечной подачи инструмента.

Стабилизация упругих деформаций производится изменением размера динамической настройки. Управление ведется таким образом, чтобы размер динамической настройки с возможно большей точностью поддерживался постоянным. Поскольку непосредственное измерение размера динамической настройки не всегда возможно, стабилизация

упругих деформаций происходит по функционально связанными с ними величинами: составляющих сил резания, скорости съема металла, непосредственно упругих деформаций технологической системы, тока или мощности электродвигателя главного привода, крутящего момента на шпинделе, температуре в зоне резания. Первые три измеряемых параметра наиболее часто используются в способах управления управления большей точности методы компенсации и стабилизации упругих деформаций могут применяться совместно. В этом случае управление упругими деформациями ведется изменением размера как статической, так и динамической настройки.

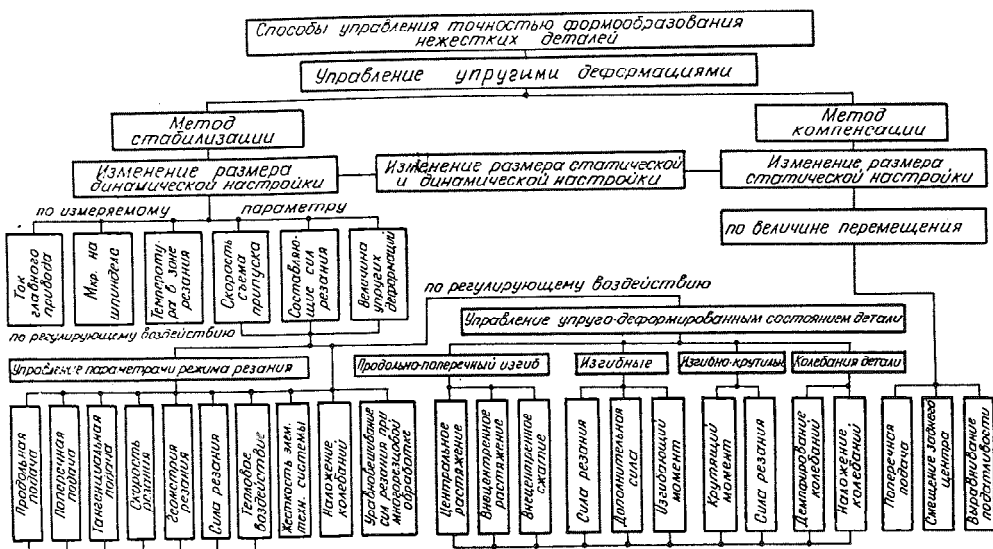
В качестве регулирующих воздействий при управлении размером динамической настройки в процессе обработки нежестких деталей могут быть параметры режима резания или величины: продольной подачи, тангенциальной подачи, поперечной подачи, скорости резания, геометрии резания силы резания, теплового воздействия, или их комбинация.

В отдельную группу могут быть выделены способы управления с регулируемыми воздействиями: целенаправленное изменение жесткости отдельных звеньев технологической системы, наложение на систему деталь-резец осциллирующих колебаний, уравнивание составляющих сил резания при многорезцовой обработке. Изменение этих регулирующих воздействий кроме повышения точности размеров и формы, обеспечивает высокое качество обрабатываемой поверхности по сравнению с изменением параметров режима резания.

В последние годы появились новые способы управления точностью формообразования нежестких валов, основанные на изменении упругодеформированного состояния детали в процессе обработки при использовании в качестве регулирующих воздействий отдельных или комбинации регулирующих силовых факторов (рис. 1) [4, 5].

Для деталей малых диаметров $d \leq 6-10$ мм, $L/d \geq 20$ и податливостью $\omega > 2,26$ мкм/Н эффективным является центральное растяжение, создающее продольно-поперечные нагрузки и увеличивающее жесткость обрабатываемой детали; при $d > 10$ мм, $\omega < 0,675$ мкм/Н – внецентренное растяжение и сжатие, создающие два управляемых силовых фактора силу и управляемый изгибающий момент; достаточно эффективным является управление точностью формообразования в условиях изгиба за счет приложения дополнительной управляемой силы со стороны упругой опоры в виде виброгасителей [2, 5]. Управление дополнительной силой при использовании виброгасителей позволяя одновременно стабилизировать размер динамической настройки и демпфировать колебания нежесткой заготовки в процессе обработки. Вместе с тем следует отметить, что при аналитических исследованиях технологических методов управления точностью выявлен ряд работ в этом направлении, в которых используются идеализированные схемы нагружения и расчета, приводятся практически нереализуемые средства осуществления способов обработки и управления точностью.

Рис. 1. Классификация способов управления Точностью формообразования нежестких деталей



4.0 ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение современного состояния проблемы автоматизации и управления точностью обработки нежестких деталей показало, что теоретические методы оценки, прогнозирования и управления точностью должны формулироваться на базе комплексного учета различных факторов технологического процесса. Предложен метод изучения публикаций, основанный на использовании таблиц анализа. Анализ этих таблиц показал, что к факторам, которые необходимо учитывать при моделировании и расчетах точности следует отнести относительную жесткость детали и металлообрабатывающего оборудования, собственные деформации нежестких деталей, приводящих к существенным отклонениям формы и ухудшению качества обрабатываемых поверхностей деталей.

Классификация способов адаптивного управления точностью формообразования нежестких деталей должна базироваться на классификации деталей по конструктивно-технологическим признакам и методах создания упругодеформированного состояния детали и комплексного воздействия на технологическую систему.

5.0 ЛИТЕРАТУРА

1. Горанский Г.К., Бендерова Э.И. Технологическое проектирование в комплексных автоматизированных системах подготовки производства. -М.: Машиностроение, 1981. -456 с.

2. Тараненко В.А. Моделирование технологических систем формообразования нежестких деталей. -М: ВНИИТЭМР, 1988, вып.2.-70 с.
3. Тараненко В.А., Карлов А.Г., Троценко В.В. Классификация систем управления металлорежущими станками // Автоматизация производственных процессов в машиностроении и приборостроении: Респ. межвед. науч. -техн. сб. -Львов: Вища школа, 1975, вып. 14. - С. 209-216.
4. Тараненко В.А., Митрофанов В.Г., Косов М.Г. Технологические способы и средства повышения точности обработки нежестких деталей. -М.: ВНИИТЭМР, 1987, вып.2. - 64 с.
5. Тараненко В.А. Технологические методы автоматизации и управления точностью формообразования нежестких упругодеформированных деталей. Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. - Москва, 1991. - 39 с.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE 25th CONFERENCE ON PRODUCTION ENGINEERING

V.Vulanović, S.Vujković *

PRIMENA "ISHIKAWA" I "AMDEC" METODE PRI REŠAVANJU PROBLEMA KVALITETA

Rezime

Kvalitet proizvoda ne ogleda se samo u njegovoj funkcionalnosti već i u njegovoj estetskoj i ekološkoj vrednosti. Iz tog razloga, u ovom radu je dat prikaz poboljšanja kvaliteta plastičnih flaša iz aspekta estetike i ekologije. Pri rešavanju problema kvaliteta korišćene su savremene naučne metode, i to: "ISHIKAWA" metoda za utvrđivanje uzročno posledičnih veza između faktora na istraživanoj problematici i "AMDEC" metoda za rangiranje i ocenu kritičnosti faktora.

1. UVOD

U okviru projekta na uvođenju sistema upravljanja kvalitetom u D.D. "Chemos", prema seriji standarda JUS ISO 9000, razraden je prilaz unapređenja kvaliteta primenom naučnih metoda koje su prikazane u radu.

Unapređenje kvaliteta proizvoda je stalan zadatak, definisan politički i ciljevima kvaliteta, koji podrazumeva:

- * vraćanje umanjenog kvaliteta u prethodno stanje,
- * poboljšanje kvaliteta uz smanjenje troškova poslovanja i
- * poboljšanje kvaliteta kroz razvoj proizvoda i tehnologija.

Poboljšanje kvaliteta plastičnih flaša proizvedenih tehnologijom ekstruzionog duvanja rešeno je primenom :

- * ISHIKAWA metode, za dekompoziciju problema i
- * AMDEC metode, za rangiranje elemenata problema kvaliteta.

2. TEORIJSKE OSNOVE PRIMENJENIH METODA

2.1 ISHIKAWA METODE

Ova metoda je poznata i pod nazivom dijagram "riblja kost". Koristi se za utvrđivanje uzročno posledičnih veza uticajnih faktora na istraživanoj problematici. Metoda se grafički prezentuje dijagramom koji podseća na riblju kost i otuda ima takav naziv. Pri oblikovanju dijagrama treba uvek imati na umu pitanje: "Zasto se određeno odstupanje pojavljuje?".

* Prof. Dr. Vojislav Vulanović, dipl. ing., Visi škola za organizaciju i informatiku, 21000 Novi Sad, Bulevar Kralja Petra I 38/II, Slobodan Vujković, dipl. ing. tehn., Šef Službe kvaliteta, D.D. Chemos, 24413 Palić, Horgoski Put 97

Kao pomoć pri analiziranju uzročno posledicne veze na istraživanom problemu, mogu poslužiti pitanja "Šta?", "Zasto?", "Kada?" i "Gde?", poznata kao 4W (What, Why, When, Where). U proizvodnji je poznata lista od pet glavnih faktora koji utiču na kvalitet, i to :

- * čovek,
- * materijal,
- * tehnologija,
- * oprema (sredstva rada) i
- * kontrola kvaliteta.

2.2 AMDEC METODA

Ova metoda je poznata kao "Analyse des Modes de Defaillances, de leurs Effets et leurs Criticites" (A.M.D.E.C.), odnosno kao "Failures Mode, Effects and Criticality Analysis" (F.M.E.C.A.), što u prevodu znači : "Analiza tipova neispravnosti, njihovih efekata i kritičnosti".

Metoda se primenjuje na sve sisteme (objekte) kod kojih pojava neispravnosti može ugroziti njegovo funkcionisanje. Koristi se i kao preventivna metoda u cilju sprečavanja neispravnosti pri proizvodnji ili upotrebi.

Postoje tri osnovne modifikacije :

1. AMDEC PROJEKAT - PROIZVOD, gde se analizira koncepcija kvaliteta,
2. AMDEC PROCES - PROIZVOD, gde se analizira ceo proizvodni proces na ostvarivanju kvaliteta proizvoda i
3. AMDEC SREDSTVO ZA PROIZVODNJU, gde se analizira koncepcija i korišćenje sredstava za proizvodnju.

Za analizu AMDEC bitni su sledeći podaci :

1. opis mogućih nedostataka,
2. opis mogućih posledica nedostataka,
3. opis mogućih uzroka nedostataka,
4. opis postojećeg stanja sa primenjenim merama i ocenama za :
 - * stepen mogućnosti pojave nedostatka - F,
 - * stepen mogućnosti neotkrivanja nedostatka - D,
 - * stepen ozbiljnosti nedostatka - G,

Oцена kritičnosti "C" izračunava se pomoću izraza :

$$C = F \times D \times G .$$

Prema iznosu ocene "C" utvrđuje se redosled značajnosti.

5. opis preporučenih mera za otklanjanje nedostatka,
6. opis poboljšanog stanja.

3. DEKOMPozICIJA ELEMENATA PROBLEMA KVALITETA

Kao što je ranije naznačeno, uradu su prikazane aktivnosti na poboljšanju kvaliteta plastičnih flasa proizvedenih tehnologijom ekstruzionog duvanja. Kao polazni podaci, poslužili su nam podaci sumirani sa snimackih listova autokontrolora za period DECEMBAR '92-NOVEMBAR '93 prikazani u tabeli T-1.

U tabeli su neuslovni proizvodi prikazani indeksnim pokazateljima. Glavni problem se očitava na gresci "NEČISTOĆA - ZAGORELE CESTICE" u masi proizvoda, koja je prisutna sa 80.5 indeksnih poena. Iz tog razloga u razmatranje je uzeta ova problematika. Korišćenjem ISHIKAWA metode (sl.1) izvršena je dekompozicija elemenata problema kvaliteta i definisani su različiti uzroci koji utiču na pojavu greske "NEČISTOĆA - ZAGORELE CESTICE". Izdvojeno je pet glavnih grupa uzroka, sa pripadajućim uzrocima i poduzrocima koji su prikazani u tabeli T-2.

TABELA T-1

OPERACIJA : EKSTRUZIONO DUVANJE		PROIZVOD : FLAŠA	PERIOD PRAĆENJA : XII '92 - XI '93	
BROJ PRAĆENIH PROIZVODA			317	
BROJ AUTOKONTROLORA			97	
PROCENAT U REŽIMU AUTOKONTROLE			12.03 %	
G R E Š K A			INDEX	% UCESCE
1	BOJA - POKRIVNOST - PROZIRNOST		4.0	2.36
2	NEČISTOĆA - ZAGORELE ČESTICE		80.5	47.49
3	DEFORMACIJE - ISTANJENJE		19.5	11.50
4	PROBUŠENOST FLAŠE		17.0	10.03
5	ISKRIVLJENO - OVALNO GRLO		2.0	1.17
6	VIŠAK MATERIJALA U GRLO		12.0	7.07
7	NEIZDUVANI NAVOJ		12.5	7.37
8	OSTALE GREŠKE		22.0	12.98
U K U P N O			169.5	100.00

Slika - 1

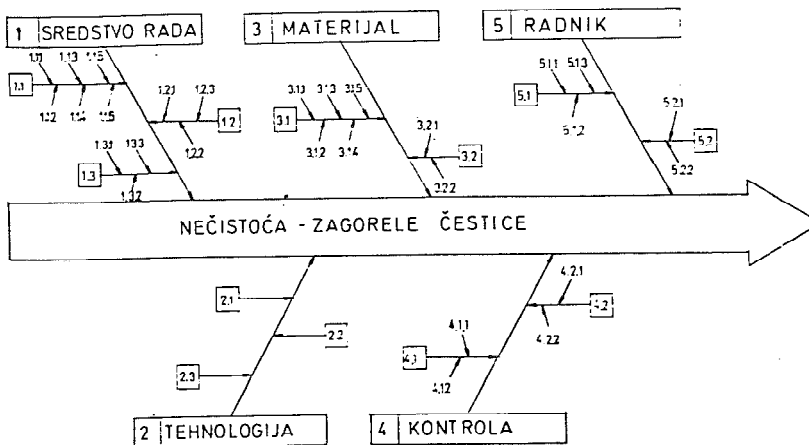


TABELA T-2

GRUPA UZROKA	UZROCI	PODUZROCI
1. SREDSTVO RADA	1.1 MAŠINA 1.2 ALAT 1.3 MLIN	1.1.1 GEOMETRIJA VOĐENJA 1.1.2 POVRŠINA PUŽA 1.1.3 POVRŠINA CILINDRA 1.1.4 GEOMETRIJA GLAVE ZA EKSTRUDIRANJE 1.1.5 SISTEM ZA REGULACIJU TEMPERATURE PRERADE 1.1.6 SISTEM ZA REGULACIJU BRZINE EKSTRUDIRANJA 1.2.1 POVRŠINA KALUP. ŠUPLJINE 1.2.2 ODZRAČIVANJE ALATA 1.2.3 TEMPERIRANJE ALATA 1.3.1 GEOMETRIJA NOŽEVA 1.3.2 GEOMETRIJA DOBOŠA 1.3.3 BROJ OBRTAJA
2. TEHNOLOGIJA	2.1 TEMPERATURA PRERADE 2.2 BRZINA ESTRUDIRANJA 2.3 KORIŠĆENJE REGENERATA	
3. MATERIJAL	3.1 OSNOVNI 3.2 REGENERAT	3.1.1 TERMOSTABILNOST 3.1.2 TECLJIVOST 3.1.3 TVRDOĆA 3.1.4 OTPORNOST NA HEMIKALIJE 3.1.5 OTPORN. NA LOM U MEDIJU 3.2.1 TERMOSTABILNOST 3.2.2 ČISTOĆA
4. KONTROLA KVALITETA	4.1 ULAZNA KONTROLA 4.2 PROCESNA KONTROLA	4.1.1 ODREĐIVANJE FIZ. - MEH. SVOJSTAVA 4.1.2 OREĐIVANJE HEM. SVOJST. 4.2.1 KONTROLA PARAMETARA PROCESA 4.2.2 KONTROLA PROIZVODA
5. RADNIK	5.1 VEŠTINA 5.2 ZDRAVLJE	5.1.1 OBRAZOVANJE 5.1.2 UVEŽBANOST 5.1.3 ISKUSTVO 5.2.1 UMOR 5.2.2 BOLEST

Imajući u vidu da je dekompozicija problematike "NEČISTOĆA - ZAGORELE ČESTICE" izvršena po metodi "Riblje kosti" na 31 element, to je u cilju izdvajanja najbitnijih elemenata izvršeno rangiranje korišćenjem "AMDEC" metode.

4. RANGIRANJE ELEMENATA PROBLEMA KVALITETA

Prikazana problematika je analizirana tako što su za svaki element "ISHIKAWA" dijagrama utvrđeni nedostaci, a za sve nedostatke utvrđena je procena po tri osnova :

- * verovatnoća pojavljivanja greske - ocena - F,
- * verovatnoća da se greska neće otkriti - ocena - D i

stepen ozbiljnosti greske - ocena - G

Konačna ocena kritičnosti nedostatka dobija se množenjem utvrđenih ocena F, D i G :

$$C = F \cdot D \cdot G$$

Prema iznosu ocene "C" utvrđuje se redosled značajnosti, s tim što se pri istoj vrednosti za ocenu "C" daje prioritet za ocenu "F", "D" ili "G".
Primena ove metode prikazana je u tabeli T-3.

5. REZULTATI PRIMENE I ZAKLJUČAK

Sumirajući rezultate sprovedenog postupka od 31 mogućih uzročnika, izdvojeno je 11 kritičnih, za koje je donet program mera za sprečavanje pojave nedostatka "NECISTOČA - ZAGORELE ČESTICE" koje bitno ugrožavaju kvalitet proizvoda. Kritične greske su grupisane na sledeći način :

I TEHNOLOGIJA

1. Odstupanje u korišćenju regenerata od propisanog C = 729,
2. Pogrešno definisana temperatura prerade C = 576,
3. Pogrešno definisana brzina ekstrudiranja C = 504,

II MATERIJAL

1. Umanjena termostabilnost regenerata C = 648,
2. Umanjena čistoća regenerata C = 648,
3. Umanjena termostabilnost osnovnog materijala C = 567,

III SREDSTVO RADA

1. Oštećena površina puza C = 448,
2. Oštećena površina cilindra C = 448,
3. Poremećaj sistema za regulaciju temperature prerade C = 441,
4. Poremećaj sistema za regulaciju brzine ekstrudiranja C = 378,

IV KONTROLA KVALITETA

1. Neadekvatna kontrola parametara procesa C = 360.

Analizom je ustanovljeno da je glavni uzročnik pojave nedostatka "NECISTOČA - ZAGORELE ČESTICE" korišćenje regenerata. Polimerni materijali imaju osobinu da se više puta mogu koristiti u procesu prerade, ali njihova osobina degradacije napovisenim temperaturama ograničava to. Posebno osetljiva sirovina je PVC (polivinilhlorid) za izradu flasa za kozmetičku, farmaceutsku i prehrambenu industriju jer se pri njegovoj degradaciji izdvaja HCl (hlorovodonična kiselina).

Razmatrana pojava ne utiče u većoj meri na funkcionalnost proizvoda već na njegov estetski izgled i higijensku ispravnost.

Pored toga korišćenje regenerata, koji je produkt same korišćene tehnologije, je opravdano iz aspekta uštede osnovne sirovine.

Iz tog razloga preduzeti su sledeći koraci na rešavanju izložene pojave :

- * Povećana je disciplina pri sakupljanju, čuvanju, mlevenju i umesavanju regenerata sa osnovnom sirovinom sa gledišta mogućnost kontaminacije sa necistocama,

- * Propisan je odnos osnovne sirovine i regenerata,

- * Pojaćana je kontrola termostabilnosti regenerata i osnovne sirovine.

Isto tako porađeno je i na ostalim kritičnim nedostacima tako da prvi rezultati ohrabruju. Pregledom i analizom snimackih listova autokontrolora za period JANUAR - APRIL 1994. ustanovljena je tendencija opadanja pojave nedostatka "NECISTOČA - ZAGORELE ČESTICE" sa 80.5 na 52.5 indeksna poena, što je umanjeње za 34.78 procenta. Planom je zacrtano da u 1994. godini ovu pojavu prepolovimo na 40 indeksnih poena, što se i ostvaruje.

TABELA T-3

	MOGUĆE GRESKE	F	D	G	C
1. SREDSTVO RADA					
1.1 MAŠINA					
1.1.1 GEOMETRIJA VOĐENJA	ODSTUPA OD ZADATE	1	2	2	4
1.1.2 POVRŠINA PUŽA	OŠTEĆENA	8	8	7	448
1.1.3 POVRŠINA CILINDRA	OŠTEĆENA	8	8	7	448
1.1.4 GEOMETRIJA GLAVE ZA EKSTRUDIRANJE	ODSTUPA OD ZADATE	5	8	7	280
1.1.5 SISTEM ZA REGULACIJU TEMPERATURE PRERADE	POREMEĆAJ SISTEMA	9	7	7	441
1.1.6 SISTEM ZA REGULACIJU BRZINE EKSTRUDIRANJA	POREMEĆAJ SISTEMA	9	7	6	378
1.2 ALAT					
1.2.1 POVRŠINA KALUPNE SUPLJINE	ZAPRLJANA	4	3	5	60
1.2.2 ODZRAČIVANJE ALATA	LOŠE KONSTR.-IZRAĐENO	2	7	2	28
1.2.3 TEMPERIRANJE	LOŠE KONSTR.-IZRAĐENO	2	7	2	28
1.3 MLIN					
1.3.1 GEOMETRIJA NOŽEVA	ODSTUPA OD ZADATE	3	4	7	84
1.3.2 GEOMETRIJA DOBOŠA	ODSTUPA OD ZADATE	3	4	7	84
1.3.3 BROJ OBRTAJA	POGREŠNO DEFINISAN	3	4	7	84
2. TEHNOLOGIJA					
2.1 TEMPERATURA PRERADE	POGREŠNO DEFINISANA	8	8	9	576
2.2 BRZINA EKSTRUDIRANJA	POGREŠNO DEFINISANA	8	7	9	504
2.3 KORISĆENJE REGENERATA	ODSTUPANJE OD PROPISA	9	9	9	729
3. MATERIJAL					
3.1 OSNOVNI					
3.1.1 TERMOSTABILNOST	UMANJENA	9	7	9	567
3.1.2 TEČLJIVOST	UMANJENA	4	4	4	64
3.1.3 TVRDOĆA	UVEĆANA	2	3	3	18
3.1.4 OTPORNOST NA HEMIKALIJE	UMANJENA	2	3	2	12
3.1.5 LOM U MEDIJUMU	POVEĆAN	2	3	2	12
3.2 REGENERAT					
3.2.1 TERMOSTABILNOST	UMANJENA	9	8	9	648
3.2.2 ČISTOĆA	UMANJENA	9	8	9	648
4. KONTROLA KVALITETA					
4.1 ULAZNA KONTROLA					
4.1.1 ODREĐIVANJE FIZ.-HEM. SVOJSTAVA	POGREŠNO ISPITANO	4	9	8	288
4.1.2 ODREĐIVANJE HEM. SVOJSTAVA	POGREŠNO ISPITANO	2	2	3	12
4.2 PROCESNA KONTROLA					
4.2.1 KONTR. PARAMETARA PROCESA	NEADEKVATNA	8	9	5	360
4.2.2 KONTROLA PROIZVODA	NEBLAGOVREMENA	4	9	4	144
5. RADNIK					
5.1 VESTINA					
5.1.1 OBRAZOVANJE	NEADEKVATNO	8	7	2	112
5.1.2 UVEZBANOST	SLABA	4	6	5	120
5.1.3 ISKUSTVO	NEDOVOLJNO	4	6	5	120
5.2 ZDRAVLJE					
5.2.1 UMOR	PRISUTAN	5	7	2	70
5.2.2 BOLEST	PRISURNA	5	7	2	70

6. LITERATURA

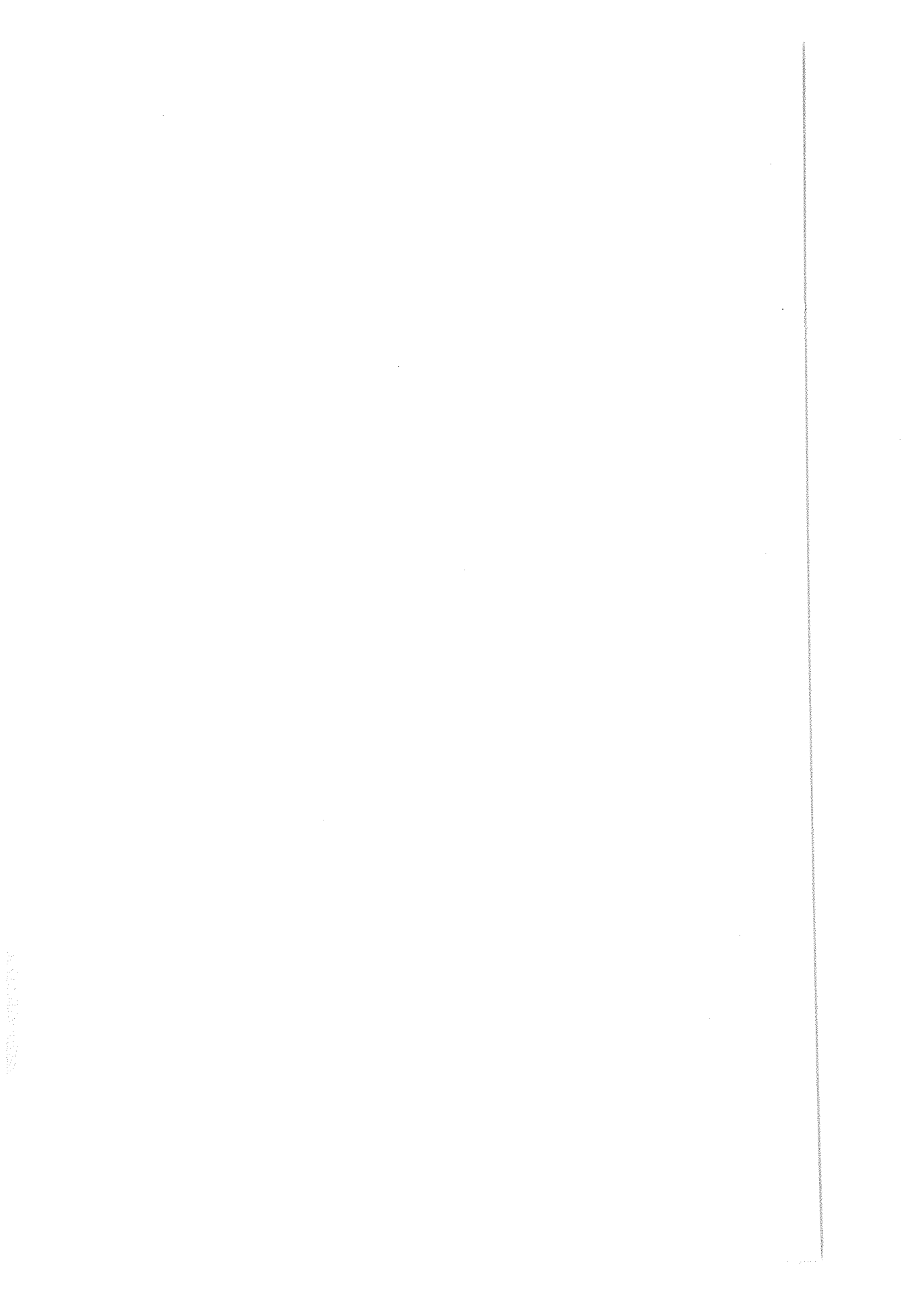
- [1] Ishikawa, K., What is Quality Control. The Japanese Way, Prentice Hall Inc., New York, 1985
- [2] Stanić, J., Upravljanje kvalitetom proizvodnje - metodi I i II, IRO "Građevinska knjiga", Beograd, 1985
- [3] Vulanović, V., Upravljanje kvalitetom, VSOI, Novi Sad, 1991
- [4] Popović, B., Kamberović, B., Upravljanje kvalitetom, Naucna knjiga, Beograd, 1987
- [5] * * *, Poslovník kvaliteta, Chemos, Palic, 1992
- [6] * * *, Serija standarda JUS ISO 9000

APPLICATION OF "ISHIKAWA" AND "AMDEC" METHODS IN QUALITY PROBLEMS SOLVING

Summary

The quality of products is not only in their functionality, but in their esthetic and ecological value, too. For that reason, this paper shows the plastic bottles quality improvement from the esthetic and ecological aspect. The following modern scientific methods were used in quality problems solving:

- "ISHIKAWA" method for establishing a connection between causes and effects among the researched problems factors
- "AMDEC" method for factors ranking and critical evaluation



V. Živković*

UTICAJ NOVIH TEHNOLOGIJA NA KVALITET INDUSTRIJSKOG PROIZVODA

Rezime

U radu je objašnjena primena lasera u mašinskoj industriji. Razmatranje je podeljeno u dve celine. Prvi deo se odnosi na primenu CO₂ i Nd:YAG snažnih lasera u proizvodnji u okviru robotskih sistema za zavarivanje, rezanje, bušenje i obradu površina. Drugi deo prikazuje primenu gasnih lasera u kontroli kvaliteta u okviru sistema za merenje i dijagnostiku.

Istaknuta je prednost ovih laserskih sistema u odnosu na klasične tehnologije i obrazložen doprinos kvalitetu proizvoda.

Dat je prikaz postojećeg stanja primene ovih lasera u proizvodnji i kontroli u našoj zemlji.

1. UVOD

U svetu danas ne postoji industrija koja ne koristi rezultate istraživanja fundamentalnih nauka, na prvom mestu fizike. Sprega prirodnih, fundamentalnih i tehničkih nauka suštinski menja uslove života, dovodi do stvaranja novih navika i potreba, do razvoja novih tehnologija i proizvoda čiji je zadatak zadovoljenje tih potreba. Nепrestana težnja čoveka da upozna što bolje sebe, razume prirodu i svet u kome živi i učini svoj život u tom svetu što udobnijim i kvalitetnijim, s druge strane, pokreće nova fundamentalna istraživanja. Tako u neprekidnoj uzročno posledičnoj vezi nauka i praksa se dopunjuju i nadograđuju. Nove potrebe i kvalitativni skokovi iniciraju razvoj novih tehnologija koje ih ostvaruju, a nove naučna dostignuća pretočena u nove tehnologije daju ideje za postizanje novih kvaliteta što se direktno odnosi na kvalitet industrijskog proizvoda. Zajednički, kao neraskidiva spirala čiji korak predstavlja tehničko tehnološki napredak čovečanstva, doprinose podizanju kvaliteta samoga života u celini.

U oblasti projektovanja proizvoda, u proizvodnji i kontroli kvaliteta poslednjih decenija postignut je izuzetan napredak. Sve do kraja prošlog veka, naprimer, za merenje dimenzija tačnost od oko 0,25 mm je zadovoljavala potrebe mašinske industrije. Početkom ovog veka ovaj zahtev raste na desetak μm , sredinom veka dostignuta je tačnost merenja manja od 1 μm , da bi poslednjih godina brzi napredak industrije i

* mr Vida Živković, dipl.fiz, Savezni zavod za mere i dragocene metale, Mike Alasa 14, Beograd

upotreba novih tehnologija usloveli nanometarsku tačnost merenja dimenzija.

Kada je 1987. godine Medjunarodna organizacija za standardizaciju (ISO) uspostavila standard ISO 9000, koji propisuje jednostavne zahteve za dobru proizvodnju koja se zapravo zasniva na uvodjenju sistema kvaliteta, proizvodnja lasera, optičkih vlakana i prateće opreme naglo raste. Još 1960. godine kada je prvi laser predstavljen javnosti naslućivala se nova era naučnog i tehnološkog napretka. Laseri, u sprezi sa novim materijalima i uz odgovarajuću softversku podršku, postaju moćno orudje u različitim delatnostima. Karakteristike svetlosti koju emituju laseri omogućavaju njihovu raznovrsnu primenu u industriji. Tako se, na jednoj strani, sve više razvijaju, konstruišu i primenjuju u proizvodnji laserske alatne mašine; a na drugoj strani, dijagnostički i merni laserski uređaji u spoju sa opremom za praćenje procesa, što pojednostavljuje proces rada i povećava tačnost i pouzdanost na proizvodnoj liniji. Razvoj laserskih radara omogućava mašinama i robotskim sistemima da bolje vide, razumeju i upravljaju odgovarajućim procesom proizvodnje.

2. PRIMENA LASERA U PROIZVODNJI

Par godina nakon otkrića prvog lasera, nekoliko kompanija je proizvelo čvrsti rubinski laser za primenu u industriji dovoljne snage zračenja potrebne za zavarivanje, rezanje i bušenje metala pa čak i nekih veoma tvrdih nemetala kao što su dijamant i safir. Da bi se primenjivali u mašinskoj industriji laseri moraju biti dovoljno snažni i moraju imati odgovarajući kvalitet laserskog zraka. Kvalitet zraka je ključni faktor u laserskom procesu i direktno utiče na kvalitet proizvodnog procesa koji se pomoću njega sprovodi. Kvalitet laserskog zraka izražava se karakteristikama njegovog profila, raspodelom snage, njenom stabilnošću i što manjom divergencijom snopa.

U industrijskoj proizvodnji koriste se čvrsti i gasni laseri sa kontinuiranim ili impulsnim zračenjem.

Da bi se proširio broj lasera koji se primenjuju u proizvodnji bilo je potrebno podići nivo izlazne snage njihovom zračenju.

Tehnologija visokosnažnih lasera naročito se razvija u periodu od 1970. do 1990. godine. Tada nastaju snažni ArII i CO₂ gasni laseri kao i optički pumpan rubinski, Nd³⁺ i Nd:YAG čvrsti laseri za primenu u procesu proizvodnje. Danas CO₂ laseri dostižu snagu od 10 kW, a Nd:YAG laseri oko 3 kW.

Lasери na koje se danas usredsređuje najveća pažnja su oni koji rade na nivou kilovata i koji su preko optičkog vlakna spojeni sa proizvodnim mestom, naprimer rukom robota kod zavarivanja u automobilskoj industriji. Upotreba optičkog vlakna poboljšava karakteristike izlaznog zračenja preko efekta homogenizacije i omogućava proizvodnju u kojoj laser nije u direktnom kontaktu sa predmetom koji se obrađuje ili proizvodi.

Industriji su potrebni laserski sistemi uskladjeni sa novim zahtevima proizvodnje i kvaliteta. Tako se u novije vreme razvijaju nove generacije excimer i slab lasera koji nalaze primenu u industriji. Razvijaju se i univerzalne procesne laserske glave koje se rotiranjem u radnu poziciju mogu koristiti za rezanje ili zavarivanje. Procesne operacije, uključujući sve neophodne promene u optici za rezanje ili zavarivanje u potpunosti su automatizovane. Simultano trodimenzionalno pokretanje osa je pod kompjuterskom kontrolom, a laserski zrak se do procesne glave dovodi primenom optičkog vlakna. U čemu se ogleda doprinos kvalitetu primenom ovih tehnologija? Kvalitet zavarivanja je bolji i na zavarenom spoju se javljaju manje metalne ivice tako da se ručne mukotrpane operacije konačne obrade smanjuju za oko 4,5 puta po jednom spoju. Lasersko zavarivanje je brže a deformacije materijala usled zagrevanja su zanemarive. Važna osobina rezanja laserom su veoma oštre i tačne ivice reza i mogu biti od 0,04 mm do

0,05 mm uske. Zona delovanja toplote je često manja od 0,02 mm čime su takodje izbegnute deformacije materijala. Bušenje rupa u 4,5 mm debelom titanijum boridu, materijalu koji se teško buši, postiže se pomoću lasera. Bakarni lim debljine 0,3 mm reže se veoma kvalitetno CO₂ laserom, a titanijum debljine do 1 mm reže se brzinom od 25 mm/min sa tačnošću od 0,02 mm.

Fizički procesi koji se koriste kod laserskih alatnih mašina i zavarivača u osnovi su termički i bili su poznati i primenjivani i pre upotrebe lasera. Kvalitet "toplotne" energije koju emituje lasersko zračenje je jedinstven i ističe se kroz uzani snažni snop koji se može veoma precizno locirati na materijal koji se obrađuje. Fizički procesi interakcije lasera sa materijalom mogu se primeniti na niz novih materijala. Za razliku od klasičnih metoda, snažni laseri vrše obradu materijala bez direktnog kontakta, odnosno izvori zračenja su udaljeni od radnog komada. Ovo omogućava eliminisanje noževa, bušilica, abrazivnih točkova, plamenika, hemijskih sredstava i sl. a to smanjuje održavanje, zamenu i direktno cenu rada.

3. PRIMENA LASERA U KONTROLI

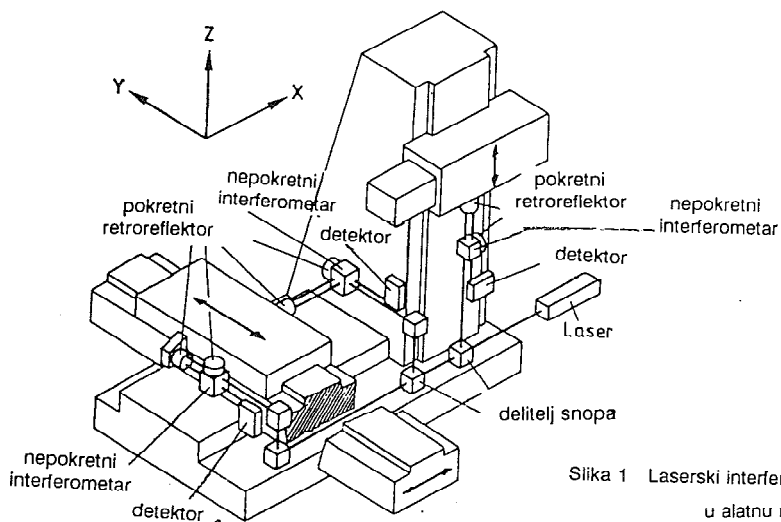
Najviše primenjeni danas su sigurno He-Ne gasni laseri. Monohromatičnost, koherentnost i stabilnost (frekvencije, odnosno talasne dužine) zračenja koje emituju učinili su ih najpogodnijim izvorima svetlosti primenjenim u veoma tačnim fizičkim merenjima. Razvijeni su i konstruisani laserski merni uređaji za merenje hrapavosti površina, za merenje dimenzija i odstupanja od oblika čak i u samom postupku proizvodnje. Laserski zrak se analizira nakon odbijanja od različite vrste površina, a dimenzije se mogu precizno odrediti i pratiti merenjem vremena potrebnog da zrak predje određeno rastojanje ili analizom interferometrijske slike. Laseri se koriste takodje za detektovanje defekata (grešaka) na površinama, kao što su ogrebotine, naprsline, rupe i odstupanja od dozvoljenih tolerancija dimenzija. He-Ne laseri se koriste i za podešavanja unutar određenih granica tolerancije. Podešavanje se prvenstveno odnosi na tačno pozicioniranje alatnih mašina kao i za podešavanje rada snažnih lasera za rezanje, bušenje i obeležavanje. Vidljivi He-Ne laseri koriste se za podešavanje infracrvenih lasera nevidljivog zračenja. U mašinogradnji, definisanje pravca često se praktično ostvaruje pomoću He-Ne lasera (laserska libela), koji određuje horizontalni referentni pravac duž velikog rastojanja.

Optičke metode za merenje dužine i ugla korišćene su u industrijskoj metrologiji i ranije ali su bile ograničene u pogledu mernog opsega i tačnosti nesavršenim karakteristikama postojećih monohromatskih izvora svetlosti. Uvodjenjem lasera, posebno gasnih koji emituju svetlost iz vidljivog dela spektra, raširila se i pojednostavila primena ovih optičkih metoda merenja, posebno interferometrijska. Koherentnost laserskog zračenja proširuje opseg merenja sa nekoliko desetina milimetara na nekoliko desetina metara. Tačnost merenja se povećava i zalazi u opseg nanometara, a interferometrija se može ostvariti i u normalno osvetljenim prostorijama, proizvodnim halama pa čak i u prostoru. Konstruišu se i sve više primenjuju za merenja u industriji različiti laserski interferometri.

Za razliku od snažnih, infracrvenih lasera koji se koriste u proizvodnji za zavarivanje, rezanje, bušenje i obradu površina, gasni laseri za merenja i dijagnostiku (interferometrija, holografija) i za podešavanje su laseri male snage, najčešće nekoliko mW, koji emituju vidljivu svetlost, najčešće crvenu, talasne dužine od 632,9 nm.

Svaka alatna mašina kod koje se zahteva visoka tačnost pozicioniranja je kandidat za primenu laserskih pretvarača za njeno podešavanje. To su na prvom mestu multiosne numerički kontrolisane i kompjuterski vodjene alatne mašine (NC i CNC) i koordinatne

merne mašine. Mnoge mašine sa malom rezolucijom od nekoliko μm , kao što su koordinatne bušilice, mikroskopi, dilatometri i sl. koriste laserske interferometre koji su ugrađeni u samu mašinu i neprestano prate i upravljaju procesom obrade. Na slici 1. je prikazana jedna ovakva mašina sa tri ugrađena laserska interferometerska pretvarača koji istovremeno prate promene duž sve tri koordinatne ose. Povratnom spregom se koriguje vrednost koordinata i tako obezbeđuje izrada komada u okviru zadatih tolerancija. Tačnost ovih laserskih interferometara, kao i sličnih koji se koriste za spoljašnju proveru tačnosti alatnih mašina, odnosno njene geometrije, je reda veličine 10^{-7} m/m, a opseg merenja do 60 m.

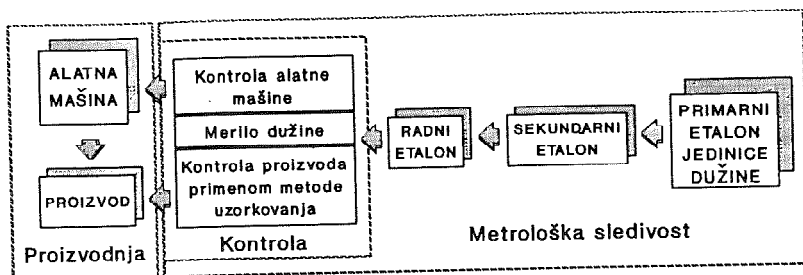


Upotrebom laserskih interferometara klasičan način provere alatnih mašina se pojednostavljuje, kontrola postaje efikasnija, brža i pouzdanija što obezbeđuje tačniji i pouzdaniji rad mašine i kvalitetniju proizvodnju bez škarta. Na slici 2. su prikazane klasična metoda provere alatne mašine i metoda provere primenom laserskog interferometra, kao i put ostvarenja metrološke sledivosti koja je na osnovu standarda ISO 9000 neophodna u slučaju uspostavljanja sistema kvaliteta i obezbeđenja kvaliteta proizvoda.

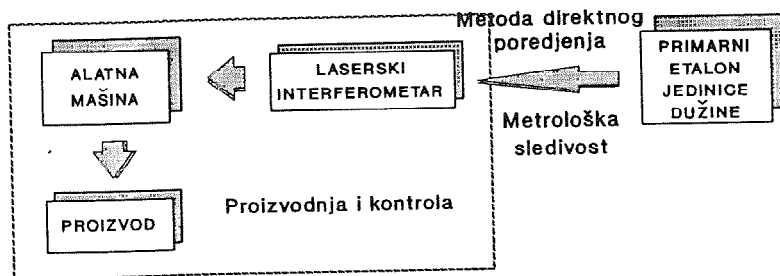
Značajne su primene lasera u okviru radarskih sistema i u dijagnostici u okviru hologramskih instrumenata koji daju kvalitetnu sliku koja omogućava otkrivanje defekata proizvodnje i gotovog proizvoda.

4. PRIMENA LASERA U NAŠOJ INDUSTRIJI

Nakon 30 godina od primene prvog lasera u industriji analize pokazuju da stanje u našoj zemlji u ovoj oblasti nije ružičasto. Mada su još osamdesetih godina ISKRA-Elektrooptika iz Ljubljane i Institut za fiziku iz Zemuna razvili i napravili CO_2 laser snage 500 W za rezanje, primena ovog sistema do danas još nije zaživela u našoj industriji. Danas se jedino na Institutu za fiziku koristi ovakav laser sa kompletnom softverskom podrškom za rezanje drveta. Automobilska industrija i mašinogradnja, koje su u svetu najveći korisnici lasera za zavarivanje i rezanje, u našoj zemlji ne koristi ni jedan takav sistem. YAG laseri manje snage, proizvedeni u Institutu za fiziku isporučeni su Institutu



Slika 2a Klasična kontrola tačnosti alatnih mašina



Slika 2b Kontrola tačnosti alatnih mašina primenom laserskog interferometra

"Mihajlo Pupin" iz Beograda, EI iz Niša i "14. oktobru" iz Kruševca.

U pogledu primene laserskih He-Ne interferometara situacija je nešto povoljnija. U Srbiji postoji 11 laserskih interferometara za merenje dimenzija i kontrolu alatnih mašina. U toku 1992. godine u Saveznom zavodu za mere i dragocene metale izvršeno je poredjenje sedam ovakvih sistema i određene njihove metrološke karakteristike u odnosu na jugoslovenski primarni etalon jedinice dužine. Pet sistema su firme HEWLETT PACKARD (jedan tipa HP 5526A i četiri tipa HP 5528A), jedan firme SPECTRA PHYSICS i jedan firme CARL ZEISS (tipa LMS 100). Ostala četiri lasera nisu upoređena sa primarnim etalonom jedinice dužine, za njih nije obezbedjena metrološka sledivost a o njihovim karakteristikama i primeni nema informacija. Navedeni laseri se koriste u ovlašćenim laboratorijama za merenje dužine i za kontrolu koordinatnih i alatnih mašina. Veoma mali broj mašina u našoj industriji je kontrolisan pomoću ovih lasera, a stepen iskorišćenosti ovih veoma tačnih sistema je nešto manji, u proseku, od 10%. Najveća izmerena dužina iznosi 20 m. Poražavajuća je činjenica da se većina alatnih mašina ne proverava ni klasičnim metodama.

5. ZAKLJUČAK

Kvalitetan industrijski proizvod je onaj koji zadovoljava podjednako potrebe kupca i proizvođača. Da li određeni proizvod odgovara potrebi kao i da li proizvođač, na osnovu njega, ostvaruje profit ili gubitke, obično se određuje kontrolom kvaliteta. Ona se primenjuje u svim koracima proizvodnje jednog komada, a kada je mašinska industrija u pitanju, najčešće se odnosi na utvrđivanje odstupanja od zahtevanog oblika i dimenzija komada koji čine konačan proizvod, odnosno da li geometrija mašine koja proizvodi taj komad (tačnost pozicioniranja, pravost i upravnost vodjica, ravnost stola i sl.) obezbedjuje njegovu izradu u okviru standarda. Zadatak službe za obezbedjenje kvaliteta u svakom preduzeću je da obezbedi permanentno periodično proveravanje alatnih mašina i merila u okviru zakonskog mernog sistema čime se ostvaruje metrološka sledivost. U okviru

sprovedjenja sistema kvaliteta mnoge tehnološke inovacije nalaze brzu primenu u industriji, a mnogi programi u svetu, finansijski podržani od strane države, odnose se na razvoj nove opreme i procesa u cilju postizanja što boljeg kvaliteta. U okviru ovih tehnoloških dostignuća laseri zauzimaju prvo mesto danas. Zajednički, snažni laseri primenjeni za razne operacije u proizvodnom procesu i laseri male snage za merenja, podešavanja i dijagnostiku, omogućavaju ostvarenje osnovnih zahteva proizvodnje pomoću alatnih mašina: povećanje produktivnosti i smanjenje škarta, smanjenje vremena kontrole i povećanje tačnosti izrade komada.

Nezavidno stanje u zemlji treba poboljšati stimulisanjem domaćeg potencijala da radi na razvoju ovakvih sistema i njihovoj primeni u našoj industriji.

6. LITERATURA

- [1] L.Weaver, Machining and Welding Applications, Laser Applications, Academic Press New York and London, Volum I, 1971, 201-236.
- [2] A.Tebo, Dimensional Measurement with Helium-Neon Lasers, Electro-optical System design, octobar 1982, 21-26.
- [3] D.Belforte, Industrial laser move up the power curve, Laser Focus World, october 1991, 69-84.
- [4] H.W.Messenger, Advances in laser technology proper diverse applications, Laser Focus World, december 1992, 61-72.
- [5] J.Hecht, Laser in industrial applications, Laser Focus World, april 1994, 67-69.
- [6] V.Živković, S.Zelenika, Poredjenje sekundarnih etalona jedinice dužine-stabilisanih lasera sa primarnim etalomom jedinice dužine, Zbornik radova 19. JUPITER konferencije, 1993.
- [7] V.Živković, D.Branković, Odredjivanje tačnosti mašine za merenje dužine pomoću laserskog interferometarskog sistema, Zbornik radova JUREMA 31,1986, sveska 3, 87-90.

V.Živković

THE INFLUENCE OF NEW TECHNOLOGIES ON THE INDUSTRIAL PRODUCT QUALITY

Summary

This paper explains some laser applications in machining industry. It is divided in two parts. The first part deals with the application of CO₂ and Nd:YAG high power lasers incorporated into robotic systems for welding, cutting, drilling and surface treatment in production. The second part explains gas laser applications in quality control, that is in measurement and diagnostic systems.

The advantage of these lasers compared to classical technologies is pointed out, and their contribution to the product quality is explained.

The paper also illustrates the present status of laser applications in our country, for industrial production and control.

RAČUNARSKI PODRŽANA INSPEKCIJA

Srdan Živković¹

Abstract

KONCEPT RAČUNARSKI PODRŽANE INSPEKCIJE. U DALJEM TEKSTU CAI (COMPUTER AIDED INSPECTION), RAZVIJEN U VTI-ŽARKOVO JE DEO RAČUNARSKI INTEGRISANE PROIZVODNJE (CIM). AUTOMATIZACIJA SVIH POJEDINAČNIH INŽENJERSKIH AKTIVNOSTI I NJIHOVA INTEGRACIJA U CELINU JE NUŽNOST PROJEKTOVANJA SAVREMENIH BORBENIH LETILICA. OSIM PRAČENJA SVETSKIH TRENDOVA, VTI RAZVIJA SOPSTVENA REŠENJA. U RADU JE PRIKAZANO ZAOKRUŽENO REŠENJE CAI KONCEPTA.

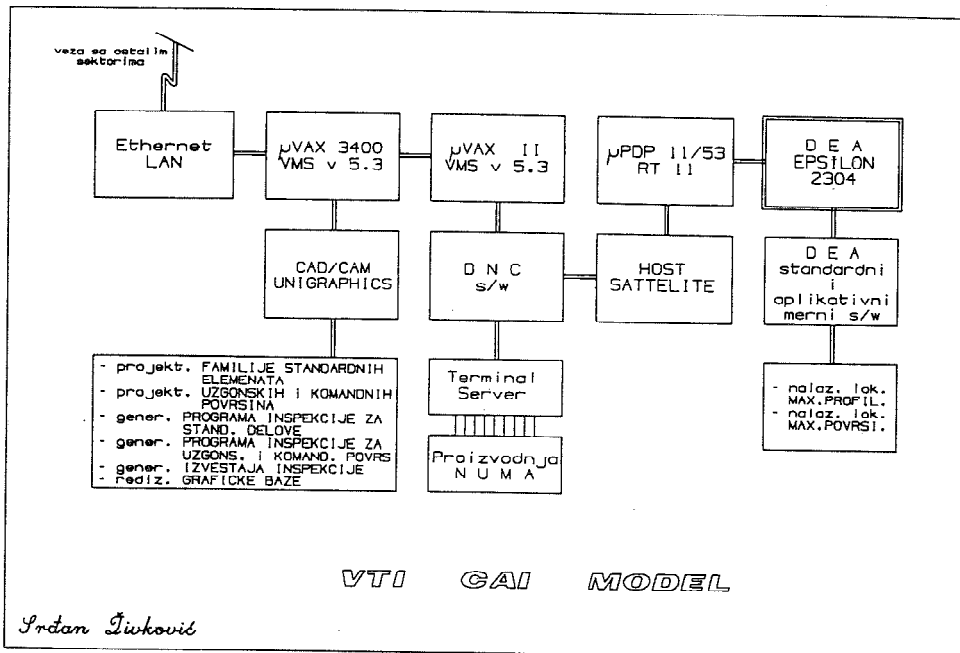
1 Uvod u CAI

CAI (Računarski Podržana Inspekcija) je u mnogim fabrikama metaloprerade poslednji problem u procesu integracije CIM koncepta. Razlog leži u tome što je merenje, kontrola ili sortiranje poslednja etapa u proizvodnom procesu. CIQ (Computer Integrated Quality) Računarski integrisani sistem kvaliteta, predstavlja nov pristup problemu upravljanja kvalitetom. To je skup svih inženjerskih aktivnosti kojima se na bazi brzog i fleksibilnog prikupljanja podataka o činiocima kvaliteta stvara konzistentan informacioni sistem o parametrima kvaliteta proizvoda u svim fazama njegovog životnog veka.

Proizvod, koji svoju vrednost treba tek da dobije na tržištu, mora da ponudi kvalitet i pouzdanost, odgovarajuću cenu i ako je se radi o proizvoda takvog tipa savremen, moderan dizajn. Naravno da je želja svakog proizvođača da ove ciljeve postigne uz minimalne troškove proizvodnje i što je moguće kraće vreme izrade. Svi ovi nabrojani zahtevi, su jedan u suprotnosti sa drugim, pa je potreban novi pristup problemu. Novi pristup traži računarsko upravljanje mašinama i procesima. Ovakav pristup proizvodnji omogućava proizvođaču brzinu i fleksibilnost, uz odgovarajući kvalitet.

¹S. ŽIVKOVIĆ vodeći istraživač u VOJNO TEHNIČKOM INSTITUTU u Žarkovu. OVAJ RAD JE SEPARAT MAGISTARSKOG RADA U PRIPREMI

Slika 1: VTI CAI model



1.1 NUMM

Sve strožiji i sve složeniji zahtevi savremene proizvodnje, neminovno su doveli do razvoja novih metoda i novih mašina za kontrolu proizvoda. Pre svega, povećani zahtevi tačnosti, sve složeniji oblici, kratko vreme za kontrolu, su neki od osnovnih odrednica koje nam približavaju pojmove "savremene" i "nove" merne mašine. Automatizacija aktivnosti vezanih za metrologiju u metaloprerađivačkoj industriji ima u svojoj osnovi Numerički Upravljanu Mernu Mašinu (u daljem tekstu NUMM). One su osnova za postojanje ovog koncepta. Merne mašine koncipirane na ovaj način skraćuju umnogome vreme potrebno za kontrolu uz smanjeni broj angažovanog ljudstva. Neke od sadašnjih proizvoda i nije moguće izraditi bez numerički upravljanih alatnih mašina i nije moguće iskontrolisati bez odgovarajućih NUMM.

Mašine ovog tipa su po pravilu veoma skupe, pa je izbor odgovarajuće NUMM delikatan i odgovoran posao. Oprema ovog tipa je veoma složena i veoma specifična, tako da broj proizvođača NUMM nije tako veliki kao npr. broj proizvođača glodalica ili strugova. NUMM morju da prate odgovarajući software-ski proizvodi (statistika, zupčanci, scaniranje profile, plot, komunikacija ...)

2 VTI CAI model

Razvoj koncepta kompjuterski podržane inspekcije (CAI) u VTI VJ, je bio neophodan s obzirom na specifičnost (i težinu) problematike s kojom se ovaj institut bavi. Koncept CAI je deo orijentacije ka CIM kojoj VTI teži već duži niz godina. Posedovanje odgovarajuće s/w i h/w opreme je bilo dobar osnov ka integraciji svih inženjerskih aktivnosti. CAI model je prikazan na slici 1.

Osnovu ovog sistema cine DEC-ovi računari sa odgovarajućim software-om i Ethernet LAN koji povezuje sve računare u VTI-u. U Institutu postoji nekoliko računarskih sistema za inženjersko projektovanje i analizu. U Radionici za izradu modela letilica i aerodinamičkih uređaja osnovni CAD/CAM sistem je "UNIGRAPHICS II" (UGII). Otvorenost UGII-a prema korisnicima omogućava razvoj sopstvenih aplikacija i njihovu integraciju u CAD/CAM.

1. Aeroprofili
2. Ravni simetrije
- ◊ Komunikacioni program
 1. Host strana
 2. Satelit strana
- ◊ Aplikativni s/w na NUMM
 1. Loklani maksimum površina
 2. Loklani maksimum porofila

3 Osvrt

Prezentirani koncept CAI je već duže vreme u operativnoj upotrebi u VTI. Iskustva stečena u ovoj oblasti i razvijeni odgovarajući s/w alati omogućuju laki implementaciju i u drugim proizvodnim fabrikama i pogonima. Cela realizacija CAI sistema se može uz, relativno, mala reprogramiranja kompletno preorijentisati na neku drugu oblast mašinstva.

4 Literatura

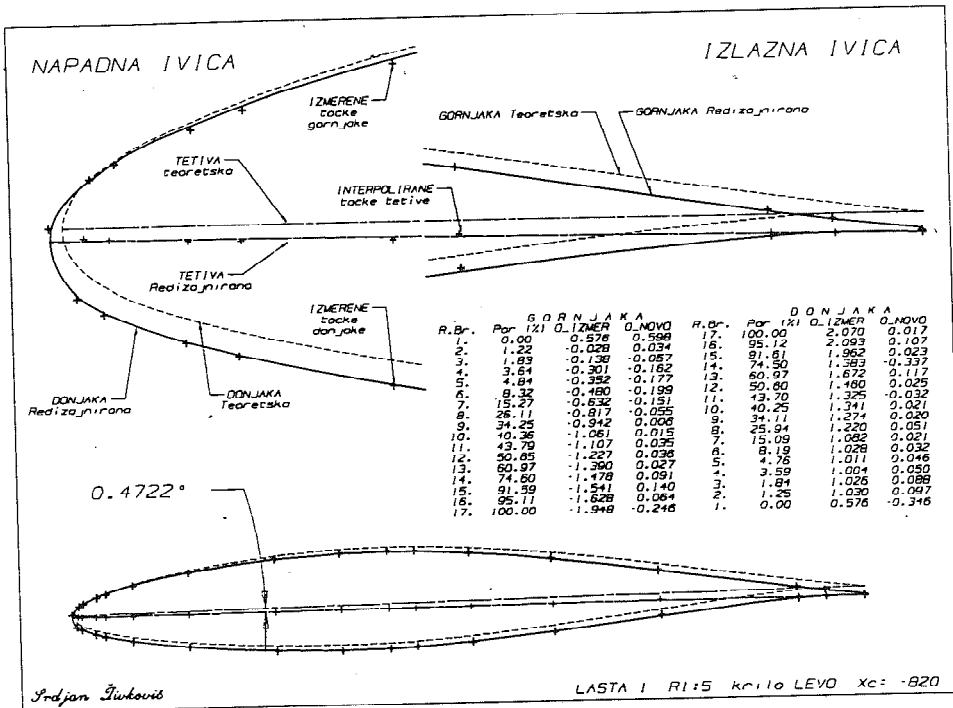
1. Milačić V., Spasić Ž., KOMPJUTERSKI INTEGRISANI TEHNOLOŠKI SISTEMI, MF Beograd i JUPITER zajednica, Beograd 1990.
2. Veljović A., ELEMENTI EKSPERT SISTEMA, MF Beograd i JUPITER zajednica, Beograd 1990.
3. Rogers D., Adams A., MATHEMATICAL ELEMENTS FOR COMPUTER GRAPHICS, McGraw-Hill Book Company, New York 1976.
4. Gapšis A. i dr, KOORDINATNE MERNE MAŠINE, Mašinstroenie, Moskva 1988.
5. DEA, SYSTEM SURFER, USERS MANUEL, Moncalieri Torino 1988.

COMPUTER AIDED INSPECTION

Summary

The concept of Computer Aided Inspection, in further text CAI, developed at VTI Žarkovo is a part of Computer Integrated Manufacturing (CIM). Automation and integration of all separate engineering activities is a necessity in designing modern fighting aircraft. Besides keeping an interest in the latest world trends, VTI develops its own solutions. The paper presents a complete CAI concept solution.

Slika 2: Redizajn CAD baze



Razvijeno je nekoliko aplikacija koje se uspešno primenjuju: Automatsko modeliranje familije standardnih mašinskih zavrtnjeva, automatsko modeliranje krila za modele letilica, generator programa inspekcije za seriju cilindričnih elemenata, generator programa za inspekciju površina slobodne forme, automatsko formiranje izveštaja inspekcije, redizajn CAD baze prema izvršenoj inspekciji, formiranje (nove) CAD baze prema izmerenom nepoznatom objektu. Na računaru (μ VAX 3400) na kojem je instalisan UGII je instalisan komunikacioni paket za vezu sa proizvodnjom (DNC) i kontrolom razvijen u VTI-u.

NUMM (DEA Epsilon 2304) je upravljana računom μ PDP-11 sa operativnim sistemom RT-11. Na ovom računaru instalisan je standardni DEA-in merni s/w: programi za aksijalno i radijalno skaniranje, modul za samoučenje, program za komunikaciju sa host-om (satelit side) i programski jezik "HELP" orijentisan prema problematici merenja i kontrole. Otvorenost cele DEA-ine koncepcije omogućava razvoj sopstvenih aplikacija. Osim mernih programa automatski generisanih na CAD/CAM-u, za ovu mašinu su u VTI-u razvijeni programi za nalaženje maksimalne tačke nepoznatog profila i za nalaženje tačke lokalnog maksimuma nepoznate površine.

Celokupna koncepcija je zasnovana na ideji postojanja zajedničke baze o proizvodu, za sve inženjerske aktivnosti. Počev od projektovanja, konstruisanja i analize proizvoda, planiranja proizvodnje, razrade tehnologije, distribucije i izrade na NUMA do međufazne i završne inspekcije. Sve aktivnosti se vrše na istom matematičkom modelu. Ovako koncipirano rešenje daje uvek ažurno stanje o proizvodu, uprkos svim izmenama koje se mogu desiti čak i u fazi izrade. Ovakav pristup osim fleksibilnosti i brzine omogućava i lako povezivanje sa ostalim sektorima VTI-a.

Sistem računarski podržane inspekcije se sastoji od nekoliko segemenata koji čine celinu.

- o Generator Programa Inspekcije
 1. Standardni delovi
 2. Komandne i uzgonske površine
- o Generator Izveštaja
- o Redizajn grafičke baze slika 2.

25. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

Tehnički materijal pripremio za štampu:
Prvoslav Živković, dipl. maš. inž.

Tiraž:
600 primeraka

Štampa:
POLITOP-P, Beograd

