INSTITUT ZA ALATNE STROJEVE
Zagreb, Đure Salaja bb, tel. 512-464

INSTITUT ZA ALATNE MAŠINE I ALATE
Beograd, 27 marta 80, tel. 47-194

ZBORNIK SAOPĆENJA

II Savjetovanje o proizvodnom strojarstvu
Zagreb, 18. — 20. 4. 1966,

PRIPREMNI ODBOR:

BODROŽIĆ ing IVICA
CRNEKA ing. ANTUN
GORNIK ing. BORIS
ŠOLAJA prof. VLADIMIR
UROŠEVIĆ ing. SRETEN

ZAGREB – BEOGRAD, 1966.

БИБЛИОТЕКА МАШИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
Бр. 20046

I savjetovanje o proizvodnom strojarstvu održano je 5.6. i 7. listopada 1965. godine u Beogradu.

Isti organizatori, Institut za alatne strojeve u Zagrebu i Institut za alatne mašine i alate u Beogradu pod pokroviteljstvom Saveza mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije (SMEITJ), pripremili su II savjetovanje o proizvodnom strojarstvu u Zagrebu. Savjetovanje je održano 18.19. i 20. travnja 1966. godine.

Program Savjetovanja je obuhvatio:

- istraživanja u oblasti alatnih strojeva i programskog upravljanja,
- istraživanja u oblasti alata,
- istraživanja u oblasti tehnologije strojne obrade,
- istraživanja u oblasti organizacije rada.

Na Savjetovanju je podneseno 40 referata, i to:
- 35 iz naučno istraživačkih organizacija (insitituti, fakulteti)
- 5 iz industrijskih poduzeća

Učestvovalo je 112 prijavljenih učesnika, uglavnom iz industrije, zatim autori referata i suradnici oba Instituta - organizatora.

Ovo Savjetovanje potvrđuje ispravnost ideje održavanja skupova te vrste.

Zajednica jugoslavenskih naučno-istraživačkih institucija proizvodnog strojarstva, koja je formirana poslije I savjetovanja preuzela je brigu za održavanje kontinuiteta Savjetovanja. Brigu oko organizacije III savjetovanja, Zajednica je povjerila Inštitutu za strojništvo u Ljubljani.

Zajednica je prihvatila ciljeve Savjetovanja, zacrtane na prva dva Savjetovanja:

- upoznavanje šire stručne javnosti za istraživačko - razvojnim radovima naših stručnjaka na području proizvodnog strojarstva,
- razmjena mišljenja među stručnjacima iz instituta i industrije,
- potcrtavanje značaja proizvodnog strojarstva za razvoj privrede u cjelini.

U ovom Zborniku štampani su svi podneseni referati u cjelini, a iz diskusija su objavljeni samo izvodi.

PRIPREMNI ODBOR II SAVJETOVANJA

SPISAK UČESNIKA II SAVJETOVANJA
O PROIZVODNOM STROJARSTVU

Antunović Bojan	- IAS, Zagreb
Bačan ing. Franjo	- MIV, Varaždin
Begić ing. Zvonko	- Tvornica računskih strojeva, Zagreb
Bendelja prof.ing.Božo	- Mašinski fakultet, Sarajevo
Bodrožić ing. Ivica	- IAS, Zagreb
Bognar ing. Franjo	- "Đuro Đaković", Slavonski Brod
Bosiljčić ing.Radovan	- "Petar Drapšin", Mladenovac
Bratko Antun	- MIV, Varaždin
Bulat dr Vuksan	- IAMA, Beograd
Cesarić ing. Josip	- Tehnička škola, Zadar
Crneka ing. Antun	- IAS, Zagreb
Čatić ing. Igor	- VTŠ, Zagreb
Čergić Stevan	- Industrija motora, Rakovica
Černeka ing. Ratko	- TOMOS, Koper
Domazet ing. Pavle	- "Rudi Čajevec", Banja Luka
Dragović ing.Dragomir	- Soko, Mostar
Drašković Vladimir	- Elektronski školski centar, Sarajevo
Drašković ing. Zvonko	- "Prvomajska", Zagreb
Dundara ing.Eugen	- "Krapan", Raša
Dusman ing.Federiko	- "Prvomajska", Zagreb
Đaković Radomir	- Industrija traktora i mašina - Beograd
Đurašević dr Aleksandar	- VTŠ, Zagreb
Eberhardt ing.Tomislav	- SBF, Zagreb
Ergotić ing.Josip	- OLT, Osijek
Fijan ing.Zvonko	- VTŠ, Zagreb
Franić ing.Krešimir	- "Rade Končar", Zagreb
Gašparac ing. Branko	- "Prvomajska", Zagreb
Glavaš ing. Jakov	- Energoinvest, Sarajevo
Gligorić ing.Branko	- IAMA, Beograd
Golubić ing. Franjo	- "Prvomajska", Zagreb
Gornik ing. Boris	- IAS, Zagreb
Granov ing. Emin	- "Vaso Miskin Crni", Sarajevo
Grčar Mirko	- TAM, Maribor
Henich ing. Darinika	- IAS, Zagreb
Hercigonja dr Ivo	- SBF, Zagreb
Horvatec ing.Zvonimir	- "Ventilator", Zagreb
Hrabar ing. Dinko	- "Metalus", Zagreb
Hrabrić ing. Antun	- "Prvomajska", Zagreb
Huskić ing. Husein	- "Jugorapid", Podgused
Ivančević ing.Ljubo	- "Energoinvest", Sarajevo
Ivković ing. Branko	- Mašinski fakultet Beograd, odelenje Kragujevac
Jäger ing.Helmut	- SBF, Zagreb
Jašarbegović Smail	- "Prvomajska", Zagreb
Jerala ing. Jože	- "Iskra", Kranj

Jež ing. Mario	- "Iskra", Zavod za automatizaciju, Ljubljana
Jovanović ing. Aleksandar	- "Ivo Lola Ribar", Železnik
Jovanovuć ing. Milisav	- Mašinska industrija, Niš
Jurdana ing. Nedjeljko	- IAS, Zagreb
Kalajdžić ing. Milisav	- IAMA, Beograd
Karlović ing. Stjepan	- Fabrika motora, Sarajevo
Katalinić Pero	- MIV, Varaždin
Kažanegra ing. Ilija	- "Ivo Lola Ribar", Železnik
Keše Peter	- "Iskra", Kranj
Kimer ing. Julije	- Mašinski fakultet, Novi Sad
Kirigin ing. Srećko	- "Rikard Benčić", Rijeka
Kirsch ing. Rudolf	- "Rade Končar", Zagreb
Klečina ing. Mirko	- "Jelšingrad", Banja Luka
Krušek ing. Zdravko	- "Rade Končar", Zagreb
Knap ing. Anton	- "Iskra", Kranj
Knežević ing. Momčilo	- "Jelšingrad", Banja Luka
Komparić ing. Karlo	- "Prvomajska", Zagreb
Kos ing. Zdravko	- IAS, Zagreb
Kosi ing. Boris	- "Rade Končar", Zagreb
Kostić Bratislav	- IAS, Zagreb
Kovačićek ing. Franjo	- SBF, Zagreb
Kožnjak ing. Ladislav	- "Metalac", Čakovec
Kuljanić ing. Elso	- IAS, Zagreb
Leicher ing. Zdenko	- "Nikola Tesla", Zagreb
Leskovar ing. Polde	- Inštitut za strojništvo, Ljubljana
Lisy ing. Otokar	- "Prvomajska", Zagreb
Ličić ing. Božidar	- Privredna komora grada Zagreba
Lovasić ing. Antun	- VTŠ, Zagreb
Lukan Andrej	- Fabrika motora, Sarajevo
Ljubetić ing. Juraj	- "Torpedo", Rijeka
Margić ing. Slavko	- Strojarski fakultet, Rijeka
Marinković ing. Srđan	- IAMA, Beograd
Markešić ing. Mato	- Elektromašinski školski centar, Sarajevo
Marković ing. Ante	- "Rudi Čajavec", Banja Luka
Marković ing. Milisav	- Zavod za alatne mašine, alate i mjernu tehniku, Sarajevo
Marković ing. Milorad	- "Mašinounion", Beograd
Martinović ing. Vlado	- "Rudi Čajavec", Banja Luka
Maržić ing. Franjo	- "Vlado Bagat", Zadar
Merle prof. Karlo	- Tehnička škola, Rijeka
Meštrović Ivica	- "Vlado Bagat", Zadar
Mihaljinec ing. Božo	- MIV, Varaždin
Mikac Josip	- "Krapan", Raša
Milačić ing. Vladimir	- IAMA, Beograd
Milčić ing. Branimir	- "Prvomajska", Zagreb
Milčić-Gjurčić ing. Vojislava	- VTŠ, Zagreb
Milevoj ing. Julije	- IAS, Zagreb
Milošević ing. Marko	- "Jugoturbina", Karlovac
Milović ing. Antun	- "Đuro Đaković", Slavonski Brod
Mitić ing. Božidar	- Tehnički fakultet, Niš
Mitić ing. Dragiša	- "Petar Drapšin", Mladenovac

Mohanty ing. Devadatta – IAS, Zagreb
Mora ing. Andras – "Potisje", Ada
Müller ing. Ivan – "Torpedo", Rijeka
Muren dr Hinko – Fakultet za strojništvo, Ljubljana
Musafia dr Binko – Mašinski fakultet, Sarajevo
Musabegović ing.Husein – FAP, Priboj na Limu
Nedeljković ing. Milan – IAMA, Beograd
Nestorović Božidar – Mašinska industrija, Niš
Obućina Veljko – Industrija traktora i mašina, Beograd
Orehek Pavel – "Titan", Kamnik
Ostojić ing. Živko – "Rudi Čajavec", Banja Luka
Pastorčić ing. Božidar – "Vlado Bagat", Zadar
Pavić ing. Milan – "Energoinvest", Sarajevo
Pecek ing. Tomislav – IAS, Zagreb
Petrović ing. Vladimir – "Prva petoljetka", Trstenik
Pindulić ing. Vaso – Industrija motora, Rakovica
Pintar ing. Zvonko – "Jedinstvo", Zagreb
Popović ing. Predrag – "Ivo Lola Ribar", Železnik
Povrzanović ing.Aleksandar – SBF, Zagreb
Prica ing. Branko – ZPZ, Zagreb
Priher ing. Stanislav – MIV, Varaždin
Rebić ing. Pavel – SBF, Zagreb
Reich ing. Valter – IAS, Zagreb
Rotar ing. Vinko – "Titan", Kamnik
Rudelić ing. Dragutin – "Gorica", Zagreb
Samardžić Drago – "Energoinvest", Bileća
Savić ing. Mirko – "Potisje", Ada
Sefarović ing. Edhem – Zavod za alatne mašine, alat i mjernu tehniku, Sarajevo
Sekulić ing. Savo – Mašinski fakultet, Novi Sad
Sever Drago – ITAS, Ivanec
Skejić ing. Jakov – "21 maj", Beograd
Smolčić-Žerdik ing.Zora – SBF, Zagreb
Smrtnik ing. Rajko – TOMOS, Koper
Sofronić ing.Aleksandar – "21 maj", Beograd
Srećković ing.Slobodan – "Ivo Lola Ribar", Železnik
Stanić ing. Joko – IAMA, Beograd
Stankov ing. Jelena – Mašinski fakultet, Novi Sad
Stanković dr Pavle – IAMA, Beograd
Šegota ing. Tomislav – "Rikard Benčić", Rijeka
Šešić ing. Bogdan – Institut za lake metale, Zagreb
Šimić ing. Ivan – "Jugoturbina", Karlovac
Šimon ing. Karlo – "Rade Končar", Zagreb
Šimunić inž. Milan – IAS, Zagreb
Škorić ing. Božo – "Prvomajska", Zagreb
Škrgatić ing. Milan – SBF, Zagreb
Šlegl ing. Anton – "Prvomajska", Zagreb
Šmarčan ing. Pavle – Višja tehniška šola, Maribor
Šolaja prof.ing.Vladimir – IAMA, Beograd
Štefanac ing. Miroslav – Industrija precizne mehanike, Beograd
Taboršak prof.ing.Drago – VTŠ, Zagreb

Telan ing. Josip	- "Janko Gredelj", Zagreb
Uran ing. Henrik	- TAM, Maribor
Urošević ing. Sreten	- IAMA, Beograd
Vezdar ing. Vlado	- "Bratstvo", Zagreb
Velebir ing. Krešimir	- IAS, Zagreb
Venier ing. Viktor	- ITAS, Ivanec
Vicković ing. Robert	- "Prvomajska", Zagreb
Vila ing. Antun	- VTŠ, Zagreb
Vujović ing. Gojko	- "Zmaj", Zemun
Vukadin ing. Miloš	- Mašinski fakultet, Novi Sad
Zagorac ing. Jovan	- "Ivo Lola Ribar", Železnik
Zdenković dr Rudolf	- SBF, Zagreb
Žec ing. Josip	- "Prvomajska", Zagreb
Zgaga ing. Ranko	- SBF, Zagreb
Zorec Janez	- "Tehnostroj", Ljutomer
Zvežina ing. Drago	- "Prvomajska", Zagreb
Žganec ing. Željko	- IAS, Zagreb
Žic Anton	- "Rikard Benčić", Rijeka

SADRŽAJ

		Strana
Otvaranje II savjetovanja		vii
B. Gornik,	Neki problemi istraživačkog rada na području obrade metala	1.1
P. Stanković,	Stepen složenosti obrade	2.1
A.Đurašević,	Utjecaj procesa sklapanja na dozvoljeno odstupanje i razdiobu dosjeda u sklopu	3.1
H. Muren,	Izrada korigiranih stožnih zupčanika	4.1
V. Šolaja,	Neki problemi zupčastih menjača alatnih mašina	5.1
B. Musafia,	Analitički metod određivanja specifičnog deformacionog otpora kao funkcije deformacije..	6.1
B.Bendelja,	Osnovni pogledi na modernizaciju alatnih strojeva	7.1
B. Milčić,	Održavanje i modernizacija alatnih strojeva..	8.1
V. Milačić,	Neki specifični problemi dinamičke stabilnosti alatnih mašina	9.1
T. Pecek,	Ispitivanje statičke krutosti alatnih strojeva	1o.1
M. Kalajdžić,	Uporedna krutost postolja alatnih mašina ...	11.1
B. Gligorić,	Neki problemi utemeljenja alatnih mašina ...	12.1
D. Henich,	O problemima mjerenja i ocjenjivanja alatnih strojeva sa stanovišta proizvedene buke	13.1
S. Marinković,	Ispitivanje toplotnih deformacija alatnih mašina	14.1
M.Nedeljković,	Neki problemi bilansa snage alatnih mašina	15.1
P. Popović,	Prilog rešavanju problema izbora tipa pneumatskog uravnoteživa pritiskivača mehaničkih presa	16.1
K. Velebir,	O problematici hidrokopirnog uređaja	17.1
B.Antunović,	Kontaktni programer sistema IAS	18.1
S.Srećković,	Numeričko programsko upravpljanje po sistemu fazne modulacije na horizontalnoj bušilici...	19.1
A.Hrabrić - J.Zec	Grupna obrada kratkih rotacionih dijelova na bubnjastim revolverskim tokarilicama.....	2o.1
S.Urošević,	Osvrt na neke mogućnosti razvoja alatnih mašina za potrebe maloserijske i pojedinačne proizvodnje	21.1
M.Savić - A.Mora	Koncepcija familije strugarskih mašina i njihova proizvodnja u velikim serijama na principima grupne tehnologije	22.1
V. Milčić,	Izrada podloga za normiranje i korištenje podataka o vremenima trajanja elemenata rada dobivenih od proizvođača strojeva	23.1
Z.Smolčić-Žerdik,	Neki novi plastični materijali i njihova primjena u strojarstvu.....	24.1

		Strana
T. Eberhardt,	Neke interesantne pojedinosti u konstrukciji alata za preradu plastičnih masa	25.1
I. Čatić,	Neka zapažanja o problemima ispitivanja koeficijenta trenja plastičnih masa, s posebnim osvrtom na ispitivanje koeficijenta trenja politetrafluoretilena mjerenjem tangencijalne sile.....	26.1
Z.Kos,	Elektrolitski postupak brušenja i njegova primjena za brušenje tvrdih metala ...	27.1
J.Stanić,	Uticaj sredstava za hlađenje i podmazivanje na proces rezanja metala pri bušenju..	28.1
F.Kovačićek,	Rezni alati na bazi Al_2O_3	29.1
A.Povrzanović,	Prilog metodi fotografske registracije kratkotrajnih procesa	30.1
A.Đurašević,	Neka zapažanja o projektiranju proizvodnog procesa	31.1
V.Bulat,	Optimalno prilagođivanje alatnih mašina čovjeku	32.1
D.Taboršak,	Studij rada u projektiranju tehnološkog procesa u organizaciji proizvodnje	33.1
A.Mora,	Tehnička kontrola u sklopu racionalizacije tehnoloških postupaka	34.1
A.Vila,	Planiranje rokova u mašinogradnji	35.1
Z.Fijan,	Primjena metode "Monte Carlo" u simuliranju procesa proizvodnje	36.1
B.Antunović,	Automatsko kočenje trofaznih elektromotora istosmjernom strujom	37.1
V.Šolaja,	Neki domaći radovi na temu obradljivosti..	38.1
P.Leskovar,	Preskušanje obdelovalnosti domaćih materijalov	39.1
R.Zgaga,	Značenje žilavosti za trajnost alata	40.1
Diskusija po održanim saopćenjima		41.1

OTVARANJE II SAVJETOVANJA

Uvodna riječ predstavnika organizatora II savjetovanja

Pozdravljajući učesnike II savjetovanja o proizvodnom strojarstvu u ime Instituta za alatne strojeve - Zagreb i Instituta za alatne mašine i alate - Beograd, organizatora savjetovanja,inž.Antun Crneka je rekao:

"U ime organizatora savjetovanja - Instituta za alatne strojeve, Zagreb,i Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, kao i u ime pokrovitelja savjetovanja, Saveza mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Jugoslavije, otvaram drugo savjetovanje o proizvodnom strojarstvu.

Pozdravljam predstavnike:

Saveza strojarskih inženjera i tehničara - prof. dr inž.Đuraševića,
Republičke privredne komore - dipl. ecc. Lovrenčića,
Republičkog savjeta za naučni rad - prof. Cara,
Prodekana Visoke tehničke škole - prof.inž.Taboršaka,
Predstavnika Gradske komore - inž.Liščića,
Direktore poduzeća-osnivača Instituta u Zagrebu,
Autore referata i ostale učesnike savjetovanja.

Drago mi je, da ovdje u Zagrebu mogu pozdraviti ovoliki broj stručnjaka, a naročito onih koji su učestvovali i na I savjetovanju u Beogradu. Mislim, da ovaj skup potvrđuje i ostvaruje želju organizatora da ovo savjetovanje dobije općejugoslavenski karakter.

Iako se održava samo šest mjeseci nakon I savjetovanja, bez teškoća smo uspjeli zainteresirati velik broj stručnjaka da učestvuju sa svojim referatima na ovoj stručnoj manifestaciji.

Povod za promjenu vremena održavanja - jesen - proljeće dala je ideja Sajma alatnih strojeva u okviru Zagrebačkog velesajma. Taj sajam ove godine debitira i ocjena organizatora je bila da treba povezati dvije takove manifestacije. Inače smo došli do zaključka da je proljeće pogodniji termin i mislimo ga u buduće zadržati.

Savjetovanje se održava u vrijeme kada privredna reforma počinje djelovati u privredi. Nadamo se da ovakva vrsta savjetovanja direktno doprinosi bržem ostvarenju ciljeva reforme i to ne samo u metalnoj nego i ostaloj industriji.

Organizatorima je cilj, da putem savjetovanja ubrzaju do maksimuma razmjenu naučnih i stručnih dostignuća na liniji istraživačke organizacije - privreda i obratno kao i razmjenu dostignuća među privrednim organizacijama.

Nadamo se da će jedno savjetovanje godišnje sa profilom kojega ćemo svi zajedno kroz rad utvrditi, biti jedan od praktičnih puteva da se ta razmjena izvrši, da se međusobno upoznamo i zbližimo. Savjetovanje je mjesto gdje će radovi naših stručnjaka biti provjeravani. Iz

rasporeda predavanja mogli ste uočiti da uz istaknuta i poznata imena sa ovog područja ima niz novih mladih ljudi koji nas ovim putem upoznavaju sa svojim istraživanjima, gledanjima na probleme i uspjesima. Prerano je za neke statističke preglede, no usporedbom prošlogodišnjeg savjetovanja sa ovim vidimo da se niz imena ponavlja ali znatno je veći broj novih. Mislim da bi to trebalo pozitivno ocijeniti.

Zahvaljujem autorima na suradnji u pripremi savjetovanja, a samo savjetovanje će dati ocjenu koliko su radovi kao i organizacija savjetovanja bili uspješni.

Na ovom savjetovanju se, uz referate iz istraživačkih organizacija, iznose i referati stručnjaka iz tvornica. Taj zahtjev je na prošlom savjetovanju postavljen od strane pokrovitelja savjetovanja SMETIJ-a i organizatori su ga prihvatili. Bilo bi interesantno čuti ocjenu ovog auditorija o tom pitanju.

Također je ovogodišnje savjetovanje prošireno sa referatima sa područja organizacije rada u pogonima strojogradnje.

Vjerojatno je da će buduća savjetovanja nakon dva uvodna sa tretiranjem svih problema morati preći na uža, specijalizirana. Iako je bilo razmjerno lako okupiti autore oko ovog savjetovanja to isto se ne bi moglo reći i za slušače. Nemam točan pregled, no imat ćemo ga do kraja savjetovanja. Očito je da učešće slušača iz industrije opada.

Za organizatore bi bio značajan podatak ako bi se diskutanti osvrnuli i na taj problem i iznijeli razloge radi kojih su se teže odlučivali da dođu na savjetovanje nego prethodne godine. Da li je u pitanju program savjetovanja, mjesto i vrijeme održavanja, trajanje, kotizacija ili možda nedolazak poziva u prave ruke i na vrijeme.

Vjerojatno je da su razlozi dublji.

Između industrije i istraživačkih organizacija postoji niz otvorenih problema. Istraživačkih organizacija ima čitav niz, ali u velikoj većini patuljastih, a usklađenosti njihovih programa rada uglavnom nema. Uz takav rad rijetko su do sada postignuti značajniji rezultati. Odatle dio nepovjerenja koje ima industrija u istraživačke organizacije. S druge strane ima opet privrednih organizacija koje su na takovom nivou da nisu u stanju definirati zadatak koji bi trebalo da riješi neka istraživačka organizacija, pa čak ima i takovih slučajeva da neka organizacija potraži rješenje svog problema u istraživačkoj organizaciji, ali ga iz raznih razloga ne provede u život nego ostane u nečijoj ladici.

Za takovu situaciju nema mnogo krivnje ni na jednoj ni na drugoj strani. To su posljedice naših prilika u cjelini, našeg brzog razvoja i ne sagledavanje na vrijeme onoga što slijedi. Mi smo sigurno sa zakašnjenjem vidjeli da nam treba istraživački rad na strojarstvu, inicirali smo ga, a sada ga puštamo da životari. U tome nema velike razlike u gledanjima u fondovima za naučno istraživački rad i u privredi. Privreda misli da je to stvar zajednice, a fondovi tvrde da je to stvar privrede. Uglavnom, naučno-istraživački rad na našem području ne kreće brzo napred.

Uz rješavanje stručnih problema možda bi učesnici savjetovanja trebali nešto reći i o tome.

Na kraju bih želio da zahvalim ustanovama koje su direktno pomogle organizaciju savjetovanja: Zagrebačkom velesajmu za prostorije za održavanje savjetovanja i Visokoj tehničkoj školi koja također daje prostorije i tehnička sredstva za održavanje savjetovanja.

Financijsku pomoć su nam dali Gradska i Republička privredna komora i Republički fond za naučno istraživački rad, a određena obećanja u tom pravcu smo primili od Savezne republičke komore i Savjeta za koordinaciju naučnih istraživanja.

Sa ovih nekoliko uvodnih riječi iznio sam u ime organizatora neke aktuelne probleme sa našeg područja djelovanja kako bi kroz diskusije na savjetovanju čuli vaše stavove i koristili ih u budućnosti".

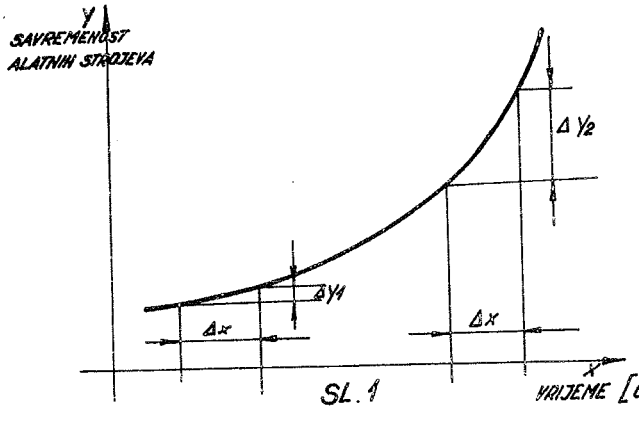
B. Gornik *

NEKI PROBLEMI ISTRAŽIVAČKOG RADA NA PODRUČJU OBRADE METALA**

Razvoj postupaka za obradu metala ide brzim tempom. Alatni strojevi, koji služe kao sredstvo za obradu, razvijaju se paralelno s razvitkom alata i postupaka za obradu. Gotovo svakodnevno pojavljuju se novi tipovi alatnih strojeva, savremeniji od prethodnih. Ti novi strojevi omogućavaju, u jednom odredenom području svoje primjene, povećanje kvalitete, produktivnosti i ekonomičnosti proizvodnje.

Pokušat ćemo definirati pojam savremenosti alatnih strojeva. Kako u tom pogledu ne postoji nikakvo apsolutno mjerilo, moguće je pojam savremenosti definirati samo relativno. U tom smislu smatramo da je savremeniji onaj alatni stroj, koji u svom području primjene:
- daje preciznije proizvode
- ima veću proizvodnost rada
- ekonomičniji je u eksploataciji
- ima veću udobnost rukovanja strojem
- ima veću pouzdanost u radu

Pored toga savremeniji je onaj alatni stroj koji, uz inače jednake ostale karakteristike, ima nižu cijenu. Ako nekim indeksom savremenosti obuhvatimo sve gore navedene faktore, možemo u dijagramu prikazati kako raste nivo savremenosti alatnih strojeva u toku vremena (slika 1).



SL. 1

Kako ova razmatranja imaju sasvim kvalitativni karakter, nije moguće matematski definirati zavisnost veličina (x) i (y). Pokazuje se međutim, da veličina (y) progresivno raste s porastom veličine (x). Ovakav zaključak potvrđuje na pr. i rok u kome se alatni stroj amortizira. Dok je prije nekoliko decenija normalni vijek trajanja alatnog stroja iznosio 20-25 godina, danas je taj vijek skraćen na 5-10 godina, a sve češće se nailazi na pojavu da

*) Gornik Boris, dipl.ing. šef odjela za studij i ispitivanje tehnologije obrade i tehnoloških procesa - Institut za alatne strojeve, Zagreb

**) Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve - Zagreb

se alatni stroj amortizira i za 3 godine. Ovo skraćenje vijeka trajanja nije uzrokovano lošijom kvalitetom izrade alatnih strojeva i njihovim bržim trošenjem, nego njihovom tehničkom zastarjelošću. S obzirom na to da alatni strojevi zastarjevaju u sve kraćim i kraćim vremenskim razdobljima, može se zaključiti da nivo njihove savremenosti sve brže i brže raste. (Ovo razmatranje ne odnosi se niti na jednu konkretnu vrstu alatnih strojeva, nego vrijedi samo za promatranje alatnih strojeva u cjelini).

Nema sumnje da je ovako brzi porast indeksa savremenosti alatnih strojeva uzrokovan sve intenzivnijim naučno-istraživačkim radom na području obrade metala. Proizvođači opreme, koji koriste dostignuća istraživačkog rada, proizvode savremenije alatne strojeve od onih drugih i nalaze se na vrhu. Ostali pokušavaju da kopiraju njihova dostignuća. No takav način osvajanja novih proizvoda (kopiranje tuđih rješenja) daje sve lošije perspektive.

Bez obzira na koji način se osvaja novi proizvod (vlastitim istraživanjima ili kopiranjem dostignuća), za njegovo usvajanje je potrebno izvjesno vrijeme. U tom vremenu treba obaviti slijedeće:

- donijeti odluku što će se proizvoditi
- izraditi konstruktivnu dokumentaciju
- izraditi i ispitati prototip
- izvršiti potrebne izmjene u konstrukciji
- izraditi tehnološku dokumentaciju
- izraditi naprave i alate
- izraditi prvu seriju proizvoda

Zaključujući po domaćim iskustvima, rokovi potrebni za osvajanje novog proizvoda ne skraćuju se. Tačno je da je organizacija tog posla sve bolja, ali su, s druge strane, i proizvodi sve složeniji, pa vrijeme potrebno za osvajanje novog alatnog stroja ostaje uglavnom isto. Ako to vrijeme označimo s (Δx) i unesemo ga u dijagram na slici 1, vidjet ćemo da je prije tridesetak godina porast nivoa savremenosti alatnog stroja (Δy_1) u vremenu (Δx) mnogo manji od porasta nivoa savremenosti (Δy_2) u jednakom vremenskom periodu (Δx) u sadašnje vrijeme.

Period osvajanja novog proizvoda kod alatnih strojeva u domaćim tvornicama iznosi danas cca 3 godine. Vrijeme u kojemu on zastarijeva sve više se približava tom roku. Proizvođač koji kopira tuđa rješenja uskoro će doći u situaciju, da onoga momenta kada osvoji novi proizvod, isti postane već zastario. Iz te situacije postoje dva izlaza:

- skraćivanje vremenskog perioda potrebnog za osvajanje novog proizvoda
- organizacija vlastitih istraživanja s ciljem stvaranja podloge za projektiranje novih alatnih strojeva

Najbolje rješenje je kombinacija jednoga i drugoga, jer daje najveće garancije za uspjeh.
Danas postoji već niz mogućnosti skraćenja vremena potrebnog za osvajanje novog proizvoda. Tipizacija i standardizacija elemenata

konstrukcije i konstruktivnih dijelova, tipizacija i standardizacija cijelih sklopova, gradnja alatnih strojeva po ugradbenom sistemu ("Baukasten sistema"), te stvaranje familija proizvoda, u velikoj mjeri skraćuju rok osvajanja novog proizvoda. Dodamo li tome organizacijske mjere, koje se mogu kroz tipizaciju i grupnu tehnologiju provesti u proizvodnji, te proširenje kooperacije i specijalizacije proizvodnje elemenata, ustanovit ćemo, da se na taj način osjetno ubrzava osvajanje novog proizvoda. Kako se navedenim mjerama znatno snižavaju i troškovi proizvodnje i skraćuje sam proizvodni ciklus, svi renomiraniji proizvođači alatnih strojeva u svijetu sproveli su danas te mjere.

Ako pogledamo, kakva je situacija u tom pogledu kod naših proizvođača, moramo konstatirati da ona danas nije zadovoljavajuća. Osim rijetkih iznimaka ozbiljni radovi u pogledu tipizacije, standardizacije i grupne tehnologije nalaze se u početnoj fazi, a kod nekih proizvođača još nisu ni započeti.

Od istraživačkih radova za razvoj alatnih strojeva interesantna su posebno slijedeća područja:

- istraživanja tehnoloških postupaka obrade (uključivši alata)
- istraživanja u cilju poboljšanja i gradnje novih elemenata i sistema za alatne strojeve
- istraživanja ponašanja alatnog stroja u eksploataciji (uključivši ispitivanja)

Pored toga potrebne su dopunske informacije s područja:

- razvoja organizacije proizvodnje
- razvoja na području materijala
- razvoja istraživačkih metoda

Posebno treba naglasiti da razvoj tehnoloških postupaka obrade ima presudan utjecaj na projektiranje alatnih strojeva, jer alatni stroj nije ništa drugo nego sredstvo pomoću kojega se realizira neki određeni način obrade. Razmotrimo stoga ukratko kakve su tendence daljnjeg razvitka na tom području.

Sve poznate vrste obrade mogli bismo svrstati u slijedeće grupe:

1. Obrada skidanjem strugotine
2. Obrada deformacijom
3. Obrada materijala u žitkom stanju
4. Sinterovanje
5. Obrada električnim i kemijskim putem
6. Specifične obrade (termička, galvanska, spajanje metala i sl.)

Obrada skidanjem strugotine ubraja se u najstarije postupke. Ona još uvijek zauzima najznačajnije mjesto među postupcima za obradu metala. No u posljednje vrijeme, drugi postupci se naglo razvijaju i sve više potiskuju iz upotrebe ovu vrstu obrade. Naročito se brzo šire u upotrebi postupci obrade deformacijom. Podaci o proizvodnji opreme kod tri najznačajnije zemlje po proizvodnji alatnih strojeva to najbolje ilustriraju (uzeta je samo obrada skidanjem strugotine i obrada deformacijom).

U SAD je 1945. godine 81,4% opreme bilo za obradu skidanjem strugotine, a 18,6% za obradu deformacijom, dok je 1958. godine taj odnos bio 76,3% naprama 23,7%.

U SSSR-u je u periodu 1940-1963. godine proizvodnja opreme za obradu skidanjem strugotine porasla 3,14 puta, dok je istovremeno proizvodnja opreme za obradu deformacijom porasla 7,2 puta.

U Zapadnoj Njemačkoj je u periodu 1952-1960. godine proizvodnja opreme za obradu skidanjem strugotina porasla 1,95 puta, a proizvodnja opreme za obradu deformacijom 2,4 puta.

Povećanje tačnosti i kvaliteta obrađenih površina dobivenih obradom deformacijom omogućava daljnji porast primjene ove vrste obrade. Zahvaljujući pored toga sve većoj specijalizaciji proizvodnje i porastu nivoa masovnosti proizvodnje, ovi postupci obrade sve se češće mogu primjeniti i za izradu onih vrsta dijelova, gdje to ranije nije bilo ekonomično.

Može se dakle pomalo smatrati da će u budućnosti dominantna uloga obrade skidanjem strugotine postepeno nestajati. Na širokom području primjene ova vrsta obrade počinje pomalo zastarjevati i njena će se uloga svesti pretežno na osiguranje visokih tačnosti izrađenih dijelova, dakle uglavnom na završne obrade. Od grubljih operacija skidanjem strugotine će se vjerojatno najduže zadržati bušenje i općenito obrada rupa. Tamo gdje će se obrada skidanjem strugotine i dalje upotrebljavati, strojevi će morati biti ili programirani, ili građeni kao specijalni. Klasični univerzalni alatni strojevi ostat će u upotrebi samo iznimno.

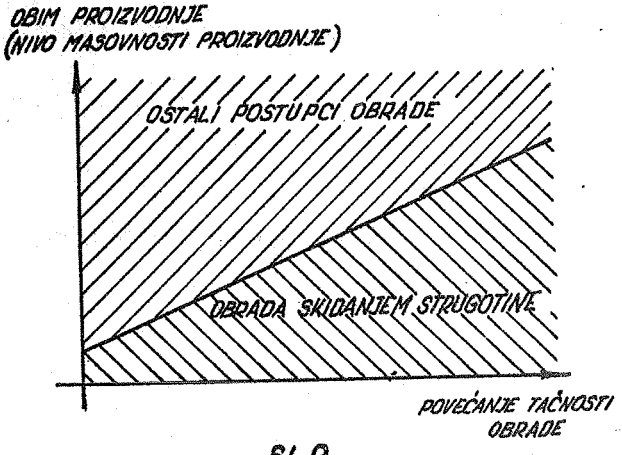
Ne treba očekivati da će se navedene promjene odigrati preko noći. Proći će još dosta vremena dok obrada skidanjem strugotine izgubi svoj primat po širini primjene, ali taj proces je već započeo i on će se u budućnosti sve brže odvijati.

Ostale spomenute grupe postupaka se također sve brže i brže razvijaju, ali zasada se još uvijek zadržavaju na donekle ograničenim područjima primjene, katkada i potpuno specifičnim.

Daljnji razvitak obrade skidanjem strugotine je, između ostalog, usko vezan uz porast zahtjeva na tačnost izrađenih dijelova. Po mišljenjima ruskih stručnjaka u budućnosti će se zahtijevati tačnosti izrađenih dijelova i do reda veličine 1-2 mikrometra. Tačnosti koje se sada smatraju vrhunskima, postat će u budućnosti normalne. Iz tih razloga u SSSR-u se predviđa značajno povećanje proizvodnje preciznih alatnih strojeva. Smatra se, da će se od svih alatnih strojeva 60-65% odnositi na strojeve za završne obrade. U tu svrhu sve će se više primjenjivati obrada pomoću abrazivnih traka, te obrada pomoću dijamanata (u obliku abrazivnog sredstva i u obliku krupnih kristala). Pored obrade skidanjem strugotine za završne operacije u najmanje 5% slučajeva upotrebljavat će se obrada deformacijom, a u 8-10% slučajeva elektrofizički i elektrokemijski postupci obrade. Istovremeno će se učešće konvencionalnih alatnih strojeva (tokarilica, glodalica, blanjalica) u ukupnoj opremi smanjiti cca 2 puta.

Pojava novih materijala, sa svoje strane, također utječe na razvitak postupaka obrade, a time i na razvoj opreme. Sve šira upotreba vrlo tvrdih materijala (visokolegiranih čelika i specijalnih legura) zahtijeva primjenu novih materijala za alate, pa treba očekivati širu upotrebu rezne keramike i dijamanata kao reznog alata. Pored toga za obradu takvih materijala sve će više dolaziti u obzir elektrofizički i elektrokemijski postupci. U zadnje vrijeme u tu se svrhu primjenjuju i neki sasvim novi postupci, kao što su obrada laserom i obrada pomoću plazme. No ovi postupci, iako su se u nekim slučajevima pokazali jako svrsishodni, nalaze se još u eksperimentalnoj fazi, i treba sačekati da se jasnije može ocijeniti perspektiva njihove primjene. Također se u zadnje vrijeme za obradu tvrdih materijala ponovo vrše eksperimenti s toplom obradom (skidanje strugotine uz zagrijavanje izratka) i u pojedinim slučajevima dobiveni su pozitivni rezultati.

Na kraju se može izvesti zaključak, da povećanje nivoa masovnosti proizvodnje postepeno pomiče obradu skidanjem strugotine sve više u pravcu završnih obrada, kako je to šematski prikazano na slici 2. Kako se podiže nivo masovnosti proizvodnje, obrada skidanjem strugotine kod grubljih operacija se sve manje primjenjuje, prepuštajući vodeću ulogu drugim postupcima obrade.



SL.2

(Prikaz na slici 2 pokazuje, u stvari, što u budućnosti treba očekivati. Prikaz je dat sasvim načelno i označava koje će vrste obrade u kojem području imati glavnu ulogu, a ne koje će se isključivo primjenjivati). Pri tome treba imati na umu da se nivo masovnosti (tip) proizvodnje danas više ne ocjenjuje na temelju količina izrađenih istovrsnih proizvoda, nego na temelju metoda koje se u proizvodnji primjenjuju. Zahvaljujući nizu organizacionih mjera (tipizacija, standardizacija, grupna tehnologija) danas je moguće metode velikoserijske i masovne proizvodnje primjeniti i kod srednjih, pa i manjih količina istovrsnih proizvoda.

Vrste i tipovi alatnih strojeva koji se u Jugoslaviji proizvode odnose se gotovo isključivo na konvencionalne postupke obrade. U pogledu njihove savremenosti većina tipova pomalo zastarjeva, ili je već potpuno zastarjela, a ne postoji niti jedan proizvod koji bi, na svom području, predstavljao vrhunsko dostignuće u svijetu.

Najveći dio proizvedene opreme služi za obradu skidanjem strugotine, nešto malo za obradu deformacijom, za ostale postupke obrade se ne proizvodi gotovo ništa (izuzev za specijalne postupke, kao zavarivanje, galvanska obrada, termička obrada i sl.). Dok je u razvijenim zemljama odnos opreme za obradu skidanjem strugotine prema opremi za obradu deformacijom približno 3:1 (75% : 25%), taj odnos za proizvedenu opremu u našoj zemlji iznosi 15: 1 (94% : 6%) (podaci za 1962. i 1963. godinu).

Oprema za obradu skidanjem strugotine koja se u našoj zemlji proizvodi, uglavnom se odnosi na obavljanje grubljih operacija, dakle na ono područje na kojem se počinje već osjećati postepeno nestajanje obrade skidanjem strugotine. Naprotiv za završne operacije kod nas se proizvodi vrlo malo tipova alatnih strojeva.

Kratki zaključak prethodnih razmatranja bio bi slijedeći:

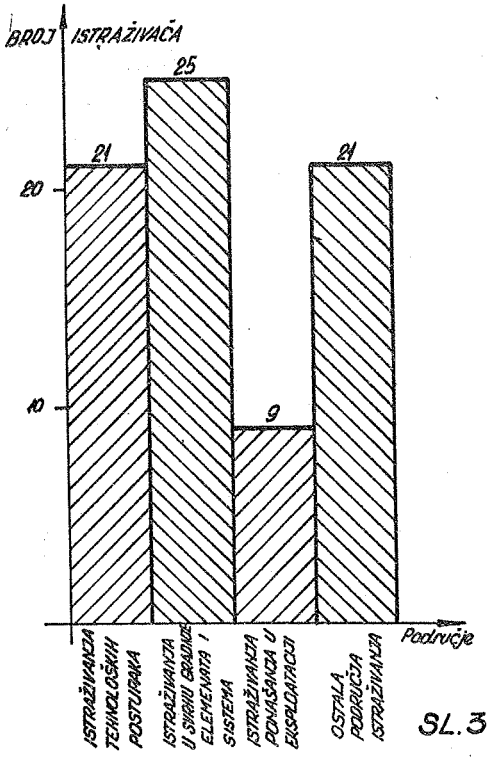
Proizvodnja alatnih strojeva u Jugoslaviji odnosi se uglavnom na konvencionalne postupke obrade, i to upravo na one koji počinju postepeno zastarjevati kao tehnološki postupci. Pored toga tipovi koji se proizvode nisu na svom području najsavremeniji. Za ta područja postoji u svijetu vrlo velik broj različitih proizvođača. Mnogi od njih imaju daleko veću tradiciju i iskustvo i proizvode savremenije tipove alatnih strojeva nego mi. Ako ih pokušamo dostići, trebat će nam za to mnogo vremena, sredstava i istraživačkih radnika. Postoji opasnost da onoga momenta kada ih stignemo (ako to uopće uspijemo), to područje obrade prestane biti interesantno u upotrebi. U tom smo slučaju trošili uzalud vrijeme i novac i izobrazili određeni broj istraživača za područje koje više nije interesantno. Možda je izlaz iz te situacije u tome da odaberemo neko područje obrade metala koje se nalazi tek u razvoju, ili možda sasvim na početku razvoja. Na to me nećemo u istraživanjima startati s velikim zaostatkom iza drugih, razvijenih zemalja, pa imamo izvjesne izglede da ih stignemo.

Interesantno je, nakon prednjih razmatranja, pokušati ustanoviti, gdje se mi danas nalazimo u istraživanjima na području alatnih strojeva i tehnologije obrade metala.

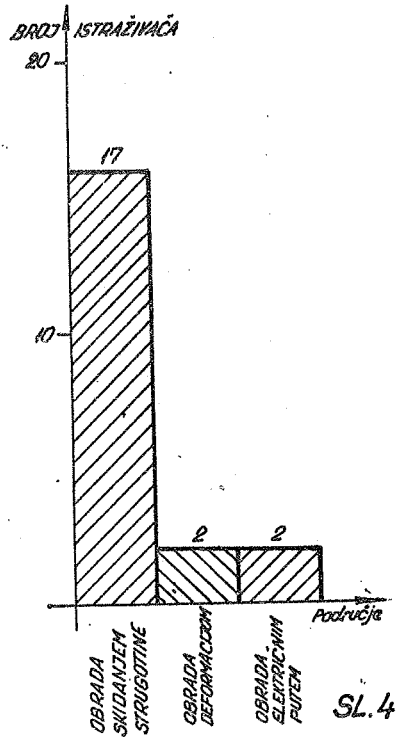
U našim institutima i fakultetskim zavodima koji se bave istraživanjima direktno potrebnim za razvoj alatnih strojeva radi u najboljem slučaju do 100 istraživača (procjena). U usporedbi sa razvijenim zemljama to je malo. Mnoge druge zemlje, koje dosada ni po čemu ne zauzimaju neko značajnije mjesto u proizvodnji alatnih strojeva (na pr. Poljska, Mađarska, Bugarska i t.d.), imaju veći broj istraživača na tom području, koji su uz to koncentrirani pretežno u 2-3 instituta i mogu organizirano djelovati. Usporedba sa značajnijim svjetskim proizvođačima alatnih strojeva (SAD, SSSR, Zapadna Njemačka, Japan) bila bi sigurno mnogo nepovoljnija za nas.

Prema referatima na I i II savjetovanju o proizvodnom strojarstvu pokušat ćemo ocijeniti kojim područjima se naši istraživači bave. Sumirajući broj referata po područjima na oba savjetovanja dobivamo histogram na slici 3.

Ako pogledamo kako su raspoređeni istraživači u području ispitivanja tehnoloških postupaka obrade (sl.3) onda dobivamo histogram na slici 4. Upada u oči činjenica da se naša istraživanja na području tehnologije obrade po vrstama obrade potpuno poklapaju sa stanjem u proizvodnji opreme (sl.4).



SL.3



SL.4

Daleko više se bavimo područjem obrade skidanjem strugotine nego ostalim postupcima obrade (skidanje strugotine: obrada deformacijom: obrada el. putem = 8:1:1). Isto tako, sadržaji referata s područja obrade skidanjem strugotine pokazuju da se ne bavimo onim obradama koje ulaze u završne operacije i za koje se može smatrati da su za budućnost perspektivne, nego da obrađujemo upravo ona druga područja.

Konačni rezime prednjih izlaganja bio bi slijedeći:

Razvoj istraživanja na području obrade metala i razvoj alatnih strojeva ide u svijetu sve bržim tempom. Mi se u Jugoslaviji nalazimo u znatnom zaostatku po količini i savremenosti proizvedenih alatnih strojeva i po broju istraživača koji se tim problemom bave. Pored toga i proizvodnja alatnih strojeva i istraživački radovi odnose se najvećim dijelom na one obrade koje se smatraju konvencionalnim i čija perspektiva daljeg razvitka i upotrebe nije velika. Ako želimo

spriječiti daljnje zaostajanje, moramo hitno potražiti rješenje. Na raspolaganju nam stoji:

- uvođenje mjera za skraćivanje roka osvajanja novog proizvoda
- odabiranje nekog perspektivnog, relativno novog načina obrade metala, gdje bi se koncentrirala istraživanja
- povezivanje s inozemnim partnerima i u istraživanjima i u razvoju proizvoda, oslanjajući se na njihova dostignuća

Vjerojatno bi kombinacija ova tri predložena puta za rješavanje problema dala najbolje rezultate.

L I T E R A T U R A

1. Bezier, Pierre - "High-speed automatic workshops" (časopis "New Scientist" br.389 od 1964. god.)
2. Finkelnburg - "Über neuere Arbeitsverfahren und Maschinen für die Metallbearbeitung" (časopis "Metall" br.4 od 1964. god.)
3. Kokotkin, Nekrasov - "Effektivnost primenenija čistovoj obrabotki valov plastičeskim deformirovaniem" (Radovi Moskovske akademije im. K.A. Timirjazeva)
4. Jampoljskij, Erlih - "Ekonomika osvoenija novyh konstrukcij mašin" (izd. "Mašinostroenije" - Moskva 1964.)
5. *** - "Outlook: Part 2, Technical" ("American Machinist" br. 2 od 1965. god)
6. *** - "East Germany goes 'special'" (American Machinist" br. 8 od 1963. god.)
7. *** - "Where does US stand in R.& D?" ("American Machinist" br. 9 od 1963. god)
8. *** - "What the experts say" ("American Machinist" br.18 od 1963. god.)
9. *** - "Osnovnoe vnimanie - razvitiju precizionogo stankostroenija" ("Stanki i instrument" br.10 od 1964. god.)
10. Umjagin, Haraker - "Nekotorye voprosy razvitija tehnologii tjaželogo mašinostroenija stran - členov SEV" ("Vjesnik mašinostroenija" br.1 od 1964.god.)
11. Majakov - "Perspektivy primenenija almaznyh instrumentov v mašinostroenii" ("Vjesnik mašinostroenija" br.9 od 1964. god.)
12. Prokopovič - "Soveršenstvovanie tehnologičeskogo oborudovanija mašinostroenija - važnoe napravlenie tehničeskogo progressa" ("Vjesnik mašinostroenija" br.10 od 1964. god.)
13. Lobačev - "Nekotorye voprosy razvitija tehnologii mašinostroenija" ("Vjesnik mašinostroenija" br.11 od 1964. god.)

B. Gornik

SOME PROBLEMS OF RESEARCH WORK ON THE FIELD OF METALWORKING

The development of metalworking equipment is closely connected to the development of technological processes. The existing processes are undergoing a constant improvement, new processes are introduced daily, and all this influences the formation of means of production. New materials, changes in organization of production, specialized production etc. influence the development of machine tools. All deciding factors mentioned above are changing constantly at an increasing rate. This makes machine tools grow technically out of date considerably faster.

In order to be able to keep pace with this fast development, the machine tool makers should make use of the research work. Imitating solutions developed by other firms leads a machine tool maker to production of machines which are not contemporary, for as soon as production starts, the product is already out of date. Only those machine tool makers that make serious and wide use of research work will be able to compete successfully on the market in future.

P. Stanković *)

STEPEN SLOŽENOSTI OBRADE **)

1. Uvod

Složenost obrade nekog radnog predmeta treba da predstavlja jedan od faktora, odlučujućih za izbor tipa mašina alatki, kao i za izbor oblika polaznog materijala. Isto tako stepen složenosti obrade ukazuje na ispravnost konstruktivnog rešenja radnog predmeta. U tom cilju potrebno je definisati stepen složenosti obrade, na osnovu koga je moguća klasifikacija delova po složenosti.

Definicija stepena složenosti obrade postavlja se na osnovu upoređenja posmatranog radnog predmeta određene složenosti sa jednim idealno prostim radnim predmetom. Pošto složenost obrade nekog radnog predmeta može zavisiti od mnogih faktora, kao što je broj operacija, odnosno alata, geometrijski oblik gotovog radnog predmeta i polaznog materijala, uslovi tačnosti i dr., to se upoređivanje vrši upoređivanjem proizvodnosti pri obradi složenog radnog predmeta i prostog, pri čemu će tada svi ovi uticaji biti kompleksno obuhvaćeni, a sama se definicija uprošćuje.

2. Opšta definicija

Na osnovu iznetih pretpostavki može se stepen složenosti obrade definisati odnosom površinske proizvodnosti, izražene brojem komada u jedinici vremena, za idealno prost radni predmet /obeležena sa A/ i za radni predmet date složenosti /obeležen sa B/.

Idealna proizvodnost prostog radnog predmeta može se izraziti sa $Q_{iA} = \frac{1}{t_{gA}}$, gde je t_{gA} glavno vreme. Ovako izražena proizvodnost uzima u obzir samo glavno vreme kao jedini vremenski utrošak.

Teorijska proizvodnost posmatranog složenog radnog predmeta, tj. proizvodnost koja uzima u obzir samo glavno i pomoćno vreme, bez ikakvih drugih vremenskih gubitaka, izražava se u vidu $Q_{TB} = \frac{1}{t_{gB} + t_{pB}}$, gde je t_{gB} glavno vreme a t_{pB} pomoćno vreme za složeni radni predmet.

Ovakvo upoređenje proizvodnosti složenog radnog predmeta sa nekim idealnim radnim predmetom, za čiju obradu se troši zanemarljivo malo pomoćno vreme, vrši se za radne predmete istih spoljnih mera, što omogućava i izvođenje zaključaka o celishodnosti izbora oblika polaznog materijala.

---

*) Dr Ing. Pavle P. Stanković, redovni profesor Mašinskog fakulteta, Beograd, ul. 27 marta br. 80, saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd.

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

Na osnovu prethodnog dobija se stepen složenosti obrade u vidu

$$C_s = \frac{Q_{iA}}{Q_{TB}} = \frac{t_{qB} + t_{pB}}{t_{qA}}$$

Odnos glavnih vremena obrade složenog i prostog radnog predmeta može se približno izjednačiti sa recipročnim odnosom njihovih zapremina posle obrade.

Zapremina složenog radnog predmeta je $V_B = \frac{G_o}{\gamma}$ gde je G_o težina gotovog složenog radnog predmeta a γ specifična težina.

Zapremina prostog gotovog radnog predmeta razlikuje se od zapremine polaznog materijala samo za malu vrednost, koja odgovara dodatku za obradu; zbog toga se može približno pretpostaviti da je zapremina radnog predmeta jednaka zapremini polaznog materijala tj. $V_A \approx \frac{G}{\gamma}$ gde je G težina polaznog materijala.

Odnos glavnih vremena obrade složenog i prostog radnog predmeta je tada

$$\frac{t_{qB}}{t_{qA}} \approx \frac{V_A}{V_B} = \frac{G}{G_o}$$

Zamenom t_{qA} iz ovog odnosa u izrazu za složenosti C_s dobiće se

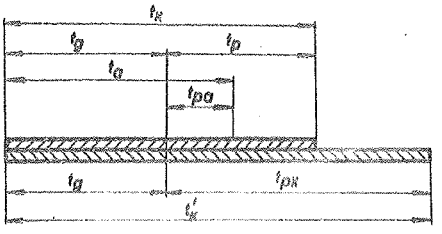
$$C_s = \frac{1 + \frac{t_{pB}}{t_{qB}}}{\frac{G_o}{G}} \qquad \ldots\ldots\ldots/1/$$

3. Uticaj stepena automatizacije

Izraz /1/ daje stepen složenosti obrade u zavisnosti od odnosa pomoćnog prema glavnom vremenu posmatranog složenog predmeta, kao i od odnosa težina gotovog radnog predmeta i polaznog materijala /stepena iskorišćenja materijala/. Pomoćno i glavno vreme, izmereno na mašini određenog stepena automatizacije, inače druge vrednosti, ako se isti radni predmet obrađuje na nekoj drugoj mašini većeg ili manjeg stepena automatizacije od prethodne. Ovo znači, da bi i stepen složenosti bio različit u zavisnosti od posmatrane mašine. Da bi se, međutim, dobila neka apsolutna veličina stepena složenosti, nezavisno od stepena automatizacije, mora se izraz /1/ svesti na mašinu bez ikakve automatizacije. Odnos t_{pB}/t_{qB}, nađen merenjem na mašini, ili izračunat za uslove obrade na mašini određene automatizacije, treba tada pomnožiti sa nekim faktorom srazmernosti K_a, koji uzima u obzir povećanje radnog vremena pri prelazu sa automatske mašine na neautomatsku. Tada izraz /1/ prelazi u oblik

$$C_s = \frac{1 + K_a \frac{t_{pB}}{t_{qB}}}{\frac{G_o}{G}} \qquad \ldots\ldots/1a/$$

Ako se sa t'_k obeleži komadno vreme pri radu na neautomatskoj mašini, pri čemu se komadnim vremenom obuhvataju samo glavno i pomoćno vreme bez drugih vremenskih gubitaka, sa t_{kx} komadno vreme pri radu na mašini izvesnog stepena automatizacije, dobiće se vremenska struktura prikazana na sl.1. Pri ovome se pretpostavlja da se prelazom sa neautomatske mašine na automatsku menja samo pomoćno vreme, dok glavno ostaje nepromenjeno. Faktor K_a može se tada prikazati kao odnos pomoćnog vremena neautomatske mašine t_{px} prema pomoćnom vremenu



Sl. 1

automatske mašine t_p, tj. $K_a = \frac{t_{px}}{t_p}$

Kao stepen automatizacije η_a usvaja se odnos automatskog vremena $t_a = t_g + t_{pa}$ rada mašine prema ukupnom vremenu jednog ciklusa $t_K = t_g + t_p$ /komadnom vremenu/ [1] tj.

$$\eta_a = \frac{t_a}{t_K} = \frac{t_g + t_{pa}}{t_g + t_p}$$

gde je t_g glavno vreme a t_{pa} onaj vremenski deo ukupnog pomoćnog vremena t_p automatske mašine koji odgovara automatskom radu.

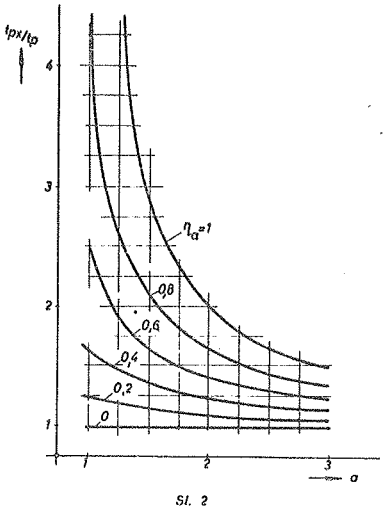
S druge strane se faktor K_a može izraziti u zavisnosti od η_a, npr. u vidu

$$K_a = \frac{a}{a - \eta_a} = \frac{t_{px}}{t_p} \qquad \ldots\ldots\ldots\ldots /2/$$

gde je konstanta a za sada još nepoznata.

Za potpuno automatsku mašinu je $\eta_a = 1$, dok za mašinu bez ikakve automatizacije $\eta_a = 0$ i tada je $K = 1$ ili $t_{px} = t_p$; ovo znači da se tada vreme rada svodi na vreme rada neautomatske mašine. Gornjom definicijom stepena automatizacije obuhvaćena je automatizacija i glavnog i pomoćnog vremena. Pošto se ovde, međutim, posmatraju samo mašine alatke sa motornim pogonom glavnog kretanja, to stepen automatizacije neće nikad moći biti jednak nuli; ovaj uticaj biće nešto kasnije uzet u obzir.

Grafički prikaz izraza /2/ za različite vrednosti a i η_a dat je na sl.2. Ovaj izraz predstavlja odnos pomoćnih vremena neautomatske mašine prema automatskoj i zavisan je od konstante a. Da bi se sagledale realne granice faktora a uzima se granični slučaj $\eta_a = 1$ na osnovu koga se vidi da je $a > 1{,}25$, da ne bi odnos t_{px}/t_p bio nerealno velik. Za vrednosti $a > 3$ vidi se da je uticaj na odnos t_{px}/t_p sve manji i da se on asimptotski približava jedinici. Može se, prema tome, pretpostaviti da će realno vrednosti za a ležati između 1,25 i 3.



Sl. 2

Da bi se bliže odredila vrednost konstante a u okviru uočenih granica, treba definisati graničnu oblast stepena složenosti. Ako se usvoji da se stepen složenosti kreće između 1 i 20 i ako se kao najnepovoljniji odnos za $\frac{t_{pa}}{t_{gB}}$ usvoji

vrednost 5, a kao najnepovoljnija vrednost odnosa G_o/G usvoji 0,5, može se na osnovu jedn. /1a/ i /2/ naći a za granični slučaj $C_s = 20$ i $\eta_a = 0$. Tada se dobija da je a = 2,2. Usvajanjem, međutim, $a^s = 2$, dobila bi se korigovana vrednost maksimalnog odnosa $\frac{t_{pB}}{t_{gB}} = 4,5$. Usvajanje vrednost a = 2 /prema sl.2/ znači da odnos pomoćnih vremena za neautomatsku mašinu i za potpuno automatsku / $\eta_a = 1$/ iznosi 2.

Na osnovu strukture komadnog vremena za neautomatsku i automatsku mašinu prema sl.1 dobija se odnos tih vremena:

$$\frac{t'_k}{t_k} = \frac{t_g + t_{px}}{t_g + t_p} = \frac{\frac{t_g}{t_p} + K_a}{\frac{t_g}{t_p} + 1}$$

ili s obzirom na jedn./2/

$$\frac{t'_k}{t_k} = \frac{1 + \frac{a \cdot a_1}{a - \eta_a}}{1 + a_1}$$

gde je $a_1 = \frac{t_p}{t_g}$ ...../3/

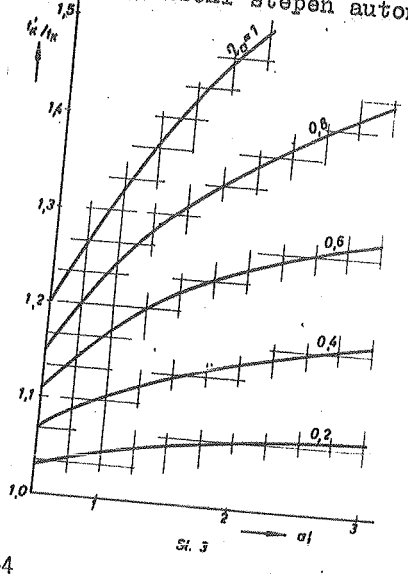
U izrazu /3/ odnos a_1 se odnosi na automatsku mašinu. Odgovarajući odnos za neautomatsku mašinu je $a'_1 = a_1 \cdot K_a$.

Eliminisanjem odnosa a_1 iz jedn. /3/ dobija se

$$\frac{t'_k}{t_k} = \frac{1 + a'_1}{1 + \frac{a'_1 (a - \eta_a)}{a}}$$ ili za a = 2,

$$\frac{t'_k}{t_k} = \frac{1 + a'_1}{1 + \frac{a'_1 (2 - \eta_a)}{2}}$$ ...../3a/

Na sl.3 dat je grafički prikaz zavisnosti odnosa t'_k/t_k od a'_1. Vidi se da je visoki stepen automatizacije u velikoj meri uticajan na smanjenje komadnog vremena t_k, naročito u oblasti velikih vrednosti a'_1, tj. velikog pomoćnog vremena prema glavnom neautomatske mašine. Mali stepen automatizacije, međutim, ostvaruje samo mali porast odnosa t'_k/t_k pri povećanju a'_1.

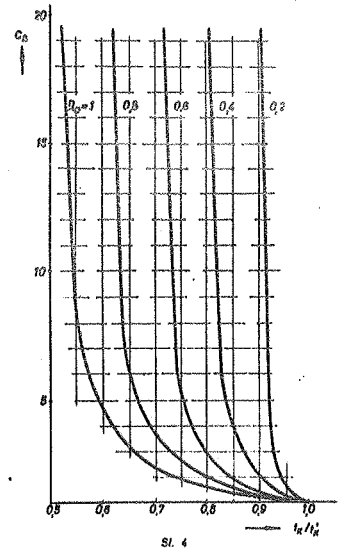


Sl. 3

Pošto u jedn. /1a/ član $K_a \frac{t_{pB}}{t_{gB}}$ ustvari predstavlja a'_1, to se iz jedn. /3a/ može eliminisati a'_1 posredstvom jedn. /1a/. Tada se dobija za a = 2.

$$\frac{t'_k}{t_k} = \frac{C_s}{G/G_o + C_s \frac{2 - \eta_a}{2}}$$ .../4/

Grafički prikaz zavisnosti t_k/t'_k od C_s dat je na sl.4. Ovde je, radi boljeg sagledavanja toga uticaja, izostavljen odnos G/G_o a koji je izjednačen sa jedinicom.



Sl. 4

Vidi se, da se za radni predmet određenog stepena složenosti obrade C_s, pri povećanju stepena automatizacije smanjuje odnos t_k/t'_k odnosno smanjuje komadno vreme.

Isto tako vidi se da se pri određenom stepenu automatizacije mašine, pri povećanju stepena složenosti, smanjuje odnos t_k/t'_k što znači, da je uticaj automatizacije efikasniji ukoliko je radni predmet složeniji za obradu. Ovaj uticaj je, međutim, znatniji samo u oblasti manjih stepena složenosti, dok kod većih ovaj uticaj postaje sve manji. Iz ovoga se može izvući zaključak da radne predmete manjih stepena složenosti treba obrađivati na mašinama veće automatizacije, ukoliko i ostali uslovi za povećanu automatizaciju budu ispunjeni /kritičan broj komada u vezi sa troškovima proizvodnje i dr./. Za radne predmete velikog stepena složenosti umesto povećanja stepena automatizacije treba pribeći smanjenju složenosti konstruktivnog oblika ili preći na obradu na specijalnim mašinama sa mogućnošću delimičnog ili potpunog preklapanja pomoćnog i glavnog vremena.

5. Klasifikacija stepena složenosti

Prema ranije usvojenom, predviđaju se kao granice stepena složenosti vrednosti od 1 do 20. Gornja granica od 20 proizlazi iz jedn./1a/ za postavljene granične uslove i to: za najnepovoljniju vrednost odnosa pomoćnog prema glavnom vremenu $\frac{t_{p\beta}}{t_{g\beta}} = 4{,}5$, za $\alpha = 2$ i $\eta_a = 1$. Za ovako određenu oblast stepena složenosti i za najpovoljniji odnos $\frac{G_o}{G} = 0{,}5$, predviđa se klasifikacija na četiri klase i to

I	klasa	1 – 5	mala složenost,
II	"	5 – 10	povećana složenost,
III	"	10 – 15	srednja složenost,
IV	"	15 – 20	znatna složenost,
		iznad 20	izuzetno velika složenost

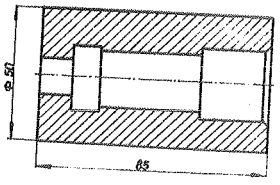
Prema [1] stepen automatizacije kreće se između 0 i 1. Za potpuno neautomatsku mašinu, bez ikakve mehanizacije je $\eta_a = 0$ /glavno i pomoćno kretanje je ručno/. Za mašine sa mehanizovanim glavnim kretanjem je $\eta_a = 0{,}2$. Kod mašina sa mehanizacijom pomoćnog kretanja je $\eta_a = 0{,}3$. Za poluautomatske mašine kreće se η_a između 0,4 i 0,6, za automatske između 0,7 i 1,0. Pošto se razmatranja stepena složenosti obrade

ograničavaju samo na mašine sa mehanizovanim glavnim kretanjem, to je $\eta_a \geq 0,2$ pa stoga i stepen složenosti obrade treba da bude sveden na takvu neautomatsku mašinu koja nema automatizovano pomoćno kretanje, dok je glavno kretanje mehanizovano. Ovo znači da faktor K_a treba da bude jednak jedinici za $\eta_{a\,min} = 0,2$. Izraz /2/ sa ovom korekcijom dobija tada oblik za $a=2$ $K_a = \frac{1,8}{2-\eta_a}$ a definitivan izraz za stepen složenosti obrade dobija oblik

$$C_s = \frac{1 + \frac{1,8}{2-\eta_a} \frac{t_{pe}}{t_{ge}}}{G_o/G} \qquad \ldots\ldots\ldots/5/$$

5. Primer

Za radni predmet prema sl.5, izrađen od valjanog materijala na revolverskom strugu, odrediti stepen složenosti obrade. Za stepen automatizacije usvaja se vrednost $\eta_a = 0,4$. Odnos pomoćnog prema glavnom vremenu iznosi $\frac{t_{pe}}{t_{ge}} = 1,17$ a odnos težina gotovog radnog predmeta prema polaznom materijalu iznosi $\frac{G_o}{G} = 0,27$. Tada se prema obrascu /5/ dobija stepen složenosti $C_s = 8,5$. Prema predloženoj klasifikaciji, ovaj radni predmet bi bio povećane složenosti obrade.



Sl. 5

6. Zaključak

Postavljeni stepen složenosti obrade definisan je odnosom površinske proizvodnosti za idealno prost radni predmet i radni predmet određene složenosti. Takav stepen složenosti obuhvata i stepen automatizacije, da bi se njegova vrednost svela na neautomatsku mašinu, što omogućava jednoobrazno upoređivanje. Na osnovu stepena složenosti moguće je oceniti kakvo se smanjenje komadnog vremena može postići pri određenom stepenu automatizacije, odnosno pri korišćenju mašine određenog tipa. Isto tako može se videti uticaj izbora geometrijskog oblika polaznog materijala kao i uticaj konstruktivnog oblika radnog predmeta. Postavljanjem odgovarajuće granične oblasti za vrednosti stepena složenosti i podelom na klase, moguće je i klasifikovati radne predmete po stepenima složenosti obrade u cilju njihove grupne obrade.

L I T E R A T U R A

1 Spravočnik mašinostrojitelja - 5/II Moskva 1964. str.705.

P. Stanković

Kompliziertheitsgrad der Werkstücke bei Spanabhebender Fertigung

Es wird der Kompliziertheitsgrad bei spanabhebender Fertigung als ein komplexes Merkmal für das Werkstük hinsichtliche seiner Bearbeitung aufgestellt. Hierbei wird ein Vergleich zwischen einem komplizierten und einem, hinsichtlich der Bearbeitung, ideal einfachen Werkstück gemacht, weshalb als Kompliziertheitsgrad das Verhältnis der Stückleistungen für das ideal einfache und das komplizierte Werkstück angesehen werden kann /Gleichung 1/. Bei weiterer Ableitung wurde auch der Automatisierunsgrad berücksichtigt, womit ein einheitlicher Vergleich, bezogen auf eine nichtautomatisierte und nichtmechanisierte Fertigung, ermöglicht wurde /Gl. 1a/. Aus weiterem Vergleich der Stückzeiten für nichtautomatisierte und automatisierte Fertigung, unter Berücksichtigung des Automatisierungsgrades /Gl. 3a/ ist der Einfluss eines grossen Automatisierungsgrades auf die Verringerung der Stückzeit, besonders im Gebiete grosser Verhältnisse von Hilfs-und Hauptzeit ersichtlich. Der endgültige Ausdruck für den Kompliziertheitsgrad ist durch Gleichung 5 dargestellt, wobei ein Gebiet dieses Grades von 1 bis 20 mit einer Unterteilung in vier Klassen vorgeschlagen wird.

Auf Grund der Aufstellung des Kompliziertheitsgrades ist es demnach möglich, einen Schluss über die gerechtfertigte Anwendung einer Mechanisierung und Automatisierung, sowei über die fertigungsgerechte Gestaltung der Werkstücke und Rohlinge zu ziehen, wobei sich durch derartige Klassifizierung der Werkstücke weitere Möglichkeiten für die Werkstück-Familienferigung bieten.

A. Đurašević *

UTJECAJ PROCESA SKLAPANJA NA DOZVOLJENA ODSTUPANJA I RAZDIOBU DOSJEDA U SKLOPU **

1. Pregled stanja

Pradavna je želja konstruktora da se proizvedu strojni dijelovi savršenoga geometrijskog oblika i jednakih istoimenih dimenzija kod svih dijelova jedne serije. Kad bi to bilo ostvarivo, moglo bi se od takvih strojnih dijelova sastaviti savršene sklopove; oni bi svi imali jednaku završnu dimenziju u lancu dimenzija, zračnost ili stezanje, odnosno dosjed sklopa.

Dosjed sklopa je jedan od vrlo utjecajnih faktora za ispravno funkcioniranje i za vijek upotrebe sklopa. Njegove varijacije između sklopova iz jedne serije ukazuju na utjecaj slučaja i nekontroliranih faktora u procesu proizvodnje. Što su te varijacije dosjeda manje, sklopovi su jednoličniji i funkcioniraju pod sličnijim uvjetima. Za sklopove s manjim varijacijama dosjeda smatramo da su kvalitetniji i savršeniji, baš zbog njihove povećane jednoličnosti.

Pošto još ne možemo proizvesti savršene strojne dijelove, da bismo pomoću njih sastavili savršene sklopove, pribjegavamo različitim mjerama da bi se barem približili tom savršenstvu. Nastojanja za savršenim sklopovima ostvarujemo primjenom:

a) metoda proračuna dozvoljenih odstupanja;
b) dorade i prilagođivanja dimenzija strojnih dijelova u jednom sklopu;
c) metoda sklapanja sastavnih dijelova u sklopove.

a) P r o r a č u n dozvoljenih odstupanja je potreban u dva posebna slučaja:

- kad se iz propisa o dosjedu sklopa određuju dozvoljena odstupanja za dimenzije sastavnih dijelova:
- kad se iz poznatih dimenzija i odstupanja za sastavne dijelove određuju dozvoljena odstupanja za dosjed sklopa.

Uvriježene metode proračuna za oba karakteristična slučaja polaze s dva različita stajališta, o kojima zavisi konačan rezultat proračuna. To su:

1. apsolutna zamjenljivost dijelova i princip krajnjih odstupanja, kao osnova proračuna po formuli:

---

*) Dr Aleksandar Đurašević, dipl.ing., izvanredni profesor - Visoka tehnička škola, Zagreb

**) Saopćenje iz Visoke tehničke škole, Zagreb

$$D = \sum_{i=1}^{n} D_i \qquad \text{...../1.1/}$$

2. vjerojatna zamjenljivost dijelova, princip vjerojatnih odstupanja i vjerojatnosti neke dimenzije, kao osnova proračuna po formuli:

$$D^2 = \sum_{i=1}^{n} \left(K_i \cdot D_i \right)^2 \qquad \text{...../1.2/}$$

gdje je: D - dozvoljeno odstupanje dosjeda ili završne dimenzije u lancu dimenzija;

D_i - dozvoljeno odstupanje i - tog sastavnog dijela ili i - te dimenzije u lancu dimenzija;

K_i - koeficijent koji obuhvaća odstupanja stvarne razdiobe dimenzija od teoretske normalne razdiobe.

Obje metode proračuna počivaju na pretpostavci da je sklapanje slučajno, tj. da radnik ne poznaje dimenzije sastavnih dijelova prilikom sklapanja; on ih sklapa nasumce, pa niti ne zna kakav dosjed je ostvaren kod svakog sastavljenog sklopa.

Težnja k jednoličnijim sklopovima, s manjim varijacijama dosjeda, nužno nas dovodi do manjih dozvoljenih odstupanja na dimenzijama sastavnih dijelova. Posljedice su poznate: manja dozvoljena odstupanja prouzrokuju veće troškove izrade, uz ostale nepromijenjene uvjete.

b) D o r a d a i prilagodivanje sastavnih dijelova rjeđe se primjenjuju, uglavnom u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji. Ona poskupljuje proizvodnju, ali daje uža odstupanja za dosjed u sklopu. O pažnji radnika i procesu rada zavisi konačan uspjeh. I ovdje se očituje da manje dozvoljeno odstupanje dosjeda u sklopu traži više radnog vremena i prouzrokuje veće troškove. Zamjenljivost dijelova se smanjuje ili potpuno ukida.

c) M e t o d e s k l a p a n j a sastavnih dijelova u sklop spadaju u slijedeće kategorije:

1. sklapanje uz garantiranu zamjenljivost dijelova, ako je kod proračuna dozvoljenih odstupanja prihvaćen princip apsolutne zamjenljivosti i po njemu su propisana dozvoljena odstupanja za sastavne dijelove;
2. sklapanje uz vjerojatnu zamjenljivost, ako je proračun dozvoljenih odstupanja izveden pomoću vjerojatnosti i pretpostavljenih razdioba dimenzija;
3. sklapanje sortiranih sastavnih dijelova po dimenzijama u uže razrade nego što je područje njihovog dozvoljenog odstupanja; zamjenljivost dijelova je djelomična, tj. samo unutar jednog razreda dimenzija; primjenjuje se tek kod dovoljno velikih serija.

Na sve prikazane metode proračuna dozvoljenih odstupanja i sklapanja strojnih dijelova u sklopove, mogu se staviti ovi osnovni prigovori:

1. sve metode proračuna dozvoljenih odstupanja pokazuju da se dozvoljeno odstupanje dosjeda u sklopu dobiva zbrajanjem, tj. da je uvijek veće nego što su dozvoljena odstupanja za sastavne dijelove; zato se težnja za savršenijim sklopovima može ostvariti jedino pomoću manjih dozvoljenih odstupanja na sastavnim dijelovima;
2. sve metode proračuna i sklapanja polaze od pretpostavke da se proces sklapanja odvija slučajno, jer se nasumce uzimaju dijelovi iz jedne grupe ili razreda;
3. praksa pokazuje da se ne ostvaruju dosjedi u sklopu, koji se dovoljno poklapaju s predviđanjima na temelju proračuna; greške su tim veće što je manje dijelova i sklopova proizvedeno u jednoj seriji.

U nastavku ćemo pokazati da postoje i drugačiji putevi za rješenje ovog problema. Moguće je ostvariti savršenije sklopove i postići manje varijacije dosjeda u sklopu bez sužavanja dozvoljenih odstupanja za sastavne dijelove i bez povećanih troškova za njihovu izradu.

2. Dosjed sklopa i dimenzije sastavnih dijelova

Radi lakšeg i preglednijeg izlaganja promotrit ćemo samo dvodjelni sklop, uz napomenu da se zaključci mogu proširiti na sklopove od bilo koliko sastavnih dijelova.

Polazimo od jedine pretpostavke i ograničenja: da je promatrana dimenzija bilo kojeg sastavnog dijela slučajna varijabla, tj. da se dimenzije istovrsnih dijelova iz jedne serije međusobno slučajno razlikuju.

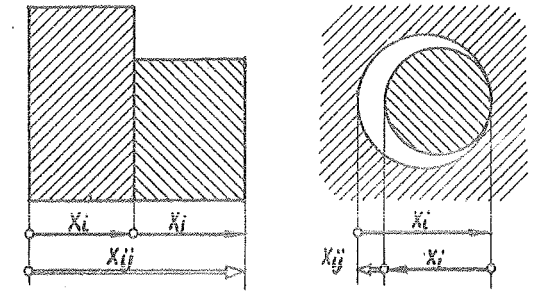
Neka prvi sastavni dio dvodjelnog sklopa ima slučajnu varijablu X_i; ona predstavlja jednu dimenziju u lancu dimenzija, kojim je određen dosjed u sklopu. Zakon razdiobe slučajne varijable X_i oko njezine aritmetičke sredine $\bar{X}_i$ neka je potpuno proizvoljan. Mjerenjem dimenzija X_i izrađenih dijelova možemo utvrditi njihovu razdiobu frekvencija F_i oko aritmetičke sredine $\bar{X}_i$, te izračunati pripadajuću standardnu devijaciju S_i.

Analogno, neka drugi sastavni dio ima dimenziju X_j, aritmetičku sredinu $\bar{X}_j$ za jednu seriju, razdiobu frekvencija F_j i standardnu devijaciju S_j.

Zanima nas, kakav dosjed u sklopu X_{ij} ostvarujemo sklapanjem zadanih dijelova, te o čemu on zavisi. Da odgovorimo na postavljena pitanja, treba da zamišljeni sklop prikažemo pomoću lanca dimenzija (sl.1). U obzir dolaze dvije osnovne sheme:

a) $$X_{ij} = X_i + X_j \qquad \text{...../2.1/}$$

b) $$X_{ij} = X_i - X_j \qquad \text{...../2.2/}$$



a) $X_{ij} = X_i + X_j$ b) $X_{ij} = X_i - X_j$

slika 1

Lancem dimenzija je određeno, kako će se formirati veličina dosjeda X_{ij} od dimenzija sastavnih dijelova X_i i X_j. Za nas je važna spoznaja da će i veličina X_{ij} biti opet slučajna varijabla, koja će se rasipavati oko svoje aritmetičke sredine $\bar{X}_{ij}$, s razdiobom frekvencija F_{ij} i sa standardnom devijacijom S_{ij}.

Aritmetička sredina dosjeda $\bar{X}_{ij}$ određena je jednoznačno i potpuno: lancem dimenzija za dotični sklop i aritmetičkim sredinama sastavnih dijelova. To se dokazuje slijedećim izvodom.

Odaberimo lanac dimenzija po shemi a) na sl.1. Onda je općenito i za svaki sklop: $X_{ij} = X_i + X_j$. Sklapajući sastavne dijelove dobili bismo redom:

prvi sklop: $\left(X_{ij}\right)_1 = \left(X_i\right)_1 + \left(X_j\right)_1$

drugi sklop: $\left(X_{ij}\right)_2 = \left(X_i\right)_2 + \left(X_j\right)_2$

n-ti sklop: $\left(X_{ij}\right)_n = \left(X_i\right)_n + \left(X_j\right)_n$

Odavde dobivamo za cijelu seriju od n sklopova:

$$\sum_1^n X_{ij} = \sum_1^n X_i + \sum_1^n X_j \qquad /:n$$

$$\bar{X}_{ij} = \bar{X}_i + \bar{X}_j \qquad \ldots./2.3/$$

Analogno bismo pokazali da je kod lanca dimenzija po shemi b) na sl.2.1:

$$\bar{X}_{ij} = \bar{X}_i - \bar{X}_j \qquad \ldots./2.4/$$

Da bismo potpuno odredili karakteristike dosjeda X_{ij} treba upoznati i odnose između ostalih veličina. Standardna devijacija S_{ij} ne zavisi o shemi lanca dimenzija na sl.2.1. To ćemo dokazati slijedećim izvodom.

Po definiciji standarndne devijacije, varijance se računaju po slijedećim formulama:

$$S_i^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum \left(X_i - \bar{X}_i\right)^2$$

$$S_j^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum \left(X_j - \bar{X}_j\right)^2$$

$$S_{ij}^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum \left(X_{ij} - \bar{X}_{ij}\right)^2$$

Uvrstimo u posljednji izraz:

$$X_{ij} = X_i + X_j \qquad \bar{X}_{ij} = \bar{X}_i + \bar{X}_j$$

pa dobivamo:

$$S_{ij}^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum \left[\left(X_i + X_j\right) - \left(\bar{X}_i + \bar{X}_j\right)\right]^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum \left[\left(X_i - \bar{X}_i\right) + \left(X_j - \bar{X}_j\right)\right]^2$$

$$S_{ij}^2 = \frac{1}{n} \cdot \sum \left(X_i - \bar{X}_i\right)^2 + \frac{1}{n} \cdot \sum \left(X_j - \bar{X}_j\right)^2 + \frac{2}{n} \cdot \sum \left(X_i - \bar{X}_i\right) \cdot \left(X_j - \bar{X}_j\right)$$

Pošto prva dva člana predstavljaju varijance S_i^2 i S_j^2, dobivamo:

$$S_{ij}^2 = S_i^2 + S_j^2 + \frac{2}{n} \cdot \sum \left(X_i - \bar{X}_i\right) \cdot \left(X_j - \bar{X}_j\right) \qquad \ldots\ldots/2.5/$$

Posljednji član u izrazu /2.5/ može se ovako preurediti:

$$\frac{S_i \cdot S_j}{S_i \cdot S_j} \cdot \frac{2}{n} \cdot \sum X_i - \bar{X}_i \cdot X_j - \bar{X}_j = 2 \cdot S_i \cdot S_j \cdot \frac{\sum \left(X_i - \bar{X}_i\right) \cdot \left(X_j - \bar{X}_j\right)}{n \cdot S_i \cdot S_j}$$

Pošto je odnos: $\dfrac{\sum \left(X_i - \bar{X}_i\right) \cdot \left(X_j - \bar{X}_j\right)}{n \cdot S_i \cdot S_j} = r_{ij}$ $\qquad \ldots\ldots/2.6/$

poznat kao pojam za koeficijent linearne korelacije r_{ij} između slučajnih varijabli X_i i X_j, možemo napisati u konačnom obliku odnose između promatranih varijanci:

$$S_{ij}^2 = S_i^2 + S_j^2 + 2 \cdot r_{ij} \cdot S_i \cdot S_j \qquad \ldots\ldots/2.7/$$

Isti konačni izraz /2.7/ dobili bismo za lanac dimenzija po shemi a) i b) na sl.2.1, što znači da shema sklopa i lanca dimenzija ne utječe na veličinu standardne devijacije S_{ij}, koja ukazuje na rasipavanje dosjeda X_{ij} oko njegove aritmetičke sredine $\bar{X}_{ij}$. Standardna devijacija S_{ij} jednoznačno je određena standardnim devijacijama sastavnih dijelova i koeficijentom linearne korelacije između promatranih slučajnih varijabli za sastavne dijelove. Ova je spoznaja od posebne važnosti, jer nas upozorava na jedan novi faktor, kojemu nije bilo posvećeno dovoljno pažnje. Time se ujedno otvaraju

novi putevi u strojarstvu.

Koeficijent korelacije r_{ij} može poprimiti vrijednosti u granicama:

$$-1 \leq r_{ij} \leq +1 \qquad \ldots\ldots/2.8/$$

Zato konstatiramo da se od zadanih sastavnih dijelova može sastaviti serija od n sklopova tako, da dosjed sklopa ima najveću standardnu devijaciju:

$$S_{ij\ max} = S_i + S_j \qquad \ldots\ldots\ldots/2.9/$$

ako je $r_{ij} = +1$.

Najmanju standardnu devijaciju dosjeda dobit ćemo uz uvjet da je $r_{ij} = -1$. Onda je:

$$S_{ij\ min} = |S_i - S_j| \qquad \ldots\ldots/2.10/$$

Do sada smo utvrdili da možemo jednoznačno i unaprijed odrediti neke karakteristike sklopa i njegovog dosjeda, čim su nam poznate karakteristike sastavnih dijelova i pripadajući lanac dimenzija. Ako možemo svjesno i proizvoljno utjecati na koeficijent korelacije r_{ij}, onda možemo u širokim granicama utjecati i na rasipavanje dosjeda u jednoj seriji sklopova.

Za nas je neobično važna spoznaja da se uz negativnu vrijednost koeficijenta korelacije r_{ij} može postići manje rasipavanje dosjeda u sklopu nego što je rasipavanje dimenzija sastavnih dijelova. Čak što više, na veličinu $S_{ij\ min}$ u izrazu /2.10/ ne utječu apsolutne vrijednosti S_i i S_j već samo njihova razlika!

Proučavanje izraza /2.7/ nam pokazuje da se uz pretpostavku $r_{ij}=+1$ dobiva izraz /2.9/, koji je adekvatan izrazu /1.1/; dobiva se isti rezultat kao kod proračuna dozvoljenih odstupanja po principu apsolutne zamjenljivosti.

Ako se odabere $r_{ij} = 0$, dobit ćemo iz izraza /2.7/:

$$S_{ij}^2 = S_i^2 + S_j^2 \qquad \ldots\ldots/2.11/$$

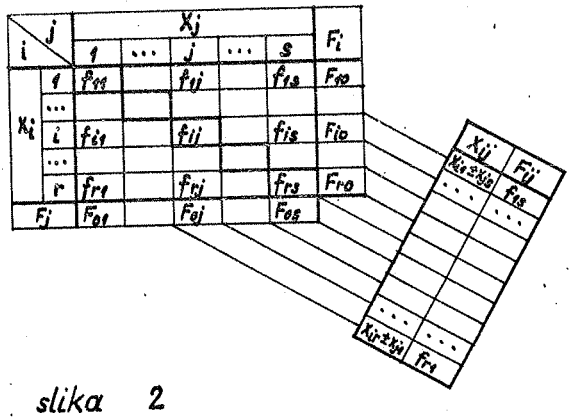
A taj izraz adekvatan je izrazu /1.2/, tj. kao kod proračuna dozvoljenih odstupanja pomoću vjerojatnosti.

Dakle, poznate proračunske metode dozvoljenih odstupanja predstavljaju samo posebni slučaj jednog općeg zakona, koji smo utvrdili izrazom /2.7/. Ujedno smo otkrili zašto se rezultati u praksi razlikuju od izračunatih po bilo kojoj od poznatih metoda: jer nije uzet u obzir koeficijent korelacije r_{ij}, njegove moguće varijacije pod djelovanjem slučaja i granične vrijednosti određene razdiobama sastavnih dijelova; također su zanemarene veličine serija, koje mogu znatno utjecati na varijacije koeficijenta korelacije r_{ij}.

Zanimljivo je, da se u poznatim proračunskim metodama dozvoljenih odstupanja ne uzima u obzir negativna vrijednost koeficijenta kore-

lacije, premda ona pruža najviše izgleda da se ostvare što jednoličniji sklopovi u pogledu dosjeda. Na vrijednost koeficijenta korelacije r_{ij} može se proizvoljno utjecati programom sklapanja. Čim ne prepustimo slučaju da on upravlja procesom sklapanja, već unaprijed propišemo kako treba sklapati sastavne dijelove u sklop, odmah smo odredili sve karakteristike dosjeda u pogledu rasipavanja oko njegove aritmetičke sredine.

Da b i se mogao propisati najpovoljniji program sklapanja, potrebno je poznavati samo razdiobe slučajnih varijabli X_i i X_j. One predstavljaju rubne razdiobe jednog dvodimenzionalnog statističkog skupa, gdje želimo ostvariti određenu vrijednost koeficijenta linearne korelacije r_{ij}. Tabelarni i grafički prikaz programa sklapanja je najjednostavniji, pa ga dajemo na sl.2.



slika 2

Propisati program sklapanja znači, da treba odrediti frekvencije f_{ij} za svako polje u tabeli. Pri tome moraju biti sačuvani uvjeti, koji proizlaze iz rubnih razdioba F_i i F_j. Popunjavajući tabelu po razrađenim metodama, dobivaju se potrebne frekvencije f_{ij}. One određuju jednoznačno i potpuno program sklapanja. Ujedno su time određene sve karakteristike dosjeda: X_{ij} zavisi o lancu dimenzija, a frekvencije F_{ij} dobivaju se zbrajanjem svih vrijednosti f_{ij} koje leže u poljima na jednoj dijagonali:

$$F_{ij} = \sum f_{ij} \qquad \text{...../2.12/}$$

/po dijagonali/

3. Zaključak

Programiranim sklapanjem stvaraju se nove mogućnosti za proizvodnju savršenijih sklopova, bez potrebe da se suze dozvoljena odstupanja na dimenzijama sastavnih dijelova. Od istih sastavnih dijelova mogu se dobiti različiti sklopovi, u pogledu dosjeda i njegove razdiobe oko aritmetičke sredine. Da bi se to moglo ostvariti, potrebne su samo informacije o razdiobama slučajnih varijabli, koje karakteriziraju dimenzije sastavnih dijelova u sklopu.

Sve iznešeno vrijedi u principu za sklopove od bilo koliko sastavnih dijelova, za teoretske i empiričke razdiobe slučajnih varijabli. Razrađene su metode za izradu optimalnih programa sklapanja.

L I T E R A T U R A

A. Đuraševi6, Prilog teoriji dozvoljenih odstupanja dimenzija strojnih dijelova, doktorska disertacija, Zagreb 1963.

A. Đuraševi6

The Influence of Assembling Process on Perrmissible Tolerances and Fit in an Assembly

The design engineers' intention is to make possible the production of perfect assemblies in a series. This can be approached by the following methods:

a) by determining permissible tolerances mathematically
b) by machining parts and adapting them to the assembly
c) by using different methods of assembly

All known methods of mathematical determination of permissible tolerances require closer tolerances of machine parts if a more uniform fit in a series of assemblies in desirable.

It is assumed that the assembling process is going on at random, i. e. parts are taken without a previously determined order. It is not known what kind of fit was achieved in every assembly.

In practice, great differences between actual fits and those estimated have been discovered. Those differences are greater in smaller series.

The example of an assembly consisting of two parts shows the important factors on which the fit of assembly depends. We assume that dimensions of parts are known before assembling. Without any limitations of part dimensions distribution, we can prove that:

1. The arithmetical mean fit $\bar{X}_{ij}$ is determined by the corresponding sequence of dimensions and arithmetical means of parts $\bar{X}_i$ and $\bar{X}_j$;
2. The standard deviation of fit S_{ij} is determined by standard deviations of parts /S_i and S_j/as well as by the linear correlation coefficient r_{ij} between random variables x_i and x_j which represent dimensions of assebbly parts.
3. The distribution of fit x_{ij} around its arthmetical mean $\bar{X}_{ij}$ is determined by frequencies F_{ij}, which result from the assembling programme.

The coefficient r_{ij} can be influenced by means of the assembling program , if it is desirable to do so; the same applies to the uniformity of fit x_{ij} in a two-parts assembly.

All this can be generalized and applied to assemblies consisting of any number of parts.

H. Muren *

IZRADA KORIGIRANIH STOŽNIH ZUPČANIKA **

Geometrija stožnih ozubljenja, naročito oktoidnih, u literaturi je slabo obrađena, a ponekad i pogrešno. Među ostalim pogrešna su neka mišljenja i navodi u literaturi o mogućnostima izrade korigiranih stožnih zupčanika.

Oblici zubnih bokova kod stožnih zupčanika bi teoretski mogli biti bezbrojni, međutim dosta jednostavna razmatranja pokazuju da za praksu dolaze u obzir samo takozvana oktoidna ozubljenja. Pored toga postoji, opet samo sasvim teoretski, mogućnost izrade evolventnih stožnih zupčanika po odvalnom postupku na nekim postojećim strojevima, ali zbog nepovoljnog oblika odgovarajućeg alata ne bi bilo u tom slučaju moguće dobiti dovoljno kvalitetne površine na ozubljenjima, pa ova mogućnost za praksu svakako otpada. Oktoidno ozubljenje, međutim, ima veliku prednost jednostavnih alata sa samim ravnim površinama, a niti u drugim pogledima nema nekih bitnih nedostataka u odnosu na ostala moguća ozubljenja.

Kod oktoidnog ozubljenja treba razlikovati dvije vrste:
O_1 - ozubljenje koje je teoretski pravilno i O_2 - ozubljenje koje teoretski nema potpuno korektan oblik, ali u praksi ipak posve zadovoljava. Razlika izmedju tih ozubljenja je u načinu izrade.

Stožna ozubljenja danas najviše izrađujemo na odvalni način zbog razmjerno jednostavnih alata, dok oblikovni način dolazi u obzir samo za masovnu proizvodnju ili pojedinačnu proizvodnju jako velikih zupčanika kod kojih bi sile rezanja kod odvalnog načina bile prevelike. Neki od suvremenih alatnih strojeva za izradu stožnih zupčanika po odvalnom postupku mogu izrađivati po želji O_1 ili O_2 - ozubljenje (strojevi Heidenreich & Harbeck za kose i radijalne ravne zube, stroj Oerlikon - Spiromatic i drugi) dok mnogi strojevi (na primjer Gleasonovi strojevi za izradu ravnih i lučnih zubi) mogu izrađivati samo O_2 - ozubljenje.

Princip rada svih strojeva koji rade po odvalnom postupku najlakše ćemo shvatiti ako zamislimo da alat svojim kretanjem u prostoru zacrtava zube nekog imaginarnog zupčanika. Izrađivani zupčanik nalazi se u zahvatu s tim imaginarnim zupčanikom na isti način kao par dva ju zupčanika. Budući da izrađivani zupčanik u početku rada još nema ozubljenja, imaginarni zupčanik - alat sam sebi pravi slobodan prolaz kroz materijal izrađivanog zupčanika, a pri tome nastaje traženo ozubljenje.

---

*) Dr Hinko Muren, dipl.ing. strojarstva, docent Fakultete za strojništvo, Ljubljana, Aškerčeva 16.

**) Sapćenje iz Fakultete za strojništvo, Ljubljana

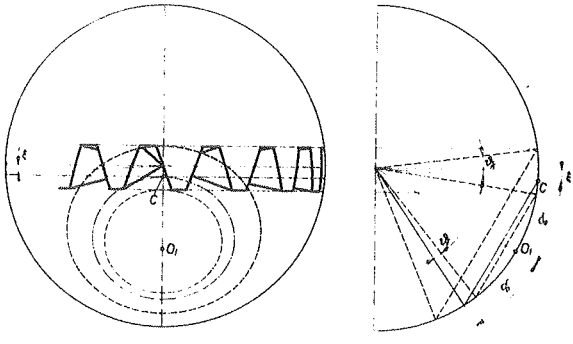
Kod O_1 - ozubljenja imaginarni zupčanik - alat ima oblik takozvanog plosnatog zupčanika kod kojeg je diobeni odn. kinematski stožac sploštен u ravninu. Zbog toga se u tom slučaju alati za rezanje ne mogu kretati po ravnini, nego po stožnoj površini koja odgovara tjemenom stošcu imaginarnog zupčanika. Druga mogućnost koju iskorištavaju Oerlikon i Klingelnberg kod svojih strojeva je da zubi budu iste visine po čitavoj dužini.

Kod originalnih Gleasonovih strojeva vrhovi alata mogu se kretati samo u jednoj ravnini. Zato imaginarni zupčanik ima sploštenu ravninu tjemena, a ne kinematski stožac, kako bi teoretski trebalo.

Odgovarajući gornjim mogućnostima izrade korigirani stožni zupčanici mogu se izrađivati na više načina, što do sada još nije bilo poznato.

Kod O_1 - ozubljenja moguća su dva načina korekcije, a eventualno čak i kombinacije tih načina na istom zupčaniku. Interesantno je spomenuti da to isto važi i za evolventne stožne zupčanike, ali budući da ovi za praksu nisu naročito važni, ne bismo se dalje detaljnije bavili tim problemom.

Prva mogućnost za izradu korigiranog O_1 - ozubljenja je ta da alat svojim kretanjem u prostoru zacrtava teoretski pravilan plosnati zupčanik. Normalno bi taj imaginarni zupčanik trebao imati tjemeni stožac konkavan, a sredina ozubljenja morala bi se nalaziti u ravnini. Takav zupčanik nacrtan je na slici 1. na površini kugle, kako uvijek treba crtati stožna ozubljenja ako ne želimo doći do pogrešnih rezultata.



Slika 1

Izrađivani zupčanik u primjeru pozitivne korekcije zadržava kut diobenog odn. kinematskog stošca nepromijenjen, ali se za kut korekcije povećava kut tjemenog stošca. Os izrađivanog zupčanika nagnuta je sada za kut $\delta_0 + \xi$ prema sredini imaginarnog plosnog zupčanika, gdje znači δ_0 kut diobenog stošca, a ξ kut korekcije.

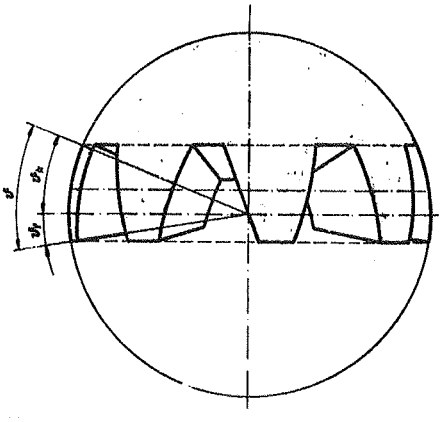
Imaginarni zupčanik, promatran strogo kinematski sada nije više plosnati zupčanik nego konkavni stožasti zupčanik sa kutom diobenog stošca $90^0 - \xi$. Zbog toga taj imaginarni zupčanik ne bi mogao služiti kao alat za izradu protuzupčanika jer bi tada bio rad para takvih zupčanika nekorektan.

Protuzupčanik prvom korigiranom zupčaniku treba izraditi sa alatom u obliku imaginarnog zupčanika, koji bi po vanjskom geometrijskom

izgledu bio isti kao kod izrade prvog zupčanika, samo bi njegov kinematski stožac trebao sada imati kut $90^{\circ} + \xi$, to znači da bi bio konveksan. Par stožnih zupčanika koji bi bio izrađen na opisani, korektni način, imao bi takozvanu V-O korekciju.

Kod namještanja stroja za izradu zupčanika koji su korigirani na gornji način nema nekih velikih problema. Alati na alatnoj glavi i njihovo kretanje ostaju isti kao da izrađujemo obični, nekorigirani zupčanik, samo se brzina okretanja glave nešto malo mijenja, budući da se mijenja zbog korekcije broj zubi imaginarnog plosnatog zupčanika. To povlači za sobom jedino malu promjenu u prijenosnom odnosu mjenjačkih zupčanika za pogon alatne glave.

Pored opisanog načina korekcije, koji bismo mogli označavati kao "obična korekcija", moguć je kod O_1 - ozubljenja još jedan način za koji bi se mogao primjeniti naziv "korekcija glave".



Slika 2

Imaginarni plosnati zupčanik kod korekcije glave nije više isti prema svom vanjskom obliku. Kod tog zupčanika (sl.2) kut tjemenog stošca i kut podnožnog stošca mijenjaju se tako da se prvi smanjuje a drugi povećava za kut korekcije. Interesantno je, da sada kinematski stožac tog plosnatog zupčanika ostaje dalje sploštен u ravninu. Svakako i kod korekcije glave par stožnih zupčanika mora imati V-O korekciju da bi zahvat bio pravilan - u suprotnom slučaju zračnost na bokovima na bi bila u redu.

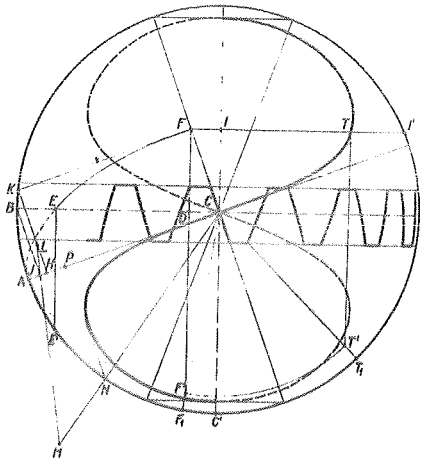
Kod namještanja stroja za taj drugi način korekcije treba mijenjati smjer kretanja alata na alatnoj glavi (osim kod Oerlikonovog i Klingelnbergovog postupka), ali prijenosni odnos odgovarajućih mijenjačkih zupčanika ostaje isti kao za nekorigirano ozubljenje.

Oktoidno stožno ozubljenje najbolje je karakterizirano dodirnicom ozubljenja koja se najbolje može nacrtati opet na površinu kugle sa centrom u vrhu zupčanika.

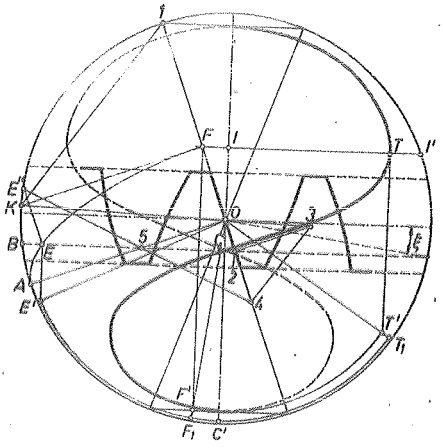
Za nekorigirano oktoidno ozubljenje dodirnica prikazana je na slici 3. Za ovu krivulju usvojen je naziv sferična lemniskata.

Kod ozubljenja sa običnom korekcijom dodirnica se deformira u oblik koji je prikazan na slici 4. Ova krivulja mogla bi se nazivati "korigirana sferična lemniskata".

Par obično korigiranih zupčanika radi pravilno samo onda, kada zupčanici imaju jednako deformirane dodirnice, ali svaki na drugu stranu, tako da se dodirnice zupčanika u zahvatu prekrivaju. To je moguće samo u slučaju V-O korekcije.



Slika 3

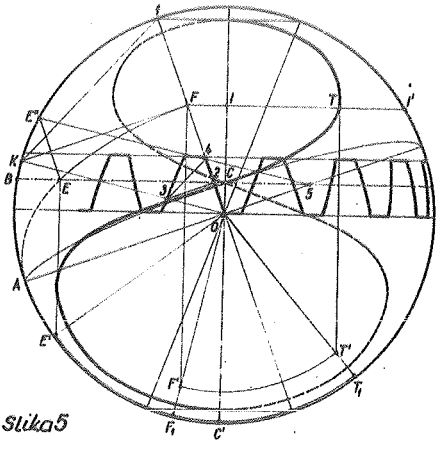


Slika 4

Interesantno je da zupčanici sa korekcijom glave imaju istu dodirnicu kao nekorigirani zupčanici, to jest u obliku nedeformirane sferične lemniskate. Ipak, da bi se postigla odgovarajuća zračnost na bokovima potrebno je primijeniti uvijek V-0 korekciju.

Kod izrade O_2 - ozubljenja alati se kreću u jednoj ravnini, tako da imaginarni zupčanik koji alati zacrtavaju svojim kretanjem u prostoru ima oblik konveksnog stožnog zupčanika sa kutom diobenog (kinematskog) stošca $90^0 + \gamma^f_f$ gdje je γ^f_f kut visine noge izradjivanog zupčanika. Dodirnica O_2 - ozubljenja deformira se zbog toga u oblik prikazan na slici 5.

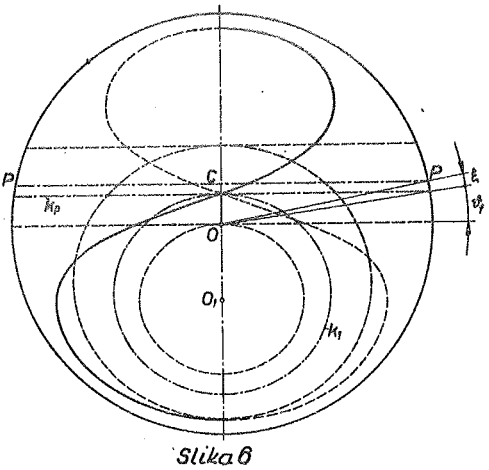
Imaginarni zupčanik koji alati zacrtavaju u prostoru na opisani način je nekakav korigirani zupčanik sa pozitivnom korekcijom glave i istovremenom negativnom običnom korekcijom, tako da bi zbir tih korekcija bio opet jednak nuli. Budući da su svi zupčanici sa O_2 - ozubljenjem izrađeni sa istim deformiranim imaginarnim zupčanikom, zahvat teoretski nije pravilan, ali je njihov rad u praksi ipak zadovoljavajući.



Slika 5

Kod O_2-ozubljenja moguć je samo jedan način korekcije, koji odgovara običnoj korekciji kod

O_1 - ozubljenja. Radi se o tome da je kod O_2 - ozubljenja nemoguće mijenjati vanjski geometrijski oblik imaginarnog zupčanika zbog konstrukcije odgovarajućih strojeva, pa se može mijenjati samo kinematski stošac, koji se ne poklapa više sa sredinom profila imaginarnog zupčanika (slika 6).



Slika 6

Dodirnica korigiranog zupčanika još dalje je deformirana sferična lamniskata, ali se kod pozitivno korigiranog zupčanika deformacija smanjuje. Iz toga je moguće napraviti interesantan zaključak koji je potpuno suprotan tvrdnjama u literaturi. Budući da par nekorigiranih zupčanika sa O_2 - ozubljenjem radi u praksi zadovoljavajuće, trebali bi zupčanici, kod kojih su oba zupčanika nekog para pozitivno korigirani, biti još bolji, jer se sa pozitivnom korekcijom O_2 - ozubljenje približava teoretski pravilnijem O_1 - ozubljenju. Tvrdnje u literaturi da se smije upotrebljavati samo V-O korekcija kod stožnih zupčanika nije tačna za O_2 - ozubljenje, gdje je pravilnije upotrebljavati parove sa pozitivno korigiranim ozubljenjem kod oba zupčanika.

Kod O_1 - ozubljenja, međutim, teoretski korektno bilo bi jedino ozubljenje sa V-O korekcijom. Drugačije međusobne kombinacije korigiranih zupčanika bile bi teoretski nepravilne, ali bi u praksi skoro sigurno dale ipak zadovoljavajuće rezultate, budući da time ne nastaju veće greške nego primjenom O_2 - ozubljenja. Svakako bi granice dozvoljenih odstupanja od teoretski pravilnog V-O korigiranog ozubljenja trebalo još praktički ispitati.

H. Muren

Die Bearbeitung korrigierter Kegelräder

Theoretisch könnten die Zahnformen der Kegelräder sehr unterschiedlich gewählt werden, jedoch kommen nach den bisher bekannten Bearbeitungsmethoden praktisch nur Oktoidenverzahnungen in Betracht. Von den verschiedenen gegenwärtigen Verzahnungsmaschinen können nur wenige die theoretisch korrekte O_1 - Verzahnung bearbeiten (Z.B. Maschinen der Firma Heidenreich & Harbeck für Gerad - und Schrägverzahnung, Verzahnungsautomat Oerlikon - Spiromatic und andere), die anderen (Z.B. Maschinen der Firma Gleason für Bogenverzahnung)

sind dagegen nur auf die sogenannte O_2 - Verzahnung begrenzt, die zwar nicht theoretisch, aber praktisch vollkommen entspricht.

Die Möglichkeiten für Anwendung von korrigierter Kegelverzahnungen sind von der Verzahnungsart abhängig.

Bei der O_1 - Verzahnung gibt es zwei Möglichkeiten; die sogenannte "gewöhnliche"oder die "Kopfkorrektion". Das Werkzeug für die gewöhnliche Korrektion bleibt der äusseren Form nach unverändert; dabei ändert sich jedoch seine kinematische Form, so dass er kein richtiger Planrad mehr ist, sondern ein Kegelrad mit konkaver oder konvexer Form, je nach dem Vorzeichen der Korrektion. Bei der Kopfkorrektion verändert sich dagegen der Kopfwinkel des Planrades, sein Teilkegel bleibt aber weiter in eine Ebene verzerrt.

Bei der O_2 - Verzahnung besteht nur eine Möglichkeit der Korrektion, die der gewöhnlichen Korrektion bei der O_1 - Verzahnung ähnlich ist.

In der Arbeit wird aufgezeigt, dass dabei nicht die V-O Korrektion allein richtig ist, wie man bis jetzt angenommen hat; kinematisch richtiger wäre vielmer eine positive Korrektion bei beiden Rädern.

V. Šolaja *)

JEDAN PROBLEM ZUPČASTIH MENJAČA ALATNIH MAŠINA**)

1. Uvod

U sastavu alatnih mašina kao osnovnih sredstava za proizvodnju, koja kretanjima svojih radnih organa i dovođenjem potrebne snage na mesto rezanja omogućuju izvođenje raznovrsnih tehnoloških procesa i operacija u metaloprerađivanju, važan mehanizam predstavlja prenosnik za glavno i za po pravilu više pomoćnih kretanja. Zahtevi za optimalnim tehničko-ekonomskim rezultatima u obradi rezanjem uslovljavaju, da se ova kretanja - kružna ili translatorna po pravoj odnosno zakrivljenoj trajektoriji - vrše različitim brzinama, prilagođenim vrsti operacije i obliku alata, materijalu koji se obrađuje i nizu ostalih uslova rezanja. Dok najpovoljniji režimi predstavljaju poseban problem izučavanja obradljivosti i optimalizacije faktora rezanja, pogonski mehanizam treba da obezbedi tražene kinematske i dinamičke uslove, pri čemu se za određenu alatnu mašinu kao jedno od pitanja postavlja kinematsko rešenje prenosnika u intervalu regulisanja uslovljenom graničnim zahtevima.

Optimalno rešenje svakako predstavlja pogonski mehanizam sa kontinualnom promenom izlazne brzine potrebnih kretanja, optimalno prilagođenih uslovima obrade unutar postavljenih granica, pri čemu konstrukcija može da sadrži pogonski motor sa kontinualno regulisanom brzinom ili odgovarajući prenosnik snage, mehanički ili hidraulički varijator. Iako kontinualna promena dobija na značaju u nizu primena, pa i kod alatnih mašina [1], valja istaći da zupčasti menjač sa stupnjevitom promenom broja obrtaja za sada, a i u doglednoj budućnosti, predstavlja važan član u familiji prenosnika snage za univerzalne, produkcione i programirane alatne mašine.

Od različitih mogućnosti za raspored brzina za glavno i pomoćno kretanje [1] - a u toku prošlog veka, ponegde još i do pre izvesnog vremena, ovaj je raspored bio i sasma proizvoljan - za prenosnike glavnog i pomoćnog kretanja najveću primenu ima geometrijska promena broja obrtaja. Pritom je pokazano [2] da se u uslovima nekontinualne promene na taj način postiže najveća ravnomernost u pogledu postojanosti alata i kvaliteta obrađene površine, dok se za slučaj jednake verovatnoće korišćenja svih stupnjeva ostvaruju i minimalni proizvodni troškovi. Dodajući i značaj primene geometrijskog stupnjevanja u određivanju familija alatnih mašina [3] , kao i mogućnosti

---

*) Vladimir B. Šolaja, dipl.ing., vanredni profesor Mašinskog fakulteta, direktor Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27.marta 80.

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate

1) Na ovom se mestu napominje da su u toku radovi i na jednom domaćem rešenju u saradnji instituta "Nikola Tesla", Beograd i Instituta za alatne mašine i alate, Beograd.

koje ono u tipizaciji konstrukcijskih rešenja pruža za menjače [4], čini se da je geometrijska promena istovremeno i optimalna za menjače sa stupnjevima brzine.

Da bi se u punoj meri mogle koristiti prednosti za pripremu proizvodnje pri analitičkom pristupu određivanja parametara procesa, primenjujući u tu svrhu i modernu računsku tehniku [5] , neophodno je da konstruktor prenosnika obezbedi takove izlazne brojeve obrtaja odnosno brzine, koji će se nalaziti u granicama specifikacije po međunarodnim i nacionalnim propisima [6]. Polazeći od strukture menjača primenom Šlezingerovog dijagrama [1], činjenica da se između dva vratila menjača spregu zupčanici sa celim brojevima zubaca, i da se menjač, bez obzira da li je reč o mehanizmu sa pomerljivim grupama zupčanika ili sa spojnicama, normalno sastoji od kinematske sprege između većeg broja vratila, dovodi do određenih poteškoća pri određivanju brojeva zubaca zupčastih parova, posebno ukoliko se teži što manjim dimenzijama zupčanika.

Sopstvena analiza pokazala je da se ranije metode (Štajnicova metoda najmanjeg zajedničkog sadržatelja i Andruinova metoda potrebne razlike brojeva zubaca dva susedna zupčanika u pomerljivoj grupi) mogu lakše koristiti primenom takozvanog jediničnog zupčanika [7]. Detaljno ispitivanje grešaka pri zaokruživanju teorijskih brojeva zubaca zupčanika na stvarne, cele brojeve pokazala je, nadalje, da se najmanji broj sume zubaca za zupčanike između dva vratila može iskazati sistemom intervala u kojima figurišu kinematske veličine [8]. Na kraju je pokazano da neophodne modifikacije Šlezingerovog dijagrama ustanovljenog za neki konkretan menjač zavise od brojeva zubaca, kao i od dopuštenih odstupanja svake izlazne brzine [9], pri čemu je razvijen računski postupak, koji omogućuje da se u fazi projektovanja iznađe rešenje menjača, koji će zavisno od zupčanika imati minimalne gabaritne mere, a biće u pogledu dozvoljenih odstupanja brojeva obrtaja u granicama specifikacije.

U saopštenju se iznose osnovna razmatranja sa primerom konkretnog menjača, dok se s obzirom na dosta komplikovan matematički pristup problemu neke postavke važne za primenu daju u dva zasebna dodatka. Pošto se polazi od istog modula zupčanika između dva vratila, to u suprotnom slučaju valja izvršiti odgovarajuće proračunavanje, što važi i za slučaj korigovanog ozubljenja.

2. Definisanje problema najmanjih zupčanika menjača sa predloženim rešenjem i primerom

Među problemima u rešavanju zupčastog menjača sa geometrijskom promenom broja obrtaja poseban zadatak za konstruktora predstavlja određivanje takvih brojeva zubaca zupčanika spregnutih između dva vratila da odstupanja prenosnog faktora k, odnosno brojeva obrtaja n na gonjenom vratilu budu unutar dopuštenih granica. Pritom je prenosi faktor $k = z_p/z_g$, gde su z_p odnosno z_g brojevi zubaca pogonskog odnosno gonjenog zupčanika, recipročna vrednost radnog prenosnog odnosa $i = n_p/n_g$.

Brojevi zubaca parova zupčanika koji se sprežu između dva vratila mogu se predstaviti sistemom od p linearnih jednačina [7] .

$$z_{mi} = Z / (1 + u_i), \quad (i = 1, 2, \ldots, p), \qquad (1)$$

gde je z_{mi} = računski broj zubaca manjeg zupčanika i-tog para, Z = zbir brojeva zubaca spregnutog para zupčanika (pri istom modulu i bez korekcije zubaca zajednički u svih p parova), $u_i = z_{vi}/z_{mi}$ = odnos broja zubaca zupčanika sa većim (z_{vi}) i sa manjim(z_{mi}) brojem zubaca. Analogno kinematskom prenosnom odnosu $i_i = n_v/n_m$, gde su n_v odnosno n_m veći odnosno manji brojevi obrtaja dva spregnuta vratila, uveden je, naime, osnos u_i, te ako je prenos ubrzan, $u_i = k_i$, a ako je usporen, $u_i = 1/k_i$ (k_i = prenosni faktor i-tog para zupčanika).

U principu su računski brojevi zubaca z_{vi} i z_{mi} ma kakvi pozitivni realni brojevi, njihov odnos u_i je realan broj jednak ili veći od jedinice, dok, međutim, zbir zubaca Z mora biti prirodan broj .

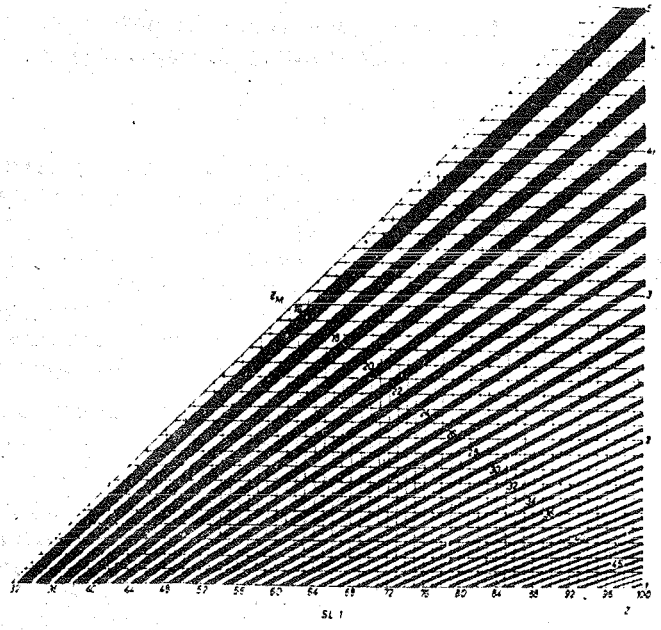
Polazeći od nazivnih vrednosti brojeva obrtaja iz reda R20 standardnih brojeva sa faktorom porasta q = 1,12 i dopuštene mehaničke tolerancije u granicama -2% do +3% od izračunate vrednosti standardnih brojeva [6], moguće je postaviti zadatak da se za spregu dva vratila odredi najmanji zbir brojeva zubaca $Z = Z_{(min)}$, zajednički za p parova tako da stvarni prenosni faktori $k_{i(min)}$ ili brojevi obrtaja n_i sa sigurnošću budu u intervalu dopuštenih odstupanja. Usvajajući mehaničku toleranciju prema ranijoj preporuci ISA, $\Delta_{meh} = \pm 2\%$, što ima prednosti i za razradeni proračun, bilo je mogućno da se postavi sistem nejednačina [8] .

$$A_{i\delta}\, z_{Mi} \leqslant Z_{(min)} \leqslant A_{i\sigma}\, z_{Mi}, \quad (i = 1,2,\ldots,p), \qquad (2)$$

gde su faktori $A_{i\delta}$ i $A_{i\sigma}$ funkcije tri promenljive: z_{Mi}, $Z_{(min)}$ i Δz, z_{Mi} = stvarni broj zubaca manjeg zupčanika u i-tom paru (prirodan broj), a Δz = odstupanje računskog z_{mi} od stvarnog z_{Mi} broja zubaca ($-1 < \Delta z < +1$). Dok se izvodi iz razmatranja koja su dovela do sistema intervala (2) iznosi u Prilogu I, na slici 1 je data grafička predstava. Slika 1 omogućuje da se za vrednosti $u_i = 1 - 5$, $z_M = 16 - 50$ i $Z = 32 - 100$ nade $Z = Z_{(min)}$, pri čemu će svih p brojeva obrtaja na gonjenom vratilu biti unutar specifikacije: rešenje je pritom ona najmanja vrednost za Z za koju će se za odgovarajuće vrednosti odnosa u_i svih p parova između dva vratila poklopiti nezacrnjeni intervali sa bar po jednom zajedničkom vrednošću prirodnog broja Z.

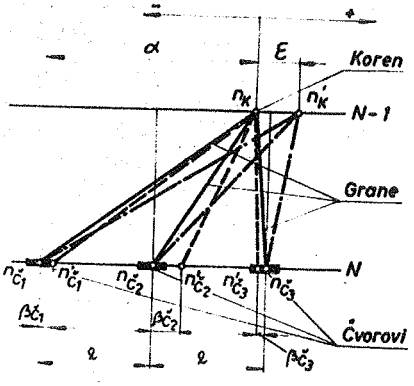
Prelazeći od problema sprege između dva vratila na kompletan menjač sa većim brojem vratila, pokazalo se da je neophodno poći od odgovarajućeg Šlezingerovog dijagrama, te su predloženi nazivi za neke njegove elemente i razmotreno je analitičko predstavljanje mogućih pomeranja sa uticajem na sistem standardnih faktora porasta q i brojeva obrtaja n.

Na slici 2 prikazan je <u>osnovni prenos</u> sa p = 3 para spregnutih zup-



Sl. 1

čanika, pri čemu isti polazi iz jedne tačke, korena (odgovara broj obrtaja n_k) na vratilu N-1 koje predaje snagu i razdvaja se u grane (izvučene punim linijama) koje se završavaju u čvorovima (odgovaraju brojevi obrtaja $n_{č1}$ i $n_{č3}$) na vratilu N koje prima snagu. U zavisnosti od broja prethodnih vratila u menjaču, odnosno od osnovnih prenosa i njihove razgranatosti, nalazi se između dve horizontalne linije jedan ili više osnovnih prenosa.



Sl. 2

Kao što je poznato [1] Šlezingerov se dijagram konstruiše sa vrednostima logaritama brojeva obrtaja i faktora porasta, ali se zbog jednostavnosti mogu upisati same vrednosti, te ako je u slici 2 za puno izvučeni osnovni prenos sa a označena udaljenost projekcija broja obrtaja n_k na vratilo N od broja obrtaja $n_{či} = n_{č1}$ (a je u opštem slučaju bilo koji realan broj), a sa ε odn. $\beta_{či}$ (i = 1,2,...,p) pomeranje korena n_k u n_k' (grane izvučene crta-tačka), odnosno čvorova $n_{či}$ u $n_{či}'$(grane izvučene isprekidanom linijom), mogu se za odgovarajuće brojeve obrtaja redom postaviti jednačine

$$n_{či} = n_k \, q^{\alpha} + (i - 1), \qquad (3)$$

$$
\begin{aligned}
n_{\check{c}i} &= n'_k \, q^{\alpha + (i-1) + \varepsilon} \\
n'_{\check{c}i} &= n_k \, q^{\alpha + (i-1) + \left[\beta_{\check{c}i}\right],\ i} \\
n'_{\check{c}i} &= n'_k \, q^{\alpha + (i-1) + \left[\beta_{\check{c}i} + \varepsilon\right]}
\end{aligned}
\qquad (3)
$$

gde za pomeranje udesno važi predznak +, ulevo–, kao i pre je i=1,2, ...,p, dok zbog preglednosti nisu na slici 2 ucrtane grane prema poslednjoj jednačini.

U opštem su slučaju pomeranja $\beta_{\check{c}i}$ i ε proizvoljne veličine, no ukoliko je u pitanju izlazno vreteno menjača, dopuštena odstupanja izlaznih brojeva obrtaja n, odnosno prenosnog faktora k ograničavaju pomeranja $\beta_{\check{c}i}$ (primera radi su na slici 2 masno izvučeni na vratilu N intervali u koje treba da poadnu vrednosti $n_{\check{c}i}$, i vidi se da je $n_{\check{c}2}$ van granica specifikacije).

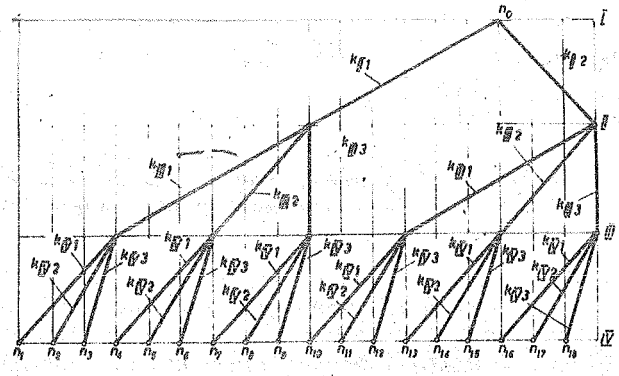
Koristeći grafik 1, što je jednostavnije od proračuna prema sistemu intervala (2), mogućno je, idući od osnovnih prenosa višeg ka osnovnim prenosima nižeg reda (od izlaznog ka ulaznom vratilu) i za zadati Šlezingerov dijagram utvrditi pojedine prenose, a pri transformaciji računskih u stvarne prenosne odnose potrebno je težiti najmanjoj grešci u određivanju položaja korena i čvorova. Valja, međutim, napomenuti da se pri poređenju veličina za faktor porasta q i standardnih brojeva obrtaja n uočavaju znatna neslaganja koja mogu da se kreću i van granica specifikacije [9] , te je stoga za preporuku da se proračun popravke sistema vrši prema brojevima obrtaja n.

Prema Prilogu II popravka posmatranog osnovnog prenosa vrši se preko popravnog faktora $\varkappa = u_{1kor}/u_1$, gde je u brojitelju korigovana, u imenitelju računska vrednost, a zatim celog sistema preko potrebnih proizvoda svih odstupanja c_i u pojedinim osnovnim prenosima, dok se za menjač sa četiri vratila i osamnaest brzina sa zadatim Šlezingerovim dijagramom prema slici 3, daje tablično sređen proračun zupčanika sa minimalnim brojevima zubaca. Pritom su svi izlazni brojevi obrtaja unutar $\pm$ 2% u odnosu na standardne vrednosti, pri konstantnoj vrednosti n_o i pri $q \approx 1{,}25$. Uz tablicu na slici 3 se napominje da računski prenosni odnosi u_i predstavljaju srednje vrednosti odnosa različitih stupnjeva brzine, u'_i su stvarni prenosni odnosi koji proističu iz usvojenih brojeva zubaca zupčanika, popravke $\varkappa$ se za osnovne prenose višeg reda može sa prethodnim, dok se indeksi uz odstupanja c_i odnose na oznake spregnutih vratila i brojeva za p grana u osnovnim prenosima.

3. Zaključak

Izneta razmatranja omogućuju sledeće zaključke:

(i) Geometrijska promena, kao najpodesniji način stupnjevanja brojeva obrtaja kod prenosnika alatnih mašina nekontinualnom promenom brojeva obrtaja postavlja problem optimalnog izbora brojeva zuba-



Sl. 3

Sprega	u_i/u_i kor.	u_i	$z_{(celi)}$	z_{vi}/z_{ui}	v_i'	α_i	c_i
IV1	1,9907	1,9907	54	36 / 18	2,0000	1,00175	1,00291
IV2	1,9942	1,5522		33 / 21	1,5714		1,01032
IV3		1,2649		30 / 24	1,2500		0,98648
III1	3,9555	3,9555	80	64 / 16	4,0000	0,99947	1,01179
III2	3,9534	1,9778		53 / 27	1,9630		0,99605
III3		1,0054		40 / 40	1,0000		0,99715
II1	3,9462	3,9462	84	67 / 17	3,9412	1,00000	0,99976
II2	3,9462	1,9991		56 / 28	2,0000		1,00044

ca zupčanika spregnutih između po dva vratila s obzirom na problem brojeva zubaca i dopuštene greške.

(ii) Primena postavljenog sistema intervala (2) grafički iznetog na slici 1 omogućuje rešenje p zupčastih parova između dva vratila s minimalnim zajedničkim zbirom brojeva zubaca spregnutih zupčanika unutar unapred utvrđenih granica mehaničke tolerancije brojeva obrtaja.

(iii) Korišćenjem ideje o pomeranjima čvorova i korenova osnovnog prenosa u Šlezingerovom dijagramu iskazane jednačinama (3) moguće je, orjentišući se na standardne brojeve obrtaja, postaviti korekcijski proračun za sistem menjača sa N vratila, pri čemu su uz konstantni ulazni broj obrtaja n_0 na vratilu I svi izlazni brojevi obrtaja na vratilu N unutar granica mehaničke tolerancije. U sadašnjoj fazi, međutim, nije još rešen problem korišćenja istih zupčanika u osnovnim prenosima za sprege između tri susedna vratila.

Prilog I - Rešenje za spregu između dva vratila [8].

Uz jednačinu (1) i uveden odnos $u = z_v/z_m$, z_m se može zaokružiti na ceo broj dodavanjem odnosno oduzimanjem veličine $\Delta z'$ pri ubrzanom (indeks α) ili usporenom (indeks β) prenosu, te je za maksimalno dopušteno procentualno odstupanje Δ

$$z_\alpha = \left[z' - \frac{z'}{0{,}01\Delta(1-z')+1}\right]Z = a_\alpha Z$$

$$z_\beta = \left[z' - \frac{z'(1+0{,}01\Delta)}{0{,}01\Delta z'+1}\right]Z = a_\beta Z \qquad (4)$$

dok je uz stvarne brojeve zubaca manjih zupčanika kao cele brojeve z_M opšti izraz za apsolutno odstupanje Δz

$$\Delta z = z' Z - z_M, \qquad (5)$$

te se rešenjem sistema dveju jednačina, jednačine (5) i po jedne od jednačina (4), dobija onaj maksimalni odnosno minimalni broj zubaca

Z pri kome će, uz dato u i z_M, apsolutno odstupanje Δ z biti maksimalno dopušteno na više odnosno na niže s obzirom na dopušteno procentualno odstupanje prenosnog faktora

$$Z = z_M / (z' - a_\alpha) = A_\alpha z_M,$$
$$Z = z_M / (z' - a_\beta) = A_\beta z_M \qquad (6)$$

Uzimajući u obzir da je prenos ubrzan ili usporen, mogućno je tada postaviti sistem intervala (2), a pošto je odgovarajući proračun pokazao zanemarljive razlike za smanjenje odnosno povećanje pri zaokruženju z_m na z_M, proračunati su bili elementi za sliku 1. Očigledno je da korišćenje s like 1 u odnosu na analitičko rešavanje sistema intervala (2) predstavlja znatnu praktičnu prednost.

Prilog II - Razmatranje Šlezingerovog dijagrama sa analitičkom metodom (rešenje preko standardnih brojeva obrtaja) [9] .

Pošto se oblik osnovnog prenosa dobijen računom razlikuje, se izuzetno, od oblika dobijenog za stvarne brojeve zubaca, valja transformisati računski u stvari osnovni prenos, težeći pritom najmanjoj grešci u određivanju položaja korena i čvorova. Vrši se to u dva razdela:

(i) Stvarni osnovni prenos translacijom zauzima takav položaj prema računskom da je odstupanje stvarnih čvorova $n_{či}$ od računskih $n_{či}$ najmanje, a koren se pomera iz n_k za $\mathcal{E}$ u n_k. Pošto je koren posmatranog osnovnog prenosa čvor sledećeg, dolazi do pomeranja celog sistema, te se popravka sistema izražava popravnim faktorom $\mathcal{H} = q^{\mathcal{E}} = n_k'/n_k = u_{1kor}/u_1$, gde su n_k i u_1 računske, n_k' i u_{1kor} ovako korigovane vrednosti (u sledećem razdelu u_{1kor} prelazi definitivno u u_1'), i za najmanju grešku treba da je

$$\mathcal{H} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^{p} \frac{n'_{ki}}{n_{ki}} = \frac{1}{p} \sum_{i=1}^{p} \frac{u_{1kor}}{u_1} \qquad (7)$$

Ukupno pomeranje korena koji odgovara ulaznog broju obrtaja n_o na vratilu I je

$$\mathcal{H}_o = \prod_{(N-1)-N}^{I-II} \mathcal{H} \qquad (8)$$

gde je na desnoj strani proizvod odstupanja prema (7) za sva vratila.

(ii) Za potpunu transformaciju treba da se poklope i čvorovi, to jest da $n_{či}$ padne u $n'_{či}$, a ta se odstupanja iskazuju popravnim faktorom $c_i = q^{\delta_i} = n_{či}/n_{či} = u_1'/u_{1kor}$. Ukupne greške C_j (j=1, 2,...,m) na poslednjem vratilu N treba da obuhvata sva odsupanja c_i u pojedinim osnovnim prenosima, te je potrebno izračunati odgovarajućih m proizvoda (m = broj stupnjeva) po pojedinim spregama od ulaznog do izlaznog vratila. Ukoliko je ulazni broj obrtaja nepromenljiv, potrebno je tako translirati ceo sistem Šlezingerovog dijagrama da koren sistema padne u računsku vrednost, te će tada ukupna popravka iznositi

$$C'_j \ (j = 1,2, \ldots,m) = C_j \ (j = 1,2,\ldots,m)\ \varkappa_o \qquad (9)$$

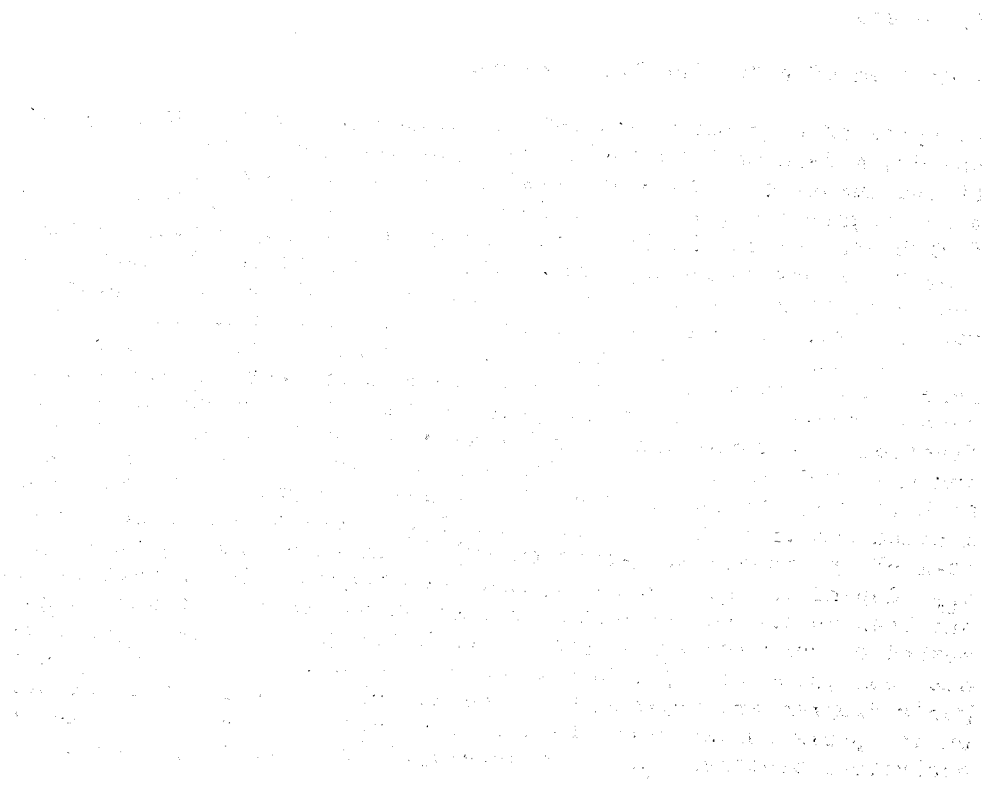
L I T E R A T U R A

1. P.Stanković, Mašine alatke i industrijska proizvodnja mašina I, Naučna knjiga, Beograd (1955.)
2. M.C.Shaw, Optimum Selection of Machine Tool Speeds and Feeds, Int.J. Mach. Tool Des. Res., 5 (1965.)25
3. P.Stanković, Koncepcijsko rešenje familija mašina alatki, Saopštenje IAMA, 1 (1966.) 17
4. A.Pavlović, Radne karakteristike i tipizacija u savremenoj gradnji alatnih mašina, Mašinstvo, 15 (1966.) 62M
5. B.Popović, Proračun optimalnih faktora obrade metodom linearnog programiranja primenom digitalnih elektronskih računara, Mašinstvo, 15 (1966.) 49M
6. JUS M.GO.020, sa obaveznom primenom od 1.7.1965.
7. V.Šolaja, Određivanje broja zubaca zupčanika kod prenosnika alatnih mašina, Mašinstvo i elektrotehnika, 1 (1952.) Mal14
8. V.Šolaja, Problem najmanjeg broja zubaca zupčanika zupčastog menjača, Mašinstvo i elektrotehnika, 1 (1952.) Mal71
9. V.Šolaja, Prilog rešavanju zupčastog menjača, Zbornik radova Mašinskog fakulteta, Beograd (1956.), str.145

V. Šolaja

A Problem of a Machine Tool Gearbox

In spite of a growing interest in variators with infinite number of speeds, modern machine tools are still designated to operate at a finite number of speeds and feeds, and it has been found that geometric progression provides uniform facility of tool life and surface finish control and leads to minimum manufacturing costs. In designing a gearbox there is, among others, the problem of ascertaining such a minimum sum of teeth Z in a gear train with p pairs of meshing gears between two shafts that the true transmission factors k are within prescribed limits. An analysis of the absolute differences Δz between the calculated numbers of teeth z_m and z_v (numbers of teeth in smaller and greater gears in meshing pairs, usually fractional numbers) and actual numbers of teeth z_M and z_V (whole numbers) indicated the dependence of Δz upon k, the allowed error in k (or n) Δ in percents and Z. It has been proved [8] that the minimum number of the sum of teeth $Z_{(min)}$ may be expressed by a system of p intervals [equation (2)], in which the factors $A_{i\delta}$ and $A_{i\delta}$ depend on z_M, Z and Δz, and the diagram 1 for practical use has been developed. By making use of these considerations, a general method of constructing a gearbox with the given Schlesinger's diagram has been proposed [9]. The necessary modifications to the Schlesinger's diagram are dependent on the actual number of teeth as well as on the perimissible deviations of each output speed, and a method of analytical treatment has been developed [equations (3), Apendices I and II, figs. 2 and 3].



B. Musafia *)

ANALITIČKI METOD ODREĐIVANJA SPECIFIČNOG DEFORMACIONOG OTPORA KAO FUNKCIJE DEFORMACIJE **)

Naponsko - deformaciono stanje

Kod procesa obrade metala deformacijom naponsko stanje u nekoj tački elemenata napregnutog dijela je potpuno određeno sa devet komponentnih napona. Ukupni napon u trodimenzionalnom koordinatnom sistemu izvršava se simetričnim tenzorom napona drugog ranga.

$$T_n = T_n^s + D_n \qquad (1)$$

Tenzor ukupnog napona prestavlja zbir sferičnog tenzora napona i devijatora napona [1]. Sferični tenzor uslovljava promjenu zapremine bez promjene oblika, a svaki član njegove glavne dijagonale je srednji normalni napon. Devijator napona prestavlja ustvari razliku između tenzora ukupnog napona i sferičnog tenzora napona, i on je uzročnik promjene oblika bez promjene zapremine.

$$\begin{Vmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} \sigma_{sr} & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_{sr} & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_{sr} \end{Vmatrix} + \begin{Vmatrix} \sigma_x - \sigma_{sr} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y - \sigma_{sr} & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{zy} & \sigma_z - \sigma_{sr} \end{Vmatrix}$$

Analogno prednjem i deformaciono stanje u istoj tački se može predočiti tenzorom deformacije, koji se takođe sastoji iz sferičnog tenzora deformacije i devijatora deformacije.

$$T_d = \begin{Vmatrix} \varepsilon_x & \frac{1}{2}\gamma_{xy} & \frac{1}{2}\gamma_{xz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{yx} & \varepsilon_y & \frac{1}{2}\gamma_{yz} \\ \frac{1}{2}\gamma_{zx} & \frac{1}{2}\gamma_{zy} & \varepsilon_z \end{Vmatrix} = T_d^s + D_n \qquad (2)$$

Tenzor deformacije je simetričan s obzirom na glavnu dijagonalu /čiji su članovi dužinske deformacije/, jer su konjugovane tangencijalne deformacije /uglovne deformacije/ međusobno jednake.

Diferencijalne jednačine ravnoteže

Uslovi ravnoteže elemenata napregnutog dijela u zoni deformacije mogu se izraziti sistemom parcijalnih diferencijalnih jednačina, koji se po pravilu sumiranja [2] može zapisati u skraćenom obliku:

$$\frac{\partial \sigma_{ij}}{\partial x_j} = 0$$

*) Dr Binko Musafia, dipl.ing., vanredni profesor Mašinskog fakulteta, Sarajevo, saradnik Zavoda za alatne mašine, alat i mjernu tehniku, ul. Omladinsko šetalište bb.

**) Saopćenje iz Zavoda za alatne mašine, alat i mjernu tehniku, Sarajevo.

Analiza većine procesa obrade metala deformacijom svodi se na problem ravninskog stanja. U tom slučaju komponente napona ne zavise od jedne koordinate i ostaju konstantne pri promjeni iste. U ravnima normalnim na tu osu /na pr. za osu $x_j = y$ / komponente tangencijalnih napona su jednake nuli /$\sigma_{ij} = \tau_{xy} = \tau_{zy} = 0$ /. Komponenta normalnog napona u toj ravnini je kod ravninskog naponskog stanja jednaka nuli /$\sigma_y = 0$ /. Kod analize dubokog izvlačenja rotaciono-simetričnih tijela naponi u vijencu komada su ravninskog karaktera. Kod ravninskog deformacionog stanja /na pr. kod slobodnog kovanja - sabijanja paralelopipeda velike dužine u odnosu na visinu/ komponenta normalnog napona jednaka je polusumi ostala dva normalna napona $\sigma_y = 0{,}5(\sigma_x + \sigma_z)$.

Postavljajući uslove ravnoteže [3] sistem 3 svodi se na dvije parcijalne diferencijalne jednačine.

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z} = 0$$

$$\frac{\partial \tau_{zx}}{\partial x} + \frac{\partial \sigma_z}{\partial z} = 0 \qquad (3.a)$$

S obzirom na tri nepoznata komponentna napona /$\sigma_x, \sigma_z = \tau_{xz}$ / za punu statičku određenost nedostaje još jedna jednačina. Ako normalni napon ne zavisi od polarnog ugla /na pr. kod savijanja preko malih radiusa/ sistem 3 svodi se na jednu deferencijalnu jednačinu.

$$\frac{d\sigma_r}{dr} + \frac{\sigma_r - \sigma_\varphi}{r} = 0 \qquad (3.b)$$

Dopunska jednačina nužna za iznalaženje napona u funkciji od koordinata /po obrascima 3.a i 3.b/ dobiva se iz uslova plastičnog tečenja.

Uslov plastičnog tečenja

Dvostruka vrijednost potencijalne energije deformacije konzumirane u jedinici zapremine materija može se izračunati kao skalarni proizvod tenzora napona i tenzora deformacije /$2U = T_n T_d$/. Koristeći obrasce 1 i 2 uz dokaz [4] da je rad komponenata sferičnog tenzora u pravcu komponenata devijatora jednak nuli /$T_n^s D_d = 0$ i $D_n T_d^s = 0$ /, slijedi da je:

$$2U = (T_n^s + D_n)(T_d^s + D_d) = T_n^s T_d^s + D_n D_d = 2U_z + 2U_0$$

Po energetskoj hipotezi Huber - Mises - Hencky-ja plastično tečenje nastupa onda, kada energija promjene oblika /to je razlika ukupne i energije promjene zapremine $U_0 = U - U_z$ / dostigne određenu vrijednost koja ne zavisi od šeme naponskog stanja. Ako se ova vrijednost izjednači sa energijom promjene oblika u momentu nastanka plastične deformacije kod linearnog opterećenja, tada uslov plastičnog tečenja za prostorno naponsko stanje glasi:

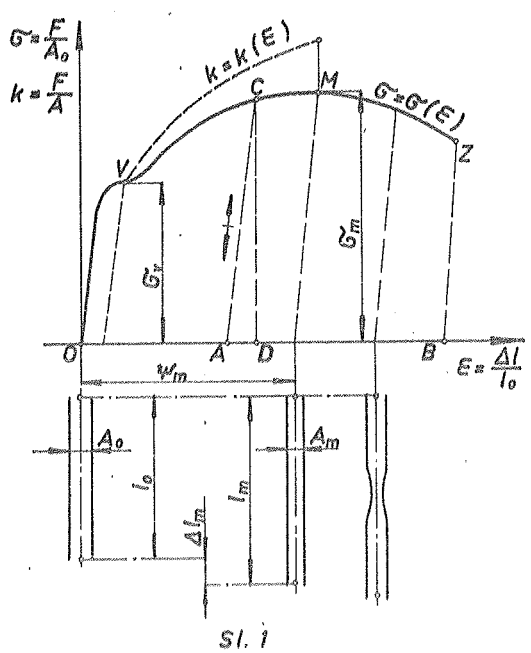
$$(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2) = 2\sigma_v^2 \qquad (4)$$

Granica tečenja / / prestavlja stvarni napon kod kojega počinje plastično tečenje probne epruvete, opterećene linearno naponima istezanja ili pritiska. Ova veličina je funkcija stepena, temperature i brzine deformacije.

Nominalni i stvarni naponi

Promjene oblika metala podvrgnutog plastičnoj deformaciji praćene su i promjenama njegove unutrašnje strukture. Ukoliko su uslovi obrade takvi da se ne mogu sprovesti razočvršćavajući procesi /oporavljanje i rekristalizacija/, tako da kristalna zrna ostaju u deformisanom obliku nakon završenog procesa, tada se govori o hladnoj obradi [5] . Kao posljedica promjene strukture kod hladne obrade, otpornost metala sa povećanjem stepena deformacije stalno raste, a duktilnost mu istovremeno opada.

Za praćenje ovih pojava koristi se dijagram nominalnih napona /sl.1/. Nominalni napon prestavlja probnu silu redukovanu sa početnim presjekom probne epruvete /$\sigma = F/A_0$/. Kao argument može se uzeti relativno izduženje /deformacija prvog reda $\varepsilon = \Delta l / l_0$ /, ili prečna kontrakcija /deformacija drugog reda $\psi = \Delta A / A_0$ /. Ako se proba linearnog istezanja izvede do kraja dobiva se dijagram nominalnog napona prvog reda $\sigma = \sigma(\varepsilon)$ u području OVCMZBO. Kod druge probne epruvete od istog metala proba se prekida u tački C. Linija rasterećenja CA približno je paralelna s linearnim dijelom krive nominalnih napona. Nakon ponovnog opterećenja probne epruvete dobiva se skraćeni dijagram istezanja ACMZBA. Eksperiment pokazuje da se prethodno deformisani metal ponaša kao sasvim novi materijal. To znači da kod hladne obrade stepen prethodne deformacije bitno utiče na granicu tečenja /$\sigma_c > \sigma_v$/ . To je veoma važno kod aplikacije uslova plastičnog tečenja /obrazac 4/.



Sl. 1

Ako se sila redukuje sa tekućim /stvarnim/ presjekom probne epruvete dobiva se dijagram stvarnih napona $k = k(\varepsilon)$. Do momenta početka lokalne kontrakcije /tačka M na sl.1/ veza između stvarnih i nominalnih napona može se postaviti relacijom [5] .

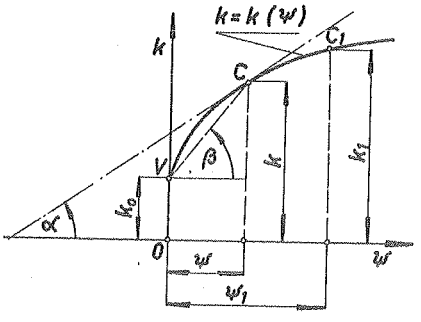
$$k = \frac{F}{A} = \sigma \quad \frac{A_0}{A} = \sigma(1+\varepsilon) = \frac{\sigma}{1-\psi}; \qquad \varepsilon, \psi \leq \varepsilon_m, \psi_m \qquad (5)$$

S obzirom na analogiju promjene presjeka kod raznih procesa obrade metala plastičnom deformacijom i prečne kontrakcije probne epruvete, pogodno je operirati sa dijagramima stvarnih napona ili krivama oč-

vršćavanja drugog reda $k=k(\Psi)$ Radi toga u uslovnim jednačinama plastičnog tečenja /obrazac 4/ treba poistovjetiti vrijednost $\sigma_v \equiv k$, pri čemu se kod konkretne aplikacije K označava kao specifični deformacioni otpor bez trenja.

Stvarni tehnološki procesi obrade plastičnom deformacijom se najčešće vrši u području $\Psi > \Psi_m$ gdje ne važi obrazac 5, jer se deformacija lokalizuje i šema naponskog stanja mijenja se od linearne u prostornu. Da bi se mogli koristiti uslovi plastičnig tečenja treba definisati funkciju $k=k(\Psi)$ koja će važiti u cjelom području prerade.

Polazne pretpostavke za matematsku interpretaciju procesa hladnog očvršćavanja



Sl. 2

Kod hladne obrade metala kriva očvršćavanja /sl.2/ su monotono rastuće funkcije stepena deformacije. Za $\Psi_1 > \Psi$ je:

$$k_1 = k(\Psi_1) > k = k(\Psi)$$

Prethodno je potrebno probama na linearno istezanje odrediti tri karakteristične veličine i to:

$\sigma_{0,2}$ - granica razvlačenja /0,2% granica trajne deformacije/

σ_m - nominalna jačina na istezanje /čvrstoće kidanja/

Ψ_m - prečna kontrakcija u momentu početka lokalne kontrakcije.

Za dalju analizu su važne dvije tačke krive:

1. Stvarni napon početka tečenja.

$$k_0 = \frac{F_{0,2}}{A_{0,2}} = \sigma_{0,2}(1+\varepsilon_{0,2}) = 1{,}002\,\sigma_{0,2}$$

Zbog malih razlika između početne A_0 i površine $A_{0,2}$ uzima se $k_0 = k(0) \approx \sigma_{0,2}$ što znači da ordinata koordinatnog sistema prolazi kroz tačku V.

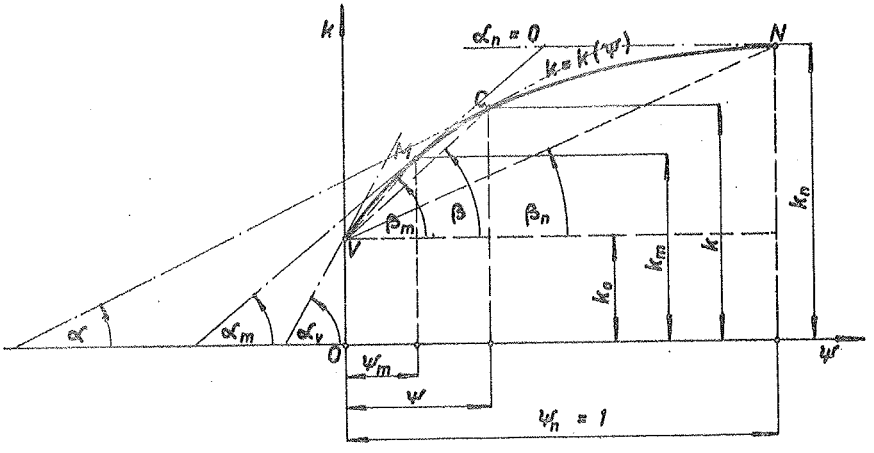
2. Stvarni napon u momentu početka lokalne deformacije.

$$k_m = \frac{F_m}{A_m} = \frac{\sigma_m}{1-\Psi_m}$$

Intenzitet očvršćavanja /gradijent tangente/ u ma kojoj tački krive $k=k(\Psi)$ je pozitivna funkcija.

$$i = \frac{dk}{d\Psi} = tg\alpha > 0$$

Od početka tečenja /tačka V/ do momenta pojave lokalne kontrakcije /tačka M/ intenzitet očvršćavanja opada što se može izraziti nejednačinom $i(\Psi_1) < i(\Psi)$ za $\Psi_1 > \Psi$



Sl. 3

Ako se proces deformacije prema sl. 3 fiktivno produži do tačke N za koju je $\psi = \psi_n = 1$ /beskonačno istezanje/, tada baš u toj tački [6] intenzitet očvršćavanja ima svoj minimum $i(\psi) = i(1) = i_{min} = 0$ U istoj tački kriva $k = k(\psi)$ ima ekstrem i to maksimum $k(\psi_n) = k(1) = k_n = k_{max}$ / k_n predstavlja fiktivni napon/.

Intenzitet očvršćavanja /gradijent tangente/ je u posmatranoj tački izvjesna funkcija nagiba sekante:

$$i(\psi) = \frac{dk}{d\psi} = tg\alpha = f(\psi) tg\beta = f(\psi) \frac{k - k_o}{\psi} \qquad (6)$$

Eksperimentima je ustanovljeno [6] da se funkcija $f(\psi)$ za niz materijala može izraziti jednačinom:

$$f(\psi) = 1 - \psi^a \qquad (7)$$

Eksponent a je konstanta koja zavisi od materijala. Na taj način može se postaviti uslovna diferencijalna jednačina hipoteze očvršćavanja.

$$\frac{dk}{d\psi} = (1 - \psi^a) \frac{k - k_o}{\psi} \qquad (8)$$

Analitička jednačina krive očvršćavanja

Integracijom diferencijalne jednačine 8

$$\int \frac{dk}{k - k_o} = \int \left(\frac{1}{\psi} - \psi^{a-1} \right) d\psi + \ln b$$

dobiva se opšti integral u obliku: $k = k_o + b\psi \exp\left(-\frac{\psi^a}{a}\right)$ *) (9)

*) Radi jednostavnosti eksponencijalna funkcija sa bazom naturalnog logaritma se označava sa exp. Na pr. $e^x = exp(x)$

Integraciona konstanta slijedi iz graničnog uslova po kome kriva mora prolaziti kroz tačku M.

$$b = \frac{k_m - k_o}{\psi_m} \exp\left(\frac{\psi_m^a}{a}\right) \qquad (10)$$

Ako se vrijednost 10 zamjeni u opštu jednačinu 9 tada se dobiva partikularni integral diferencijalne jednačine 8.

$$k = k_o + \frac{k_m - k_o}{\psi_m} \psi \exp \frac{1}{a}\left(\psi_m^a - \psi^a\right) \qquad (11)$$

Vrijednost određena obrascem 11 ustvari je analitička jednačina specifičnog deformiacionog otpora u funkciji od deformacije.

Određivanje vrijednosti eksponenata a [6]

Sila /opterećenje/ probne epruvete u nekom momentu probe $F = kA$ se može diferencijaliti kao funkcija sa dvije promjenljive.

$$dF = k\,dA + A\,dk \qquad (a)$$

Koristeći obrasce 5 i 9 slijedi da je:

$$A = A_o(1-\psi) \quad i \quad dA = -A_o\,d\psi$$

$$k = k_o + b\psi \exp\left(-\frac{\psi^a}{a}\right) \quad i \quad dk = \frac{b(1-\psi^a)}{\exp\left(\frac{\psi^a}{a}\right)} d\psi \qquad (b)$$

U momentu početka lokalne deformacije /tačka M na sl.1/ sila ima ekstrem /maksimum/ pa je prvi izvod sile po deformaciji jednak nuli

$$\text{Za } \psi = \psi_m \text{ je } \quad F = F_m = F_{max} \quad i \quad \left(\frac{dF}{d\psi}\right)_m = 0 \qquad (c)$$

Koristeći uslov c u postavkama b i a nakon odgovarajućih matematskih operacija eksponent a se može izračunati iz konačnog obrasca:

$$a = \frac{\log\left(1 - \frac{k_m}{k_m - k_o}\,\frac{\psi_m}{1-\psi_m}\right)}{\log \psi_m} \qquad (12)$$

Ovaj eksponent je direktno zavisan od materijala. Da bi se mogao odrediti potrebne su tri karakteristične veličine /k_o, k_m, ψ_m/ koje se dobivaju probama mehaničkih osobina materijala.

Rezultati eksperimenata sa nekim materijalima

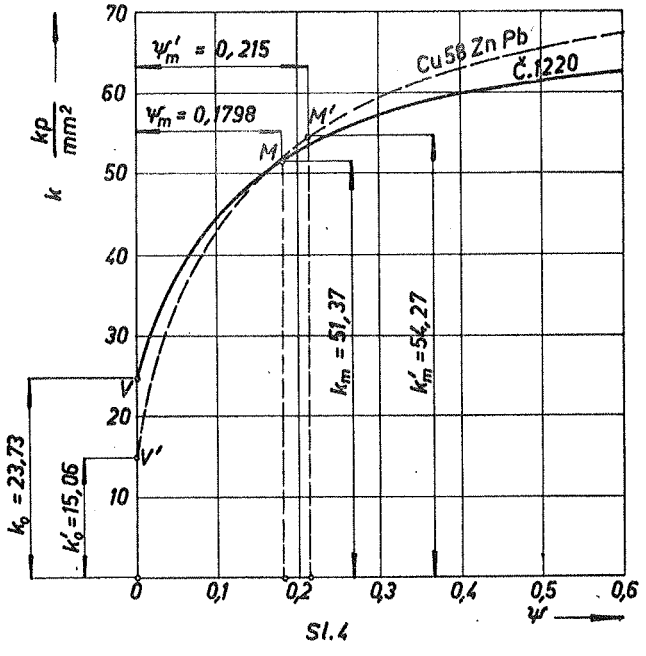
1. Čelik za cementaciju Č.12 20//C 10/
   - Početna površina i stvarni napon početka tečenja probne epruvete /JUS C. A4. 002/

$$A_o = 88{,}486\ mm^2 \qquad k_o \approx \sigma_{0,2} = 23{,}73\ kp/mm^2$$

   - Vrijednosti u momentu početka lokalizacije deformacije/koristi se obrazac 5/.

$$A_m = 72{,}580\ mm^2 \qquad \psi_m = 1 - \frac{A_m}{A_o} = 1 - \frac{72{,}580}{88{,}486} = 0{,}1798$$

$$\sigma_m = 42{,}13\ kp/mm^2 \qquad k_m = \frac{\sigma_m}{1-\psi_m} = \frac{42{,}13}{1-0{,}1798} = 51{,}37\ kp/mm^2$$



Sl.4

- Eksponent a /obrazac 12/ i ostale konstante.

$a = 0{,}305 \quad \frac{1}{a} = 3{,}281 \quad \psi_m^a = 0{,}593$

$$\frac{k_m - k_0}{\psi_m} = \frac{51{,}37 - 23{,}73}{0{,}1798} = 153{,}761$$

Uvrštavanjem ovih vrijednosti u obrazac 11 dolazi se do eksponencijalne jednačine:

$$k = 23{,}73 + 153{,}761\,\psi \exp 3{,}281(0{,}593 - \psi^{0{,}305})$$

na osnovu koje je u intervalu $0 \leq \psi \leq 0{,}6$ konstruisana kriva očvršćavanja za ovaj materijal /sl.4/

2. Mesing Cu 58 ZnPb /Ms 58/

Analognim postupkom dobivaju se podaci:

$k_0 = 15{,}06$ kp/mm² $\quad k_m = 54{,}27$ kp/mm²

$\psi_m = 0{,}215 \quad a = 0{,}310$

Jednačina krive očvršćavanja za ovaj materijal glasi:

$$k = 15{,}06 + 182{,}38\,\psi \exp 3{,}226(0{,}621 - \psi^{0{,}310})$$

Kriva je na sl.4 izvučena isprekidanim linijama.

L I T E R A T U R A

1. O.Hoffman, Sachs Introduction to the theory of plasticity for engineers. Mc GraW - Hill book company. New York, Toronto, London 1953.

2. R.Hill .. The mathematical theory of plasticity. At the Clarendon pres, Oxford 1950.

3. M.V.Storožev, E.A.Popov .. Teorija obrabotki metallov davlenijem. Višŝaja škola, Moskva 1963.

4. N.I.Bezuhov .. Osnovi teoriji uprugosti, plastičnosti i polzučesti. Višŝja škola, Moskva 1961.

5. B.Musafia .. Obrada metala plastičnom deformacijom. I.Dio. Univerzitet u Sarajevu 1965.

6. B.Musafia .. Teoretska analiza dubokog izvlačenja na bazi procesa hladnog očvršćavanja - disertacija, Sarajevo 1963.

B.Musafia

Analytische Methode zur Ermittlung der Formänderungsfestigkeit als Funktion der Verformung

Zür Lösung mancher teoretischen und praktischen Probleme auf dem Gebiet der bildsamen Formung der Metalle nützt man, neben den Gleishgewichtsgleichungen, auch die Fliessbedingung. Die Gestaltänderungshyponenten an einer beliebigen Stelle im inneren eines Körpes, und der beim einachsigen Spannungszustand auftretenden Fliessgrenze auf. Diese Grenze nennt man im algemeinen die Verformungsfestigkeit, oder Formänderungsfestigkeit.
Bei der Kaltverformung vergrössert sich die Verformungsfestigkeit durch die bei der Verformung eintretende Härtung, entsprechend der Grösse der Verformungsgrades. Bis zum Beginn der Einschnürung des metallischen Versuchsstabes kann die Formänderungsfestigkeit sehr einfach, durch den Zerreissversuch ermittelt werden.
Die Verformungsgrade, die in der Praxis in Betracht kommen, sind gewöhnlich grösser als die Einschnürungsverformungsgrade. Deshalb soll man einen analytischen Zusamenhang zwischen der Formänderungsfestigkeit und Verformung aufstellen, die im ganzen Gebiet der bildsamen Formung geltend ist.
In diesem Artikel wurde eine solche Methode betrachtet. In einem Punkte der Verfestigungskurve /Kurve der wahren Spannung/ kann man die Beziehung zwischen des Tangenten - und Snittliniengradient als eine Funktion der Querschnittabnahme ausdrücken. Diese Differentialgleichung kann man integrieren, und so ergibt sich die Formänderungsfestigkeit als eine Exponentialfunktion der Verformung. Der Exponent ist vom Versuchsmetall abhängig. Die Zugkraft /Spannung/ erreicht ihren grössten Wert in dem Augenblick, in dem die gleichmässige Dehnung des Stabes aufhört. Der Punkt bei dem die Einschnürung beginnt ergibt eine mathematische Vorbedingung auf Grund welcher der Exponent ermittelt werden kann.

B. Bendelja*

OSNOVNI POGLEDI NA MODERNIZACIJU ALATNIH MAŠINA**

Danas najčešće računamo da je normalan vijek života alatnih mašina 15 godina. Vrijeme amortizovanja alatnih mašina mnogi uzimaju i nižim (u SAD oca 10 godina). Međutim, u posljednjih dvadesetak godina učinjeni su veliki koraci u razvoju alatnih mašina, pa su novosti i poboljšanja ovih mašina iz godine u godinu sve brojnija. Iz ovog slijedi da alatna mašina građena prije desetak godina, mada je još uvijek sposobna za proizvodnju, po svojim osobinama zaostaje iza mašina građenih posljednjih godina.
Pri idealnoj starosnoj strukturi nekog postrojenja alatnih mašina svake godine bi trebalo izmjeniti p % mašina od njihovog ukupnog broja, gdje je:

$$p = \frac{100}{A}$$

A - broj godina, za koje se mašina amortizuje

Na pr. ako uzmemo da je A = 15, p = 100/15 = 6,67 %.
Idealnu starosnu strukturu parka alatnih mašina dobićemo tada, ako svake godine ugrađujemo u postrojenje p % novih mašina od njihovog ukupnog broja u postrojenju.
U stvarnim životnim uslovima u vrlo malom broju slučajeva vrši se proračunski pravovremena zamjena već amortizovanih alatnih mašina. To znači da je, po pravilu, struktura stvarnih postrojenja alatnih mašina nepovoljnija, sa većom prosječnom starosti od teoretski opravdane. Znači da u stvarnim postrojenjima radi znatan broj mašina čija je starost veća od A godina. Svakako da su tehničko-proizvodne karakteristike ovih mašina inferiorne prema novim mašinama njihove klase. Ako posmatramo slučaj naše zemlje izlazi slijedeće:

Jugoslavija ima približno 100.000 alatnih mašina. Pri vremenu amortizacije mašina A = 15 godina izlazi da bi godišnje trebalo zamjeniti oko 100.000/A = 6666 mašina. Ovaj broj znatno prelazi jugoslovensku proizvodnju u posljednjim godinama. Međutim, treba znati da znatan dio novo proizvedenih mašina odlazi na formiranje novih kapaciteta, a djelomično i na izvoz. Uzevši u obzir i uvoz alatnih mašina u našu zemlju i naprijed rečeno za našu proizvodnju, sa sigurnošću se može tvrditi da se kod nas ne vrši zamjena svih alatnih mašina u planskom roku od A-godina, već da je stvaran rok službe alatnih mašina kod nas znatno duži. Radi toga je i prosječna starost postrojenja alatnih

---

*) Bendelja Božo, dipl.ing., redovni profesor Mašinskog fakulteta u Sarajevu, saradnik Zavoda za alatne mašine, alate i mjernu tehniku u Sarajevu.

**) Saopćenje iz Zavoda za alatne mašine, alate i mjernu tehniku, Sarajevo.

mašina veća od planskog prosjeka, tj. starost $S > \frac{A}{2}$ (S - prosječna starost postrojenja alatnih mašina).

Slična pojava može se konstatovati i u mnogim drugim zemljama, pone-osob u onima sa visokom stopom investiranja u mašinsku industriju.

Činjenica da su u velikom broju proizvodnih postrojenja radile gotovo jedne do drugih najsavremenije visoke proizvodne alatne mašina i one stare 20 pa i više godina, sa mnogo skromnijim mogućnostima, navodila je na postavljanje pitanja da li postoje neke tehničke mogućnosti koje se mogu staviti u razumne i opravdane ekonomske okvire, a koje bi barem djelomično poboljšale tehničko-proizvodne mogućnosti zastarjelih mašina i približile ih mogućnostima savremenih mašina. Preduzimanje niza mjera, kojima se taj cilj postiže, nazivamo modernizacijom tehnički zastarjelih alatnih mašina.

Da bi bio jasan cilj modernizacije, izvršimo kratku analizu osnovnih razlika savremenih strugova i onih starijih.

Jedna od osnovnih karakteristika struga je njihova ugrađena snaga. Snagu za rad struga izražavamo izrazom:

$$N = \frac{F_1 \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \qquad (1)$$

gdje su: N - pogonska snaga struga u KS
v - brzina rezanja m/min
F_1 - sila rezanja kp
η - koeficijent mehaničkog iskorišćenja snage

Ako silu rezanja izrazimo obrascem:

$$F_1 = C_k \cdot t^{x_1} \cdot s^{y_1} \qquad (2)$$

gdje su: C_k - specifični otpor rezanja
t - dubina rezanja mm
s - korak obrade mm
x_1 - koeficijent čija je vrijednost oko 1
y_1 - koeficijent čija je vrijednost oko 0,7 do 0,8

(C_k, x_1 i y_1 zavise od vrste materijala - Podatke za njih uzeti iz knjige Stanković - Alatne mašine knjiga III - sveska 2) prethodni izraz za snagu dobiva slijedeći oblik:

$$N = \frac{C_k \cdot t^{x_1} \cdot s^{y_1} \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \text{ KS} \qquad (3)$$

Odavde zaključujemo, da potrošnja snage na strugu raste upravo srazmjerno sa: - jačinom obradivanog materijala, dubinom i korakom obrade te brzinom rezanja.

Pri obradi na strugu razlikujemo dvije suštinski različite obrade:
- grubu koja ima za cilj da u što kraćem vremenu odstrani suvišan materijal za obradivanog predmeta, pri čemu je geometrijska tačnost

predmeta od drugostepenog značaja, i - finu, završnu obradu koja ima za cilj da se u što kraćem vremenu skine tanak završni sloj, čijim će se skidanjem obezbjediti pravilan geometrijski oblik, dimenzije predmeta i tražen kvalitet obrađivane površine.

Povišenje snage struga može biti korišteno u dva smjera: - kroz povećanje presjeka strugotine, što je karakteristično za grubu obradu, i kroz povećanje brzine rezanja, što je karakteristično za finu obradu. Međutim, povećanje snage struga, korišteno za grubu obradu dovodi do povećanja sila rezanja, pa i do kompleksnog povećanja opterećenja elemenata mašine, do potrebe za povećanjem njihovih dimenzija i do povećanih zahtjeva na krutost mašine. Iskorištavanje povećanja snage za povišenje brzine rezanja traži od mašine mogućnost povišenja broja obrtaja glavnog vratila mašine.

Treba naglasiti da kod mašina namjenjenih za završne obrade treba da bude obezbjeđena vrlo mala prostorna igra njihovih osnovnih elemenata glavnog (glavna osovina) i pomoćnog kretanja (nosač alata) radi osiguranja minimalnih varijacija dimenzija obrađivanog predmeta, te mogućnost zauzimanja malih koraka obrade radi obezbjeđivanja male hrapavosti obrađenih površina.

Stvaranje većih mogućnosti, ugrađivanjem pogonskih mašina većih snaga u tehnički zastarjele strugove, može teoretski ići u dva smjera: - pripremanju mašine za grubu ili finu završnu obradu. Ako se želi ići na osposobljavanje mašine za intenzivan grubi rad potrebno će biti provjeriti sposobnost mašine (njezinog postolja i prenosnih mehanizama) da primi povećana opterećenja. Ako se pak pomišlja na pripremanje mašine za fini završni rad, trebaće provjeriti prenosne mehanizme na veće brzine i veće prenesene snage, a naročito će biti važno provjeravanje postojanosti prostornog položaja onih elemenata koji uslovljavaju geometrijsku tačnost obrađenih predmeta i sposobnost mehanizma pomoćnog kretanja da omogući potrebne male korake obrade. Međutim pri modernizaciji se praktično radi o mašinama koje su duže vrijeme bile u službi, kod kojih se vrlo često mogu utvrditi znatna habanja vođica i ostalih površina koje su bile izložene trenju u toku svoje dotadanje službe. Za svaki konkretan slučaj potrebno je ispitati ekonomsku opravdanost izvršavanja potrebnog remonta čiji bi cilj bio da se mašina osposobi za završne obrade. Modernizacija u cilju povećanja proizvodnih mogućnosti za grubu obradu po pravilu uvijek ima opravdanje.

Za skidanje izvjesne količine strugotine, na pr. pri gruboj obradi, potrebna je određena količina rada. U koliko se taj rad vrši sa većom snagom (bilo da se to u našem slučaju vrši većim silama rezanja ili većim brzinama rezanja ili kombinovano), to će svakako dovoditi do smanjenja tehnološkog (glavnog) vremena rada. To je vidljivo iz slijedećeg:

a) - Ako vršimo rad pri istom presjeku strugotine sa ranijom i novo ugrađenom snagom imaćemo:

$$N_1 = \frac{F_1 \cdot v_1}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \text{ KS} \quad \text{i}$$

$$N_2 = \frac{F_1 \cdot v_2}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \text{ KS}$$

gdje su: N_1 – snaga ugrađene pogonske mašine na nemodernizovanom strugu

N_2 – snaga ugrađena na modernizovanom strugu

v_1 i v_2 – brzina rezanja na nemodernizovanom odnosno na modernizovanom strugu.

Dijeljenjem gornjih jednačina dobivamo:

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{v_2}{v_1} = \frac{n_2}{n_1} \qquad (5)$$

n_1 i n_2 – brojevi obrtaja glavnog vratila na nemodernizovanom modernizovanom strugu.

Poznato je da je tehnološko vrijeme za jedan prolaz obrade predmeta dužine L:

$$t_g = \frac{L}{n \cdot s} \text{ min}$$

s – korak (posmak) pomoćnog kretanja

Dakle za nemodernizovan i modernizovan strug sa ugrađenom snažnijom pogonskom mašinom će biti:

$$t_{g1} = \frac{L}{n_1 \cdot s} \quad \text{i} \quad t_{g2} = \frac{L}{n_2 \cdot s}$$

Napominjemo, da ako je u oba slučaja sila rezanja ista mora biti i $s_1 = s_2 = s$.

Dijeljenjem gornjih jednačina dobivamo:

$$\frac{t_{g2}}{t_{g1}} = \frac{\frac{L}{n_2 \cdot s}}{\frac{L}{n_1 \cdot s}} = \frac{n_1}{n_2} \qquad (6)$$

Uporedujući rezultate jednačina (5) i (6) dobivamo

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{t_{g1}}{t_{g2}} \qquad (7)$$

Iz prethodnog izraza izlazi da pri obradi sa istom silom rezanja tehnološka (glavna) vremena su obrnuto srazmjerna sa ugrađenim snagama na nemodernizovanom i modernizovanom strugu.

b) – Ako vršimo obradu sa istom brzinom rezanja na nemodernizovanom i modernizovanom strugu imaćemo:

$$N_1 = \frac{F_1 \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot \eta} = \frac{C_k \cdot t_1^{x_1} \cdot s_1^{y_1} \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \text{ KS}$$

$$N_2 = \frac{F_2 \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot \eta} = \frac{C_k \cdot t_2^{x_1} \cdot s_2^{y_1} \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot \eta} \, KS$$

$$\frac{N_2}{N_1} = \frac{F_2}{F_1} = \frac{C_k \cdot t_2^{x_1} \cdot s_2^{y_1}}{C_k \cdot t_1^{x_1} \cdot s_1^{y_1}} = \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^{x_1} \cdot \left(\frac{s_2}{s_1}\right)^{y_1} \qquad (8)$$

Naglašavamo da je u slučajevima a) i b) predpostavljena obrada istih materijala).
Tehnološka vremena u prvom i drugom slučaju će biti:

$$t_{g1} = \frac{L}{n \cdot s_1} \qquad \text{i} \quad t_{g2} = \frac{L}{n \cdot s_2}$$

Napominjemo da je $n_1 = n_2$ jer je u oba slučaja predpostavljena ista brzina rezanja.
Dijeljenjem gornjih jednačina dobivamo:

$$\frac{t_{g2}}{t_{g1}} = \frac{\frac{L}{n \cdot s_2}}{\frac{L}{n \cdot s_1}} = \frac{s_1}{s_2} \qquad (9)$$

Supstituiranjem iz jednačine (9) u jednačinu (8) dobivamo:

$$\frac{N_2}{N_1} = \left(\frac{t_2}{t_1}\right)^{x_1} \cdot \left(\frac{t_{g1}}{t_{g2}}\right)^{y_1}$$

$$\frac{t_{g1}}{t_{g2}} = \left(\frac{t_1}{t_2}\right)^{\frac{x_1}{y_1}} \cdot \left(\frac{N_2}{N_1}\right)^{\frac{1}{y_1}} \qquad (10)$$

Iz gornjeg izraza se vidi, da postoji izvjesna obrnuta proporcionalnost, ali ne linearna, između tehnološkog vremena i trošene snage za pogon nemodernizovane i modernizovane mašine, pa i u slučaju promjenjene sile rezanja u obim slučajevima, uslijed promjenjenih presjeka strugotine $A_1 = t_1 \cdot s_1$ i $A_2 = t_2 \cdot s_2$. Iz iznesenog se svakako može zaključiti, da će uvođenje neke snage na mašinu $N_2 > N_1$ dovesti do smanjenja tehnološkog (glavnog) vremena, a samim tim i do povećanja proizvodnosti mašine.

Međutim, analiza čitavog proizvodnog ciklusa pokazuje da osim tehnološkog vremena za njegovo izvršenje treba još vremena, koje istovremeno direktno utiče na proizvodnost posmatrane mašine.

Poznato je da za proizvodnju z elemenata treba ukupno vrijeme

$T_u = t_{pr} + t_k \cdot z$

gdje su:

T_u - ukupno vrijeme potrebno za izradu z elemenata

t_{pr} - pripremno vrijeme potrebno za pripremanje predmetne proizvodnje

t_k - komadno vrijeme je ukupno proizvodno vrijeme za izradu jednog elementa

$$t_k = t_g + t_p + t_m + t_i$$

gdje su:

t_g - glavno (tehnološko) vrijeme je ono u kom se vrši efektivna obrada detalja

t_p - pomoćno vrijeme je vrijeme potrebno za izvršenje pomoćnih radnji: stezanje i vađenja materijala, mjerenje, mjenjanje broja obrtaja mašine, povratni hod i sl.

t_m - međuvrijeme nastaje kad izrada slijedećeg elementa ne počinje odmah po završetku prethodnog nego kasnije (ili ranije)

t_i - izgubljeno vrijeme obuhvata gubitke organitaciono-tehničke prirode u proizvodnom periodu rada.

Glavno vrijeme direktno je vezano za rad mašine, i na njega možemo uticati samo preko faktora uslovljenih radom mašine.

Pomoćno vrijeme ima ogroman značaj u ukupnom bilansu utroška vremena i na njega se može uticati stepenom mehanizacije i automatizacije radnji, koje se vrše unutar tog vremena. Ono može biti skraćeno mehanizovanjem stezanja materijala, ubrzavanjem praznih hodova, mehanizira-njem ili automatiziranjem mjerenja, automatiziranjem praznih hodova i sl.

Dok na smanjenje glavnog vremena možemo uticati samo uticajem na faktore režima rada (presjek strugotine, brzine rezanja), na smanjenje pomoćnog vremena možemo uticati mehaniziranjem i automatiziranjem radnji koje se vrše unutar njega. Na smanjenje izgubljenog vremena utičemo prvenstveno organizacionim faktorima koji povećavaju kontinuiranost odvijanja tehnološkog procesa.

Široka ispitivanja raznih vrsta alatnih mašina izvršena u Naučno-istraživačkom institutu za alatne mašine u Moskvi (ENIMS) pokazala su da se struktura raspodjele vremena unutar radnog ciklusa oštro mijenja ukoliko su kretanja potrebna za izvršenje pomoćnih radnji mehanizovana ili automatizovana. Podaci dati u priloženoj tabeli (tabela I) o tome govore vrlo jasno. Dok je kod univerzalnih strugova čisto vrijeme rezanja 26 % od ukupnog vremena koje mašina nominalno radi, ono se penje na 66 % kod jednovretenih automata i čak 69,5 % kod viševretenih automata. Ovaj podatak ilustruje vrlo jasno zašto s nižim brzinama rezanja pri obradi na automatskim strugovima postižemo znatno veću proizvodnost nego s većim brzinama rezanja pri obradi na univerzalnim strugovima. Na veličinu procentualnog iznosa vremena rezanja u ukupnom vremenu zaposlenosti mašine ima i obim proizvodnje.

Tako kod revolverskih strugova vrijeme rezanja pri pojedinačnoj proizvodnji iznosi 35 % ukupnog vremena zaposlenosti mašine, a pri krupnoserijskoj proizvodnji ono iznosi čak 60,5 %. Prirodno, samo po sebi nameće se pitanje, gdje su uzroci nepovoljnog procenta vremena rezanja kod univerzalnih strugova, a nasuprot ti procenti rastu gotovo do 70 % kod automatskih strugova. Pokušajmo izvršiti analizu tog pitanja.

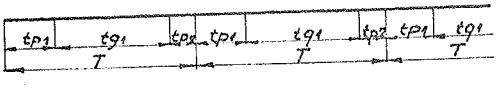
Ukupan rad koji se troši na alatnoj mašini može se podijeliti na rad potreban za skidanje strugotine A_g, i na pomoćni rad A_p potreban za postavljanje materijala za obradu, stezanje materijala, skidanje obrađivanog predmeta i za eventualne druge potrebne radnje. Ukupno utrošeni rad na mašini biti će dakle:

$$A = A_g + A_p \tag{11}$$

Za izvršenje ovog rada utrošiće se vrijeme

$$T = t_g + t_p \tag{12}$$

gdje je: T – vrijeme izrade određene količine proizvodnje,
t_g – vrijeme koje se troši za izvršenje neposrednog rada na skidanju strugotine,
t_p – vrijeme utrošeno na izvršavanje praznih neproizvodnih kretanja i radnji, na pr. za dovođenje i odvođenje alata i materijala, uključivanje raznih mehanizama i slično, to jest gubici vremena unutar radnog ciklusa ili ciklusni gubici vremena.



Sl. 1

Na sl. 1 pokazan je raspored utrošenog vremena pri proizvodnji za koju se troši vrijeme T. Nakon izrade neke količine za vrijeme T za dalju isto toliku količinu trebaće opet vrijeme T itd. Diagram koji pokazuje raspored utroška vremena unutar ciklusa proizvodnje predstavlja karakteristiku tehnološkog procesa izvršavane proizvodnje. Period radnog ciklusa naziva se vremenski razmak, u toku kojeg se izvršavaju svi proizvodni i neproizvodni hodovi radnog ciklusa mašine. Kad znamo period radnog ciklusa, možemo odrediti učestanost ponavljanja ciklusa ili ciklusnu proizvodnost alatne mašine:

$$Q = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_g + t_p} \text{ kom/min} \tag{13}$$

Proizvodnost alatne mašine je količina produciranog proizvoda u jedinici vremena. U zavisnosti od namjene mašine i vrste obrade proizvodnost se može mjeriti raznim jedinicama.

Ako bi imali mašinu kod koje je vrijeme neproduktivnih hodova $t_p=0$, to bi bila idealna mašina. U tom bi slučaju bilo:

$$Q_i = \frac{1}{T} = \frac{1}{t_g} = K \text{ kom/min} \tag{14}$$

jer je: $T = t_g$

Veličina K naziva se tehnološka proizvodnost mašine, i ona predstavlja fiktivnu proizvodnost one alatne mašine koja nema neproizvodnih hodova.

Ako iz izraza (14) uzmemo $t_g = \frac{1}{K}$ i uvrstimo u izraz (13) dobivamo:

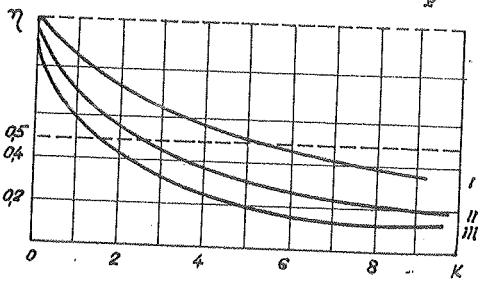
$$Q = \frac{K}{K \cdot t_p + 1} = K \cdot \eta_p \text{ kom/min} \qquad (15)$$

Iz gornjeg izraza zaključujemo da je proizvodnost alatne mašine jednaka proizvodu tehnološke proizvodnosti K i koeficijenta proizvodnosti η_p.

Na osnovu prethodnih izraza zaključujemo da je:

$$\eta_p = \frac{1}{K \cdot t_p + 1} = \frac{Q}{K} = \frac{Q}{Q_i} = \frac{t_g}{T} \qquad (16)$$

Koeficijent proizvodnosti mašine je dakle odnos proizvodnosti mašine i njezine tehnološke proizvodnosti, ili odnos vremena radnih hodova i perioda ciklusa. Veličina koeficijenta proizvodnosti karakteriše neprekidnost procesa i vremensko iskorištenje mašine. Prema gornjim izrazima on zavisi od veličine t_p.

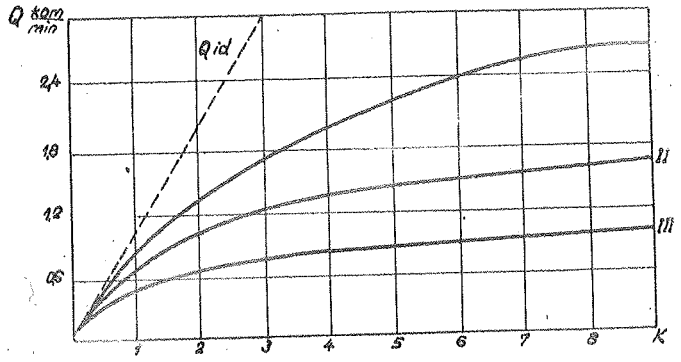


Sl. 2.

Na sl. 2 prikazana je zavisnost koeficijenta proizvodnosti η_p od tehnološke proizvodnosti K, a za tri vrijednosti t_p. Iz dijagrama je vidljivo da povećanje tehnološke proizvodnosti, mada povećava proizvodnost alatne mašine, na drugoj strani smanjuje veličinu koeficijenta proizvodnosti. Prividna protivriječnost govori o tome, da je povišenje proizvodnosti moguće postići djelovanjem oba faktora - tehnološkom proizvodnošću i koeficijentom proizvodnosti.

Iz izraza (16) jasno je vidljivo da porast tehnološke proizvodnosti dovodi do smanjenja koeficijenta proizvodnosti. Iz navedenoga izlazi kao nužan zahtjev, da se pri povećanju tehnološke proizvodnosti istovremeno smanjuje i vrijeme neproizvodnih hodova t_p. To znači da pri uvođenju nove tehnike koja uslovljava povišenje tehnološke proizvodnosti treba korjenito mijenjati i ostale uslove rada i izvršiti suštinsku reorganizaciju radnog procesa.

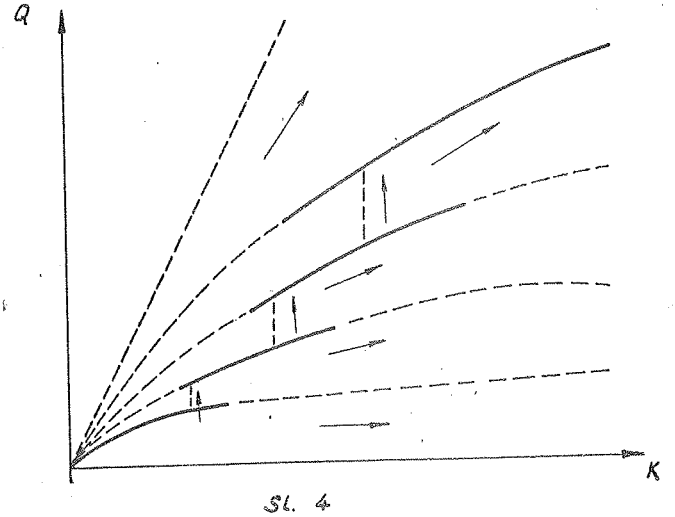
Na sl. 3 dat je grafikon zavisnosti proizvodnosti Q kom/min. od tehnološke proizvodnosti K kom/min za tri različite mašine za istu namjenu. Tačkasta linija odgovara idealnoj mašini koja ne troši dio vremena na neproizvodne hodove. Dok je kod idealne mašine $K = Q_i$, kod stvarnih mašina ciklusna proizvodnost manja je od tehnološke. Iz dijagrama je vidljivo da se povećanjem tehnološke proizvodnosti linija



Sl. 3

proizvodnosti Q sve više odvaja od linije idealne mašine, u koliko su gubici na neproizvodne hodove ostali isti. Da bi postigli zadovoljavajuće porast proizvodnosti Q, povećanje tehnološke proizvodnosti K mora biti praćeno odgovarajućim smanjenjima neproizvodnih hodova.

Kako se povećanje proizvodnosti obično rješava sredstvima koja omogućuju povećanje tehnološke proizvodnosti, istovremeno treba obezbjediti i smanjenje vremena neproizvodnih hodova. Ovaj posljednji zahtjev dovodi nas do iskorišćavanja principa automatizacije. Proces smanjenja vremena neproizvodnih hodova može da se izvodi samo uz smanjenje uticaja čovjeka na odvijanje neproizvodnih hodova. Kad se problem posmatra sa historijskog aspekta dolazi se do konstatacije da je razvoj pojedinih vrsta alatnih mašina bio skokovit, pri čemu su se naizmjenično pojavljivali porasti proizvodnosti uzrokovani porastom tehnološke proizvodnosti i porasti uzrokovani smanjenjem vremena neproizvodnih hodova. Takav historijski razvoj proizvodnih karakteristika alatnih mašina principijelno je pokazan na grafikonu 4. Na grafikonu se vidi da sa smanjenjem t_p prelazimo na linije proizvodnosti koje su bliže liniji idealne mašine. Grafikon jasno pokazuje spomenutu skokovitost razvoja alatnih mašina.



Sl. 4

Dosadašnja razmatranja proizvodnosti bila su vezana za proizvodni ciklus. Ako želimo da odredimo proizvodnost alatne mašine za duži period, ona će se pokazati nižom od one koju smo odredili izrazima (13) i (15). Razlog tome je činjenica, da u ovom slučaju osim ciklusnih gubitaka vremena t_p ima i vanciklusnih gubitaka vremena t_n i oni dovode do

sniženja proizvodnosti posmatrane u dužem vremenskom periodu. Proizvodnost alatne mašine, kad se uzmu u obzir i vanciklusni gubici vremena, biti će:

$$Q = \frac{1}{t_g + t_p + t_n} \quad \text{kom/min} \qquad (17)$$

t_n - vanciklusni gubitak vremena, tj. vrijeme zastoja mašine redukovan na jedinicu proizvodnje

Uzroci vanciklusnih gubitaka vremena mogu da budu veoma različiti: - zamjena i podešavanje otupljenih alata, opravka i podešavanje pojedinih mehanizama mašine, kontrola proizvoda, narušavanje podešenosti mašine ili pripremanja za novu proizvodnju.

Razvoj alatnih mašina okarakterisan je težnjom da se smanje gubici I-vrste, ciklusni gubici. Ova težnja svakako da ima mnogo opravdanja. Podaci dati u tabeli I govore o tome veoma rječito. Savremene univerzalne alatne mašine građene su tako da se što manje vremena troši na doturanje materijala u položaj za obradu, za stezanje materijala, njegovo otpuštanje nakon obrade, te da se prilaženje alata obradjivanom materijalu vrši što većom brzinom. Dakle ako želimo da i nekoj tehnički starijoj mašini damo u što većoj mjeri osobine savremene mašine morati će se kod nje smanjivati gubitke I-vrste uslovljene njezinom konstrukcijom i koncepcijom. Puteva, metoda i sredstva za to ima. U najvećem broju slučajeva postoje mogućnosti da se i na starijim mašinama ugrade dopunski uređaji koji će omogućiti lakše i brže doturanje materijala za obradu u radni položaj, brže i efikasnije stezanje obrađivanog materijala, omogućiti brže i prostorno komandovano prilaženje alata materijalu za obradu.

Naše razmatranje zaključili bi slijedećim. Intenzifikacija režima obrade treba da bude polazna tačka u preduzimanju mjera za povišenje proizvodnosti. Međutim ona mora da bude praćena i istovremenim skraćenjem neradnih hodova mašine. U koliko to nije slučaj intenzifikacija režima obrade dovodi do smanjenja postojanosti alata i do povećanja troškova. Ovaj princip vrijedi kako za pojedinu mašinu tako i za čitavo postrojenje. Bez istovremenog radikalnog smanjenja i organizacionih gubitaka ne mogu se postići željeni i mogući efekti.

Akcije koje se preduzimaju na planu modernizacije postojećih mašina moraju da imaju svoje potpuno ekonomsko opravdanje. Svaki plan modernizacije treba da bude praćen proračunom ekonomske opravdanosti planiranog poduhvata. Taj račun mora biti korektan. On mora da uzima u račun troškove modernizacije na jednoj strani, a njezine ekonomske efekte u planiranoj proizvodnji na drugoj.

Modernizacija ne mora da bude "generalna", - da daje maksimalno moguća poboljšanja proizvodnih mogućnosti svih organa mašine, i svih njezinih funkcija. Modernizacija na najefikasniji način treba da rješava postavljeni zahtjev na mašinu, a taj zahtjev mora da bude precizan i jasan. U nekom slučaju težište modernizacije na pr. moraće se orijentisati na poboljšanje stezanja materijala, a u nekom drugom na omogućavanje komandovanog vođjenja alata, u nekom slučaju biće potrebne, korisne i opravdano preuzimanje mjera u dva ili više smjerova.

Pravac djelovanja u smislu rješavanja tehničkih pitanja biće određen rezultatima ekonomske analize konkretnog slučaja.

VRSTA MAŠINE	Pojedinačna maloserijska proizvodnja					Krupnoserijska i masovna proizvodnja					
	Vrijeme rezanja (glavno vrijeme)	Pomoćno vrijeme prije početka rezanja	Vrijeme tehničkog posluživ. radnog mjesta	Zavisno-pomoćno vrijeme	Izgubljeno vrijeme radi tehničkih i organizacionih uzroka	Vrijeme rezanja (glavno vrijeme)	Pomoćno vrijeme prije početka rezanja	Vrijeme tehničkog posluživ. radnog mjesta	Zavisno-pomoćno vrijeme	Vrijeme odmora i lična potrebe radnika	Izgubljeno vrijeme radi tehničkih i organizacionih uzroka
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Univerzalni strug	28,0	24	5,0	16,0	29						
Revolverski strug	35,0	25	7,0	11,0	22	60,5	18	6	2,5	3,0	10
Jednovreteni više-alatni poluautomat						55,5	19	10	1,5	5,0	9,0
Vertikalni više-vreteni automat						53,0	14	14	1,0	10,0	7
Jednovreteni automat za obradu šipki						66,0	13	6	-	4,0	11
Viševreteni automat za obradu šipki						69,5	11	5	-	4,5	10

B. Bendelja

Grundanschauungen für die Modernisation von Werkzeugmaschinen

Werkzeugmaschinen, die vor ungefähr zehn Jahren gebaut sind, wenn-auch noch immer erzeugungsfähig, bleiben in ihren Eigenschaften weit zurück nach Maschinen die in neuerer Zeit erbaut sind. Der Austausch von Werkzeugmaschinen in den Betrieben erfolgt in der Regel nicht innerhalb der vorgesehenen Amortisationsfrist, so dass wir uns häufig mit Maschinen verschiedenen Alters und verschiedener Erzeugungsfähigkeiten begegnen, die nebeneinander im Betriebe stehen. Eine solche Situation zwingt uns selbstverständlich zur Aufwerfung der Frage, ob irgendwelche technische Möglichkeiten bestehen dieselben in verständliche und technisch-ökonomisch gerechtfertit eingerahmt werden können um solche veraltete Maschinen wenigstens teilweise in ihren technischen Erzeugungsmöglichkeiten neuzeitigen Maschinen anzunähern.Das Ziel solcher technischen Massnahmen nennen wir Modernisation von Werkzeugmaschinen.

Die Tatsacke, dass die Dauer des Erzeugungs-Zykluses wie auch die Erzeugung selbst nicht nur von der technologischen Erzeugung abhängig sind, sondern auch von den Hilfszeiten innerhalb des Zykluses. Auf die Grösse der Hilfszeiten kann man mit dem Grad der Mechanisation und Automatisierung der Arbeiten innerhalb dieser Zeit einwirken. Die Hilfszeiten können durch Mechanisation, Material-Einschränkung,

Beschleunigung der Leerläufe, Mechanisation und Automatisierung der Messungen, Automatisierung der Leerläufe u. Anderem gekürzt werden. Weitläufige Untersuchungen haben gezeigt, dass sich die Struktur der Zeiteinteilung innerhalb eines Arbeits-Zykluses scharf ändert, inwiefern man die Bewegungen für die Hilfsarbeiten mechanisiert oder automatisiert. Mit der Einführung von Massnahmen zur Verkürzung der Hilfszeiten, kann die Erzeugung auf Werkzeugmaschinen bedeutend erhöht werden. Der Kampf um die Produktions-Erhöhung auf Werkzeugmaschinen sind gleichzeitig die Bestrebungen für die Erhöhung der technologischen Erzeugung und um die Verkürzung aller Arten von Zeitverlusten innerhalb und ausserhalb eines Zykluses die sich im technologischen Prozess zeigen. Die Intensivisierung des Regims der Bearbeitung muss gleichzeitig von der Verkürzung der Leerläufe der Maschine begleitet sein, wie auch mit der Abnahme der Verluste in der Organisation. Ohne der gleichzeitigen Einwirkung in allen drei Richtungen der Modernisation von Werkzeugmaschinen können keine vollen zufriedenstellende Resultate ereicht werden.

B. Milčić *)

ODRŽAVANJE I MODERNIZACIJA ALATNIH STROJEVA **)

Održavanje alatnih strojeva datira od onog dana, kad su izrađeni i pušteni u pogon prvi alatni strojevi. Kako su se razvijali alatni strojevi i što su postajali savršeniji, to su i problemi održavanja postali složeniji. Mnogo je godina prošlo, dok je na naučnim osnovama i dugogodišnjoj praksi uspjelo pronaći najpovoljniji sistem održavanja, koji je s uspjehom mogao riješiti kompleksne probleme održavanja. Pred proizvođače alatnih strojeva postavljeni su zadaci, da proizvedu efikasne, visoko produktivne alatne strojeve, koji će čovjeka za vrijeme rada na stroju osloboditi fizičkog i umnog napora. S druge strane služba održavanja ima zadatak da omogući ispravan rad stroja, da osigura nesmetano odvijanje proizvodnje, što od nje traži sektor proizvodnje. Sigurno da uspješan rad službe održavanja nije zavisan samo o njezinoj djelatnosti, nego i o djelatnosti niza drugih, i o čitavom nizu faktora, a što su dosadašnja istraživanja i pokazala. Efikasnost službe održavanja zavisna je i o kvaliteti instaliranih strojeva. Ovdje se u prvom redu nisli na kvalitetu ugrađenog materijala i standardnih elemenata. Pored toga, važna su i konstruktivna rješenja onih detalja, koji su izloženi trošenju, zatim efikasno rješenje sistema podmazivanja i zaštite stroja od prašine, kao i od nepropisnog rukovanja. Kako svaki stroj prema preporuci proizvođača može efikasno da radi samo uz određene režime obrade, to je tehnička priprema rada (tehnolozi i konstrukteri alata) dužna u propisivanju tehnološkog procesa i odabiranja alata i naprava voditi računa o tehničkim karakteristikama stroja i njegovim mogućnostima. Na taj način će biti osigurano ispravno iskorištavanje strojnog kapaciteta, a što s druge strane omogućava i optimalni vijek trajanja stroja i traženu tačnost u obradi dijelova. Radnik koji poslužuje alatni stroj također je jedan od onih koji mogu veoma mnogo utjecati na efikasnost održavanja. On mora biti upoznat s rukovanjem stroja i svim mogućnostima, kao i tehničkim karakteristikama stroja kojim rukuje. Osim poznavanja mehanizama i funkcije stroja, kao i načina rukovanja, radnik je dužan pružiti stroju odgovarajuću tehničku njegu. U redovne dužnosti radnika u vezi sa održavanjem spadaju dnevno čišćenje, podmazivanje i odgovarajući postupak, koji osigurava osjetljive površine od udaraca odnosno oštećenja.

I na kraju efikasnost održavanja zavisna je o organizaciji službe održavanja, sistemu održavanja koji se primjenjuje, kao i o kvaliteti ljudstva i opremljenosti radionice službe održavanja. Već se iz dosadašnjeg izlaganja može uočiti, da zadatak službe održavanja nije jednostavan, da nije skoncentriran samo na jedno usko polje rada,

---

*) Branimir Milčić, dipl.ing., šef tehničke pripreme pogona Održavanje tvornice alatnih strojeva "Prvomajska", Zagreb Žitnjak b.b.

**) Saopćenje iz tvornice "Prvomajska"

već da ju njezina djelatnost dovodi u vezu sa čitavim nizom službi i djelatnosti, koje zajedno rješavaju pitanja održavanja. Kako se svi osnovni zadaci održavanja temelje na zahtjevima proizvodnje, to je danas najefikasniji sistem održavanja, koji se primjenjuje u održavanju u stvari sistem PPO (Plansko Preventivno Održavanje). Spomenuti sistem obuhvatio je sve probleme održavanja, a osim toga uspio je definirati zadatke svih onih koji učestvuju kod eksploatacije alatnih strojeva.

Sistem PPO zahtjeva od službe održavanja da vrši stručni nadzor nad radom stroja, da obavlja periodične planske preglede, planske male i srednje popravke, a prema mogućnosti generalne popravke. Ovdje treba napomenuti da sistem PPO predviđa kvalitetan generalni popravak jedino kod proizvođača alatnog stroja ili u specijaliziranoj remontnoj radionici, a tek ukoliko nema tih mogućnosti, generalni popravak obavlja se u remontnoj radionici vlastitog poduzeća. Kako tehnologija obrade stalno napreduje, a zahtjevi na proizvodnost su sve oštriji, to se od strane tehničke pripreme službi održavanja stalno postavljaju zahtjevi za modernizaciju postojećeg strojnog parka. Osim toga nužno je i u svrhu savladivanja svih ovih zadataka da služba održavanja održava i kontakt sa proizvođačima alatnih strojeva, kako bi mogla osigurati potrebne rezervne dijelove i dokumentaciju nužnu za ispravnu eksploataciju instaliranih alatnih strojeva. Veoma je važna saradnja službe održavanja i proizvođača alatnih strojeva na polju modernizacije. Među svojim dužnostima služba održavanja ima i zadatak da podučava. Tako je služba održavanja dužna uputiti radnika, kako će njegovati stroj na kome radi, jer ispravna tehnička njega sigurno će produžiti vijek trajanja stroja a također i smanjiti zastoje u proizvodnji uslijed kvarova i lomova. Periodični planski pregledi omogućavaju službi održavanja da kontrolira vijek trajanja pojedinih dijelova stroja i da kontrolira tačnost rada stroja. Ovakovi plansko periodični pregledi naročito mnogo doprinose stvaranju popisa rezervnih dijelova, kao i određivanja vijeka trajanja istih, a također omogućavaju pripremu planskih popravka i planskih zamjena dijelova koji se troše, a to daje ovoj službi preventivnih karakter. Na osnovu planskih pregleda definiraju se zadaci malog i srednjeg planskog popravka. Opseg radova kod malih i srednjih popravaka zavisi o načinu eksploatacije stroja o tehničkoj njezi kao i o kvaliteti alatnog stroja. Planski generalni popravak može se obavljati u okviru službe održavanja ukoliko ona posjeduje radionicu za generalne popravke, a kako je već i ranije napomenuto, najpovoljniji slučaj obavljanja generalnog popravka je u centralnoj specijaliziranoj remontnoj radionici ili uslužnoj radionici kod proizvođača alatnih strojeva.

Organizacija službe održavanja treba biti prikladna, takova da može obaviti sve zadatke koje pred nju postavlja sistem PPO. Služba održavanja treba u tom slučaju da ima snažnu pripremu i odgovarajuće brigade u radionicama za obavljanje postavljenih zadataka na održavanju. Priprema održavanja treba imati:

- Plansku službu
- Konstrukcioni biro

- Tehnološki biro
- Plan materijala i skladište RD (Rezervnih dijelova)
- Operativa

Radionica održavanja treba imati:

- Brigade za održavanje po proizvodnim pogonima
- Brigade za održavanje u remontnoj radionici za obavljanje planskih srednjih i generalnih, kao i vanplanskih popravaka
- Strojnu obradu za popravak i izradu dijelova
- Elektroradionica za popravak elektro-energetskih uređaja
- Brigada za ličenje i zaštitu od korozije

Na osnovu postavki sistema PPO proističu zadaci pojedinih odjelenja u službi održavanja kako slijedi:

- PLANSKA SLUŽBA ima organiziranu kartoteku svih instaliranih strojeva sa uputstvima uporabe, popisom rezervnih dijelova i ostalim dokumentima potrebnim za provođenje sistema PPO. Planska služba izrađuje višegodišnje, godišnje i mjesečne planove održavanja strojeva, planira sredstva za izvršenje planiranih zadataka. Osim toga, planska služba prati izvršenje zadataka postavljenih sistemom PPO, a na osnovu postignutih rezultata korigira i usavršava sistem PPO i prilagođava ga potrebama tvornice. Na osnovu planova koje razrađuje planska služba proizlaze svi zadaci ostalih odjelenja. Posebni zadaci planske službe jesu kontakti sa proizvođačima instaliranih strojeva u vezi usavršavanja sistema održavanja i osiguranja rezervnih dijelova i obavljanja planskih generalnih popravaka kod proizvođača alatnih strojeva ili u specijaliziranoj remontnoj radionici.

- KONSTRUKCIONI BIRO u službi održavanja ima zadatak da izrađuje tehnološke postupke za planske male, srednje i generalne popravke, kao i za izradu rezervnih dijelova.

- PLAN MATERIJALA I SKLADIŠTE RD (rezervnih dijelova) ima zadataku u službi održavanja da na osnovu normativa materijala, spiskova rezervnih dijelova i zahtjeva planske službe osigurava potreban materijal i rezervne dijelova te da drži na skladištu, vodi kartoteku materijala i naručuje preko nabavne službe sav osnovni i pomoćni materijal.

- OPERATIVA ima zadatak da lansira u rad popravke i izradu dijelova za remont i održavanje strojeva i prati odvijanje radova, a dijelove dostavlja od operacije na operaciju.

- BRIGADE ODRŽAVANJA PO POGONIMA imaju zadatak da obave tekuće održavanje strojeva i sve zadatke na planskim pregledima i planskim malim i srednjim popravcima. Brigade se sastoje od montera, elektro-montera i podmazivača.

- BRIGADE ZA OBAVLJANJE PLANSKIH SREDNJIH I GENERALNIH POPRAVAKA rade u posebnoj radionici, opremljenoj za srednje i generalne popravke, kao i za modernizaciju alatnih strojeva.

- STROJNA OBRADA ima zadatak da strojno popravi sve dijelove za popravke kao i sve rezervne dijelove za obavljanje preventivnog održavanja.

- ELEKTRORADIONICA obavlja popravak svih elektroinstalacija i opreme na strojevima i energetskim postrojenjima.

- BRIGADA ZA LIČENJE obavlja ličenje svih alatnih strojeva prilikom srednjih i generalnih popravaka i zaštićuje površine izložene koroziji.

Ako se pokuša sa tehničko-ekonomske strane osvjetliti djelatnost službe održavanja i koristi koju donosi sistem PPO, može se navesti niz racionalizacija, koje su ne samo od direktne koristi za dotičnu tvornicu, već za ekonomiju privrede cijele nacije.

Smanjenje zastoja u proizvodnji, kao i povećanje vijeka trajanja strojeva donosi velike uštede svakoj proizvodnji, odnosno tvornici. Smanjenje zastoja može se najefikasnije provesti u slučaju osiguranja potrebnih rezervnih dijelova i stalnog stručnog nadzora nad alatnim strojevima, te provođenjem planskih pregleda, malih, srednjih i generalnih popravaka. Ako se pak nabroje zadaci službe održavanja na polju modernizacije postojećeg strojnog parka kao na primjer:

- Bolje iskorištenje reznog alata (povećanje brzine glavnog vretena)
- Skraćenje pomoćnih vremena
- Povećanje tehnoloških mogućnosti stroja
- Specijalizacija tehnoloških zahvata
- Automatizacija tehnološkog procesa
- Primjena male automatizacije
- Povećanje tačnosti obrade
- Modernizacija podmazivanja
- Povećanje sigurnosti pri radu

vidi se da provođenje ovakove modernizacije znatno utječe na povećanje produktivnosti i rasterećuje radnika, koji radi za strojem, (rad na više strojeva) čime se postižu daljnje uštede odnosno povećanje proizvodnje na istom prostoru sa istim strojevima i uz povećanje tačnosti obrade.

Dosljednim provođenjem generalnog popravka u centralnoj remontnoj radionici ili u uslužnoj remontnoj radionici kod proizvođača alatnih strojeva postiže se slijedeće:

- Kvalitetniji generalni popravak
- Skraćenje roka obavljanja generalnog popravka, a time i vremena stajanja stroja
- Postoji mogućnost brzog provođenja modernizacije
- U slučaju provođenja zamjene strojeva, stajanje strojeva svodi se na minimum od nekoliko dana

Na taj način postižu se velike uštede i povećava kvalitet alatnih strojeva u eksploataciji ne samo u pojedinoj tvornici, nego i u cijeloj privredi zemlje. Također se mogu postići velike uštede i povećanje kvalitete novo proizvedenih alatnih strojeva saradnjom održavanja i proizvođača alatnih strojeva, što je objašnjeno na par primjera.

Na vijek trajanja pojedinih dijelova koji se troše, uz odgovarajuću kvalitetu materijala, bez sumnje veliki utjecaj ima način podmazivanja. Redovno se pokazalo, da velika istrošenja, kao i velike havarije nastaju na pojedinim dijelovima baš radi neriješenog ili djelomično riješenog sistema podmazivanja. Zastoji koji radi toga nastaju

u proizvodnji često su veoma dugi. Podmazivači koji rade u službi održavanja nisu u stanju pratiti ispravnost podmazivanja na svim strojevima i mjestima za podmazivanje. Stoga je i dužnost radnika koji radi za strojem da obavlja dnevna i sedmična podmazivanja. Međutim, najčešće se događa da je radnik skoncentriran na proizvodni zadatak te zanemari podmazivanje i čišćenje. Osim toga, ako mjesta za podmazivanje nisu uočljiva i pristupačna radnik može i zaboraviti na njih, pa podmazivanje nije izvršeno. Danas, međutim, postoje sistemi podmazivanja, koji potpuno rasterećuju radnika za strojem od tog posla, tako da putem signalnih uređaja daju radniku na znanje, da podmazivanje nije u redu, ili sigurnosni uređaj jednostavno zaustavi daljnji rad stroja i na taj način sprečava havarije ili povećana istrošenja pojedinih dijelova stroja. Ovakovi sistemi podmazivanja, koji isključuju mogućnost greške, rezultat su saradnje službe održavanja i projektanata modernih strojeva.

Pored navedenog primjera može se govoriti o slijedećem problemu, veoma važnom za službu održavanja, a to je zamjenjivost istrošenih dijelova alatnog stroja. Poznati su dosadašnji problemi koji su proizlazili upravo iz nezamjenljivosti istrošenih dijelova. Za kritične pozicije odnosno dijelove alatnog stroja nužno je držati poluobrađene dijelove ili čak samo sirov materijal umjesto gotovog rezervnog dijela. Prvi razlog tome je sistem tolerancije a drugi je taj da dijelovi nisu tako konstruirani da bi se istrošeni bez smetnje mogli odstraniti i novi montirati u stroj, a da pri tome nije potrebno pripasivanje. Treći važan problem kod zamjene rezervnih dijelova jeste i dostupnost onih dijelova koji su izloženi trošenju. Zastoj uslijed popravka ili zamjene istrošenog dijela ili sam mali popravak traje vrlo kratko vrijeme u koliko su istrošeni dijelovi lako pristupačni za demontažu i montažu, dok će naprotiv dugo trajati, ako je kao u nekim slučajevima potrebno demontirati pola stroja da bi se došlo do traženog istrošenog dijela. I tu je saradnja službe održavanja i proizvođača alatnih strojeva dala pozitivne rezultate i neprocjenjive koristi.
Rezultat ekonomije proizvodnje i poboljšanja sistema održavanja danas predstavljaju ugradbeni sistemi a kod hidraulike odvojeni ventili umjesto nekadašnjih kompletnih blokova, što omogućava veoma jednostavnu zamjenu istrošenog ili pokvarenog mehanizma, uz minimalan zastoj. Tako su u stvari projektanti i konstrukteri alatnih strojeva udovoljili u izvjesnom smislu težnji službe održavanja i to uvođenjem centralnih sistema podmazivanja i izgradnjom standardiziranih ugradbenih jedinki. S druge strane, novi strojevi su visoko produktivni, pa svaka minuta stajanja zbog popravaka ili pregleda donosi znatno veće gubitke u proizvodnji, te stavlja pred službu održavanja znatno teže zadatke i naprezanja. Na poluautomatiziranim i automatiziranim strojevima rade radnici poslužioci na više strojeva, a potrebne kvalifikacije za posluživanje takovih strojeva su niske. Kako u ovakovim slučajevima rad na više strojeva, kao i radna snaga nižih kvalifikacija još više smanjuju stručni nadzor nad strojevima, to služba održavanja mora povećati pažnju i stručnost svog osoblja, kako bi s uspjehom mogla obaviti svoj zadatak održavanja alatnih strojeva. Tako je u ovoj novonastaloj situaciji koja se postepeno pojavljuje i kod

nas potrebno da konstrukteri alatnih strojeva još bolje usavrše mogućnosti održavanja t. j. da na prijedloge službe održavanja podese konstrukciju stroja, da primjene prikladne materijale i omoguće jednostavnu zamjenu rezervnih dijelova, a da po mogućnosti konstruiraju podsklopove tako, da elementi koji se troše automatski kompenziraju sva nastala istrošenja. Uvođenjem automatiziranih linija, transfer linija, programiranih alatnih strojeva u proizvodne hale, zadaci službe održavanja će još više porasti, a zahtjevi na stručnost ljudstva i opremljenost radionica službe održavanja biti će još više, dok će se tehnologija popravaka morati znatno usavršiti.
Iz ovog izlaganja je vidljiva potreba u saradnji službe održavanja proizvođača i projektanata alatnih strojeva, kao niz rezultata koje je do danas dala ovaka saradnja. Provođenjem sistema PPO stvorena je bogata riznica podataka, na osnovu kojih su projektanti i konstruktori usavršavali i modernizirali svoje konstrukcije, a služba održavanja, koristeći se rezultatima poboljšanja na novim strojevima i koristeći ugradbene jedinke za pogon, za stezanje, za posmak i t.d. modernizirala je na toj osnovi postojeći strojni park, te ga na taj način dovodi po kvaliteti i proizvodnosti u rang s novo proizvedenim strojevima. Nužno je obnavljati strojni park novim modernim alatnim strojevima, ali je isto tako važna činjenica, da se uz smanjene investicije modernizira postojeći strojni park, što jasno mora imati svoju tehničku i ekonomsku opravdanost.

Da bi i služba održavanja i proizvođači alatnih strojeva mogli što uspješnije djelovati, nužno će biti što intenzivnije djelovati na razvoj prateće industrije, koja se treba specijalizirati za proizvodnju i rješavanje osnovnih elemenata pneumatike i hidraulike, zatim za izradu standardnih ugradbenih jedinki, kao i za proizvodnju odgovarajuće elektroopreme.

Proizvodnja alatnih strojeva treba biti raspodijeljena među proizvođače tako da se ne prekrivaju u istim tipovima alatnih strojeva. Treba težiti da se proizvodne hale naših tvornica opreme modernim i tipiziranim strojnim parkom, čime bi posao službe održavanja bio znatno olakšan.
Kada se o održavanju i modernizaciji alatnih strojeva govori kao o dva pojma, koja su u ovom referatu povezana, može se zaključiti, da sistem PPO djeluje na modernizaciju same službe održavanja, na modernizaciju same službe održavanja, na modernizaciju postojećeg strojnog parka, a time u vezi i na modernizaciju tehnologije proizvodnje, te na kraju djeluje i na razvoj i modernizaciju novih alatnih strojeva, gledano s aspekta održavanja. Teško je danas postaviti granice i između ta dva pojma, a isto je tako teško i sagledati koliko će se oni međusobno u budućnosti povezati. Sigurno je, da na tom polju i sistemu održavanja treba intenzivno raditi, sa puno ozbiljnosti, te razvoju održavanja treba dati odgovarajući značaj.

Cilj ovog izlaganja jeste da osvijetli održavanje alatnih strojeva sa više strana i da doprinese daljnjem usavršavanju ove djelatnosti. Ova izlaganja trebala bi da nas potaknu na razmišljanje o tome koliko pažnje posvećujemo toj službi i da li ta služba u koliko su u nju uložena odgovarajuća sredstva daje zaista ono što bi trebala dati.

Može se konstatirati da djelatnost ove službe nije jednostavna i da se ona stalno razvija idući u korak sa razvojem alatnih strojeva. Do danas se održavanje u proizvodnji smatralo nužnim zlom; danas međutim ono postaje ravnopravni partner sa proizvađačima i njihov koristan saradnik. Do nedavno se nije mjerila djelatnost održavanja, a danas se već prate zastoji u proizvodnji u procentima, kao i povećanje proizvodnosti moderniziranih postojećih strojeva i opreme u milijardama dinara.

Na kraju se može kazati da je održavanje postalo veoma aktuelno, a svoj značaj je dobilo bez sumnje sistemom PPO, te je preko njega postiglo modernizaciju vlastite djelatnosti, postojećih alatnih strojeva i utjecaj na modernizaciju novih alatnih strojeva.

B. Milčić

Instandhaltung und Modernisation der Werkzeugmaschinen

Die grundlegende Aufgabe der Instandhaltung überhaupt, besonders auch der Werkzeugmaschinen besteht darin, dass man eine ungestörte, stabile und richtige Erzeugung in einzelnen Betrieben bzw. Fabriken versichert.
Nebst allen grundlegenden Aufgaben hat die Instandhaltung mit dem Zusammentreffen der Umstände auch die Aufgabe übergenommen, mit Rücksicht auf schnelle Entwicklung der Technologie, den bestehenden Maschinenpark zu modernisieren und im gewissen Sinne die Modernisation der neuen Werkzeugmaschinen in Verbindung mit der Instandhaltung zu beeinflussen.

Der System der plan-präventiven Instandhaltung (PPI) basiert heute auf wissenschaftlichen Anlagen, deren Gründe nachträglich 30 bis 40 Jahre aufgestellt sind. Die Ergebnisse der PPI System werden in allen fortschrittlichen Industrien zugute gekommt, auch die Entwicklung dieses Systems ist unvermeidlich mit der Entwicklung der Automatisierung des Produktionsprozesses gebunden. Der PPI System fürte zur Erkenntnis, dass die Instandhaltung des Maschinenparks sovohl vom Instandhaltungdienst als auch von vielen anderen Faktoren abhänging ist, die den breiten Kreis der Menschen verpflichten. Es ist in der ersten Linie von der Qualität der produzierten Maschinen von der Exploitationsweise der Maschinen abhängig, was sich auf Anwendung der vorgeschriebenen Arbeitsregime bezieht, dabei hat die richtige Handlug, die Durchführung der technischen Maschinenpflege den Einfluss auf die Leistung des PPI System. Der PPI System sicht die Durchführung der Generalreperaturen in spezialisierten Remontwerkstätten und die Versicherung der notwendigen Ersatzteilen voraus. Besonders werden in der Erzeugung mit dem Aufstieg der Automatisation die Instandhaltungaufgaben immer schwerer.

Die Erzeuger der Werkzeugmaschinen werden unvermeidlich die Erfahrungen der Menschen die auf der Instandhaltung der Werkzeugmaschinen arbeiten, nützen. Albein ihr nähres Mitwirken kann gute Ergebnisse geben und die Instandhaltung wird auf diese Art ihren Beitrag zur grosseren Fortbildung und zur weiteren Modernisation der Werkzeugmaschinen leisten.

V.R.Milačić *)

NEKI SPECIFIČNI PROBLEMI DINAMIČKE STABILNOSTI ALATNIH MAŠINA **)

Neki osnovni zajednički problemi u ispitivanju alatnih mašina, bez obzira na vrstu, kao što su toplotne deformacije, statičko-dinamička krutost i zvučnost navedeni su u[1] i[2] . Problem ispitivanja uticaja načina oslanjanja mašine na dinamičku stabilnost iznet je u[3] i [4].

Dva pitanja koja predstavljaju specifične probleme, a utiču na dinamičku stabilnost mašine, jesu dinamičko uravnoteženje tocila kod brusilica i ispitivanje pneumo-hidrauličnog pogona pomoćnog kretanja kod glodalica.

Na kvalitet obrađene površine dobijene brušenjem, pored optimalno izabranog režima obrade, vrste tocila i njegovog stanja, utiče i dinamičko neuravnoteženje obrtnih masa. Od svih obrtnih masa najveći uticaj na pojavu prinudnih vibracija ima dinamičko neuravnoteženje tocila. Zbog toga su razrađene metode statičkog i dinamičkog uravnoteženja sklopa vretena sa tocilom, dok je na modernim konstrukcijama ugrađen poseban sistem za automatsko uravnoteženje. U nameri da se iznađe ekspresna metoda za uravnoteženje vretena sa tocilom u sklopu mašine, čime se omogućuje brza i efikasna kontrola uravnoteženosti u pogonskim uslovima, firma Reuntlinger & Soehne razvila je stroboskopski postupak. Međutim, pri pokušaju da se primeni na malu alatnu brusilicu UOZA-5 [5] uočen je ozbiljan nedostatak ove metode, tako da se postavio zadatak iznalaženja prikladnijeg postupka za uravnoteženje tocila. Skraćenje pomoćnih vremena automatizacijom kinematskog ciklusa i mogućnost kontinualne promene brzine pomoćnog kretanja direktno utiču na povećanje proizvodnosti mašine. Ovo je ostvareno na maloj glodalici "Crvena Zastava" ugradnjom pneumo-hidrauličnog pogona za pomoćno kretanje. Ovaj pogon ostvaruje kinematski ciklus: brzo primicanje - radni hod - brzo odmicanje. Kako je navedeno u[6] postignuto je znatno skraćenje trajanja radnog ciklusa u poređenju mašinom s klasičnim mehaničkim pogonom. No s druge strane ne može se zanemariti i nepovoljna promena dinamičke stabilnosti pogona za pomoćno kretanje, koja utiče na ukupnu dinamičku stabilnost strukture mašine. Izvršena ispitivanja imala su za cilj da odrede u uslovima rezanja promenu stabilnosti, što kasnije treba da posluži kao osnov za usavršavanje pneumo-hidrauličnog sistema.

*) Vladimir R.Milačić, dipl.ing., predavač Mašinskog fakulteta i samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate,Beograd

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate iz Beograda sačinjeno na osnovu materijala iz projekata koje su finansirali "Prvomajska" - Zagreb i "Zavodi Crvena Zastava" - Kragujevac

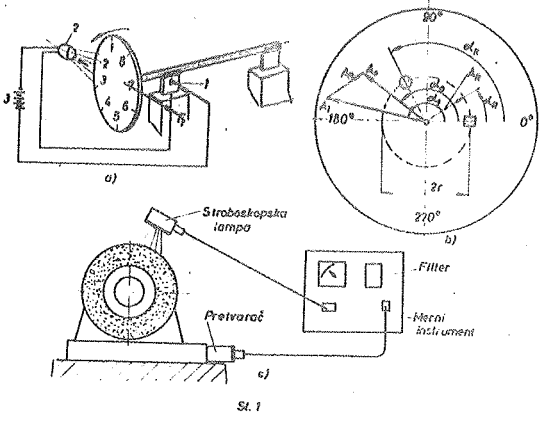
1. Dinamičko uravnoteženje vretena sa tocilom u sklopu mašine:

U pogonu montaže pri reglaži nove serije brusilica kao i u eksploatacionim uslovima od naročitog je značaja provera dinamičke uravnoteženosti vretena sa tocilom. Na neuravnoteženost vretena sa tocilom u sklopu mašine može da utiče netačnost u izradi ili pri sklapanju, pohabanost tocila, zagrevanje i neravnomerno apsorbovanje sredstava za hlađenje po obimu tocila. S obzirom da se radi o mašinama za završnu obradu kod kojih je osnovni zahtev tačnost obrade i kvalitet obrađene površine, pitanju uravnoteženja obrtnih masa treba posvetiti naročitu pažnju.

Poznavajući teorijske osnove pojave prinudnih vibracija pod dejstvom neuravnotežene obrtne mase postavljeni su metodi za određivanje veličine i položaja korekcione mase. Na[illegible]je se stroboskopski postupak i postupak s tri ogleda.

1.1. Stroboskopski postupak:

Polazeći od pojave da neuravnotežena obrtna masa izaziva prinudne vibracije, koje se prenose na ležišta, a preko njih i na ostale elemente sistema, razvijen je postupak za određivanje veličine i položaja korekcione mase primenom stroboskopske lampe (sl. 1a). Na rotirajućem disku neuravnotežena masa izaziva centrifugalnu silu (F_r) pod dejstvom koje se prenose vibracije iste učestanosti i na ležišta.



Sl. 1

Pretvarač (1), koji je postavljen u blizini ležišta, prenosi impulse iste učestanosti na stroboskopsku lampu (2), koja se zbog zatvaranja i otvaranja kola sa baterijom (3) naizmenično pali i gasi. Posledica ovoga je da pri posmatranju obrtnog diska jedan deo obima prividno stoji, što odgovara isečku gde treba postaviti korekcionu masu. Ukoliko je neuravnoteženost veća, tj. prinudne vibracije intenzivnije, luk isečka je manji a položaj korekcione mase može preciznije da se odredi. Praktičan postupak za određivanje položaja i veličine korekcione mase predpostavlja mogućnost istovremenog merenja veličine amplitude i uglovnog položaja korekcione mase. Predhodno se na prirubnicu tocila postavi uglovna skala u matematičkom smeru (sl. 1b). Za neuravnoteženo tocilo meri se amplituda A_0 i ugao α_0. Postupak se ponavlja s probnom masom m_p koja je postavljena pod uglom 0° i dobijena amplituda A_1 i ugao α_1 unose u dijagram. Slaganje vektora A_0 i A_1 daje vektor A_R pod uglom α_R, dok je veličina korekcione mase:

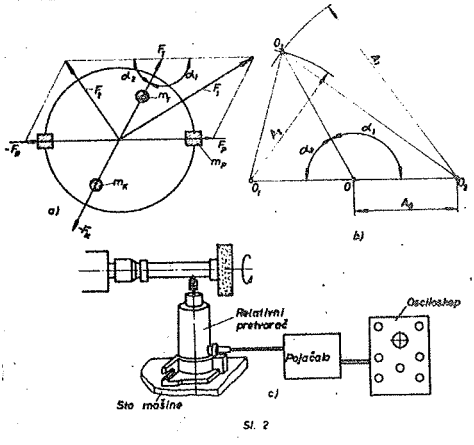
$$m_k = \frac{A_0}{A_R} \cdot \frac{A_0}{r_k} \cdot G \qquad (1)$$

gde su: G [kg] ukupna masa obrnih elemenata, i r_k [mm] korekcioni radijus.
Ukoliko određena korekciona masa ne smanji veličinu amplitude na 1/10 (kako je navedeno u katalogu firme), postupak se ponavlja dok se ne zadovolji gornji uslov.

Na osnovu ovih razmatranja razvijen je i odgovarajući instrumentarij od pretvarača, pojačala sa filtrom i stroboskopske lampe (sl. 1c) za laboratorijsko-pogonsku primenu. Zadatak je bio da se ispita mogućnost primene ovog postupka na mašini UOZA-5 i predloži proizvođaču kao moderan industrijski postupak za uravnoteženje čime bi se obezbedilo poboljšanje kvaliteta proizvoda. Merenja na navedenoj mašini pokazala su da je nivo amplituda na mestu neposredno iznad prednjeg ležišta vrlo nizak (1 mk) dok je stroboskopska lampa osvetljavala vrlo veliki kružni isečak. Ovo navodi na zaključak da je na ispitivanoj mašini glavno vreteno sa tocilom dobro uravnoteženo. Kao provera za ovaj zaključak izvedeni su dopunski ogledi s dodatnim masama (4 gr., 8 gr. i 13,8 gr.) koje su trebale da izazovu neuravnoteženje rotirajućeg sklopa. U svim ovim ogledima amplitude su porasle na svega $\sim$ 1,3 mk dok je stroboskopska lampa neosetljiva na ove promene. Neočekivane poteškoće u aplikaciji ove metode navele su na potrebu da se ispituju i druge metode uravnoteženja obrtnih masa korišćenjem druge merne tehnike, pošto iz navedenih ispitivanja nije moglo da se zaključi da li dobijene rezultate treba objasniti kao rezultat dovoljne krutosti sklopa glavnog vretena-prirubnice i ležišta, ili je uzrok nedovoljna osetljivost instrumentarijuma. Zbog toga je razmotren postupak s tri ogleda i sa pogodno izabranim instrumentarijumom izvršena dopunska merenja.

1.2. Postupak s tri ogleda:

Na rotirajućem sklopu neuravnotežena masa (m_T) izaziva centrifugalnu silu (F_T) (sl.2a) koja je po intenzitetu i smeru nepoznata.



Sl. 2

Dodatna probna masa (m_p) centrifugalne sile (F_p) sa silom (F_T) slaže se u rezultujući vektor (F_1 . Pomeranjem probne mase za 180° u odnosu na njen prvobitni položaj vektor centrifugalne sile je po pravcu i intezitetu ostao isti ali promenjenog smera tako da sa (F_T) formira novi rezultujući vekor (F_2). Slaganjem svih ovih vektora dobija se poligon kao na sl. 2a. Pošto se pod dejstvom centrifugalnih sila javljaju prinudne vibracije, to je moguće metodom sličnosti postaviti odgovarajuće amplitude u međusobno zavistan položaj (sl.2b). Veličina korekcione mase određena je relacijom:

$$m_K = \frac{A_0}{\overline{00'}} \cdot m_p \qquad (2)$$

Aplicirajući ovo razmatranje na realnu mašinu problem se svodi u prvom ogledu na merenje veličine amplitude neuravnoteženog sklopa (A_0), zatim se u drugom ogledu određuje amplituda (A_1) sa probnom masom (m_p) i kao treći ogled je merenje amplitude (A_2) kada je probna masa postavljena u položaj 180° u odnosu na predhodni ogled.

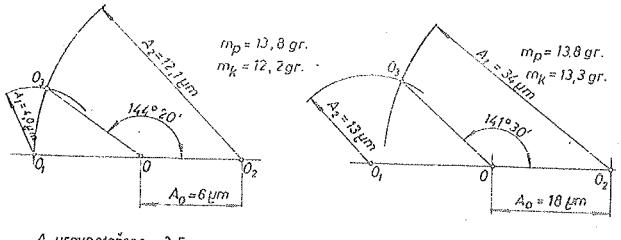
Prema tome, nameće se opšti zaključak da korišćenjem instrumentarijuma za merenje vibracija moguće je sprovesti uspešno uravnoteženje sklopa tocila sa vretenom. Za proveru ove predpostavke korišćen je komplet za merenje vibracija (apsolutni pretvarač, predpojačalo, pojačalo i pisač). Ponovljena je grupa ogleda iz stroboskopskog postupka. Dobijeni rezultati, iako je korišćen pretvarač visoke osetljivosti (0,1 mk), bili su približno isti.

Međutim, analiza konstrukcije sklopa glavnog vretena tocila indicirala je da poremećaji izazvani dodatnim masama (4 gr. i 8 gr.) mora da utiču na miran rad tocila i da se usled dovoljne krutosti ležišta prigušuju. Merenje hrapavosti obrađene površine, srednje visine neravnina (R_z) i srednjeg odstupanja profila (R_a), pokazalo je da postoje razlike u kvalitetu obrađene površine za sva tri slučaja neuravnoteženosti (Tablica 1).

Tablica 1

Hrapavost obrađene površine / Uravnoteženost tocila	Srednja visina neravnina R_z [μm]	Srednje odstupanje profila R_a [μm]
Bez uravnoteženja	2,85	0,53
Sa dodatnom masom od 4 [gr] proizvoljnog položaja	1,96	0,40
Sa dodatnom masom od 8 [gr] proizvoljnog položaja	2,24	0,48

Pristupilo se i trećoj metodi direktnog merenja vibracija obrtnog vretena s tocilom, korišćenjem relativnog pretvarača (sl. 2c). Tek ovako usvojenom mernom tehnikom vrlo je jasno istaknuta promena amplituda čije vrednosti su se kretale i do 34 mk da bi se posle uravnoteženja svele na 3,5 [mk] odnosno 1,5 [mk]. Korišćenjem postupka s tri ogleda grafički je određen položaj, a prema izrazu (2) izračunata vrednost korekcione mase (sl.3).



A uravnoteženo = 3,5 μm za n= 2500 °/min

A uravnoteženo = 1,5 μm za n= 5000 °/min.

Sl. 3

1.3. Zaključak

Na prvi pogled postavljeni zadatak se svodi na inženjersku primenu razvijenog instrumentarija za proveru uravnoteženosti sklopa tocila i glavnog vretena za određenu klasu brusilica. Pošto je instrumentarij za eltrodyn- postupak izrađen u familiji, zavisno od brojeva obrta obrtnih elemenata koji se uravnotežuju, jedini uslov za primenu, prema preporukama proizvođača, je izbor odgovarajuće jedinice. U ovim ispitivanjima taj uslov je bio ispunjen. Međutim, ogledi su pokazali, da taj uslov nije i dovoljan. Dopunski uslov, koji je proizašao iz ispitivanja, ujedno je i granična vrednost minimalne osetljivosti istrumenta, iskazan preko veličine amplitude prinudnih vibracija. Minimalna osetljivost celog sistema ograničena je osetljivošću pretvarača čiji signal treba biti dovoljno pojačan radi pobuđivanja stroboskopske lampe. Za male [illegible]vo signala, bez obzira na pojačavanje, zalazi se u domen šuma, [illegible] se ne postiže željeni efekat. Znači, da je za male obrtne mase [illegible]onstrukcije s ležištima velike sposobnosti prigušivanja ova metoda neprikladna. Primena stroboskopskog postupka [illegible]stema sa velikim obrtnim masama koje izazivaju i znatne amplitude prinudnih vibracija predstavlja samo komparativnu metodu. Kakav je odnos između amplituda prinudnih vibracija rotirajućeg elementa i nepokretnog mesta u blizini ležišta, gde se stvarno mere ove vibracije, s obzirom na to da ležišta ne mogu uprošćeno da se posmatraju kao kruti ili elastični oslonci?

Prema tome, nedovoljna osetljivost i posredno merenje amplituda obrtnih elemenata predstavljaju dva ozbiljna nedostatka ove metode. Prvi nedostatak dopunski ograničuje oblast primene (samo za mašine sa velikim centrifugalnim silama), dok drugi svodi metodu na kompa-rativnu tj. ne daje apsolutnu veličinu neuravnoteženosti tocila koja je jedina merodavna, obzirom na njegov direktan kontakt sa radnim predmetom.

Korišćenjem postupka s tri ogleda i druge varijante instrumentarija s relativnim pretvaračem izbegnuta su istovremeno oba navedena nedostatka. Merenjem relativnih prinudnih amplituda između vretena i radnog stola mašine dobija se veličina koja direktno utiče na kvalitet i tačnost obrade dok se svako uravnoteženje meri u prvoj veličini što omogućuje stvarno upoređenje.

Da bi se ova metoda dalje usavršila u industrijski postupak, potrebno je modifikovati stroboskopski postupak s relativnim umesto apsolutnog pretvarača, čime bi se otklonili gore navedeni nedostaci Eltrodyn postupaka.

2. Dinamička stabilnost pneumo-hidrauličkog pogona radnog stola glodalice

Predhodno dinamičko ispitivanje mašine direktno u procesu rezanja imalo je za cilj da odredi ponašanje pojedinih elemenata mašine merenjem amplituda što služi kao osnova za stvaranje potpunog programa ispitivanja mašine kao sistema.

Za izabrane tri brzine rezanja i pri nominalnoj brzini stola $s_o = 1$ [mm/sec] određene su granične dubine rezanja pri kojima se javljaju samopobudne vibracije (Tablica 2). Kao kriterij pojave samopobudnih vibracija uzet je nagli porast amplituda oscilovanja. Amplitude su merene na konzoli glavnog vretena (iznad glodala), na nosaču konzole glavnog vretena i na radnom stolu mašine. Svi dobijeni rezultati pokazali su, da s najvećim amplitudama osciluje prvo i treće merno mesto. Takođe je uočeno, da je nivo vibracija najviši na početku rezanja, i da postepeno opada, tako da se na kraju radnog hoda samopobudne vibracije potpuno gube. Za granične dubine rezanja dolazi do preopterećenja strukture mašine (iako nije došlo do punog iskorišćenja instalisane snage), iskazano kroz nivo amplituda čije opadanje pak ukazuje na promenu režima obrade (smanjenje brzine radnog stola), koju je izvršila sama struktura. Ovo je bio povod da se direktno u procesu rezanja kompleksnije razmotri dinamička stabilnost pneumo-hidrauličnog pogona. Navodi se samo nekoliko metodološki karakterističnih rezultata ispitivanja, dok su kompletni rezultati i drugi aspekti tretiranja ovog problema dati u [6].

Tablica 2

Brzina n [°/min]	Granična dubina δ_{gr} [mm]	Maksimalna amplituda A_{max} [μm]	
		na konzoli	na stolu
215	0,2	80	40
480	1,0	76	10
785	1,5	20	6,0

2.1. Neke opšte napomene:

Brzina kretanja klipa, koja se prenosi na radni sto mašine, nije ravnomerna i menja se u zavisnosti od mehaničkih i pneumatskih parametara. Da bi se ostvarila postavljena srednja brzina kretanja, miran i ravnomeran hod i mirno zaustavljanje na kraju hoda, koriste se različiti sistemi regulisanja. Za ove sisteme regulisanje brzine kretanja ostvaruje se pneumatskim i hidrauličnim sredstvima. Mirno zaustavljanje na kraju hoda ostvaruje se preko pneumatskog kočenja time, što se energija kretanja troši na sabijanje vazduha.

Pneumohidraulični pogoni sastoje se iz pneumatskih i hidrauličnih komponenti. Po svojoj strukturi mogu da budu sa odvojenim pneumatskim i hidrauličnim cilindrima, sa pneumohidrauličnim cilindrima i sa pneumohidrauličnim rezervoarima i cilindrima. Hidraulični deo, koji kao energetski izvor koristi sabijen vazduh, reguliše stabilnost kretanja radnog stola.

Nedostatak ovih sistema je složenost konstrukcije i nizak ukupni koeficijent iskorišćenja koji je dat kao proizvod:

$$\eta = \eta_k \cdot \eta_p \cdot \eta_h \qquad (3)$$

gde su: η_k koeficijent iskorišćenja kompresora, η_p koeficijent iskorišćenja pneumatskog pogona, i η_h koeficijent iskorišćenja hidrauličnog pogona.

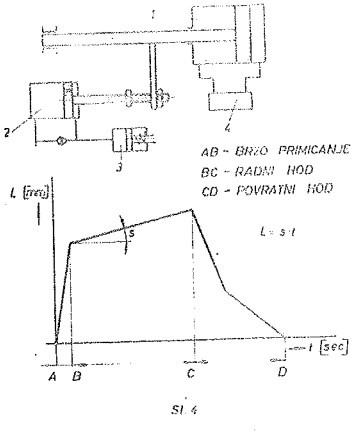
Ukupno vreme radnog hoda za pneumatski cilindar sastoji se iz tri elementarna vremena:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 \qquad (4)$$

gde su: t_1 [sec] vreme od momenta otvaranja razvodnika do početka kretanja klipa; t_2 [sec] minimalno vreme radnog hoda koje odgovara maksimalnoj brzini; i t_3 [sec] vreme za koje se napuni jedna strana cilindra, a druga ispražni.

Izrazi za pojedina vremena dobijeni su povezivanjem pneumatskih, mehaničkih i termodinamičkih parametara, s tim što su nelinearne diferencijalne jednačine uprošćene sa čitavim nizom pretpostavki i eksperimentalno dobijenim podacima, koji prilikom korišćenja ne utiču na tačnost inženjerskog proračuna.

Za pneumohidraulični prenosnik sistem Follows, koji se sastoji iz pneumo-cilindra (1), hidro-cilindra (2), dopunskog hidro-cilindra (3) za kompenzovanje [illegible] ulja i elektromagnetnog razvodnika (4) dijagram promene puta u vremenu prema inostranim ispitivanjima dat je na sl. 4.



Sl. 4

2.2. Rezultati ispitivanja:

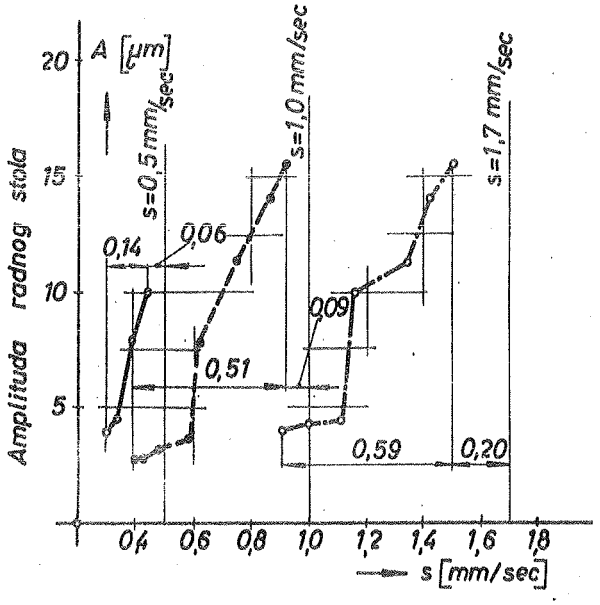
Pri planiranju programa ispitivanja pogona u eksploatacionim uslovima uvek se polazi od variranja osnovnih parametara obrade. I ovde je razmotren uticaj brzine rezanja na dinamičku stabilnost pneumohidrauličnog sistema.

Za oblast brzine pomoćnog kretanja $s_0 = 0.5 + 5.0$ [mm/sec] pri $n = 420$ [o/min] i $d = 0.5$ [mm] ispitan je uticaj promene brzine pomoćnog kretanja na intenzitet oscilovanja radnog stola mašine (sl.5).

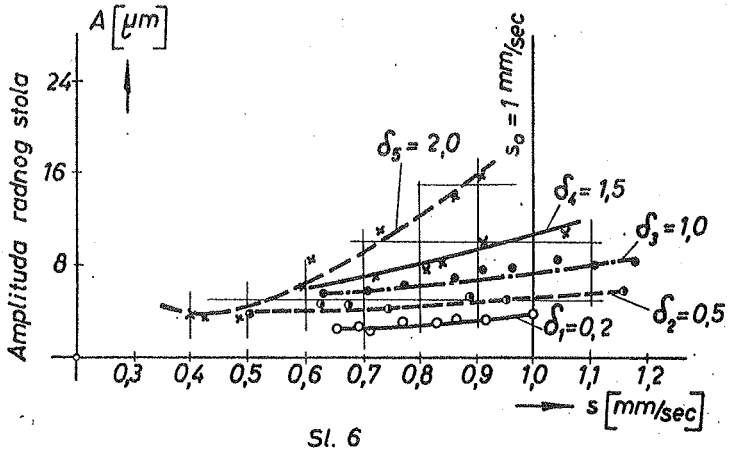
Na prvom delu puta, dok glodač zahvata punu dubinu rezanja, dolazi do opadanja brzine pomoćnog kretanja, a amplitude oscilovanja rastu do uspostavljanja samopobudnih vibracija. Samopobudne vibracije izazivaju podrhtavanje cele strukture mašine, što ima za posledicu naglo opadanje brzine kretanja stola čime se smanjuje intenzitet oscilovanja. Postojanje povratne sprege između strukture mašine i procesa rezanja dovelo je do uspostavljanja dinamičke ravnoteže. Drugi parametar, koji određuje otpor rezanja pri glodanju, je dubina rezanja. Porastom dubine rezanja $d = 0.2 - 2.0$ [mm] pored porasta amplituda oscilovanja dobijeno je i znatno kočenje pneumohidrauličnog pogona (sl.6).

Ako se prema sl. 4 analizira deo krive koji odgovara rezanju, ispitivanja su pokazala da to nije uvek prava konstantnog nagiba, već da se nagib na putu menja (sl. 7). Za čitavu seriju ogleda za radni hod $l = 90$ [mm] broj promena koeficijenta pravca bio je različit. Iz ovoga može se zaključiti da zakon promene puta $L = f(t)$ na izvedenoj konstrukciji nije linearan tj. brzina se stalno menja, što karakteri-

še nestabilnost sistema u radu.



Sl. 5

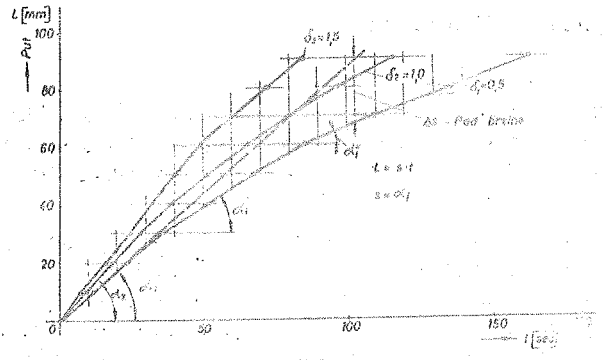


Sl. 6

2.3. Kratki zaključci

Programiranjem kinematskog ciklusa pneumohidrauličnog pogona postignuto je znatno skraćenje pomoćnih vremena, dok kontinualna promena brzine pomoćnog kretanja omogućuje i izbor optimalnog režima obrade. Ove nesumljive koncepcijske prednosti mašine navele su da se razmotri mogućnost njene primene kao proizvodne mašine s obzirom na količinu skinute strugotine u jedinici vremena. S tim ciljem su izvršena di-

namička ispitivanja cele mašine, a posebno pneumohidrauličnog sistema.



Sl. 7

Ispitivanja su ukazala na potrebu daljeg usavršavanja pneumohidrauličnog sistema kako bi se smanjili gubici brzine pomoćnog kretanja koji nepovoljno utiču na proizvodnost i sigurnost u radu.

L I T E R A T U R A

1. Milačić R.V. - Problemi ispitivanja mašina alatki u radu-rukopis predat za časopis Alatne mašine (1964)
2. Milačić R.V. - Neki problemi ispitivanja alatnih mašina - Zbornik saopštenja I savetovanja proizvodnog mašinstva Beograd (1965)
3. Gligorić B. i Milačić R.V. - Ispitivanje amortizacijske sposobnosti elastičnih podmetača kao temelja alatnih mašina. Elaborat br. 26/65 Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1965)
4. Milačić R.V. - Uticaj načina oslanjanja alatnih mašina na pojavu podrhtavanja pri gruboj obradi, Mašinstvo (1966)(u štampi)
5. Milačić R.V. i dr. - Kompleksno ispitivanje mašine i pribora brusilice UOZA-5, Elaborat br. 27/65 Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1965)
6. Milačić R.V. i dr. Kompleksno ispitivanje horizontalne glodalice "Crvena Zastava", Elaborat br. 28/65 Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1965)

V. R. Milačić

Some Specific Problems of Dynamic Stability of Machine Tools

Two specific problems in testing machine tools are dynamic balancing of a shaft and grinding whell as one unit and secondly, the dynamic behaviour of a pneumo-hydraulic feed driver in a small milling machine.

The methods which have been chosen to investigate the first problem are the Stroboscopic procedure and the Procedure of three tests. The stroboscopic method applied to a small grinding machine showed a low sensitivity and gave only relative values of amplitudes of rotating parts. On the grinding operation, the value which is significant is the amplitude between the grinding wheel and the table, with surface roughness and accuracy taken into consideration. Using the three tests method with a relative transducer, a high sensitivity was achieved along with real value measurements of amplitudes between wheel and table.

The use of the pneumo-hydraulic feed driver, which brings automation to the milling machine and improves machining time and cuts costs, presents a problem of its own. The dynamic stabilitiy of the machine is now found to be changed completely. The tests, wich were carried out under the cutting conditions, showed unstable table speeds during the self-exciting vibrations. A full programme of investigation of this condition has been set up. The results of the first tests can now be used to improve the design and increase performance of this system.

T. Pecek *)

ISPITIVANJE STATIČKE KRUTOSTI ALATNIH STROJEVA **)

Tačnost dimenzija i oblika izratka, koji se obrađuje skidanjem strugotine ovisi o tome, u kojoj se mjeri stvarno gibanje oštrice alata u odnosu na izradak podudara sa teoretski zamišljenim. Odstupanja od teoretskog gibanja nastaju iz dva razloga. Prvi je razlog netačnost izrade vodećih elemenata alatnog stroja, na pr. neparalelnost glavnog vretena i vodilica suporta kod tokarilice, to je tzv. geometrijska netačnost. Drugi razlog predstavljaju deformacije elemenata samog alatnog stroja, kao i izratka, alata i eventualno postojećih naprava, prouzrokovane silama rezanja.

Dok su netačnosti vodećih elemenata uvijek uzrokovane netačnošću izrade (konstruktivno su oni uvijek zamišljeni idealno), deformacije stroja bitno su ovisne o konstruktivnom rješenju stroja, iako i na njih utječe kvalitet izrade, i to svojstva dodirnih površina.

Postoje utvrđene metode za provjeravanje geometrijske tačnosti alatnog stroja, kao i norme kojima stroj mora udovoljavati, (tzv. ispitivanje po Schlesingeru). To ispitivanje, vrši se na neopterećenom stroju, u stanju mirovanja.

Da bi se dobio utjecaj deformacija sistema stroj-alat-izradak, na tačnost rada, neki autori predlažu izradu tipiziranog izratka na stroju i mjerenje odstupanja tog izratka od zadanih dimenzija i forme. Ovakvo ispitivanje daje zbir svih utjecaja na tačnost. Ako se želi utvrditi utjecaj samih deformacija sistema stroj-alat-izradak na tačnost, prikladnije je neposredno mjerenje deformacija elemenata navedenog sistema pri opterećivanju statičkom silom u stanju mirovanja. Iako ne možemo tvrditi, da će deformacije izazvane statičkom silom biti identične onima koje nastaju prilikom procesa rezanja, ipak nam ovakvo ispitivanje daje dobar uvid u to, na koji se način stroj deformira i koji elementi najviše doprinose ukupnoj deformaciji.

Rezultati ovakvog ispitivanja mogu s jedne strane pomoći konstruktoru, da ukloni slaba mjesta u stroju, pa se može desiti da se, uz relativno neznatne izmjene, znatno poboljša kvaliteta stroja. S druge strane, ovakvi podaci mogu koristiti tehnologu, kod određivanja broja prolaza, a osim toga omogućuju usporedbu raznih strojeva istog tipa. Usprkos tome, ne postoje još razvijene i razrađene metode za ovakva ispitivanja, niti bilo kakve norme, ili propisi o svojstvima koje bi alatni stroj trebao imati. Ovaj problem je u svom razvoju zaostao ne samo iza mjerenja geometrijske tačnosti, nego i iza proučavanja dinamičkih svojstava alatnih strojeva.

---

*) Tomislav Pecek, dipl.ing. strojarstva, saradnik Instituta za alatne strojeve, Zagreb

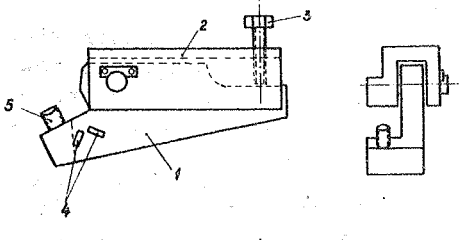
**) Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve, Zagreb

Osnovna ideja ispitivanja statičke krutosti alatnog stroja je: opteretiti stroj u stanju mirovanja silom koja je po svom djelovanju što bliža sili rezanja, i mjeriti deformacije, koje usljed toga nastaju. Iz toga slijede problemi, koje treba riješiti da bismo mogli vršiti navedeno ispitivanje, a to su:

a) Hvatište, smjer i veličina sile kojom se opterećuje
b) Baza od koje se mjere deformacije
c) Tačke u kojima se mjere deformacije kao i smjer mjerenja

Gotovo je očigledno da sila, kojom se opterećuje, mora djelovati između alata i izratka, jer tako djeluje i sila rezanja. Teško je odrediti smjer sile, budući da sila rezanja znatno varira od slučaja do slučaja. U starijim člancima može se naći ovakvo gledište: na odstupanje izratka od zadanih dimenzija, utječe samo pomak u smjeru okomito na obrađivanu površinu. Utjecaj ostalih pomaka može se zanemariti. Prema tome treba opterećenje vršiti u tom najnepovoljnijem smjeru, jer se u tom smjeru mjere i pomaci. To stanovište je ušlo čak u neke prijedloge normi za ispitivanje alatnih strojeva (ČSSR). Međutim, tome stanovištu može se staviti vrlo ozbiljan prigovor. Naime na deformaciju u nekom smjeru, općenito ne utječe samo ona komponenta sile koja ima taj smjer, nego i ostale komponente. Zbog toga treba opterećivati silom koja sa normalom na obrađivanu površinu zatvara kut, kao "prosječna" sila rezanja. Egzaktno rješenje tog problema zahtjevalo bi, da se najprije definira u kojem smislu sila rezanja treba biti "prosječna". Ovo možda najbolje ilustrira poteškoće s kojima se susrećemo kod ovog problema. Ipak treba naći nekakvo rješenje, pa makar "po osjećaju". U SSSR i Poljskoj prihvaćeni su na pr. slijedeći kutevi: kod tokarilica sila leži u ravnini okomitoj na os glavnog vretena i zatvara kut od 60° sa horizontalom. Kod glodalica se uzima takav smjer sile da se komponente P_x : P_y : P_z odnose kao 0,4:0,8:1. Ovdje je P_x aksijalna, P_y radijalna i P_z obodna komponenta sile.

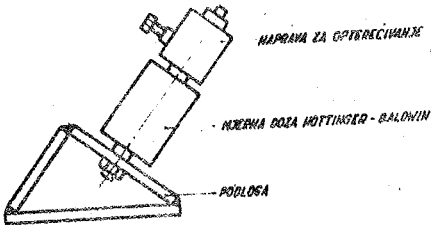
U IAS su također prihvaćeni ti kutevi, pa su konstruirane odgovarajuće naprave za opterećenje. Naprava za opterećenje tokarilica prikazana je na sl. 1. Sastoji se od dvokrake poluge i držača. Držač se upinje u nosač alata. Kraći krak poluge upire u trn koji je stegnut između šiljaka tokarilice ili u steznoj glavi.



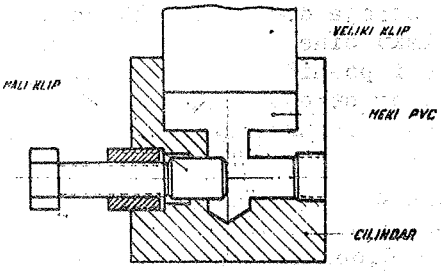
SL. 1 NAPRAVA ZA OPTEREĆIVANJE TOKARILICE

Na duži krak poluge vrši se pritisak pomoću vijka. Mjerenje sile vrši se pomoću otpornih mjernih traka (strain gauge). Trake kojih ima četiri nalijepljene su na kraći krak poluge i spojene u Wheatstoneov most. Napajanje mosta i očitavanje rezultata vrši se pomoću mjernog mosta tipa Hottinger. Kraći krak poluge formiran je tako, da je dio gdje se nalaze trake opterećen na torziju. Time se postiže neovisnost pokazivanja o položaju suporta odn. držača alata, a ujedno je položaj sile u odnosu na suport realniji. Naprava omogućava opterećenje silom od

2500 kp.



SL. 2 UREĐAJ ZA OPTEREĆIVANJE GLODALICE



SL. 3 NAPRAVA ZA OPTEREĆIVANJE GLODALICE

Naprava za opterećivanje glodalica prikazana je na sl. 2. Sastoji se iz postolja koje osigurava potrebne kuteve, doze za mjerenje sile tipa Hottinger i samog uređaja za stvaranje sile. Ovaj uređaj prikazan je shematski na sl. 3. Sastoji se od cilindra ispunjenog mekim PVC. Mali klip utiskuje se u cilindar pomoću vijka, a veći klip se upire preko kuglice na ono mjesto stroja koje želimo opteretiti. Postolje se pričvršćuje vijcima na stol glodalice a klip preko kuglice upire na tzv. pseudoglodalo, koje je upeto na radnom vretenu stroja. Pseudoglodalo je izrađeno u obliku konusa tako da njegova površina u tački dodira s kuglicom bude okomita na željeni smjer sile.

Položaj sile u odnosu na stroj ovisi i o rasporedu pomičnih elemenata stroja. Kod tokarilica on se može mijenjati u širokim granicama, prema tome da li je suport u blizini vreteništa konjića ili u sredini. Pitanje je, da li postoji takav položaj suporta u kojem bi ispitivanje dalo najveću količinu informacija. Vjerojatno treba ispitivati u raznim položajima suporta. U IAS-u je prihvaćeno ispitivanje u 3 položaja suporta: sasvim blizu vreteništa, u sredini postelje i sasvim blizu konjića.

Kod glodalica, naročito manjih, položaj stola je prilično određen samim uređajima za opterećivanje.

Slijedeći problem predstavlja bazu za mjerenje deformacija. Tačnost izratka ovisi o relativnom pomaku alata prema izratku, pa je zato najbliža pomisao da se taj pomak mjeri. Postoje konstrukcije uređaja koji omogućuju opterećivanje i istovremeno mjerenje relativnog pomaka alat-izradak. Kod takvog načina mjerenja izradak je zamijenjen trnom za mjerenje. Podaci dobiveni ovakvim mjerenjem mogu poslužiti tehnologu kod određivanja režima obrade. Međutim, za konstruktora, odnosno proizvođača alatnih strojeva interesantno je znati kako se čitav stroj deformira, koji elementi ili sklopovi najviše doprinose ukupnom pomaku alata u odnosu na izradak. U tu svrhu prikladnije je uzeti bazu izvan stroja. Mi smo kao bazu upotrebili cijevnu skelu.

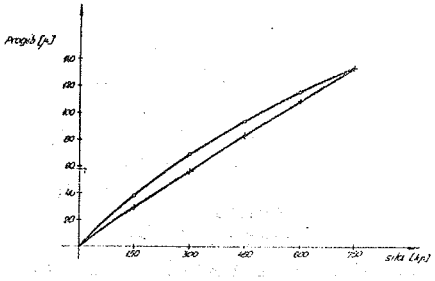
Da bismo dobili potpunu sliku o deformacijama alatnog stroja trebalo bi izmjeriti progibe za vrlo veliki broj tačaka. Ovaj posao može se svesti na razumnu mjeru, ako se uvaže iskustva drugih istraživača.

Naime, većina autora je došla do zaključka, da su deformacije koncentrirane u površinskom sloju, na mjestima gdje se dva elementa alatnog stroja dodiruju, dok se sami elementi relativno malo deformiraju. Iznimku čine elementi koji su razmjerno vitki kao na pr. glavno vreteno i posmična vretena. Ako pretpostavimo da su pojedini elementi alatnog stroja kruti, onda je dovoljno na svakom od elemenata mjeriti po 6 tačaka. Na taj način može se dobiti slika o deformacijama alatnog stroja mjerenjem deformacije u nekih 35-40 tačaka.

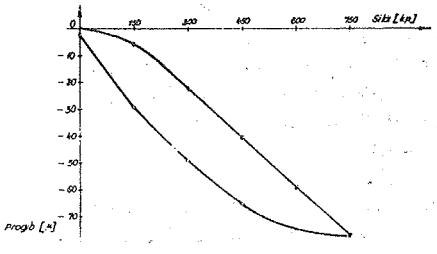
U IAS-u su provedena ispitivanja na glodalicama i tokarilicama. Za mjerenje smo upotrebljavali komparatore sa podjelom 0,01 mm 0,002 mm i 0,001 mm, te električni komparator Hottinger, kod kojega se osjetljivost može mijenjati. Komparatori su bili učvršćeni na skelu pomoću magnetskih stalaka. Nakon namještanja komparatora provedeno je nekoliko pokusnih opterećenja bez očitavanja, a zatim je započelo mjerenje. Sila je povećavana od nule do maksimalne vrijednosti u 5 stepeni i isto tako smanjivana. Za svaku vrijednost sile očitani su komparatori. Postupak je ponovljen 2 do 3 puta. Prilikom sređivanja rezultata sva su očitanja svedena na nulu t.j. za svaki ciklus opterećenja odbijemo je od svih očitanja početno očitanje. Iza toga izračunata je srednja vrijednost iz 2 ili 3 progiba za istu silu. Te srednje vrijednosti progiba nanesene su u dijagrame u ovisnosti o sili.

Karakteristično je za ove dijagrame, da svi pokazuju histerezu tj. krivulja rasterećenja razlikuje se od krivulje opterećenja. Progibi nekih tačaka pokazuju porast krutosti sa silom, a kod drugih krutost sa silom opada. Drugi slučaj je povoljniji, jer je važno da krutost bude velika kod malih sila koje dolaze kod fine obrade. Karakteristika s padajućom krutošću može se objasniti postojanjem prednapona u spojevima, a sa rastućom krutošću zračnostima. Prvi slučaj dolazi kod glavnog vretena.

Izmjereni progibi pojedinih tačaka ucrtavaju se u konture stroja u pretjeranom mjerilu. Iz ovih crteža može se zaključiti koji elementi, odnosno spojevi elemenata najviše doprinose deformaciji.



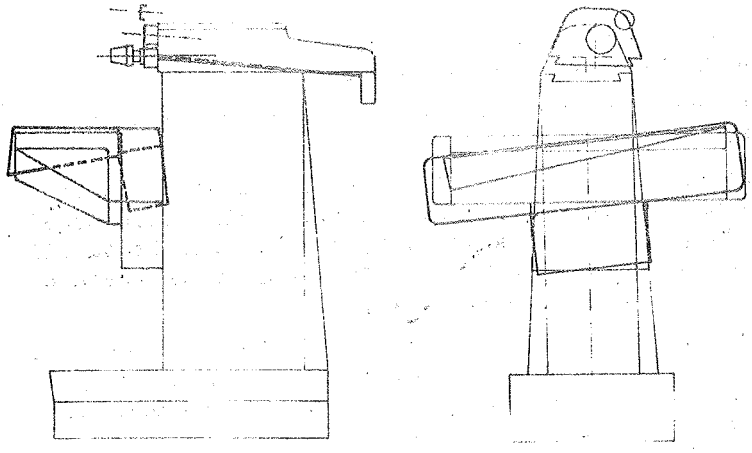
Sl. 4



Sl. 5

Na pr. kod jedne glodalice vidi se da najveće deformacije nastaju u vodilicama stola, na glavnom vretenu i u vodilicama pomičnog vreteništa. Na sličan način može se kod glodalice utvrditi utjecaj težine izratka. Opterećivanje se u tom slučaju vrši pomoću utega, koji

se stavljaju na stol. Prilikom mjerenja uočili smo, da je krutost skele prilično mala, pa je potreban krajnji oprez. Skela i komparatori ne smiju se dodirnuti tokom čitavog mjerenja. Čak i hodanje oko skele izaziva promjene u pokazivanju komparatora reda veličine 1 μ. Također smatramo da normalna izvedba magnetskih stalaka za komparatore ne zadovoljava u pogledu krutosti, pa smo pristupili konstrukciji krućih stalaka.



a) Sl. 6 b)

Na kraju bih spomenuo problem numeričkog izražavanja krutosti. Krajnji cilj je dobivanje nekog numeričkog podatka koji bi karakterizirao alatni stroj u pogledu krutosti. Krutost je definirana kao prirast sile kroz prirast progiba.

$$j = \frac{\Delta P}{\Delta f}$$

Budući da karakteristika progiba nije linearna taj kvocijent se mijenja sa silom, pa je već kod progiba pojedine tačke problem jednoznačno definirati krutost. Da bi pomoću takvog podatka mogli međusobno usporediti različite strojeve istog tipa, trebali bi tačno definirati, položaj elemenata alatnog stroja (na pr. suport u sredini i t.d.) hvatište i pravac te veličine sile kojom opterećujemo, položaj tačaka u kojima mjerimo progib bazu i pravac mjerenja. Drugim riječima morali bismo riješiti sva pitanja o kojima je bilo govora ranije. Za sada je jedina mogućnost rješavanja tog problema dogovoreno utvrđivanje svih navedenih podataka. U zemljama SEV-a radi se na normiranju metode mjerenja.

Kao primjer za karakteriziranje krutosti tokarilice jedinim brojčanim podatkom dajemo slijedeći izraz:

$$j_1 = \frac{P_{yz}}{f_s + 0{,}5(f_w + f_k)} \quad \left[\frac{kp}{\mu}\right]$$

ovdje je

j_1 - dogovoreni pokazatelj krutosti

P_{yz} - sila koja djeluje u sredini između šiljaka glavnog vretena i šiljaka konjića, u ravnini okomitoj na os glavnog vretena, i zatvara kut od 60° sa horizontalom

f_w - progib na vrhu glavnog vretena u horizontalnom pravcu, uslijed sile P_{yz}
f_s - progib držača alata u horizontalnom smjeru
f_k - progib pinole konjića u horizontalnom smjeru

Nazivnik ovog izraza predstavlja u stvari pomak držača alata od spojnice vrhova šiljaka.

Proizvođač alatnih strojeva želi svakako usporediti svoj stroj sa sličnim strojevima drugih proizvođača. Za sada bi jedino bilo moguće usporedbu provesti tako, da se istom metodom, u nekom institutu ili tvornici izmjere karakteristike različitih strojeva. Tu bi trebalo težiti za tim da metoda bude što jednostavnija.

Usprkos svih teškoća oko numeričkog izražavanja krutosti, i pronalaženja kriterija za usporedbu smatramo da vizuelna ocjena raspodjele deformacija koju dobijemo ucrtavanjem pomaka u konture stroja već opravdava trud uložen u mjerenje.

L I T E R A T U R A

1. Dr ing. Rolf Piekenbrink, Aachen. Betrachtungen über das statische und dynamische Verhalten von Werkzeugmaschinen.
7. Forschungsbericht des Laboratoriums für Werkzeugmaschinen und Betriebslehre der Rhein - Westf. Technischen Hochschule Aachen - - Girardet

2. Opći uvjeti ispitivanja krutosti alatnog stroja
Prevod sa poljskog

3. Ispitivanje krutosti tokarilice
Prevod sa poljskog

4. Roman Sniechowski, Janusz Wojtyczek iz Instituta za obradu u Krakowu.
Normalizacija mjerenja statičke krutosti tokarilica
(Prevod s francuskog)
La Machine - outil française br.206, 207 i 208/1965.

T. Pecek

Untersuchnung statischer Steifigkeit der Werkzeugmaschinen

Messen der Verformungen einer Werkzeugmaschine bei der Belastung mit einer statischen Kraft, ermöglicht eine Beurteilung der Verformungen die infolge der Schnittkräfte entstehen, sowie der Mass und Formabweichungen des Werkstückes.

Die Belastung wird zwischen Werkzeug - und Werkstückträger angebracht. Die Richtung der Kraft stellt den Forscher vor den Problem.

Die Verformungen können relativ, d.h. zwischen zwei elementen der Werkzeugmaschine, oder apsolut d.h. von einer Basis ausser der Machine, gemessen werden. Die Wahl der Methode hängt vom Zweck der Untersuchung ab. Dem Technologen genügt das relative Messen der Verformung zwischen Werkzeug und Werkstück. Für den Konstrukteur ist jedoch wissenswert, wie die einzelne Maschinenteile und ihre Verbindungen in gesamter Verformung der Werzeugmaschine teilnehmen. Zur diesen Zweck ist die Messung von einer äusseren Basis besser geeignet.

Im Institut für Werkzeugmaschinen ist das Prinzip angenomen, die Richtung der Belastungskraft soll einer durchschnittlichen Richtung der Schnittkräfte entschprechen. Es wurden geeignete Vorrichtungen gebaut. Eine äussere Basis, die aus einer Rohrkonstruktion besteht, wurde verwendet. Die Steifigkeit dieser Konstruktion ist ziemlich klein, deswegen sehr grosse Aufmerksamkeit beim Messen notwendig ist.

Die Verformungen einzelner Punkte wurden in Diagramen, in Abhängigkeit von Kraft dargestelt. Ausserdem wurden die Verformungen im übertriebenem Massstab in Silhouette der Maschine eingetragen. Dieses Bild gibt ein guter Einsicht in die Verteilung der Verformungen unter einzelnen Maschinenteilen. Das ermöglicht dem Konstrukteur schwache Stellen zu entdecken. Die Erfahrungen anderer Forscher, dass die Verformungen meistens in Verbindungen enstehen, wurden bestätigt.

M. Kalajdžić *)

UPOREDNA KRUTOST POSTOLJA ALATNIH MAŠINA**)

1. Uvod

Ako se posmatra ceo lanac glavno vreteno - radni predmet - alat - nosač alata - postolje jedne alatne mašine, može se očekivati da uticaj deformacija postolja na ukupnu završnu tačnost radnog predmeta bude mali u odnosu na deformacije (usled dejstva sila rezanja) drugih elemenata posmatranog lanca. Međutim, određivanje statičke krutosti postolja alatnih mašina može biti aktuelno i sa spekta smanjenja težine cele mašine, odnosno utroška materijala i iznalaženja najpovoljnijeg konstruktivnog oblika postolja i načina ukrućenja preko broja i položaja rebara.

S obzirom da postolja alatnih mašina imaju složen konstruktivan oblik i da se nalaze pod dejstvom prostornog sistema sila, tačno računsko određivanje deformacija i statičke krutosti nije izvodljivo. Zbog ovoga se u određivanju statičke krutosti pristupilo razvoju određenih računsko-modelsko-eksperimentalnih metoda.

U istraživanju metoda za određivanje statičke krutosti postolja alatnih mašina uspostavljena je sledeća šema:

(i) Složen konstruktivan oblik postolja zamenjuje se nekim prostijim, koji se sastoji iz elemenata pravilnog geometrijskog oblika.

(ii) Ovako uprošćen računski model proračunava se za opterećenja koja su po karakteru i mestu dejstva najpribližnija realnim.

(iii) Tačnost ovako dobivenih rezultata, kao i korigovanje istih vrši se uporedenjem sa rezultatima eksperimentalno dobivenim ispitivanjem modela pravilnih geometrijskih oblika, koji odgovaraju uprošćenom računskom modelu postolja.

(iv) Dalje, uvodi se pojam svedene krutosti posmatranog računskog modela, koja se određuje iz uslova jednakosti deformacija istog i grede konstantnog preseka s ekvivalentnim opterećenjem.

Na kraju, tačnost ovako dobijenih rezultata ocenjuje se preko ispitivanja realnih mašina.

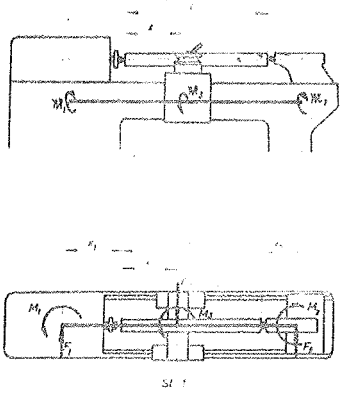
---

*) Milisav J. Kalajdžić, dipl.ing., saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27 marta 80.

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd. Saopštenje predstavlja deo projekta "Istraživanje i razvoj metoda za ispitivanje alatnih mašina" koji finansiraju Savezni i Republički fond za naučni rad i niz privrednih organizacija.

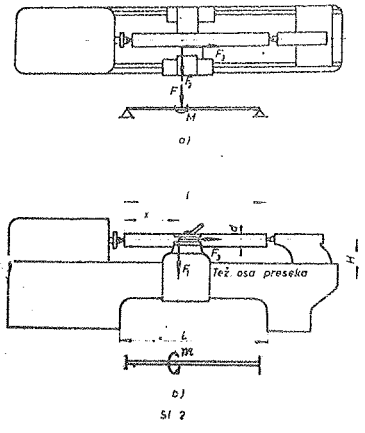
2. Šeme opterećenja i definisanje statičke krutosti postolja

Usled sopstvene težine, težine nosećih elemenata (nosač alata, prenosnik za glavno i pomoćno kretanje, zadnji šiljak i dr.), težine radnog predmeta i sila rezanja nastaju elastične deformacije postolja. Jasno je, da se usled deformacija postolja kao posledica pojavljuje pomeranje alata u odnosu na radni predmet, pa će u daljem razmatranju problema krutosti postolja glavni akcenat biti bačeni na uticaj deformacija istog na tačnost radnog predmeta.



Sl.1 Uprošćena šema opterećenja struga za slučaj obrade među šiljcima

Kao primer usvajanja šeme opterećenja uzima se postolje struga, koje se posmatra kao prosta greda konstantne krutosti po dužini. Za usvojenu šemu opterećenja postolja struga (sl.1) moguće je odrediti deformacije koje imaju praktičnog uticaja na tačnost radnog predmeta. Na ovaj način uvodi se pojam karakterističnih deformacija, gde se kod postolja struga pod karakterističnim deformacijama posmatraju samo deformacije nastale usled savijanja postolja u horizontalnoj ravni i deformacije uvijanja, pošto deformacije nastale usled savijanja u vertikalnoj ravnini nemaju praktičnog uticaja na tačnost izrade radnog predmeta. Na ovaj način moguće je definisati statičku krutost postolja kao odnos odgovarajuće sile rezanja i pomeranja vrha noža u odnosu na radni predmet nastalog usled savijanja postolja u horizontalnoj ravni i deformacija uvijanja.



Sl. 2
Računski modeli za određivanja karakterističnih deformacija postolja struga
a) Savijanje u horizontalnoj ravni
b) Uvijanje

S obzirom da je dužina postolja struga znatno veća u odnosu na širinu i visinu, to će u proračunu biti posmatrano kao prosta greda konstantnih krutosti po dužini na savijanje u horizontalnoj ravni i uvijanje.

Prema šemi sa sl. 2 ugib usled savijanja u horizontalnoj ravni iznosi

$$f_H = \frac{F_2 L^3}{3K_\varphi}\left(\frac{x}{L}\right)^2\left(\frac{L-x}{L}\right)^2 \qquad (1)$$

gde je
F_2 – otpor pro...anja,
L^2 – računska dužina postolja,
x – rastojanje koje određuje položaj alata,
K_f – svedena krutost postolja na savijanje u horizontalnoj ravni.

Dalje, takođe prema sl.2, a koristeći poznate odnose iz otpornosti materijala može se odrediti ugao uvijanja preko formula $\varphi = M(L-x)x/LK\varphi$

odnosno $$\varphi = \frac{F_1 \frac{d}{2} + F_0 H}{K\varphi} \frac{(L-x)x}{L} \qquad (2)$$

gde je
F_1 – glavni otpor rezanja,
H – odstojanje ose radnog predmeta od ...ežišta površine poprečnog preseka postolja,
d – prečnik radnog predmeta,
$K\varphi$ – svedena krut... postolja na uvijanje.

Pomeranje alata u odnosu na radni predmet usled karakterističnih deformacija postolja iznosi

$$f = f_H + H\varphi \qquad (3)$$

pa se, koristeći približan odnos $F_1 : F_2 = 5:2$, a prema definiciji statičke krutosti, može pisati

$$\frac{1}{K_p} = \left[\frac{0{,}125}{K_f} (L-x)x + \frac{H(0{,}47d + 0{,}37H)}{K\varphi} \right] \frac{(L-x)x}{L} \qquad (4)$$

Formula (4) predstavlja recipročnu vrednost ukupne krutosti postolja struga za slučaj obrade među šiljcima.

3. Svedena krutost horizontalnih postolja

Svedena krutost horizontalnih postolja određena je iz uslova jednakosti deformacija usvojene šeme postolja struga i grede konstantnog poprečnog preseka sa ekvivalentnim opterećenjima i služi kao uporedni pokazatelj uticaja broja i rasporeda rebara na ukupnu krutost postolja.

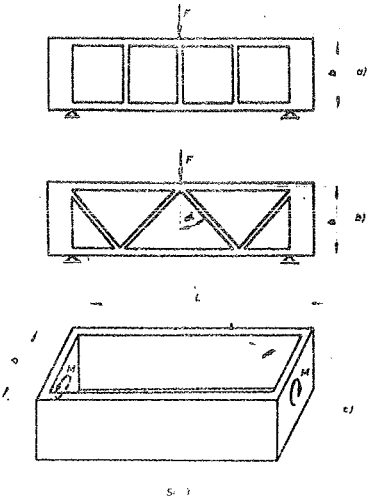
3.1. Svedena krutost na savijanje u horizontalnoj ravni

Određivanje krutosti u horizontalnoj ravni zasnovano je na sledećim pretpostavkama:

(i) Krutost postolja na savijanje u horizontalnoj ravni određuje se za postolje posmatrano kao greda slobodno oslonjena na dva oslonca, opterećena koncentrisanom silom na sredini raspona. Svedena krutost određuje se iz uslova jednakosti deformacija statičkog modela postolja i grede konstantnog poprečnog preseka za ekvivalentnu šemu opterećenja.

(ii) Koncentrisane sile deluju na mestu spoja rebara i zidova postolja.

Svedena krutost postolja određena je posebno za postolja sa normalnim, a posebno za postolja sa dijagonalnim rebrima.



Sl. 3. Računski modeli postolja za određivanje svedene krutosti
a) i b) Savijanje u horizontalnoj ravni
c) Uvijanje

3.1.1. Postolja s normalnim rebrima

Pri određivanju ugiba postolja s normalnim rebrima (sl. 3a) pod dejstvom sile F statički model postolja posmatran je kao statički neodređen ram. Korištenjem poznatih stavova iz otpornosti materijala, a preko minimuma deformacionog rada, određen je ugib postolja u funkciji sile F. Pri određivanju ukupnog deformacionog rada usvojeno je:

(i) Krajnja rebra i srednje rebro naspram sile F posmatraju se kao apsolutno kruta tela.

(ii) Ostala rebra posmatraju se kao apsolutno kruta samo u aksijalnom pravcu.

Na ovaj način dobijeno je za n = 1

$$f_1 = \frac{FL^3}{384EI_{z_1}} \qquad (5)$$

za n = 3

$$f_3 = \frac{FL^3}{1536EI_{z_1}} \cdot \frac{3+16\mu}{3+4\mu} \qquad (6)$$

za n = 5

$$f_5 = \frac{FL^3}{3546EI_{z_1}} \cdot \frac{1+9\mu}{1+\mu} \qquad (7)$$

gde je
n – broj rebara,
L – računska dužina postolja,
b – računska širina postolja,

$\mu = 6I_{z_1}/LI_{r_1}$

I_{z_1} – aksijalni moment inercije poprečnog preseka zida postolja za centralnu vertikalnu osu,
I_{r_1} – aksijalni moment inercije poprečnog preseka rebra za centralnu vertikalnu osu,
E – modul elastičnosti.

Ugib za n = 2 i n = 4 može se usvojiti kao aritmetička sredina između f_1 i f_3, odnosno f_3 i f_5.

Za gredu konstantnog poprečnog preseka, raspona L, slobodno oslonjenu na dva oslonca, ugib usled dejstva koncentrisane sile F, kojom je

greda opterećena na sredini raspona, iznosi

$$f = \frac{FL^3}{48EI} \qquad (8)$$

gde je
$EI = K_f$ - krutost grede na savijanje

Konačno se može odrediti svedena krutost na savijanje u horizontalnoj ravni preko

$$K_f = KEI_z \qquad (9)$$

gde se K određuje izjednačujući ugibe dobijene formulama (5), (6) i (7) sa ugibom iz formule (8).

3.1.2. Postolja s dijagonalnim rebrima

Statički model postolja s dijagonalnim rebrima dat je na sl.3b.

Pri određivanju ugiba postolja sa dijagonalnim rebrima usvojeno je:

(i) Sila F deluje na sredini raspona L na mestu gde se spajaju rebra i zid postolja.

(ii) Sile, kako u pritisnutim tako i u zategnutim dijagonalnim rebrima, po modulu su iste.

(iii) Krajnja (zatvarajuća) rebra su apsolutno kruta.

(iv) Uzima se u obzir samo deformacioni rad savijanja zidova postolja u horizontalnoj ravni i istezanja, odnosno sabijanja dijagonalnih rebara jer se krutost rebara na savijanje može zanemariti pošto je dosta manja u odnosu na aksijalu krutost.

Vodeći računa o gornjim predpostavkama, a preko minimuma deformacionog rada dobijeno je:

$$f_n = \frac{5FL^3}{4EI_{z_1}} \cdot \frac{\nu}{96\nu + 5n^2} \qquad (10)$$

gde je
n - broj dijagonalnih rebara,

$$\nu = \frac{EI_{z_1}}{EA_r l^2 \cos^2\alpha \sin\alpha}$$

A_r - površina poprečnog preseka rebra,
$l = L/n$, a L - računska dužina postolja,
$\alpha = \text{arc tg } (l/b)$, a b - širina postolja.

Izjednačujući ugibe iz (8) i (10) dobija se približna računska formula za svedenu krutost postolja sa dijagonalnim rebrima na savijanje u horizontalnoj ravni

$$K_f = \frac{96\nu + 5n^2}{60\nu} EI_{z_1} \qquad (11)$$

3.2. Svedena krutost na uvijanje

Svedena krutost postolja na uvijanje određena je prema sledećoj šemi:

(i) Ugao uvijanja određuje se za statički model postolja (sl.3c) opterećena krajevima sa dva momenta istog modula, suprotnog smera.

(ii) Uvijanje se posmatra u odnosu na osu postolja koja prelazi kroz težište površine poprečnog preseka postolja.

(iii) Krajnja rebra se posmatraju kao apsolutno kruta.

(iv) Zanemaruje se krutost na uvijanje zidova postolja.

(v) Pri računskom određivanju ugla uvijanja zanemaren je uticaj rebara, koji se uzima u obzir preko koeficijenata eksperimentalno određenih ispitivanjem modela.

Prema ovoj šemi preko minimuma deformacionog rada dobijeno je

$$\varphi = \frac{ML^3}{6EI_{z_2}b^2} + 2\,\frac{ML}{6A_z b^2} \qquad (12)$$

gde je

I_{z_2} - aksijalni moment inercije poprečnog preseka zida postolja za centralnu horizontalnu osu,

A_z - površina poprečnog preseka zida postolja,

G - modul klizanja,

L i b - računska dužina i širina postolja.

Za homogenu gredu konstantnog poprečnog preseka, dužine L, opterećenu na krajevima momentima M, ukupni ugao uvijanja dobije se preko

$$\varphi = \frac{ML}{GI_o} \qquad (13)$$

gde je

$GI_o = K\varphi$ - krutost na uvijanje.

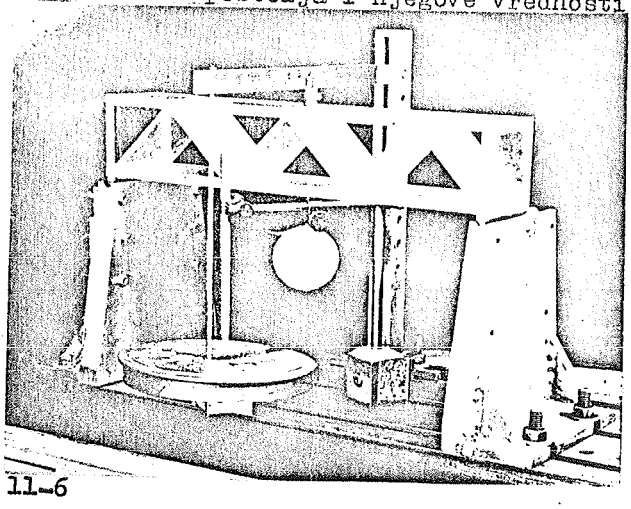
Uzimajući u obzir izraze (12) i (13) svedena krutost na uvijanje iznosi

$$K_\varphi = \frac{b^2 EI_{z_2}}{0{,}166L^2 + \frac{2EI_{z_2}}{GA_z}} \qquad (14)$$

Ako se obuhvati uticaj broja i položaja rebara jednim popravnim faktorom ζ onda izvedena krutost na uvijanje horizontalnih postolja iznosi

$$K_\varphi = \frac{1}{\zeta} \cdot \frac{b^2 EI_{z_2}}{0{,}166L^2 + \frac{2EI_{z_2}}{GA_z}} \qquad (14')$$

Popravni faktor ζ je eksperimentalno određen ispitivanjem modela horizontalnih postolja i njegove vrednosti se nalaze na sl.6.



Sl. 4

Ispitivanje osnovnog modela postolja struga

4. Eksperimentalna provera svedene krutosti

Provera dobijenih izraza, kao i određivanje pojedinih popravnih faktora izvršeno je eksperimentalnim ispitivanjem osnovnih oblika modela postolja izrađenih od pleksiglasa. Modeli su tako izrađeni da odgovaraju statičkim modelima za proračun svedene krutosti.

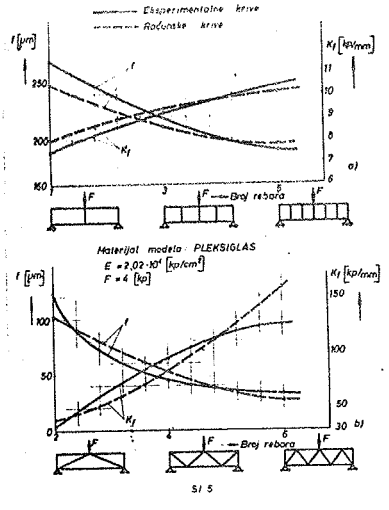
Izrađeni modeli sa različitim brojem normalnih i dijagonalnih rebara ispitivani su na savijanje i uvijanje radi provere i određivanja svedene krutosti.

Prethodno je za pleksiglas eksperimentalnim putem preko mernih traka određen modul elastičnosti E i modul klizanja G.

Na sl.4 prikazan je način merenja ugiba modela koji je opterećen koncentrisanom silom na sredini raspona.

Na sl.5 dati su rezultati ispitivanih modela na savijanje za modele sa različitim brojem normalnih i dijagonalnih rebara. Na apscisu je nanošen broj rebara a na ordinatu ugib $f[\mu k]$, odnosno krutost K_f $[kp/\mu k]$.

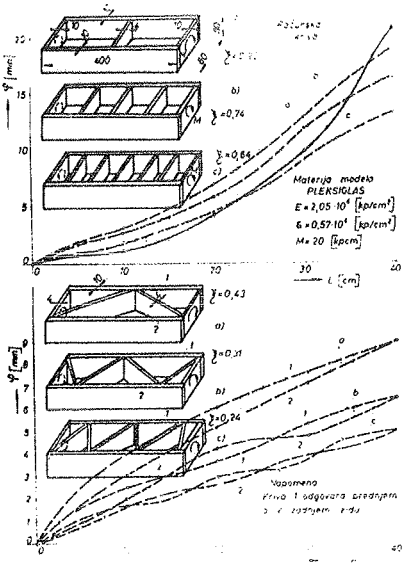
Razlike koje su se pojavile između računskih i eksperimentalnih vrednosti nisu velike, pa primenjen način proračuna i usvojene predpostavke omogućuju korišćenje izvedenih forumula za proračun ukupne krutosti postolja. Takođe se zapaža da razlike između teorijskih i eksperimentalnih rezultata variraju u funkciji broja rebara. Ovo je jasno s obzirom da je zanemarena krutost rebara na savijanje i sl. pa ukupan deformacioni rad koji je zanemaren varira s brojem rebara.



Sl. 5. Uporedne vrednosti deformacija krutosti na savijanje u horizontalnoj ravni modela sa različitim brojem rebara

Na sl.6 prikazani su rezultati ispitivanja modela sa normalnim, odnosno dijagonalnim rebrima na uvijanje. Rezultati su dijagramski prikazani za modele sa različitim brojem rebara gde je na apcisi nanošena dužina modela L[cm]a na ordinatu ugao uvijanja φ'. Ugao uvijanja je meren pomoću precizne libele na različitim mestima duž raspona modela za konstantno opterećenje na kraju čistim momentom uvijanja.

Uzimajući u obzir odnos maksimalnog ugla uvijanja koji je izmeren za modele sa različitim brojem rebara i maksimalnog ugla uvijanja izračunatog za model bez rebara prema jedn (12) određeni su koeficijenti ζ dati na sl.6. Valja napomenuti da za razliku od koeficijenta K koji se pojavljuje pri savijanju i koji je računski dobijen, koeficijent ζ važi samo za jedan odnos dimenzija zidova i rebara postolja.



Sl.6. Uporedne vrednosti deformacija i krutosti na uvijanje modela sa različitim brojem rebara

Na kraju, s obzirom da bi prešli okvire ovog saopštenja, ne daju se rezultati ispitivanja i analize statičke krutosti realnih mašina pošto je pored ostalog jedan originalni metod još u razvoju.

5. Zaključak

Na osnovu računsko-modelsko-eksperimentalnog proračuna krutosti horizontalnih postolja mogu se doneti sledeći zaključci:

(i) Krutost postolja sa dijagonalnim rebrima u odnosu na postolja s normalnim rebrima, kako na savijanje, tako i na uvijanje, dosta je veća, pa su za isti utrošak materijala, odnosno težinu dosta povoljnija postolja s dijagonalnim rebrima.

(ii) Uporedujući dijagrame kojima su prikazani računski i eksperimentalni rezultati deformacija modela, izvedene formule za svedenu krutost, s obzirom da daju približne rezultate koji mnogo ne odstupaju od stvarnih vrednosti dobivenih ispitivanjem modela, mogu poslužiti za ekspresno određivanje krutosti i izbor broja rebara.

L I T E R A T U R A

1. "Istraživanje i razvoj metoda za ispitivanje alatnih mašina" Elaborat 36/66, Institut za alatne mašine i alate, Beograd, 1966.

M. Kalajdžić

A Comparative Study of Bed Stiffness in Machine Tools

With the bed of a lathe as an example, and taking into account only the deformation which influences the accuracy of machining, the total stiffness is being discussed in the paper. The notion of reduced static stiffness is introduced, which may be determined by the assumption that the deformation of a bed structure of simplified geometry is equal to that of a simple beam having constant longitudinal stiffness. Mathematical expressions of reduced stiffness have been derived for beds differing in number and position of webs, and also theoretical values compared with the experimental ones obtained with perspex bed models.

B. Gligorić *)

NEKI PROBLEMI UTEMELJENJA ALATNIH MAŠINA **)

1. Uvod

Utemeljenje mašina i uređaja postaje danas veoma aktuelan problem u mašinstvu. Ovo naročito važi za alatne mašine pošto se kod njih postavljaju veoma strogi zahtevi u pogledu tačnosti i kvaliteta obrade u težnji za povećanjem brzine obrade i proizvodnosti rada.

Izvori vibracija mašina su uglavnom dvojaki, unutrašnji od same mašine i spoljašnji od okolne sredine, pa prema tome imamo aktivnu i pasivnu izolaciju vibracija. Postavljanjem mašina na elastične oslonce prigušuje se mehanička energija koja se prenosi na okolinu i sa okoline na mašinu. Sem toga, na ovaj se način smanjuju i zvučni efekti.

Lake i srednje mašine dovoljno je postaviti na elastične podmetače slobodno na pod, dok se za teške i specijalne mašine visoke tačnosti uglavnom primenjuju specijalni i skupi betonski temelji.

Opšta je težnja u proizvodnom mašinstvu uvođenje gornjeg električnog razvoda za alatne mašine, usled čega se nameće potreba slobodnog postavljanja mašina na elastične podmetače. Ovaj način oslanjanja je u prednosti nad klasičnim načinima čvrstog vezivanja mašine za osnovu temelja, usled mogućnosti brzog adaptiranja mašinskog parka u uslovima promene tehnološkog procesa. Sem toga, na ovaj se način znatno smanjuju troškovi u odnosu na klasične masivne betonske temelje. Na posletku se postiže visoka tačnost i finoća obrađene površine, što je nemoguće postići na mašinama bez zaštite od spoljnih vibracija. Elastični podmetači postavljaju se direktno najčešće ispod same mašine ili ispod pomoćnih betonskih blokova.

U ovom radu su najpre izloženi uzroci i posledice vibracija kod alatnih mašina. Potom je razrađena teorijska analiza izolacije vibracija pomoću analognih električnih šema u cilju sticanja kvalitativnih informacija o pogodnosti primene elastičnih podmetača. Dalje je dat osvrt na proračun i ispitivanje elastičnih podmetača domaće proizvodnje "IRAP" (Trstenik) i "VIBRACHOC" (Pariz) podmetača. Naposletku je izložena jedna metoda i rezultati uporednih ispitivanja dinamičke stabilnosti alatnih mašina za prethodnu obradu obzirom na način njihovog oslanjanja. U tom cilju su uvedeni relativni koeficijenti dubine rezanja (K_d) i iskorišćenja utrošene snage (K_p) kao kriteriji proizvodnosti.

---

*) Branko L.Gligorić, dipl.ing., saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27 marta 80.

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, predstavlja deo naučnoistraživačkog projekta ISPITIVANJE AMORTIZACIJSKE SPOSOBNOSTI ELASTIČNIH PODMETAČA KAO TEMELJA ALATNIH MAŠINA, u čijem finansiranju su učestvovali Republički fond za naučni rad i preduzeće "IRAP", Trstenik.

2. Uzroci i posledice vibracija kod alatnih mašina

Alatne mašine predstavljaju veoma složene mašinske agregate s velikim brojem sklopova i elemenata koji se kreću rotaciono ili translatorno različitim brzinama. Usled ovog uzroci vibracija alatnih mašina su raznovrsni i mnogobrojni, kako sledi:

- Neuravnotežene inercijalne sile obrtnih i translatornih masa
- Prekomerni zazori u sklopovima, bacanje kotrljajućih ležišta i sl.
- Promenljive sile trenja u kliznim spojevima, pojava nejednolikosti kretanja klizača i suporta (pojava stick-slip)
- Promenljive sile otpora u procesu rezanja
- Nepoklapanje težišta mase mašina s težištem osnove, promena položaja težišta pri radu mašine, kosa i ekscentrična opterećenja
- Samopobudne vibracije koje se javljaju pri određenom režimu obrade na mestu između alata i radnog predmeta

Na ovaj način nastale vibracije se dalje prenose na temelje, okolnu sredinu i građevinske objekte.

Sem ovoga se javljaju i spoljne pobude usled uticaja susednih mašina i uređaja (mašine s neuravnoteženim masama - kompresori, motori i dr., mašine s udarnim opterećenjem - prese, čekići, mašine s naizmenično translatornim kretanjem), zatim od transportnih uređaja i dr. Naposletku su u pitanju i rezonantne karakteristike osnove temelja.

Drugi pravac prenosa vibracija koji je od interesa je ka zoni obrade - radni predmet i alat.

U cilju postizanja visokog kvaliteta tačnosti obrade neophodna je izolacija mašina od spoljnjih i unutrašnjih vibracija. U običnim radioničkim uslovima vibracije temelja imaju širok spektar učestanosti od nekoliko Hz do preko 100 Hz i s amplitudama od dela mikrometra do 10 (20) μm. Ovako široki spektar učestanosti vibracija otežava efikasno ostvarenje izolacije vibracija, zbog čega proizvođači isporučuju veoma različite veličine i oblike elastičnih podmetača izrađene od različitih materijala.

Sa inženjerske tačke gledišta za određivanje stepena izolacije vibracija potrebno je saznati kako se vibracije pobudnih sila na mašini i od temelja prenose na pojedine ključne sklopove mašine i kako utiču na tačnost obrađene površine. Sve ovo zavisi od relativnih vibracija između pojedinih sklopova mašine, a najviše između alata i radnog predmeta.

3. Mehanička analiza izolacije vibracija mašina

U teoriji izolacije vibracija razmatraju se prinudne vibracije oscilatornog sistema mašine sa elastičnim osloncima na apsolutno krutom ili elastičnom temelju, konačne ili beskonačno velike mase (sl. 1 i 3). Pri tome je potrebno odrediti sledeće veličine (sl.1):

- Fazor apsolutnog pomeranja ($\tilde{Y}$) mase (m), izazvana spoljnom pobudnom silom ($\tilde{F}$)
- Fazor sile ($\tilde{F}_1$) koji se preko amortizera prenosi na temelj
- Fazor apsolutnog pomeranja ($\tilde{Y}$) mase (m) izazvan pomeranjem temelja

$(\breve{S})$.

- Fazor relativnog pomeranja $(\breve{Y} - \breve{S})$ mase (m) u odnosu na temelj, izazvan njegovim pomeranjem $(\breve{S})$.

U pogledu izolacije vibracija razlikujemo aktivnu i pasivnu izolaciju:

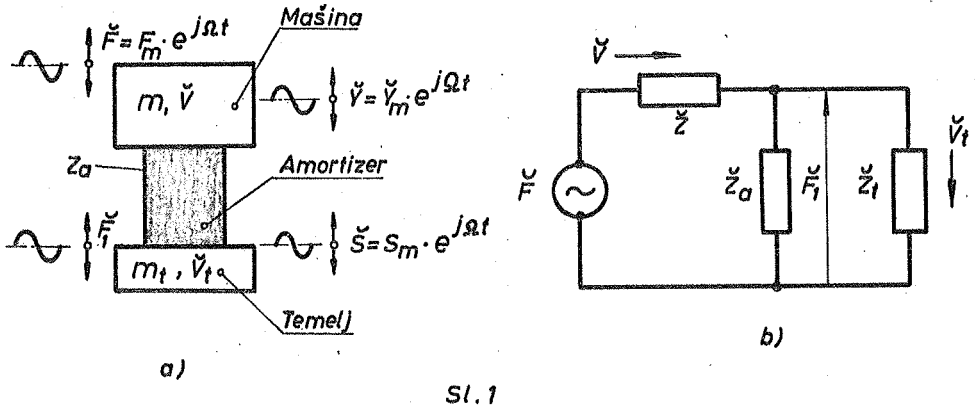
1° Pod aktivnom izolacijom vibracija mašina i uređaja se podrazumeva problem smanjenja prenosa vibracija i zvuka od same mašine na temelje i okolnu sredinu. Ovo se uglavnom odnosi na mašine za predhodnu obradu-strugovi, glodalice, rendisaljke i dr., jer su kod njih unutrašnje sopstvene pobude znatno već od spoljnih.

2° Pod pasivnom izolacijom vibracija mašina i uređaja se podrazumeva problem smanjenja prenosa vibracija i zvuka od okolne sredine na posmatranu mašinu. Ovaj vid izolacije uglavnom se odnosi na mašine za završnu obradu.

Kod aktivne izolacije moraju se najpre odstraniti uzroci, tj. unutrašnje pobude, dok je kod pasivne potrebno udaljiti mašine od izvora spoljnih pobuda. I jedan i drugi vid izolacije efikasno se rešava primenom elastičnih podmetača.

3.1. Aktivna izolacija vertikalnih vibracija mašina s dinamičkom pobudom $\breve{F}(t)$.

Vertikalne vibracije mašine, koja leži na elastičnim osloncima na horizontalnom temelju, nastaju ako se vertikalna pobudna sila poklapa sa zajedničkom vertikalom kroz težište mašine i osnove temelja. Ove vibracije se javljaju usled pobudne sile $\breve{F}_m \exp j\Omega t$ (sl.1a), čiji se pravac poklapa s inercijalnom silom $(m\ddot{\breve{Y}})$, silom viskoznog trenja $(r\dot{\breve{Y}})$ i elastičnom silom $(k\breve{Y})$.



Sl.1

Sl.1. Mehanička šema izolacije vibracija mašine mase m (a) i njena ekvivalentna analogna električna šema (b)

Diferencijalna jednačina vibracija sistema ($m_t = \infty$) u fazorskom obliku

$$m\ddot{\breve{Y}} + r\dot{\breve{Y}} + k\breve{Y} = \breve{F} \qquad (1)$$

pa su prinudne vibracije mase (m)

$$Y = Y_m \exp j\,(\Omega t - \varphi)$$

Ako se uvedu oznake

$\zeta = \Omega/\omega_0$ - koeficijent režima vibracija,
$\gamma = r/\sqrt{mk}$ $(=2\delta/\omega_0)$ - koeficijent relativnog prigušenja,
$\eta = \zeta\gamma$ $(=\Omega r/k)$ - koeficijent disipativnih gubitaka,
$Y_{st} = F_m/k$ - statički ugib usled amplitude dinamičke sile, tada se dobija dinamički koeficijent ili koeficijent pojačanja

$$\beta d = Ym/y_{st} = \frac{1}{\sqrt{(1-\zeta^2)^2+\zeta^2\gamma^2}} \qquad (2)$$

Promene koeficijenta (βd) u zavisnosti od režima vibracija ($\zeta = \Omega/\omega_0$) i koeficijenta prigušenja (γ) prikazane su na dijagramu (sl.2a) u bezdimenzijskim koordinatama. Za $\zeta \to 0$, $\beta d \to 1$, tj. $(Y_m \to Y_{st})$. Za slučaj $\zeta = 1$ $(\Omega = \omega_0)$ i $\gamma \to 0$, vrednost (βd) se neizmerno povećava, tj. neizmerno se povećava amplituda prinudnih vibracija (pojava rezonanse). Naposletku za $\zeta \gg 1$ je $\beta d \to 0$ bez obzira na prigušenje (asimptotska stabilnost). Koeficijent prigušenja (γ) veoma jako utiče na amplitude prinudnih vibracija samo pri režimima bliskim rezonansi.

Da bi odredili koeficijent prenosa (T_a) vibracija, zamenimo u jednačinu (1) veličine $\breve{Y}$ i $\dot{\breve{Y}}$ pomoću $\breve{Y}$. Na taj način dobija se mehanička impedansa sistema u kompleksnom obliku

$$\breve{Z}_1 = \breve{F}/\breve{Y} = r + j\,(\Omega m - k/\Omega) \qquad (3)$$

Sila koja se prenosi na temelj ($m_t = \infty$) preko elastičnih podmetača (čija je mehanička impedansa $\breve{Z}_a = r - JK/\Omega$) ima oblik

$$\breve{F}_1 = \breve{Z}_a\,\breve{Y} \qquad (4)$$

pa je koeficijent prenosa sile na temelje kod aktivne izolacije (sl. 2b).

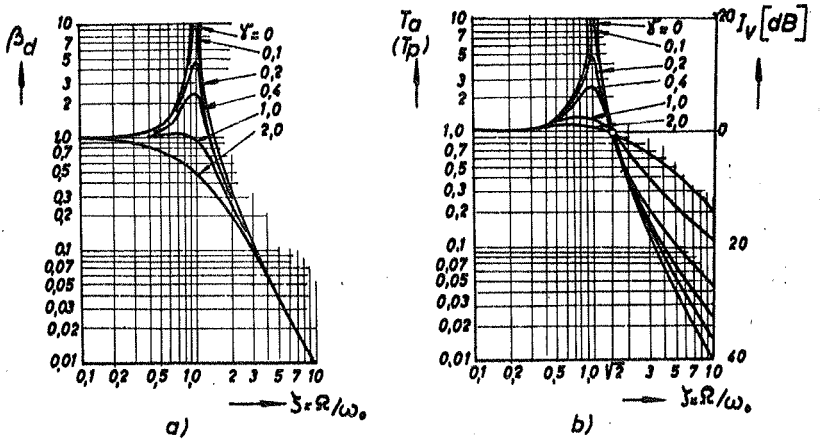
$$T_a = \left|\breve{F}_1/\breve{F}\right| = \sqrt{\frac{1+\zeta^2\gamma^2}{(1-\zeta^2)^2+\zeta^2\gamma^2}} \qquad (5)$$

Vrednost $T_a = 1$ za $\zeta_1 = 0$ i $\zeta_2 = \sqrt{2}$ nezavisno od prigušenja (γ).

Prigušenje smanjuje koeficijent prenosa (T_a), i to smanjenje ima najveći efekat u blizini rezonanse ($\zeta = 1$).

Međutim, u oblasti $\zeta > \sqrt{2}$ prigušenje povećava koeficijent prenosa (T_a). U ovoj oblasti amplitude (Y_m) se smanjuju, a povećava prenos sile na temelje, pri čemu bi za prvi slučaj trebalo povećati prigušenje a za drugi smanjiti. Očigledno je, da je s inženjerske tačke gledišta reč o kompromisu.

Ova analiza se može uopštiti pomoću analogne električne šeme i za konačnu masu temelja m_t (sl.1b).



Sl. 2

Sl. 2. Rezonantne karakteristike i koeficijenti prenosa oscilat. sistema mašine na elastičnim osloncima sa viskoznim trenjem, prema sl.1a

a) Dijagram promene $\beta d = Y_m/Y_{st}$ u funkciji $\zeta = \Omega/\omega_0$ i $\gamma = 2\delta/\omega_0$

b) Dijagram promene koeficijenta prenosa $T_a = T_p = Y_m/S_m$ u funkciji ζ i γ.

Dinamičke jednačine su tada

$$\breve{F} = (\breve{Z} + \breve{Z}_{11})\breve{V} \tag{6}$$

$$\breve{F}_1 = \breve{Z}_t\breve{V}_t = \breve{Z}_{11}\breve{V} \tag{7}$$

gde su mehaničke impedanse

$\breve{Z} = jm\Omega$ - mase mašine,

$\breve{Z}_t = jm_t\Omega$ - mase temelja,

$\breve{Z}_{11} = \breve{Z}_a\breve{Z}_t/(\breve{Z}_a + \breve{Z}_t)$ - ekvivalentna impedansa,

$\breve{Z}_a = r - j\,k/\Omega$ - amortizera

pa iz jednačina (6) i (7) izlazi

$$\breve{F}/\breve{F}_1 = \breve{Z}/\breve{Z}_t + \breve{Z}_t/\breve{Z}_a + 1 \tag{8}$$

Iz jednačine (7) se dalje dobija

$$\breve{V}/\breve{V}_t = \breve{Z}_t/\breve{Z}_{11} = 1 + \breve{Z}_t/\breve{Z}_a$$

Za slučaj da je $|\breve{Z}_t| \to \infty$, tj. $V/V_t \to \infty$ ($V_t = 0$) impedansa $\breve{Z}_t$ je prekinuta, iz (8) se dobija

$$\breve{F}/\breve{F}_1 = (1 - \zeta^2 + j\eta)/(1 + j\eta)$$

pa je koeficijent izolacije vibracija

$$I_v = 10\log\left|\frac{\breve{F}}{\breve{F}_1}\right|^2 = 10\log\frac{(1-\zeta^2)^2+\eta^2}{1+\eta^2} \quad [dB] \tag{9}$$

Za slučaj da je $\eta^2 \ll 1$ imamo

$$I_v = 20 \log (1 - \xi^2) \ [dB] \qquad (9a)$$

3.2. Pasivna izolacija vertikalnih vibracija mašine s kinematičkom pobudom ($\breve{S}$)

Vibracija sistema mašine, koja predstavlja seizmičku masu m (sl.1a), postavljenu na elastične podmetače, a pobuđivanu od strane temelja kinematičkom pobudom $\breve{S} = S_s \exp j\Omega t$, opisuje sledeća diferencijalna jednačina u apsolutnom koordinatnom sistemu i fazorskom obliku

$$m\ddot{\breve{Y}} + r\,(\dot{\breve{Y}} - \dot{\breve{S}}) + k\,(\breve{Y} - \breve{S}) = 0 \qquad (10)$$

Prinudne vibracije sistema, tj. partikularno rešenje diferencijalne jednačine (10) ima oblik

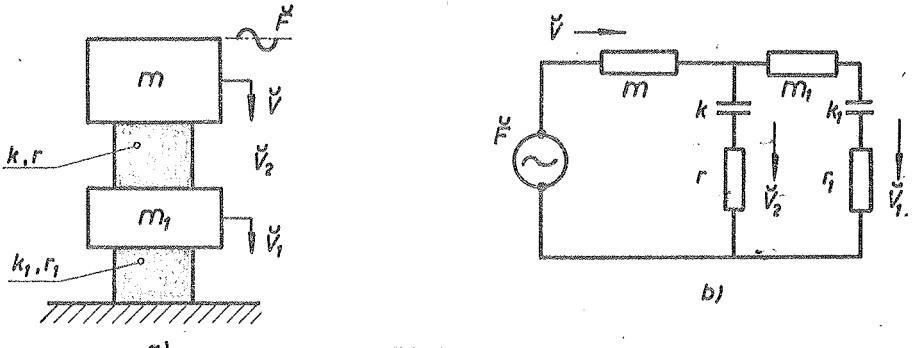
$$\breve{Y} = Y_m \exp j\,(\Omega t - \varphi)$$

pri čemu se zamenom odgovarajućih vrednosti u diferencijalnu jednačinu dobija koeficijent prenosa ili pojačanja koji ima istu zakonitost kao i koeficijent prenosa sile (T_a) sl.2b, dakle

$$T_p = Y_m/S_m = T_a = \sqrt{\frac{1+\eta^2}{(1-\xi^2)^2+\eta^2}}$$

3.3. Sistem dvostruke izolacije mašine preko betonskog bloka m_1 (sl.3a)

Analizu ovog sistema izvršićemo pomoću analogne električne šeme (sl. 3b). Iz jednakosti brzina i mehaničkih sila imamo



Sl. 3

Sl. 3. Mehanička (a) i ekvivalentna analogna električna šema (b) dvostruke izolacije vibracija mašine preko betonskog bloka (m_1)

$$\breve{V} = \breve{V}_1 + \breve{V}_2 \qquad (11)$$

$$\left[r_1 + j(\Omega m_1 - k_1/\Omega)\right] \breve{V}_1 = (r - jk/\Omega)\, \breve{V}_2 \qquad (12)$$

odavde je dalje moguće odrediti odnose $|\breve{V}/\breve{V}_1|^2$ odn. $|\breve{F}/\breve{F}_1|^2$ kao i koeficijent izolacije vibracija (I_v).

4. Materijali i konstrukcijski oblici elastičnih podmetača

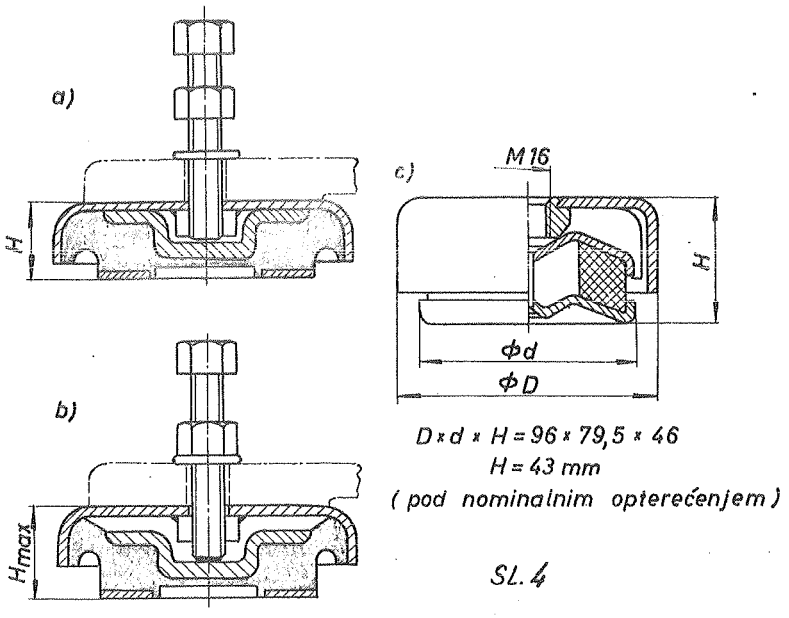
Za izradu elastičnih podmetača primenjuju se razni elastoviskozni materijali, kao: guma, pluta, filc, specijalni jastuci od pletene metalne žice i dr. Međutim najveću primenu ima guma, ne samo zbog njene dobre amortizacijske sposobnosti, već i zbog ostalih svojstava važnih za eksploataciju: postojanost na pojavu starenja, otpornost na vlagu, laka promena oblika, dobra adhezijska čvrstoća uz metalne površine - vulkanizacija i dr.

Postoje danas veoma različiti oblici podmetača za mašine. Najprostije izvođenje je s dve metalne ploče između kojih se nalazi guma čvrsto zalepljena vulkanizacijom ("SANDWICH").

Industrija "IRAP", Trstenik, izrađuje dva različita tipa metalnogumenih podmetača - normalno izvođenje i izvođenje "BA", sa po tri razne veličine i sa po tri razne tvrdoće gume (I, II, III - tvrdoće 60, 70, 80 Sh). Kod normalnog izvođenja (sl.4a, b) podmetač se slobodno oslanja na pod, dok se kod izvođenja "BA" učvršćuje zavrtnjima za prijem horizontalnih sila.

U poslednje vreme našli su primenu podmetači s elastičnim elementima u vidu pletenih metalnih jastuka od vučene Cr - Ni žice (sl.4c). Sem ovog izvođenja primenjuju se pleteni jastuci u kombinaciji s čeličnim zavojnim oprugama. Zatim u poslednje vreme pojavili su se specijalni pneumatski uređaji kao elastično oslonci pomoću kojih se vrši automatsko nivelisanje mašine pri kretanju njenih organa.

Različiti tipovi podmetača imaju različite oblasti primene, kao:
- Za $f_0 > 20$ Hz primenjuju se podmetači od plute, filca, debele gumirane tkanine, plastičnih masa, armiranih vlaknastih materijala, olovno-azbestnih podmetača i sl.
- Za $10 \leq f_0 \leq 20$ Hz primenjuje se guma opterećena na pritisak, jastuci od pletene čelične žice, debeli podmetači od filca i plute.
- Za $5 \leq f_0 \leq 10$ Hz dolazi guma opterećena na smicanje, jastuci od pletene čelične žice i sl.
- Za $f_0 \leq 5$ Hz celishodno je primeniti zavojne i listaste čelične opruge, pneumatske oslonce, podmetače od pletene čelične žice i dr.



Sl. 4. Konstrukcijski oblici elastičnih podmetača
a) Podmetač "IRAP" PM 120 pre nivelisanja mašine
b) Posle nivelisanja mašine; H = 30 mm, H_{max} = 36 mm
c) Podmetač "VIBRACHOC" V 509 - 3.

5. Proračun i ispitivanje mehaničkih parametara elastičnih podmetača

Primena elastičnih podmetača kod alatnih mašina, bez odgovarajućih proračuna i ispitivanja, često može da bude i štetna u smislu pojačanja vibracija.
Za osnovni proračun elastičnih podmetača potrebno je poznavati: težinu mašine G [kp], broj podmetača i, statičku krutost k_{st}[kp/cm], statički ugib δ_{st}[cm], glavnu pobudnu (f) i sopstvenu učestanost f_o[Hz]. Izbor sistema i parametara izolacije vibracija zavisi od tipa i veličine mašine, od zahtevane tačnosti obrade, od osetljivosti mašine na vibracije temelja, karaktera unutrašnjih pobuda i od krutosti kućišta mašine.

Svojstva gume kod metalnogumenih podmetača pri dinamičkom opterećenju se razlikuju od svojstva pri statičkom. Tako npr. dinamički modul elastičnosti (E_{dyn}) kod gume je veći od statičkog (E_{st}). Povećanje (E_{dyn}) nad (E_{st}) odnosno (k_{dyn}) nad (k_{st}) zavisi od vrste materijala. Odnos $\alpha_{dyn} = k_{dyn}/k_{st}$ za meku gumu iznosi samo neki procenat, dok je za tvrđe vrste veći.
Za proračun sopstvene učestanosti podmetača potrebno je uzeti u obzir dinamičku krutost (k_{dyn}), dakle

$$f_o = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_{dyn}}{m}} \cong 5\sqrt{\frac{\alpha_{dyn}}{G}\left(\frac{dF}{d\sigma}\right)_{F=G}} \qquad (13)$$

gde je

$\mathcal{H}_{dyn} = k_{dyn}/k_{st}$ odnos dinamičke i statičke krutosti odn. modula, respektivno

$g = 981\ [cm/sec^2]$ - ubrzanje sile zemljine teže

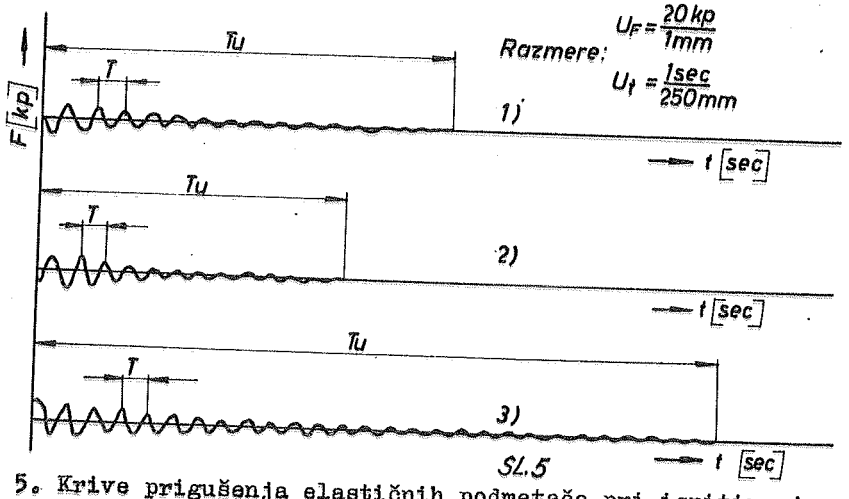
$F = f(\delta)$ - karakteristika sile u funkciji ugiba podmetača

$G[kp]$ - sopstvena težina mašine

Za obezbeđenje minimalnih pomeranja kućišta mašine na elastičnim podmetačima i postizanje udobnijeg rada treba težiti ka većoj krutosti podmetača ($dF/d\delta$) odn. ka minimalnom δ_{st}. Pošto je za svaku vrstu elastičnog materijala vrednost $\mathcal{H}_{dyn}$ u vezi s logaritamskim dekrementom (λ) i to upravo srazmerno, to pri izboru elastičnih podmetača, pri svim istim ostalim uslovima, treba težiti ka minimumu odnosa $\mathcal{H}_{dyn}/\lambda$.

Pri izboru elastičnih podmetača obično se usvaja oblast učestanosti $f/f_0 = 2 - 4$, dovoljno udaljena od rezonanse. Poznajući pobudnu učestanost (f) usvaja se sopstvena (f_0), pa iz ove, za određenu masu mašine, dobija dinamička krutost. U ovoj oblasti se smanjuju vibracije, ali s povećanjem prigušenja se povećava koeficijent (T), tj. pogoršava izolacija. Međutim u prelaznim režimima pri puštanju i zaustavljanju mašine, tj. pri prolazu kroz rezonansu neophodno je povećanje prigušenja.

Određivanje unutrašnjeg prigušenja u materijalu je izvršeno na visokofrekventnom pulzatoru "AMSLER" 10 HFP 422, pri čemu je korišćena dobošasta komora za snimanje dijagrama (F,t). Na osnovu ukupnog vremena prigušenja (T_u) i ukupnog broja slobodnih vibracija (N) izračunata je sopstvena učestanost sistema $f_0 = N/T_u\ [Hz]$ i period oscilacija (T_0).



Sl. 5. Krive prigušenja elastičnih podmetača pri ispitivanju na pulzatoru "AMSLER" 10 HFP 422

1) "IRAP" PM 120/I, k_{st} = 300 kp/mm;
2) "IRAP" PM 120/II, k_{st} = 420 kp/mm;
3) "VIBRACHOC" V 509-3, k_{st} = 190 kp/mm.

Koeficijent prigušenja (δ) se dobija iz logaritamskog dekrementa:

$$\lambda = \ln \frac{F_n}{F_{n+1}} = \delta T_o \qquad (14)$$

pa je $\delta_1 = 3,47$; $\delta_2 = 4,75$, $\delta_3 = 2,06$ za podmetače "IRAP" PM 120/I "IRAP" PM 120/II, "VIBRACHOC" V 509-3, respektivno. Prema tome, gumeni podmetači imaju bolju amortizacijsku sposobnost od "VIBRACHOC" V 509-3 podmetača.

Od posebnog je značaja merenje dinamičkog modula elastičnosti (E_{dyn}) koji karakteriše elastična svojstva materijala pri prostiranju uzdužnih talasa, dok koeficijent gubitaka (η) definiše disipativna svojstva. Za ova merenja se koristi poseban instrumentarijum za pobuđivanje i merenje vibracija, pri čemu se merni uzorak jednim krajem pričvršćuje za pomični deo pobuđivača, a na drugom kraju se opterećuje promenljivom masom.

6. Uporedno ispitivanje dinamičke stabilnosti alatnih mašina obzirom na način njihovog oslanjanja

Za meru kvaliteta alatnih mašina odlučujući su faktori: proizvodnost, tačnost izrade i sigurnost u pogonu. Za razne vrste mašina svi ovi faktori nemaju podjednak značaj. Tako npr. kod mašina za prethodnu obradu od najvećeg je značaja proizvodnost, kod mašina za završnu, tačnost, i kod automata sigurnost.
Kod uporednog ispitivanja za prvu grupu mašina potrebno je odrediti uticaj načina oslanjanja mašina na njihovu proizvodnost s obzirom na dinamičku stabilnost. Za kriterij proizvodnosti usvojena je granična dubina rezanja i utrošena snaga pri kojima nastaju samopobudne vibracije.

6.1. Kriterijumi proizvodnosti za određivanje uticaja načina oslanjanja mašina za prethodnu obradu

Za razne načine oslanjanja mašine određuje se granična dubina rezanja (δ_{gr}) i utrošena aktivna snaga (P), pri svim istim ostalim veličinama (korak, brzina obrade, materijal i oblik radnog predmeta), do pojave samopobudnih vibracija.

Uveden je relativni koeficijent dubine rezanja kao odnos graničnih dubina za ispitivani način oslanjanja (δ_{1gr}) i za slobodno oslanjanje na pod (δ_{2gr}) dakle

$$K_\delta = \frac{\delta_{1gr}}{\delta_{2gr}} \qquad (15)$$

Pod graničnom dubinom rezanja se podrazumeva ona dubina pri kojoj, za stalne ostale veličine režima obrade, nastaje nagli porast amplitude vibracija i zvuka na mernom mestu.

Za $K_\delta > 1$ oslanjanje na podmetače je pogodnije u odnosu na slobodno oslanjanje, dok je za $K_\delta < 1$ pogodnije slobodno oslanjanje.

Analogni zaključci se dobijaju i uvođenjem relativnog koeficijenta

utrošene snage (K_p). Pod koeficijentom utrošene aktivne snage se podrazumeva odnos utrošenih snaga elektromotora pri graničnim dubinama rezanja za ispitivani način oslanjanja (P_{1gr}) i etalon oslanjanja na pod (P_{2gr}), dakle

$$K_p = \frac{P_{1gr}}{P_{2gr}} \tag{16}$$

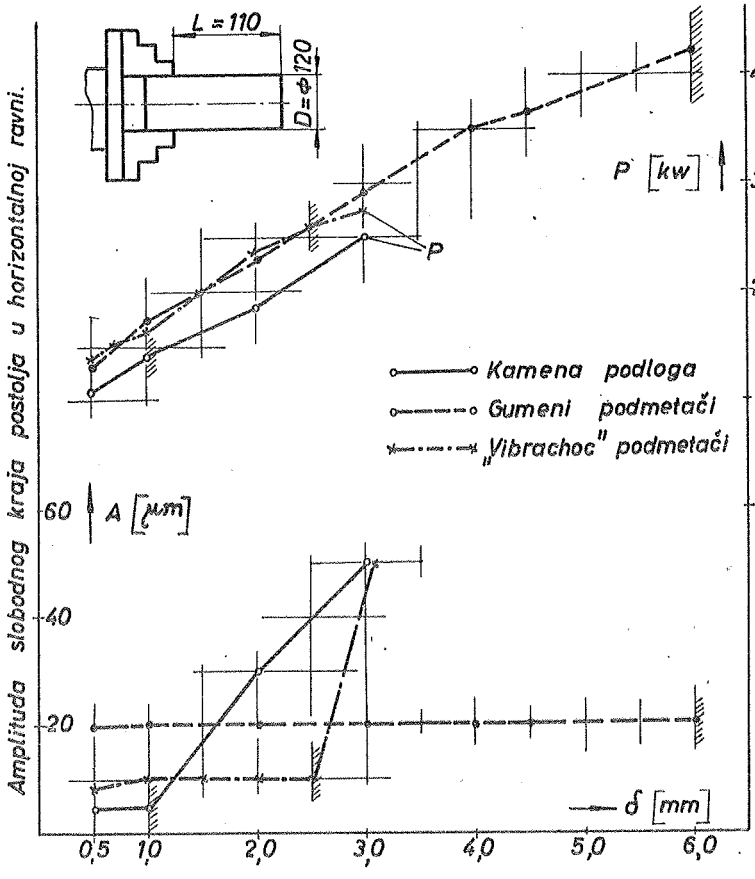
Uvođenjem nominalne snage elektromotora (P_N) izraz (16) postaje

$$K_p = \frac{\eta_1}{\eta_2} \tag{17}$$

gde su

$$\eta_1 = \frac{P_{1gr}}{P_N} \quad \text{i} \quad \eta_2 = \frac{P_{2gr}}{P_N}$$

koeficijenti iskorišćenja nominalne snage elektromotora za ispitivani i etalon način oslanjanja, respektivno.



Sl.6. Dijagrami promene amplitude vibracija (A) i snage (P) u funkciji dubine rezanja (δ) pri određivanju granične dubine rezanja (δ_{gr}) za konzolno stegnut radni predmet i utrošene aktivne snage (P).

Za određivanje relativnih koeficijenata (K_σ) i (K_p) koriste se dve vrste instrumentarijuma. Koeficijent (K_σ) se određuje pomoću instrumentarijuma za merenje amplitude Brüel i Kjaer i Reutlinger, dok se za određivanje koeficijenta (K_p) primenjuje instrumentarijum s vatmetrom, voltmetrom i ampermetrom u tzv. Aronovoj sprezi.

6.2. Rezultati uticaja načina oslanjanja struga US-22 u procesu rezanja

Na snovu izloženih kriterija ispitan je uticaj načina oslanjanja struga domaće proizvodnje US-22 (G = 900 kp, visina šiljaka 225 mm, raspon šiljaka 1000 mm i P_N = 4 kW) u procesu rezanja na njegovu dinamičnu stabilnost.
Prikazani su rezultati ogleda za radni predmet konzolno stegnut (L/D= = 110/120). Pri tome su primenjena tri načina oslanjanja mašine: kamena podloga, četiri podmetača "IRAP" PM 120/II i četiri "VIBRACHOC" podmetača. Karakteristične granične vrednosti uzete su sa dijagrama $A = f(\sigma)$ i $P = f(\sigma)$ i relativni koeficijenti svrstani u tabelu 1.

TABELA 1.
Rezultati uporednog ispitivanja načina oslanjanja struga US-22

Način oslanjanja	σ_{gr} [mm]	K_σ [1]	P_{gr} [kW]	K_p [1]	$\eta = \frac{P_{gr}}{P_N}$ [1]
Slobodno na kamenu podlogu	1	1	1,4	1	0,35
Na gumene podmetače "IRAP" PM 120/II	6	6	4,4	3,15	1,1
Na podmetače "VIBRACHOC" V509-3	2,5	2,5	2,6	1,86	0,65

Rezultati pokazuju da se pri istoj brzini rezanja i koraku, promenom načina oslanjanja dobijaju znatna poboljšanja u pogledu povećanja proizvodnosti i iskorišćenja bilansa snage mašine. Tako se sa 35% za oslanjanje na kamenu podlogu, povećava koeficijent (η) na 110% za oslanjanje na gumene podmetače "IRAP". Međutim podmetači "VIBRACHOC" V 509-3, mada pokazuju povećanje (η) na 65%, nisu dali očekivane rezultate.

7. Zaključak

Izložena teorijska analiza, rezultati ispitivanja mehaničkih karakteristika, kao i ispitivanja u procesu rezanja su pokazali prednost primene elastičnih oslonaca u odnosu na klasične krute temelje kod alatnih mašina. Ovo važi za većinu lakih i srednjih mašina.
Međutim za veoma uske i relativno visoke mašine, npr. za strugove većeg raspona šiljaka elastični podmetači, u eksploataciji, nisu pokazali povoljne rezultate u smislu postizanja potrebne dinamičke stabilnosti. U ovom slučaju bi trebalo mašinu postaviti najpre na okvir od čeličnih profila ili na podesnu temeljnu ploču, pa onda, na ela-

stične podmetače u cilju povećanja opšte stabilnosti. Asortiman elastičnih podmetača koje isporučuje preduzeće "IRAP" očigledno nije u mogućnosti da zadovolji potrebe za sve vrste i tipove alatnih mašina.

Pri uporednom ispitivanju mehaničkih karakteristika trebalo bi stvoriti pouzdanije kriterije na osnovu statističkih metoda ispitivanja. Ove kriterije bi trebalo povezati sa kriterijuma ispitivanja mašina u procesu rezanja.

U detaljnijim laboratorijskim ispitivanjima dinamičkog ponašanja alatnih mašina primenjuje se metoda uvođenja sile u pojedine sklopove, čime se simuliraju opterećenja u procesu rezanja [1].

L I T E R A T U R A

[1] B.Gligorić, V. Milačić, Ispitivanje amortizacijske sposobnosti elastičnih podmetača kao temelja alatnih mašina, elaborat broj 26/65., Institut za alatne mašine i alate, Beograd (1965.)

[2] Ju. I. Ioriš, Vibrometrija, Moskva (1963.)

[3] Gübel E. F., Berechnung und Gestaltung von Gumifedern, Springer Verlag (1955.)

[4] C.M. Harris CH. E. Crede, Shock and Vibration Handbook, 1961.

[5] Prospekti firmi: F. Brumme, "VIBRACHOC" i "IRAP", Trstenik

B. Gligorić

Einige Problemme der Aufstellungen von Werkzeugmaschinen

Die Schwingungsentstörung bei Maschinen und Geräten, durch die Verwendung von elastischen Stützungen, zeigt sich heute im Maschinenbau als sehr aktuelles Problemm. Das ist besonders wichtig bei den Werkzeugmaschinen, da bei denen sehr hoche Ansprüche im Bezug auf Genauigkeit und Oberflächengüte gestellt sind im Zusammenhange mit der Schnittgeschwindigkeiterhöhung und Produktionssteigerung.

Die Schwingungsursachen bei den Maschinen sind hauptsächlich zweierlei: die durch Maschinen selbst entstandenen Schwingungen, und die äussere von der Umgebung entstandenen Schwingungen. Durch die Aufstellung der Maschinen auf elastischen Stützungen wird die mechanische Energie, die auf die Umgebung bzw. von der Umgebung auf die Maschine übergeht, gedämmt. Ausserdem werden auf diese Weise die Körperschalldämmungen erreicht.

Bei den leichten und mittleren Maschinen genügt es wenn man diese auf elastischen Unterlagen, frei auf dem Boden, aufstellt. Bei den schweren und speziellen Präzisionsmaschinen werden spezielle und teuere Betonfundamente verwendet.

In diesen Aufsatz sind vorerst die Ursachen - und die Schwungungsfolgen bei den Werkzeugmaschinen aufgeklärt. Weiter ist die mechanische Analyse der Schwingungentstörung bearbeitet, zwecks Erreichung kvalitativen Informationen über günstige Anwendungen von elastischen Unterlagen. Weiterhin ist ein Überblick auf die Berechnung und Untersuchung der mechanischen Daten von elastischen Unterlagen "IRAP" (Hersteller: "IRAP" - Trstenik, Jugoslawien) und "VIBRACHOC" (Paris, France) gegeben.

Zum Schluss sind eine Methode und Ergebnisse gegeben über die komparativen Untersuchungen der dynamischen Stabilitäte bei den Werkzeugmaschinen für rauhe Bearbeitung im Bezug auf ihre Stützung. Hier sind die relativen Koeffizinten, der Schneidetiefe (K_{δ}) und Kraftbenützung (K_p), als Produktionskriterium eingeführt.

D. Henich *)

O PROBLEMIMA MJERENJA I OCJENJIVANJA ALATNIH STROJEVA SA STANOVIŠTA PROIZVEDENE BUKE **)

Buka je opterećenje kojemu je čovjek izložen u svim životnim situacijama. Ona se posljednjih desetljeća, zbog prodiranja tehnike u sva životna područja naročito povećala i opterećuje čovjeka to više, što uže zajedno žive. Zato se i borba protiv buke našla u središtu pažnje čitavog civiliziranog svijeta. Da bi se borba protiv buke mogla što uspješnije provoditi, buku je potrebno mjeriti, analizirati i ocijeniti njezin učinak. Pri tome se nailazi na čitav niz vrlo složenih problema, koje istraživači moraju riješiti. Upravo ova složenost problema može obrazložiti čitav niz predloženih metoda mjerenja, analiza i ocjena buke od strane različitih naučnika. Svakog dana časopisi donose niz članaka s tog područja, iz čega se vidi nastojanje i potreba da se riješi postojeći kaos i da se pronađu metode i postupci koji će biti međunarodno uvojeni i koji će omogućiti uspješnu borbu protiv buke.

Ovaj referat ima zadatak da obrazloži probleme i koristi od ispitivanja buke i iznese koncepcije i orjentaciju IAS-a u pogledu izbora mjernih metoda, analize i ocjene alatnih strojeva sa stanovišta proizvedene buke, i da upozna javnost sa rezultatima koji su na tom području postignuti u institutu.

Što je buka?

Po definiciji, bukom smatramo svaki neželjeni zvuk. To ne mora biti zvuk velikog intenziteta kao na pr. zvuk koji nastaje pri udaranju pneumatskog čekića ili rada mlaznih motora. Monotoni zvukovi što ih bez prekida proizvode strojevi u radu, isto predstavljaju buku, iako nisu naročito intenzivni. Čak i muzika, koju u slobodno vrijeme rado slušamo, smeta neke osobe pri radu, i u tom slučaju smatramo je isto bukom.

Granica, kod koje zvuk postaje buka, do danas nije utvrđena. Razlog leži u tom što ta granica nije jednaka kod svih ljudi, a nije čak uvijek ista niti kod iste osobe. Osim toga ispitivanjima je utvrđeno da zvukovi viših frekvencija prije postaju buka nego oni nižih frekvencija. Međutim, niti ovdje nije uspjelo utvrditi granicu prelaska u buku. Pouzdano se ipak znade, da je utjecaj buke to jači, što je većeg intenziteta i što duže traje.

---

*) Henich Darinka, dipl.ing., suradnik Instituta za alatne strojeve, Zagreb, Đure Salaja b.b.

**) Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve, Zagreb

Opasnosti koje čovjeku prijete od buke

Buka je nešto, što čovjek u ogovarajućem momentu ne bi želio slušati a ipak mora. To utječe na njegovo dobro osjećanje, na njegovo raspoloženje, zdravlje i na njegovu radnu sposobnost. Čovjek je, znači, doveden u jedno nenormalno stanje. Opasnosti, koje čovjeku prijete od takvog nenormalnog stanja, vrlo se često potcjenjuju. To se dešava zato što se posljedice primjećuju tek nakon dugotrajnog izlaganja buci, i ne osjećaju se odmah, već onda kada je već teško ili nemoguće početi sa uspješnim liječenjem.

Pod djelovanjem buke javljaju se u ljudskom organizmu vegetativne reakcije tj. takve na koje mi ne možemo svjesno utjecati. Smanjuje se količina krvi koja se kod svakog otkucaja izbacuje iz srca i istovremeno se stežu periferni krvni sudovi arterijalnog dijela krvotoka. Suženje sudova proporcionalno je intenzitetu buke, a počinje i prestaje zajedno sa bukom. Ovakvo trajno nenormalno stanje, u kojemu se organizam nalazi uslijed buke, izaziva oboljenje onih organa koji su najosjetljiviji. Tako je na pr. u mnogo slučajeva dokazano nastajanje čira na želucu zbog višegodišnjeg boravka osobe u bučnoj atmosferi. Dugotrajno djelovanje buke izaziva blijedilo i napetost kože, blijedilo sluznice i osjećaj suhoće u ustima i ždrijelu. Često se pojavljuju i srčani problemi, kao na pr. anomalije u ritmu. Najblaži oblik djelovanja buke, koju karakteriziramo kao smetnu, otežava koncentraciju i izaziva neuroze. Kod osobe, koja stalno boravi u bučnoj prostoriji, javljaju se razne poteškoće kod slušnih organa. U prvom stadiju javljaju se šumovi u ušima. U dijagramu praga čujnosti primjećuje se karakteristični gubitak sluha u području oko 4000 Hz. Pogođena osoba taj gubitak sluha u početku ne primjećuje, jer govor leži između 200 i 2000 Hz. U toku godina taj gubitak sluha se širi na donje i gornje frekventno područje. Ovako oslabljen sluh ne može se više izliječiti. Trajno oštećenje sluha nastaje onda, kada je osoba izložena buci i nema međuperioda tišine. Uz izazivanje oboljenja raznih organa, buka ugrožava i čovjekovu sigurnost u radu. Smanjena koncentracija i pažnja pri rukovanju uređajima može izazvati teške nesreće. Smanjena mogućnost sporazumijevanja, zbog opadanja razumljivosti u bučnom ambijentu može dovesti do neželjenih posljedica.

Analiza buke

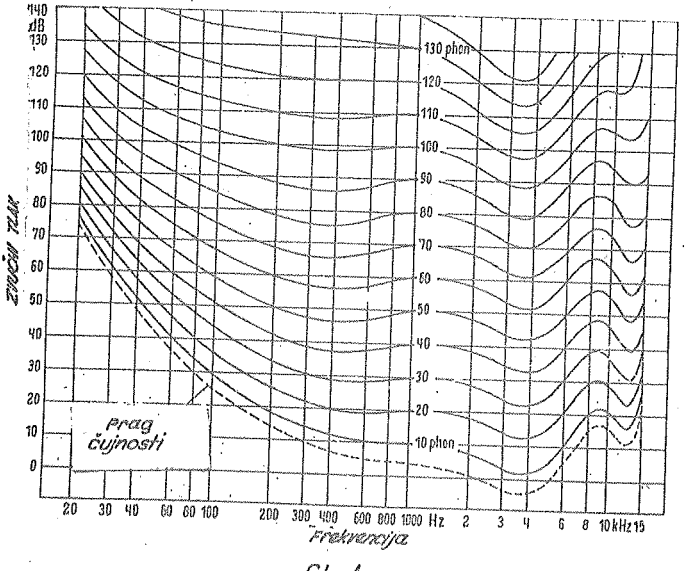
Oduvijek smo navikli jednu konstrukciju smatrati zrelom za tržište samo onda, ako njezina upotreba ne donosi sa sobom nikakvu opasnost po ljudsko zdravlje. U prethodnom izlaganju vidjeli smo kakve sve opasnosti predstavlja buka za čovjeka. Najveći dio buke stvaraju uređaji i strojevi. Pošto su te uređaje i strojeve konstruirali inženjeri, pada na njih i teret borbe protiv buke. Osnovni je zadatak spriječiti nastajanje buke. U drugom redu treba se brinuti da se ona ne širi.

Iako je teško konstruirati strojeve koji rade bešumno, mnogi primjeri pokazuju, da je uz odgovarajući uloženi trud moguće smanjiti buku do nivoa koji se smatra podnošljivim. Potpuno odstranjenje buke prešlo bi okvire koji se mogu podnijeti sa strane ekonomičnosti.

Da bismo se uspješno mogli boriti protiv buke, moramo je znati izmjeriti. Mjerenje buke je problem koji je desetljećima predmet mnogobrojnih istraživanja, ali još do danas pojedinosti nisu objašnjene. Razlog leži u tome što su odnosi između fiziološkog osjeta glasnoće i objektivno mjerivih fizikalnih podataka zvuka izvanredno komplicirani. Pogledajmo kako oni izgledaju.

Dinamičke pojave unutar stroja izazivaju pojavu vibracija, koje se posredstvom mehanizama prenose na vanjsku površinu kućišta i na podlogu na kojoj je on postavljen. Vibracije površine pobuđuju vibriranje čestica okolnog zraka. Nastali poremećaj izaziva momentane promjene tlaka u okolini poremećaja. Ta pojava širi se u obliku vala. Kad naiđe na zapreku, val se reflektira. Ako se ta pojava zbiva u frekventnom području od 16 Hz do 16000 Hz, zovemo ju zvukom. Nastale promjene tlaka zovemo zvučnim tlakom. Njega možemo mjeriti pomoću mikrofona, koji promjene zvučnog tlaka pretvara u električki napon. Taj napon se pojačava i pokazuje na električkom mjeraču.

Isto kao na mikrofon, promjene zvučnog tlaka djeluju i na bubnjić našeg uha. Kako naše uho registrira taj pritisak, vidi se iz krivulja iste glasnoće, koje su za čiste tonove utvrdili Robinson i Dadson (sl.1).



SL. 1.

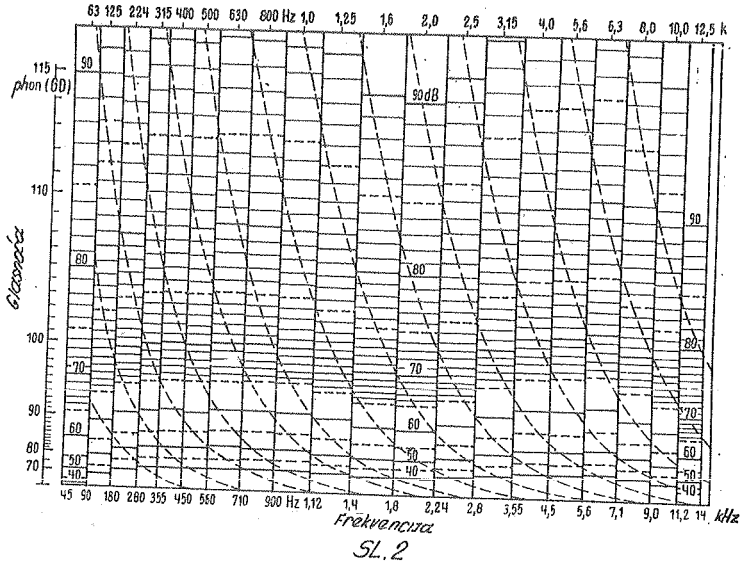
Vidimo da je uho frekventno ovisno, i da je ta ovisnost vrlo složena i mijenja se sa promjenom glasnoće. Da bi se naše mjerenje što više prilagodilo fiziološkom osjetu glasnoće, tj. da mjerimo ono što mi zaista čujemo, dodani su instrumentu za mjerenje zvučnog tlaka filteri čije karakteristike su prilagođene Robinson-Dadsonovim krivuljama. To su Bewertungsfilteri, Weighting Networks ili filteri za vrednovanje. Za taj pojam kod nas još nemamo odgovarajuće riječi.

Kako je već spomenuto, pokazane krivulje odnose se na čiste tonove. Mi, međutim, želimo mjeriti buku koja se sastoji od čitavog spektra čistih tonova. Pokazalo se da su razlike između stvarne glasnoće i one izmjerene gore spomenutim postupkom to veće, što je spektar frek-

vencija širi.
Mnogi poznati autoriteti na području akustike vršili su opsežna ispitivanja, i kao rezultat, skoro svaki od njih dobio je krivulju koja nosi ime autora i koja se u većini slučajeva razlikuje od ostalih. S tim u vezi svaki je predložio i drugu jedinicu za mjerenja glasnoće spektra zvuka, tako da danas postoji cca 30 različitih jedinica, od kojih su najčešće phon i dB sa različitim prefiksima i indeksima. Predložene metode mjerenja isto su raznolike.

Jedna od metoda mjerenja koja daje najrealnije rezultate i ima najviše izgleda da bude međunarodno prihvaćena bazira na rastavljanju čistavog spektra na terce. U električki napon pretvoreni zvučni spektar rastavlja se pomoću filtera u manje članove. Za čujno frekventno područje potrebna su najmanje 24 filtera, ako se žele uzeti u obzir bitna funkcionalna svojstva fiziološkog osjeta glasnoće. Frekventne grupe mogu se pridružiti pojedinim područjima bazilarne membrane u Kortijevom organu uha, u kojem zvuk izaziva nervne reakcije. Jake reakcije u jednom području pobuđuju i susjedno područje, koje je predviđeno za osjet viših frekvencija zvuka i prekrivaju u njemu utisak glasnoće slabijih signala iz njegovog vlastitog frekventnog područja. Da bi efekt prekrivanja ostao u podnošljivim granicama, grupe se mjere jedne iza drugih.

Kada je izvršena ovakva spektralna analiza, treba iz nje odrediti glasnoću, koja bi se mogla izraziti jednom brojkom, a u sebi sadržavati opći utisak glasnoće i utjecaj na organizam čovjeka. Metoda izračunavanja glasnoće iz spektra šuma po Zwickeru, uskoro će izaći kao prijedlog DIN standarda. Zwicker je izradio mrežne dijagrame za polje ravnog vala i za difuzno polje, iz kojih se analizom pojedinih terci određuje glasnoća (sl.2). Postupak je prilično složen.

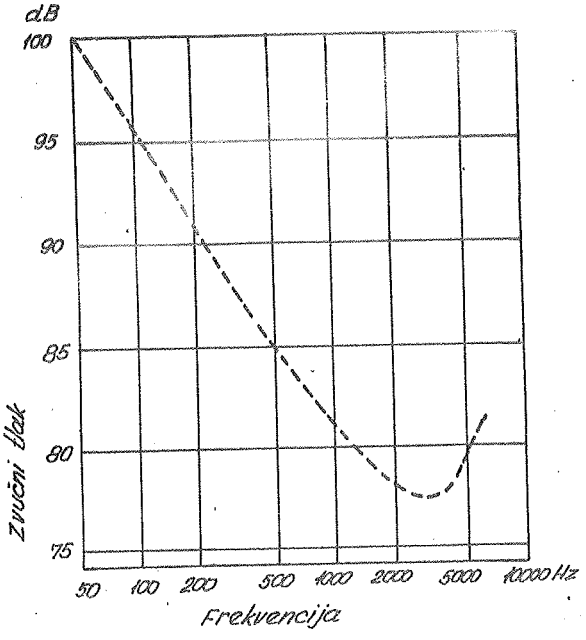


SL. 2

Drugi autori izradili su krivulju dozvoljenog nivoa buke. Spomenut ćemo jednu koja se koristi u praksi. To je Slawinova krivulja iz godine 1956. (sl3).

Na osnovu te fiziološke granične krivulje izrađeni su u Sovjetskom Savezu normativi za

buku. Na te normative oslanjaju se posebne krivulje dozvoljenog nivoa buke za razna područja tehnike.



Sl. 3

Do sada nismo spominjali probleme koji se javljaju prilikom snimanja zvučnog pritiska pomoću mikrofona. Zvučni val, koji se širi od jednog izvora, reflektira se na zaprekama na koje nailazi. To reflektiranje može biti i višestruko. Znači, da na membranu mikrofona neće djelovati samo zvučni tlak direktnog vala, nego i reflektiranog. Ako direktni i reflektirani val dođu na membranu u fazi, njihovo djelovanje će se zbrajati, a ako dođu u protufazi ono će se odbijati. Između ta dva stanja nalaze se svi ostali slučajevi razlika u fazi. To međutim nije jedina poteškoća. Valovi različitih frekvencija reflektiraju se različito. Koliko od zvučnog vala će se reflektirati, a koliko će biti apsorbirano, ovisi o materijalu zapreka i frekvenciji zvučnog vala. Zapreke, na koje nailazi zvučni val pri našim mjerenjima jesu zidovi prostorije, te predmeti i ljudi koji se u njoj nalaze.

Ostale koristi od mjerenja buke

Prema izlaganju u prethodnom poglavlju izgledalo bi da se buka ne može tačno izmijeriti, a još manje nešto iz mjerenja zaključiti. Na sreću to ipak nije tako.

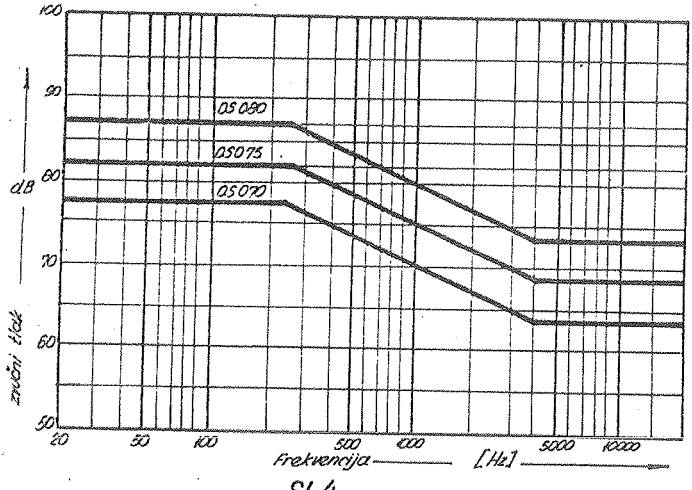
U toku ispitivanja buke strojeva ustanovljeno je da buka, koju proizvodi stroj, proporcionalno ovisi o kvaliteti stroja. Polazeći od te činjenice, razrađene su metode kontrole kvalitete velikoserijskih proizvoda, ispitivanjem proizvedene buke. Budući da po sluhu možemo otkriti pojedine greške u radu motora, znamo da je svakoj grešci pridružena neka frekvencija ili spektar frekvencija koji je za nju karakterističan. Što je ta greška veća, udjel njene frekvencije u općoj frekventnoj karakteristici stroja je veći. Na osnovu analiziranja spektra buke može se zaključiti postojanje nekih nedostataka u samoj konstrukciji. Rezonantne frekvencije pojedinih dijelova stroja naročito se jasno vide u spektru buke. Iz velikog udjela rezonantne frekvencije u spektru, treba zaključiti, da dio koji ga je proizveo intenzivno vibrira. Maksimalnu korist od mjerenje buke stroja imamo

u slučaju, kada akustička ispitivanja kombiniramo sa ispitivanjem vibracija. Tada smo u stanju proizvođaču stroja dati pouzdane smjernice za poboljšanje konstrukcije i ukazati mu na greške u izradi sastavnih dijelova i montaži.

Ocjena alatnih strojeva sa stanovišta buke

Proizvođači alatnih strojeva zahtijevaju, da među ostale podatke o kvaliteti mogu uvrstiti i podatak o buci, koju njihov stroj proizvodi. Da bi takav podatak mogao kupcu nešto kazati o kvaliteti toga stroja u poređenju sa nekim drugim, mora on biti komparabilan. Znači da dva stroja moraju biti mjerena pod istim uslovima: sa instrumentarijem istih karakteristika, u prostoriji sa istim karakteristikama ili takvima, koje se dadu preračunati na neku propisanu; mikrofon mora stajati na propisanom mjestu i t.d.U posljednje vrijeme prave se veliki napori da se nađe metoda mjerenja buke i propišu takvi uslovi za prostoriju, koje bi svi proizvođači mogli usvojiti sa stanovišta pouzdanosti i ekonomičnosti. Naročito velik je problem prostorije, jer bi ona trebala biti što sličnija uobičajenim tvorničkim halama; međutim, pokazalo se da bi za ispitivanje alatnog stroja udaljenost od zidova morala biti barem 6 m, a nivo smetajuće buke barem 10 dB ispod mjernog signala. Problem predstavlja i transport alatnog stroja u ispitnu prostoriju, što se naročito odnosi na ispitivanja u serijskoj proizvodnji.

Određivanje broja koji bi predstavljao mjerilo za kvalitetu alatnog stroja sa stanovišta buke isto još nije izvršeno. Sadašnje su tendencije razvrstavanje strojeva po vrsti i po pogonskoj snazi.



Sl.4

Kao zamjena za takav broj, koriste se danas često krivulje dozvoljenog nivoa buke. Takve krivulje ucrtavaju se na tercni dijagram. Prelaženje amplituda preko tih krivulja nije dozvoljeno.

U IAS-u je usvojena metoda mjerenja pomoću tercnih filtera, jer je ona najbolje prilagođena karakteristikama uha.

Za ocjenu alatnih strojeva sa stanovišta buke primjenjuju se zasad OSO krivulje (sl.4), predložene od strane poljskog Instytuta Obrobki Skrawaniem, a oslanjaju se na ruski standard, baziran na Slawinovim ispitivanjima. Oc-

jena alatnog stroja, izvršena na ovaj način, samo je orijentaciona, jer uslovi snimanja tercnog dijagrama nisu potpuno definirani. Krivulje se za sada primjenjuju iz razloga što su nam to jedini pristupačni prijedlozi standarda za ocjenu alatnih strojeva, a i neki strani instituti vršili su ocjenu strojeva naših proizvođača na osnovu njih. Uporedo s tom ocjenom vrše se analize i drugim metodama. Te analize poslužit će nam za donošenje konačnog kriterija za ocjenu alatnih strojeva.

Neki rezultati ispitivanja alatnih strojeva

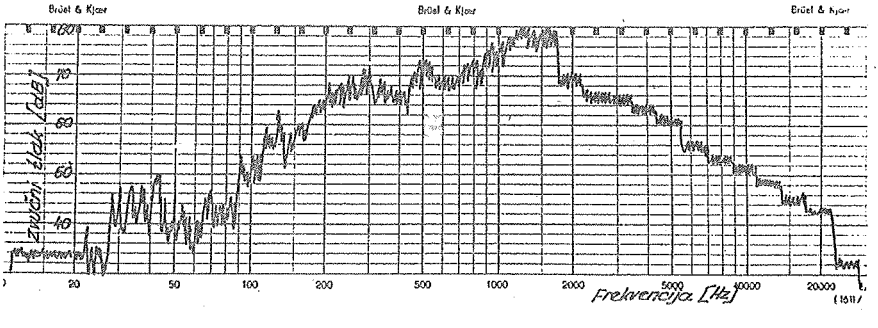
U IAS-u su vršena ispitivanja alatnih strojeva domaće proizvodnje. Cilj ispitivanja je bio pronalaženje izvora buke u stroju i ocjena stroja na osnovu OSO krivulja. Rezultati imaju poslužiti kao podloga za usavršavanje konstrukcije, proizvodnji elemenata i montaži. Akustička mjerenja bila su kombinirana sa mjerenjem vibracija.

Prilikom akustičkih ispitivanja upotrebljen je slijedeći instrumentarij: kondenzatorski mikrofon, mikrofonsko pojačalo, terc-oktavni analizator, spektralni analizator i pisač. Svi instrumenti su proizvod firme Brüel i Kjaer.

Prostorija u kojoj su vršena ispitivanja dovoljno je velika, ali raspored strojeva u njoj nije naročito povoljan. Najveća neprilika je smetajuća buka, koja je čak veća od buke ispitivanog stroja, pa su se ispitivanja morala vršiti poslije podne i uvečer.

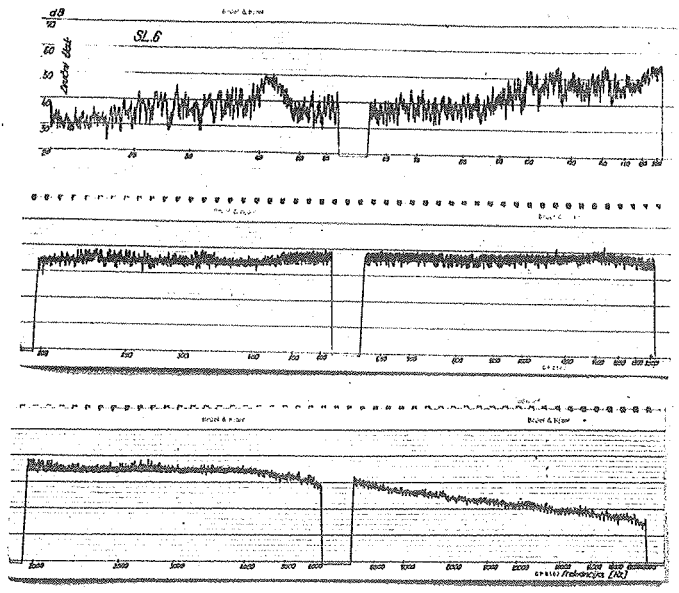
Ispitivanje buke alatnog stroja započinje sa snimanjem ukupne buke u različitim tačkama oko stroja. Spajanjem tačaka iste buke dobiju se krivulje, iz kojih se vidi kako se buka širi oko stroja. Na osnovu tih krivulja izvrši se izbor tačaka u kojima se mjeri. Tu je uvijek uključeno mjesto na kojem stoji osoba koja poslužuje stroj. Dalje slijede mjerenje ukupne buke u ovisnosti o broju okretaja i snazi praznog hoda, snimanje tercnog dijagrama i vršenje spektralne analize. Za donošenje konačnih zaključaka, akustička ispitivanja dopunjuju se mjerenjem vibracija.
Prikazat ćemo konkretni primjer zaključaka koji su izvedeni na osnovu ispitivanja jedne alatne glodalice.

Sl. 5



Ukupna buka stroja u praznom hodu sa povećanjem broja okretaja glavnog vretena pokazala je linearni porast. Isto tako linearno je rasla i snaga praznog hoda.

Pogledajmo sada, kako izgleda jeden iz niza teronih dijagrama (sl.5). Na dijagramu se jasno vidi veliko isticanje frekventnog područja u okolini 1200 Hz. Osim toga istaknute su frekvencije kod 40, 140, 300, 520 Hz i t.d. Iz spektralnog dijagrama (sl.6) jasnije se vidi utjecaj pojedinih frekvencija. Analizom Schlesingerovog dijagrama ustanovljeno je da izdizanje kod 40 Hz odgovara osovini br.5, ono kod 140 Hz lančanom prenosu, onog kod 300 i 520 Hz frekvenciji zahvata zubaca zupčanika. Pri tom kod 520 Hz dva para zupčanika imaju istu frekvenciju zahvata zubi. Budući da se iz Schlesingerovog dijagrama nije mogla odrediti frekvencija od 1200 Hz, ispitane su rezonantne frekvencije kućišta i ostalih dijelova sklonih vibriranju. Utvrđeno je da ta frekvencija zaista odgovara rezonantnim frekvencijama dijelova kućišta. Ostale frekvencije, koje pokrivaju spektar, pripadaju netačnostima u izradi zupčanika, koje moduliraju osnovne frekvencije zahvata zubaca. Osim osnovnih frekvencija pojavljuju se tu i viši harmonici, koji pobuđuju na titranje elemente koji na tim frekvencijama imaju rezonancije, pa odatle i pojava da je amplituda harmonika veća od amplitude osnovnog člana.



Uz navedena ispitivanja započeta je i statistička analiza vremenskih varijacija buke kao i mjerenja isijane akustičke snage alatnog stroja.

Zaključak

Unatoč nizu na izgled nepremostivih problema, i velikog mnoštva predloženih metoda ispitivanja, od ispitivanja buke na alatnim strojevima imamo neposredne koristi na području poboljšanja njihove kvalitete. U pogledu ocjene utjecaja buke stroja na čovjeka, zauzeta je takva orjentacija, da ćemo moći dati tu ocjenu za strojeve domaćih proizvođača istovremeno kada će to moći i ostali proizvođači na

svjetskom tržištu.

L I T E R A T U R A

1. E.Lübcke: Zur Technik der Geräuschmessung (Werkstattstechnik NO. 9, 1958.)

2. E.Lübcke: Geräuschkennwerte eines Maschinengeräusches (Werkstattstechnik NO. 1, 1962.)

3. I.I. Slawin: Industrielärm und seine Bekämpfung (VEB Verlag Technik, Berlin 1960.)

4. W. Bürck: Die Schallmessfibel für die Lärmbekämpfung (Verlag R. Oldenbourg KG, München 1960.)

5. P.V. Brüel: Messtechnik bei der Lärmminderung (VDI-Z 107 Nr 32, 1965.)

6. R. Sniehovski: Issledovanie i izmerenie šuma stankov (Stanki i instrument Nr 7, 1964.)

7. R. Sniehovski: Mesure des bruits des machines-outils (La machine-outil Française, Nov. 1964.)

8. L.L. Beranek: Noise Reduction (Mc Graw Hill, 1960.)

D. Henich

Über Probleme der Messungen und der Beurteilung von Werkzeugmaschinen vom Standpunkt der erzeugten Geräusche

Ein wesentlicher Gesichtspunkt zur Beurteilung moderner Werkzeugmaschinen ist die Schallabstrahlung. In zunehmenden Masse wird die Forderung geäussert ausser den bekannten Gütekriterien Verschleiss, Lebensdauer u. ä, zulässige Grenzen des Geräusches auch anzugeben. Derartige Forderungen resultieren fast stets aus dem Bestreben, die Geräuschbelastung des Menschen am Arbeitsplatz in erträglichen Grenzen zu halten.

Die Kennzeichnung des Geräusches am Arbeitsplatz oder an einem bestimmten Raumpunkt durch objektiv ermittelte Messwerte bereitet keine Schwierigkeiten. Erschwerend für die messtechnische Beurteilung des Lärms ist die Tatsache dass die Beziehung zwischen der physiologischen Lautheitsempfindung und den objektiv messbaren physikalischen Daten des Schalls ausserordentlich kompliziert sind. Die Verknüpfungen sind seit Jahrezehnten Gegenstand zahlreicher Forschungsarbeiten und bisher noch nicht in allen Einzelheiten geklärt.

Im vorliegenden Referat werden die vom IAS angewandten messtechnischen Beurteilungen des Lärmes bei Werkzeugmaschinen erläutert.

Zum Schluss sind einige Messergebnisse der Qualitätsbeurteilung einer Werkzeugmaschine angeführt.

S. Marinković *)

ISPITIVANJE TOPLOTNIH DEFORMACIJA ALATNIH MAŠINA **)

1. Uvod

Uticaj toplotnih deformacija na tačnost rada značajan je za mnoge vrste alatnih mašina (ovde se misli samo na mašine za obradu rezanjem) a za neke čak i dominantan, što je slučaj kod brzohodih mašina i mašina za završnu obradu. Ovaj uticaj raste s razvojem alatnih mašina, što proizlazi iz činjenice da se tendencije ovog razvoja kreću u smislu povećanja snage i broja obrta, kao i sve većih zahteva u pogledu tačnosti.

Na tačnost rada najveći uticaj imaju deformacije koje dovode do relativnih odstupanja alat-radni predmet, a naročito onih koja su upravna na površinu koja se obrađuje, pošto se u punoj veličini reprodukuju na radnom predmetu. Obzirom da postoji proporcionalnost visine temperatura i veličine odstupanja, ova su najveća kod sklopova koji imaju najviše temperature. Veličina odstupanja zavisi razumljivo i od dimenzija o čemu se mora voditi računa pri konstrukciji vitalnih sklopova mašine.

Pri analiziranju uticaja toplotnih pojava na rad alatnih mašina, u vezi s poreklom toplote razlikujemo tri vrste problema:

- Deformacije alatnih mašina usled toplote koja se stvara u unutrašnjim izvorima - pogonskim jedinicama i prenosnicima.
- Deformacije radnog predmeta i mašine usled toplote koja nastaje u procesu rezanja.
- Deformacije alatne mašine pod uticajem toplote primljene od okoline.

U ovom saopštenju razmatraće se samo uticaj toplote koja se stvara u unutrašnjim izvorima mašine koji je predominantan u najvećem broju slučajeva.

Količina toplote, koja se u jedinici vremena stvara u unutrašnjim izvorima u mašini - pogonskim jedinicama i prenosnicima - pri praznom hodu mašine približno je jednaka snazi praznog hoda, pošto se ova gotovo u potpunosti pretvara u toplotu. Pri obradi u toplotu se pretvara još i dopunski gubitak snage usled opterećenja. Pri ovoj transformaciji energije prenosnik ustvari predstavlja skup većeg broja izvora toplote.

---

*) Srđan Marinković, dipl.ing., saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27 marta 80

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate. Osnovu ovog saopštenja predstavljaju studije i ispitivanja vršeni u okviru projekta "Istraživanje i razvoj metoda za ispitivanje alatnih mašina" koje finansiraju Savezni i Republički fond za naučni rad i niz pr[illegible]ednih organizacija, kao i ispitivanja mašina domaće izrade [illegible]nsirana od strane proizvođača.

Kod najvećeg broja alatnih mašina izvori toplote su uglavnom sledeći elementi:

- Električni motori
- Zupčasti parovi
- Frikcione spojnice i kočnice
- Ležišta
- Zaptivači na obrtnim delovima
- Elementi sistema za upravljanje za pokretanje obrtnih delova

Kod mašina koje imaju hidrauličke instalacije, značajni izvori toplote su i elementi ovih instalacija: hidraulične pumpe, cilindri, ventili, razvodnici i sl.

Sumaran uticaj ovih izvora toplote je takav da je zagrevanje mašine prostorno neravnomerno, što je osim njihovim rasporedom i intenzitetom, uslovljeno još i rasporedom masa i mogućnostima hlađenja.

Pri pojedinačnoj obradi toplotne deformacije prouzrokuju netačnost oblika radnog predmeta, a pri serijskoj obradi i netačnost prečnika kao i međusobnu nejednakost komada. Obzirom da se teži serijskoj i masovnoj proizvodnji, ovaj problem dobija sve veću težinu.

Kod nekih tipova mašina intenzitet nastajanja toplote na najvišim brojevima obrta je takav, da ne samo što u velikoj meri smanjuje tačnost rada već i potpuno onemogućava duži rad mašine.

Imajući u vidu, sve što je rečeno dolazi se do zaključka da je potrebno posvetiti posebnu pažnju ispitivanju procesa nastajanja toplote pri radu alatnih mašina i svih njenih efekata, radi nalaženja mogućnosti intervencije a) u smislu smanjivanja količine toplote koja se razvija i b) u smislu neutralisanja ili ublažavanja njenog uticaja.

2. Neka ranija iskustava u ispitivanju toplotnih deformacija

Sudeći prema raspoloživoj stručnoj literaturi, u ovoj oblasti je dosada relativno malo rađeno i to najviše u SSSR-u, gde su izvršena detaljna ispitivanja više tipova strugova i brusilica, a u manjoj meri i nekih drugih mašina, dok su u zapadnim zemljama vršeni parcijalni zahvati u smislu praktičnog rešavanja pojedinačnih problema. Ova ispitivanja vršena su na praznom hodu u cilju utvrđivanja vrednosti temperatura i odstupanja u stacionarnom stanju i njihove zavisnosti od broja obrta pri kontinualnom i prekidnom radu, nalaženja potrebnog vremena za uspostavljanje stacionarnog stanja, određivanje uticaja temperature okoline, zakonitosti porasta temperature na raznim tačkama mašine, posebnog uticaja rada određenih sklopova i uređaja i td. Pri ovim ispitivanjima merene su temperature na karakterističnim tačkama mašine, (a u nekim slučajevima i temperatura ulja u prenosniku glavnog kretanja) i relativna odstupanja glavnog vretena u odnosu na nosač alata ili radni sto mašine, u vertikalnom i horizontalnom pravcu.

Ispitivanja su omogućila izvođenje brojnih zaključaka od kojih navodimo neke karakteristične:

- Kod strugova srednje veličine stacionarno stanje se uspostavlja

posle 4 - 5,5 časova rada a kod brusilica posle 1 - 4 časa.
- Krive promene temperature i odstupanja u vertikalnom pravcu imaju sličan karakter, tj. postoji izvesna proporcionalnost ovih odstupanja i temperatura.
- Odstupanja u horizontalnom pravcu imaju složeniju zavisnost i u velikoj meri zavise od konstrukcije mašine.
- S povećanjem broja obrta rastu temperature i odstupanja.
- Odstupanja kod strugova srednje veličine pri broju obrta n = 1000 o/min, iznose u vertikalnom pravcu oko 100 mikrona a u horizontalnom oko 20 mikrona. Pri tome temperatura u blizini prednjeg ležišta glavnog vretena poraste i do 43° C iznad temperature okoline.
- Kod brusilica temperatura kod prednjeg i zadnjeg ležišta glavnog vretena poraste oko 30° C, a odstupanje u vertikalnom pravcu iznosi oko 50 mikrona.
- Za brušenje između šiljaka odstupanje ose tocila od ose radnog predmeta iznosi i do 100 mikrona.
- Temperature i odstupanja imaju veće vrednosti za veće snage i veći broj stepena prenosa, a za manju površinu kućišta prenosnika glavnog kretanja.
- Zagrevanje ima uticaja i na krutost sklopova.
- Pri radu sa prekidima stacionarna temperatura je niža nego pri kontinualnom radu.
- Velika odstupanja u vertikalnoj ravni pokazuju da se kod revolverskih strugova pri obradi nožem postavljenim odozgo ne može postići velika tačnost.
- U obe ravni dolazi do iskošenja glavnog vretena što dovodi do netačnosti oblika radnog predmeta.

Izvršena ispitivanja omogućila su i određeni razvoj metode ispitivanja kao i stvaranje propisa o ispitivanju u ovom smislu za prototipove i za serijski izrađene mašine. Ovi propisi izneti su u okviru projekta za izradu predloga jedinstvenih metoda ispitivanja alatnih mašina SEV-a, koji je upravo završen.

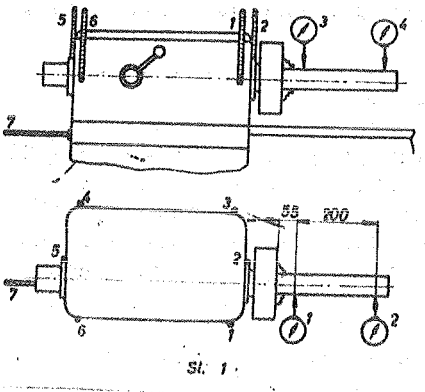
Za merenje temperatura korišćeni su uglavnom termoelementi (a preporučuju se i termistori), dok je merenje odstupanja vršeno komparaterima čija tačnost zavisi od klase tačnosti ispitivane mašine.

Pri ispitivanju strugova srednje veličine strane izrade, vršenom ranije u Zavodu za mašine alatke Mašinskog fakulteta u Beogradu, nađeno je da pri broju obrta n = 1100 o/min odstupanja u vertikalnoj ravni iznose i do 200 mikrona a u horizontalnoj 40 mikrona.

3. Ispitivanje toplotnih deformacija u Institutu za alatne mašine i alate

U ovom smislu, u Institutu je do sada ispitano 5 mašina: dva struga i po jedna univerzalna glodalica, radijalna bušilica i univerzalna oštrica. Programi ovih ispitivanja su u većini slučajeva bili znatno širi od jednostavnog utvrđivanja vrednosti temperature i odstupanja. Jedan deo ovih ispitivanja je bio baziran na dosadašnjim pravcima istraživanja u SSSR-u i drugim zemljama, a zaključci izvedeni na osnovu dobijenih rezultata su u saglasnosti sa zaključcima

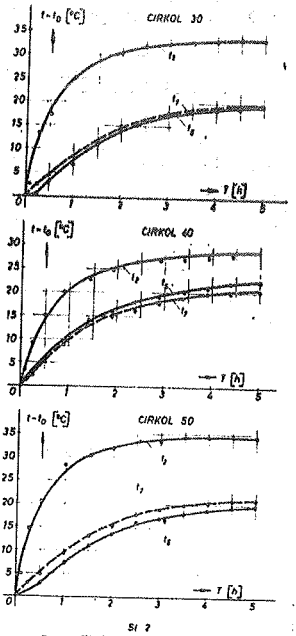
iz navedenih istraživanja, pa o njima ovde neće biti reči. Drugi deo ispitivanja vršen je na osnovu određenih potreba i zahteva proizvođača alatnih mašina, kao i sopstvenih koncepcija rada u ovoj oblasti.



Sl. 1. Raspored mesta za merenje temperatura i odstupanja na strugu

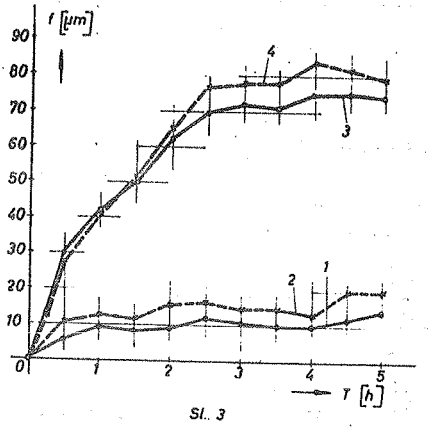
Kao primer ovakvog ispitivanja navešće se uporedno ispitivanje pogodnosti tri vrste domaćih cirkulacionih ulja za podmazivanje prenosnika glavnog kretanja univerzalnog struga, u smislu temperatura i odstupanja uslovljenih njihovom upotrebom. Korišćena su ulja Cirkol 30 viskoziteta 2,7 - 3,3° E, Cirkol 40 viskoziteta 3,7 - 4,3° E i Cirkol 50 viskoziteta 4,8 - 5,3° E. Ispitivanje je vršeno na praznom hodu pri broju obrtaja n = 1000 o/min. Raspored mesta za merenje temperatura i odstupanja dat je na sl. 1.

Merenje odstupanja vršeno je u odnosu na držač alata na koji su komparatori postavljeni posredstvom odgovarajućih pribora. Izmerene vrednosti temperatura na mestima 2, 5 i 7 (ulje u prenosniku glavnog kretanja) za sve tri vrste ulja date su u dijagramima na sl. 2.



Sl. 2. Dijagrami temperatura na mestima 2,5 i 7 (ulje) za tri vrste ulja

Iz ovih dijagrama u koje je unet porast temperature $t - t_0$ (gde je t_0 - temperatura okoline), vidi se da je najmanje zagrevanje bilo pri korišćenju ulja Cirkol 40 pri kome su temperature bile i najujednačenije. Ovo se vidi iz manje razlike temperatura na mestima 1 i 2 koja za ovo ulje iznosi oko 8° C dok za ostala dva ulja iznosi oko 13,5° C. Slična zakonitost važi i za odstupanja.



Sl. 3. Dijagram odstupanja na mestima 1,2,3 i 4 (prema sl.1) za ulje Cirkol 40

Na sl. 3 data je promena odstupanja za slučaj korišćenja ulja Cirkol 40. Vidi se da je najveće odstupanje u vertikalnoj ravni u ovom slučaju iznosilo 83 mikrona, dok je druga dva slučaja (čiji dijagrami nisu dati) iznosilo 110 odnosno 115 mikrona. Razlika odstupanja u vertikalnoj ravni na mestima 3 i 4 pri korišćenju ulja Cirkol 40 je bila takođe najmanja i iznosila je kao što se vidi 5 - 8 mikrona dok je u ostala dva slučaja iznosila 10 i 15 mikrona. Kod odstupanja u horizontalnoj ravni nije bilo bitnih razlika.

Na osnovu dobijenih rezultata zaključeno je da je u smislu izvedenih ispitivanja ulje Cirkol 40 izrazito najpovoljnije.

Da bi se ocenila greška koja se čini ispitivanjem na praznom hodu u odnosu na stvarne uslove rada, na istoj mašini su izvršena dva eksperimenta na broju obrta n = 250 o/min, i to jedan pri praznom hodu a drugi pri obradi. U oba eksperimenta merene su temperature (na istim mestima kao u prethodnom ispitivanju) i snaga koja je uzimana iz mreže. Za vreme eksperimenta pri obradi održavana je konstantna snaga, koja je odgovarala iskorišćenju polovine raspoložive korisne snage.

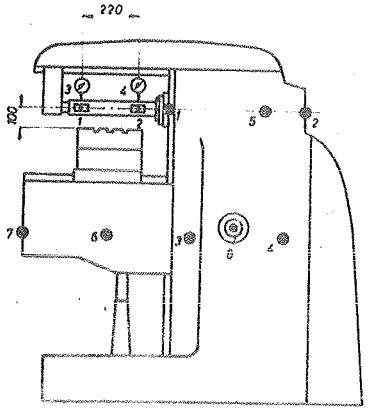
Dobijeni rezultati pokazali su da je procentualno povećanje temperature ulja u prenosniku glavnog kretanja (25% u stacionarnom stanju) najpribližnije procentualnom iznosu koji predstavlja dopunski gubitak snage usled opterećenja u odnosu na snagu praznog hoda (30%) - odnosno da je temperatura ulja približno proporcionalna količini toplote koja se razvija u unutrašnjim izvorima u mašini. Pri tome treba istaći da su sve merene temperature porasle u približno jednakom apsolutnom iznosu. Ovo ukazuje na to da je temperatura ulja u prenosniku glavnog kretanja najkarakterističnija za toplotno stanje mašine. Potrebni su međutim dalji eksperimenti na drugim tipovima mašina da bi se potvrdila univerzalnost ovog zaključka. Ako se on pokaže kao tačan, što je realno očekivati, onda bi se na osnovu ispitivanja bilansa snage mašine i temperatura na praznom hodu, mogle oceniti i temperature u odgovarajućim tačkama pri obradi kao i njima uslovljena odstupanja.

Kao sledeći primer uzeće se ispitivanje univerzalne glodalice, koje je imalo trostruk cilj:

a) utvrđivanje zavisnosti porasta temperatura od broja obrta glavnog vretena,
b) utvrđivanje veze porasta temperature i snage praznog hoda,
c) utvrđivanje odstupanja glavnog vretena u odnosu na radni sto u zavisnosti od broja obrta.

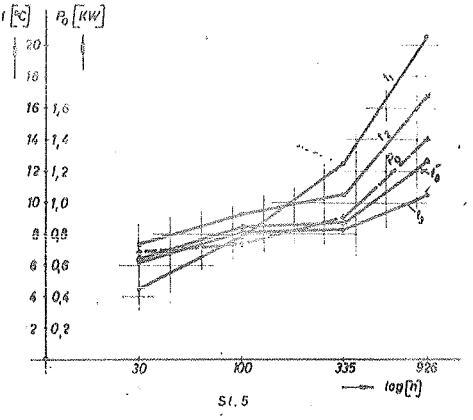
Izvedena su četiri eksperimenta pri praznom hodu na brojevima obrta n = 30, 100, 335 i 926 o/min. Na kraju svakog eksperimenta izmerena je i snaga praznog hoda. Raspored mesta za merenje temperature i odstupanja dat je na sl. 4.

Na sl. 5 data je zavisnost porasta temperatura do stacionarnog stanja na mestima 1, 2, 3 i 8 (ulje) i snage praznog hoda od broja obrta.



Sl. 4

Sl. 4. Raspored mesta za merenje temperatura i odstupanja na glodalici



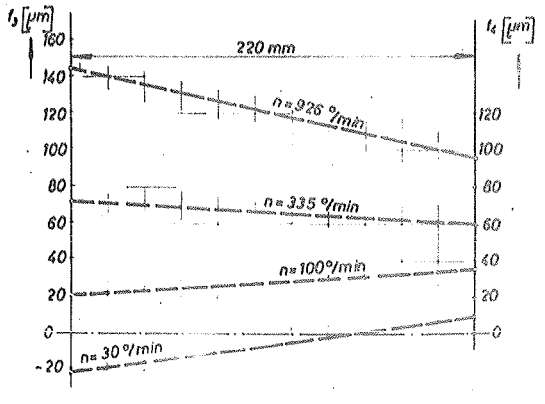
Sl. 5

Sl. 5. Zavisnost temperatura na mestima 1,2,3 i 8 (ulje) i snage praznog hoda od brojaorta.

Iz sl. 5 se može videti da je zavisnost porasta temperature ulja u prenosniku glavnog kretanja do stacionarnog stanja i snage praznog hoda u zavisnosti od broja obrta slična. Odstupanja od sličnosti za n = 100 o/min, može se dobrim delom pripisati znatnoj razlici početne temperature mašine i okoline, koja se nije mogla izbeći.

Ovi podaci takođe pokazuju da je temperatura ulja najkarakterističnija za toplotno stanje mašine, pošto i ovde postoji proporcionalnost sa snagom koja se pretvara u toplotu. Ovo je i logično kada se zna da ulje u prenosniku glavnog kretanja prima toplotu od svih unutrašnjih izvora i da njegova temperatura na neki način predstavlja rezultujuću temperaturu elemenata prenosnika. Iz tog razloga temperaturu ulja treba obavezno meriti pri svim ispitivanjima.

Izmerene vrednosti odstupanja u stacionarnom stanju, u vertikalnom pravcu date su na sl. 6.



Sl 6

Sl. 6

Odstupanje položaja ose glavnog vretena glodalice u stacionarnom stanju u odnosu na početni položaj O-O

Spajanjem odgovarajućih vrednosti za sve brojeve obrta dobijena su odstupanja položaja ose glavnog vretena u odnosu na početni položaj 0 - 0.

Iz sl. 6 se vidi da su u smislu toplotnih deformacija za rad na ovoj mašini najpovoljniji brojevi obrta u oblasti n = 100 - 335 o/min pošto pored relativno malih vrednosti odstupanja obezbeđuju najveću paralelnost vretena sa stolom. Najveća odstupanja u horizontalnom pravcu iznosila su 5 - 12 mikrona, i može se smatrati da njihovo uticaj na tačnost rada beznačajan.

4. Definicija stacionarnog stanja

Zakonitost promene temperature jednog uprošćenog tela u kome postoji izvor toplote data je izrazom

$$t = t_{stac}\left(1 - e^{-\frac{\alpha \cdot S}{C \cdot G} T}\right)$$

gde je
- α - srednji koeficijent prelaza toplote
- S - površina tela
- C - specifična toplota
- G - težina tela
- T - vreme

Iz gornjeg izraza se vidi da je tek za $T = \infty$, $t = t_{stac}$, tj. da se po prirodi procesa stacionarno stanje strogo uzev ne može ostvatiti. Kod stvarne mašine sa velikim brojem izvora toplote i složenim temperaturskim poljem odvijaju se i procesi prelaza toplote od delova sa višim temperaturama ka delovima sa nižim, pa je postizanje stacionarnog stanja još manje ostvarljivo. Ovo potvrđuju i eksperimenti pri kojima je nađeno da se i posle deset časova još uvek primećuje porast temperature u pojedinim tačkama na mašini. Postavlja se pitanje kada se može uzeti da je praktično postignuto stacionarno stanje. Na osnovu iskustva stečenog u Institutu i proučene literature predlaže se da se kao stacionarno stanje za mašine normalne tačnosti usvoji ono stanje, pri kome je priraštaj temperature ulja u prenosniku glavnog kretanja u poslednjih pola časa iznosio manje od 5% od ukupnog porasta temperature. Kod dosada ispitivanih mašina u Institutu ovo stanje je nastupalo obično posle 3,5 - 5 časova rada a nekad i ranije. Pri isteku ovog vremena primetnije su rasle samo temperature manje zagrejanih elemenata, koje nemaju značajniji uticaj na relativna odstupanja alat-radni predmet.

5. Metoda merenja i merni pribor

U toku rada u ovoj oblasti razvijena je sopstvena metoda za ispitivanje prototipova ili prvo ispitivanje određenog tipa mašine, koja se sastoji u sledećem: mašina koja je pripremljena za normalan rad pusti se u rad na praznom hodu. U određenim vremenskim intervalima mere se temperature na karakterističnim tačkama mašine, pri čemu se obavezno mer[illegible] i temperatura ulja u prenosniku glavnog kretanja. Simultano se [illegible] najadekvatniji način mere relativna odstupanja alat - - radni pr[illegible]et. Ispitivanje traje do postizanja stacionarnog stanja prema predloženom kriterijumu, pri čemu se sve izmerene vrednosti

unose u protokol na osnovu koga se crtaju odgovarajući dijagrami.

Merenje odstupanja vrši se komparatorima sa podelom na 0,001 mm, a u daljem razvoju planirana je izrada bezkontaktnog sistema davača pomeranja. Merenje temperatura vršeno je živinim termometrima a u poslednje vreme i termistorima, pri čemu je korišćena šema polumosta u čijoj je jednoj grani bio termistor a u drugoj promenljivi otpornik. Iskustva iz rada sa termistorima dovela su do izrade desetokanalnog uređaja za merenje temperature termistorima sa instrumentom za očitavanje. U daljem razvoju ovog uređaja ostvariće se mogućnost izlaza na pisač i registrovanje temperatura bez posredstva izvršioca eksperimenta, čime će se povećati brzina i tačnost rada.

6. Mogućnosti smanjenja toplotnih deformacija alatnih mašina

Izvršena ispitivanja i konstruktivno - tehnološki zahvati u ovoj oblasti doveli su do niza uspešnih rešenja ovog problema. Ovo se odnosi uglavnom na mašine od kojih se zahteva velika tačnost, a u nekim slučajevima i na univerzalne mašine. Rešenja su međusobno vrlo različita a preduzete mere se po koncepciji mogu svrstati u sledećih nekoliko grupa:

a) izrada elemenata od materijala sa malim koeficijentom linearnog širenja (legure gvožđa i nikla)
b) smanjenje konstruktivnih mera od kojih zavisi veličina odstupanja
c) ugradnja sistema za kompenzaciju nastalih odstupanja - koji izazivaju odstupanja suprotnog smera
d) upotreba ventilatora i deflektora za usmeravanje vazdušnih struja kroz mašinu
e) prethodno zagrevanje ulja u prenosniku glavnog kretanja radi ubrzanja postizanja stacionarnog stanja
f) hlađenje ulja u prenosniku glavnog kretanja, što takođe ubrzava uspostavljanje stacionarnog stanja i to pri znatno nižim temperaturama
g) konstruktivnim putem - odabiranjem povoljnih kinematskih šema, podesnim razmeštajem izvora toplote i izborom elemenata koji predstavljaju slabije izvore toplote

L I T E R A T U R A

1. Skragan V.A. - Žestkost, točnost i vibracii pri mehaničeskoj obrabotke, pod redakciej, Mašgiz, Moskva 1956.
2. Stanković P., Zarić S. - Elaborat o uporednom ispitivanju strugova, Mašinski fakultet, Beograd 1960.
3. Volosov S.S. - Tehnologičeskie i metrologičeskie osnovy točnosti regulirovanija razmerov, Mašinostroenie, Moskva 1964.
4. Pietkiewicz M. - Metody zmniejszania odkształceń cieplnych w obrabiarkach, Mechanik, 1965, br.9.

M. Nedeljković *)

NEKI PROBLEMI BILANSA SNAGE ALATNIH MAŠINA **)

Energetski gubici predstavljaju celishodan pokazatelj za ocenu dobrote konstrukcije, kvaliteta izrade i montaže prenosnika alatnih mašina. Rezultati ispitivanja snage praznog hoda prototipa alatne mašine koriste se za upoređenje sa prethodnim modelima i omogućuju korekciju konstrukcije otklanjanjem izvora potenciranih gubitaka. Provera energetskih gubitaka serijskih modela omogućuje procenu ujednačenosti proizvodnje i montaže, a povremena kontrola mašina u eksploataciji ekspresnom računsko-eksperimentalnom metodom može se koristiti za ocenu stanja mašine i racionalnosti tehnologije s obzirom na iskorišćenje glavnih karakteristika alatne mašine.

Ukupna snaga mašine određena je relacijom:

$$P = P_o + P_v + \sum_{i=1}^{3} P_i \qquad (1)$$

gde je P_o - snaga praznog hoda,
P_v - varijabilni gubici usled opterećenja,
$P_i = P_{F_1} + P_{F_2} + P_{F_3}$ - zbir snage glavnog otpora rezanja, snage otpora prodiranja i snage otpora pomoćnog kretanja.

S obzirom da je brzina rezanja koja pada u pravac glavnog otpora rezanja F_1 znatno veća od brzine pomoćnog kretanja, a pored toga je i odnos otpora rezanja $F_1:F_2:F_3$ 5:2:1, to se snage P_{F_2} i P_{F_3} mogu zanemariti, tako da ukupna snaga iznosi:

$$P \approx P_o + P_v + P_{F_1} \qquad (2)$$

Iz gornje jednačine je očigledno, da je za utvrđivanje bilansa snage potrebno računski ili eksperimentalno utvrditi snagu praznog hoda P_o i raspoloživu korisnu snagu P_F u svakom stepenu prenosa radi određivanja stepena korisnosti $= f(P_{F_1})$.

---

*) Milan J. Nedeljković, dipl.ing., samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27 marta 80.

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate. Istraživanja su vršena u okviru projekta "Istraživanje i razvoj metoda za ispitivanje alatnih mašina" u čijem finansiranju učestvuju Republički fond za naučni rad, Republički sekretarijat za industriju SR Srbije i više privrednih organizacija

1. Približan i proširen proračun snage praznog hod prenosnika za glavno kretanje

Proračun i eksperimentalno ispitivanje snage praznog hoda P_o predstavlja poseban interes za alatne mašine za završnu obradu gde su otpori rezanja mali, a glavno opterećenje pogonskog motora predstavlja snaga praznog hoda. Metod približnog proračuna koristi se za određivanje snage praznog hoda malih i srednjih univerzalnih i revolverskih strugova i glodalica.

Da bi se koristio približan proračun, potrebno je na bazi kinematske šeme, Šlezingerovog dijagrama i sklopnog crteža odrediti brojeve obrtaja svih vratila prenosnika za svaki stupanj prenosa i srednje prečnike rukavaca tih vratila. Za približan proračun primenjuje se obrazac [2]

$$P_o = \frac{f_m d_{sr}}{10^6}\left(n_I + n_{II} + \cdots n_i + f_{gv}\ \frac{d_{gv}}{d_{sr}}\ n_{gv}\right)\ [kW] \qquad (3)$$

gde je f_m - faktor momenta trenja, čija je vrednost ravna srednjem momentu trenja na nekom vratilu ali svedenom na srednji prečnik rukavaca vratila. Vrednost f_m se usvaja u granici od $f_m = 3\text{-}5$, pri čemu se manje vrednosti usvajaju za bolji sistem podmazivanja, kvalitetniju montažu i razradu.

$$d_{sr} = \frac{d_I + d_{II} + \cdots d_i}{i}$$ - srednji prečnik rukavca vratila u [mm]

i - broj vratila

$n_{I,II,i}$ - broj obrtaja svakog vratila I, II .... i za dati stupanj prenosa u [^{o}/min]

d_{gv} - srednji prečnik rukavca glavnog vretena u [mm]

f_{gv} - faktor uležištenja, koji uzima u obzir gubitke na trenje u osloncima glavnog vretena. Za kotrljajne ležajeve usvaja se $f_{gv} = 1{,}5$ a za klizna ležišta $f_{gv} = 2$.

Gubici u remenom prenosniku proračunati su na osnovu obrazaca [2]

$$P_{rp} = f_{rp}\, z\, v\left(\frac{1}{d_1^2} + \frac{1}{d_2^2}\right) \quad [kW] \qquad (4)$$

gde je $f_{rp} = 0{,}25 + 0{,}015 \cdot v$, za trapezne kaiše veličine 13

d_1, d_2 - prečnici kaišnika u [cm]

v - obimna brzina u [m/sec]

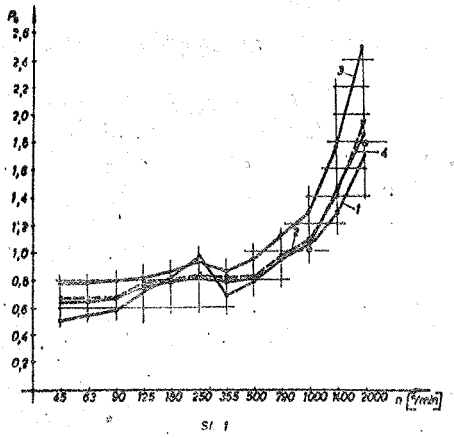
z - broj kaiša

Za određivanje gubitaka snage na elastičnom zaptivaču primenjen je empirijski obrazac:

$$P_{zp} = 24{,}28 \cdot 10^{-6} \cdot d^{1,9} \cdot n \quad [W] \qquad (5)$$

gde je d - prečnik vratila u [mm]

Primenom obrazaca (3), (4) i (5) dobijene su vrednosti snage praznog hoda P_o, proračunate ekspresnom približnom metodom za sve stupnjeve brojeva obrtaja (sl. 1, kriva 4).



Sl. 1

Krive snage praznog hoda ispitivanog univerzalnog struga:
1- pre pritezanja prednjeg ležaja glavnog vretena, bez pomaka;
2- isto sa uključenim pomoćnim kretanjem;
3- sa maksimalnim pritezanjem prednjeg ležaja;
4- kriva snage na osnovu približne računske metode

U energetskom bilansu snaga praznog hoda predstavlja konstantne gubitke, koji praktično ne zavise od korisnog opterećenja nego za određenu kinematsku šemu i konstrukciju od ugaone brzine vratila, viskoznosti ulja, težine rotirajućih kinematskih parova i radnog predmeta. Snaga praznog hoda nije jednoznačno određena jer pored prethodnih faktora, za potpuno istu konstrukciju na veličinu vrednosti utiče i veličina zazora u osloncima, stanje kliznih površina, stepen istrošenosti prenosnika i temperaturski uslovi koji se permanentno menjaju i teško ih je održavati konstantnim.

Da bi se ocenio uticaj promene zazora prednjeg ležaja na vrednost snage praznog hoda, izvršena su merenja sa ekstremnim zazorima i vrednosti su date na dijagramu sl.1 (kriva 1 i 3). Očigledan je porast snage praznog hoda za slučaj pritegnutog ležaja za 6% do 45% za razne stupnjeve brzine.

Iz ovoga se došlo do zaključka da se vrednost faktora uležištenja f_{gv} može korigirati naviše do 20%, odnosno da se faktor f_{gv} kreće od $f_{gv} = 1,5 - 1,8$.

Približan proračun ne diferencira izvore gubitaka i ovaj nedostatak se otklanja proširenim proračunom, koji ukazuje na izvore potenciranih gubitaka. Sumiranjem konstantnih gubitaka na svim elementima na svakom vratilu prenosnika, usvajanjem stepena korisnosti odgovarajućih delova kinematskog lanca i uvođenjem zajedničkog koeficijenta s obzirom na dopunske gubitke u elementima za upravljanje prošireni izraz za snagu praznog hoda je:

$$P_o = f\left(P_{o_I} + \frac{P_{o_{II}}}{\eta_{I-II}} + \cdots \frac{P_{o_i}}{\eta_{I-i}} + \frac{P_{o_{gv}}}{\eta_{I-gv}} \right) \qquad (6)$$

ili

$$P_o = f\left(P_{o_I} + P_{o_{II}} + \cdots P_{o_i} + P_{o_{gv}} \right) \qquad (7)$$

gde je: P_{o_I}, $P_{o_{II}}$ ..... - snaga praznog hoda na vratilu I, II ... kao zbir gubitaka u pojedinim zupčastim parovima i uležištenju.

Snaga praznog hoda P_{o_I}, $P_{o_{II}}$, ... proračunava za sva vratila koja se obróu, pri čemu se gubici u ležajima usled težine vratila i elemenata za prenos snage ne uzimaju u obzir ako je njihova sopstvena težina ispod 200 kp. Kod teških alatnih mašina, za proračun konstantnih gubitaka neophodno je uzeti u obzir i težinu vratila i težinu radnog predmeta. U obrascu (6) η_{I-II} predstavlja stepen korisnosti s obzirom na gubitke usled opterećenja za deo prenosnika vratilo I-vratilo II bez gubitaka na trenje u osloncu na vratila II, η_{I-III} stepen korisnosti za deo lanca od vratila I-III bez gubitaka u osloncima vratila III itd, η_{I-v} stepen korisnosti celog prenosnika bez oslonca glavnog vretena. Vrednost faktora dopunskih gubitaka $f = 1{,}1 - 1{,}2$ usvajaju se tako što se za manji broj pomičnih snopova i kandžastih spojki bira niža vrednost. Obrazac (7) primenjuje se skoro u svim slučajima sem u slučaju dugačkih kinematskih lanaca kada najveći deo konstantnih gubitaka pada na zadnje parove lanca (karuseli) i kada se koristi obrazac (6).

Gubici na trenje u pojedinim zupčastim parovima određuju se na osnovu relacija;

$$P_{t_z} = \frac{F_{t_z} \cdot v}{102} \qquad (8)$$

gde je P_{t_z} - gubitak snage usled trenja zupčastog para na posmatranom vratilu u [kW]

$$F_{t_z} = f_z \cdot b \cdot \sqrt{\mu v} \text{ - sila trenja u [kp]} \qquad (9)$$

b - širina venca zupčanika u [mm], μ - dinamički viskozitet u [cP] pri stacionarnoj temperaturi, v - obimna brzina u [m/sec], f_z - faktor klizanja, pri čemu se za cirkulaciono podmazivanje i za zupčanik u sprezi usvaja $f_z = (2\text{-}3) \cdot 10^{-3}$, a za zupčanik koji nije u sprezi na datom prenosu $f_z = (1\text{-}1{,}5) \cdot 10^{-3}$

Gubitak snage u osloncima proračunava se u zavisnosti od tipa ležaja i prečnika rukavca vratila prema obrascu:

$$P_{t_L} = \frac{F_{t_L} \cdot v}{102} \quad [kW] \qquad (10)$$

gde je: P_{t_L} - gubitak snage usled trenja u osloncima vratila,
v_L - obimna brzina u [m/sec],
$F_{t_L} = f_L \cdot d$ - sila trenja u [kp] (11)

d - prečnik rukavca u [mm], f_L - faktor trenja kotrljanja, čije vrednosti zavise od tipa kotrljajnog ležaja i koristi se za oblast prečnika d = 20 - 200 [mm] i za

$$d \cdot n \leqslant 100.000 \ [mm \cdot o/min]$$

Da bi se koristio proširen proračun snage praznog hoda neophodno je imati sklopni crtež prenosnika za glavno kretanje i Šlezingerov dijagram radi utvrđivanja potrebnih geometrijskih i kinematskih podataka. Na osnovu relacija (7)-(11) za ispitivani prenosnik za glavno kretanje univerzalnog struga dobijeni su izrazi (12) i tabela 1 sa računskim vrednostima za brojeve obrtaja 125,500,1000 i 2000.

$$P_b = f\left(P_{o_I} + P_{o_{II}} + P_{o_{III}} + P_{o_{IV}} + P'_{o_{IV}} + P_{o_V} + P_{o_{pk}} + P_{o_{gv}}\right)$$

$$P_{o_I} = P_{L_1} + 2P_{L_2} + P_{L_3} + P_{z_1} + P_{z_p} + P_{sp} + P_{z_4}$$

$$P_{o_{II}} = 3P_{L_1} + 2P_{z_2} + P_{z_3} + P_b$$

$$P_{o_{III}} = P_{L_1} + P_{z_6} + P_{z_7} + P_{z_8} + P_{z_9} + P_{z_{10}} + P_{L_2}$$

$$P_{o_{IV}} = 2P_{L_1} + P_{L_3} + P_{z_{11}} + P_{z_{12}} + P_{z_{13}} + P_{z_{15}} + P_{z_{16}} \qquad (12)$$

$$P'_{o_{IV}} = 2P_{L_2} + P_{z_{14}}$$

$$P_{o_V} = 2P_{L_4} + P_{z_{17}} + P_{z_{18}} + P_{z_{19}}$$

$$P_{o_{pk}} = 4P_{L_4} + 2P_{z_{23}} + P_{z_{24}} + P_{z_{25}}$$

$$P_{o_{gv}} = P_{L_1} + 2P_{L_5} + P_{z_{20}} + P_{z_{21}} + P_{z_{22}}$$

Usvojena označavanja znače: indeks L odnosi se na kotrljajne ležajeve, a z na zupčanike, pri čemu rimski brojevi označavaju vratila a arapski ležajeve i zupčanike koji se uzimaju u proračun za dati stupanj prenosa i vratilo prema kinematskoj šemi, dok ostali simboli označavaju: P_{sp} - gubitak snage na spojnici za suprotan smer obrtanja, P_{rp} - gubitak snage na remenom prenosu, $P_{o_{pk}}$ - snaga na stalno uključenom vratilu za pomoćno kretanje, P_b - gubitak na kočnici, P_{zp} - gubitak na zaptivaču.

Snaga praznog hoda proračunata proširenom metodom Tabela 1

P_{o_I}	125 °/min	500 °/min	1000 °/min	2000 °/min
P_{o_I}	0,0726	0,0726	0,0726	0,0726
$P_{o_{II}}$	0,0534	0,0578	0,0578	0,0578
$P_{o_{III}}$	0,0996	0,0442	0,0996	0,1037
$P_{o_{IV}}$	0,0739	0,0507	0,0796	0,1650
$P'_{o_{IV}}$	0,0248	0,0264	0,0248	0,0282
P_{o_V}	0,0209	0,0326	0,0820	0,2420
$P_{o_{gv}}$	0,0284	0,0833	0,2101	0,5437
$P_{o_{pk}}$	0,0034	0,0220	0,0546	0,1696
$P_{o_{sp}}$	0,1225	0,1426	0,1525	0,1563
P_{o_b}	0,1152	0,1168	0,1229	0,1340
$P_{rp} + P_{zp}$	0,114	0,114	0,114	0,114
$P_b = \Sigma P_{o_I}$	0,7487	0,7732	1,0605	1,808

Tab. 1. Snaga praznog hoda proračunata proširenom metodom

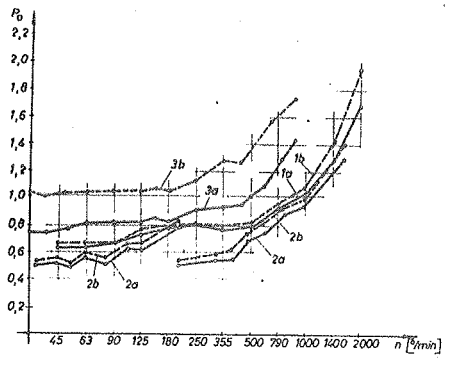
2. Analiza računskih i eksperimentalnih metoda i rezultata određivanja snage praznog hoda

Pre ispitivanja snage praznog hoda sipa se odgovarajuća količina ulja propisanog viskoziteta do određenog nivoa i neopterećena mašina se dovede u stacionarno temperaturško stanje radom na prazno sa brojem obrtaja $n = 0,5 (n_{max} + n_{min})$ Pomoću termometara ili termistora meri se temperatura ulja u rezervoaru kao integralna vrednost temperature svih izvornih tačaka. Stacionarnim temperaturskim stanjem se smatra takvo ustaljeno stanje pri kome se temperatura ulja u toku 15 min menja kod alatnih mašina normalne tačnosti do 5%, kod alatne mašine povišene i visoke tačnosti do 3%, ili,

ako je u istom intervalu snage praznog hoda praktično konstantna. Pri ispitivanju polazi se od najviših brojeva obrtaja da bi se sprečavalo hlađenje mašine. U koliko u toku ispitivanja nastupe promene temperature iznad predloženih vrednosti, mašina se mora ponovo dovoditi u stacionarno stanje. Za merenje snage praznog hoda koristi se kompletan merni pribor na principu Aronove sprege koji sadrži dvofazni vatmetar, ampermetar, voltmetar, dva transformatora, prebacivač i otpornike i očitavanjem vrednosti i odgovarajućim proračunavanjem preko konstanti pribora dobijaju se vrednosti snage praznog hoda, faktora snage cosφ i srednje jačine struje I_{sr}, koji su značajni u pogledu negativnog uticaja na električnu mrežu. Istovremeno sa merenjem snage utvrđuju se stvarni brojevi obrtaja glavnog vretena, čime se ocenjuju uticaji eventualne varijacije napona mreže.

Merenja u svim stepenima prenosa ponavljaju se najmanje 3 puta i kao konačni rezultati merenih vrednosti usvajaju se srednje aritmetičke vrednosti.

Radi ocene veličine vrednosti snage praznog hoda u slučaju zajedničkog pogona za glavno i pomoćno kretanje ispitivanje je vršeno na svim stupnjevima brzine sa maksimalnim korakom i vrednosti su date na sl. 2 (krive 1a i 1b). Iz slike se vidi da prenosnik za pomoćno kretanje u oblasti nižih brojeva obrtaja povećava snagu praznog hoda za 2-3% dok na najvišim brojevima obrtaja čak i do 10%.



Sl. 2

Sl. 2

Krive snage praznog hoda:

1a- struga sa jednobrzinskim motorom za zajednički pogon bez uključenog koraka;

1b- isto sa uključenim maksimalnim korakom;

2a- struga sa dvobrzinskim motorom za zajednički pogon bez uključenog koraka;

2b- isto sa uključenim maksimalnim korakom;

3a- glodalice sa odvojenim pogonom za glavno i pomoćno kretanje bez pomoćnog kretanja;

3b- isto sa pomoćnim kretanjem

U slučaju odvojenog pogona za pomoćno kretanje ispitivanjem je utvrđeno da je snaga praznog hoda sa uključenim pomoćnim kretanjem znatno veća nego u slučaju zajedničkog pogona, ali je zato konstrukcija prostija i kraći je kinematski lanac (sl. 2 krive 3a i 3b).

Radi upoređenja snage praznog hoda jedno i dvobrzinskog motora ispitivane su izvedbe sa šestopolnim motorom snage 4 kW i 4/8 polnim motorom snage 4,5/3,5 kW i rezultati ispitivanja su pokazani na sl.2 (krive 2-a i 2-b). Uporedni rezultati pokazuju da za izabrane brojeve obrtaja udeo snage praznog hoda za strug sa jednobrzinskim motorom iznosi od 17,0-29%, dok za dvobrzinski motor sa reduktorom za

niže brojeve obrtaja od 14 do 21%, a to znači povoljniji stepen korisnosti. Međutim dvobrzinski motor ima nepovoljan cos φ na nižim brzinama motora.

Upoređujući rezultate dobijene približnom i proširenom računskom metodom i eksperimentom (vidi sl. 1) može se konstatovati da računska kriva potpuno prati eksperimentalnu krivu i da prosečna odstupanja iznose 11%, pri čemu u oblasti nižih brojeva obrtaja odstupanja su u pravcu manjih vrednosti, u oblasti visokih brojeva obrtaja u pravcu većih vrednosti. Ekspresna i proširena računska metoda može se koristiti pri konstruisanju varijanti prenosnika za glavno kretanje radi prethodne orijentacije, u slučaju rekonstrukcije mašine s obzirom na povećanje brzina radi poređenja energetskih gubitaka u odnosu na prethodnu konstrukciju, pri ispitivanju prototipova radi otkrivanja povećanja gubitaka na trenje u kinematskim parovima i može se preko dinamičkog viskoziteta oceniti uticaj preporučenih ulja na gubitke snage.

3. Osvrt na iskorišćenje nekih glavnih karakteristika, bilans snage i stepen korisnosti

Oslanjajući se na teoretska razmatranja [1] iskorišćenja glavnih karakteristika alatnih mašina, proračunom čvrstoće bokova i podnožja najugroženijeg kinematskog para ispitivanog struga određen je maksimalni momenat M_{max}, područje brojeva obrtaja gde je M_{max} = const, odnosno gde nije moguće iskoristiti maksimalnu pogonsku snagu. U cilju utvrđivanja bilansa snage primenjen je metod rezanja pri čemu su prethodno određeni parametri rezanja tako da se za svaki stupanj prenosa snaga može iskoristiti sa ~100, ~75, ~50 i ~25%. Otpori rezanja su mereni trokomponentnim meračem otpora. Pre ispitivanja mašina je dovedena u stacionarno temperatursko stanje. Poznavajući glavni otpor rezanja, korisna snaga je određena na osnovu:

$$P_K = \frac{F_1 \cdot v}{6120} \ [kW] \qquad (13)$$

a stepen korisnosti

$$\eta = \frac{P_k}{P} \qquad (14)$$

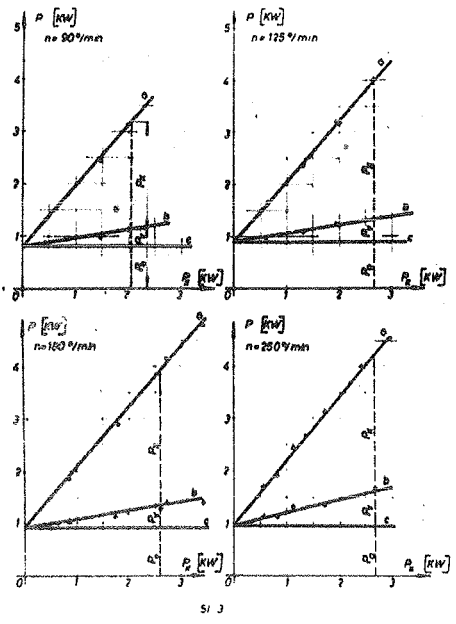
Na osnovu podataka eksperimentalnog ispitivanja određuju se varijabilni gubici usled opterećenja za svaki stupanj prenosa pomoću izraza

$$P_v = P - P_o - P_K \qquad (15)$$

i na osnovu tih vrednosti dati su neki dijagrami za bilans snage na sl. 3.

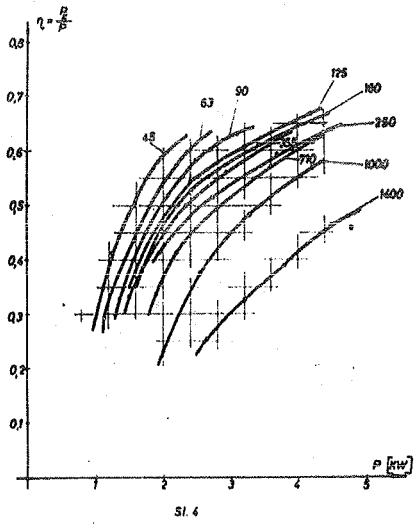
Potvrđujući zakonitost linearnog porasta varijabilnih gubitaka usled opterećenja zapažaju se izvesna rasipanja vrednosti korisne snage P_K pri višestrukim ponavljanim merenjima, što je posledica nestabilnosti pribora za merenje otpora rezanja.

Na osnovu pr[illegible]unatih vrednosti $\eta = f(P)$ nacrtan je dijagram stepena korisnosti [illegible]a skoro sve stupnjeve brzine ispitivanog struga, gde se ističe znatno veći stepen korisnosti za n = 355 u poređenju sa



Sl. 3

Sl. 3. Dijagrami bilansa snage univerzalnog struga

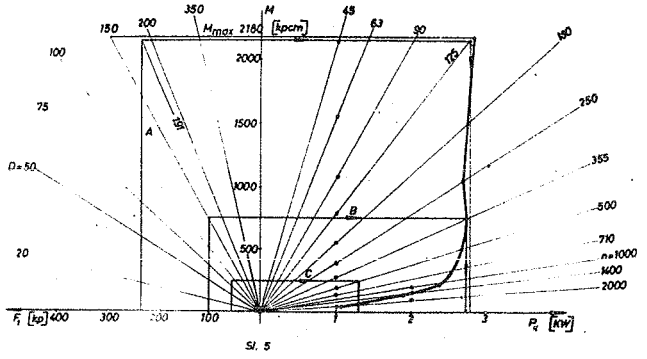


Sl. 4

Sl. 4. Stepen korisnosti $\eta = f(P)$ za različite stupnjeve brzine

brojem obrtaja n = 250, što je posledica veće snage praznog hoda za n = 250 (vidi sl. 1). Ovaj vrh krive u donjem delu krive, prethodno dobijen proračunom a zatim potvrđen eksperimentom, nastaje zbog dugog lanca redukcije sa međuvratila sa najvišim brojem obrtaja. Stepeni korisnosti za najniže brojeve obrtaja ne pokrivaju celu oblast snage jer na tim brojevima nije moguće iskoristiti punu snagu s obzirom da je M_{max} = const.

Koristeći podatke iz bilansa snage o maksimalno raspoloživoj korisnoj snazi s obzirom na konstantne i varijabilne gubitke, moguće je



Sl. 5

Sl. 5. Dijagram za iskorišćenje P_M i M_{max}

1- Linija A - istovremeno iskorišćenje P_M M_{max}

2- Linija B - iskorišćenje P_M, a nepotpuno iskorišćenje M_{max}

3- Linija C - nepotpuno iskorišćenje P_M i M_{max}

4- Kriva D - kriva raspoložive korisne snage P_K

postrojiti dijagram (sl. 5) radi ocene tehnoloških mogućnosti ispitivanog struga s obzirom na iskorišćenje pune snage pogonskog motora i dozvoljenog momenta M_{max}.

Tako je na osnovu bilansa snage i proračunatog M_{max} za ispitivani strug u pogledu iskorišćenja njegovih performansi konstatovano:

- oblast prečnika od 350 - 190 [mm] predstavlja oblast nepotpunog iskorišćenja preseka strugotine, odnosno F_{1max}, a to znači nepotpuno iskorišćenje pune snage motora,
- u oblasti prečnika 350 - 190 [mm] zbog porasta prečnika koristi se sila rezanja koja se određuje iz uslova

$$F_1 = \frac{2M_{max}}{D_i} \text{ [kp] gde je } 190 < D_i \leq 350$$

- za oblast $D_{i_{min}}$ - 190 [mm] neiskorišćen je M_{max} a moguće je iskoristiti P_{max}. Ovaj slučaj prikazan je na sl. 5. pravom B.
- Istovremeno iskorišćenje M_{max} i P_{max} ostvaruje se prečnikom $D_i = 190$ [mm] na broju obrtaja $n = 125$ [o/min], što je prikazano pravom A (sl.5),
- nepotupno iskorišćenje obe glavne karakteristike na sl. 5 prikazano je pravom C.

4. Zaključak

Ekspresni i prošireni metod proračuna daje rezultate dovoljne tačnosti za snagu praznog hoda, te se može koristiti za orijentacione proračune pri izboru varijanti i rekonstrukciji prenosnika u pogledu energetskih gubitaka. Ekspresni eksperimentalni metod merenja snage praznog hoda za serijska ispitivanja mašina, pri jedinstveno definisanom stacionarnom temperaturskom stanju mašine i mernim priborima, daje mogućnost za ocenu ujednačenosti kvaliteta proizvodnje i montaže. Preko bilansa snage moguće je razraditi dijagrame iskorišćenja glavnih karakteristika M_{max} i P_{max} za datu tehnološku operaciju na strugu i doprineti racionalnijem korišćenju opreme u pogledu ovih performansi. Primenjeni instrumentarij za snagu i otpore rezanja treba povezati sa pisačem radi poboljšanja tačnosti merenja.

L I T E R A T U R A

1 P. Stanković: Total Utilization of the Machine Tool Characteristics - Advances in Machine Tool Design and Research (4 th International M.T.D.R. Conferences, Manchester, 1963.

2 G.A.Levit: Rasčet poter na trenie v privodah stankov. Stanki i instrument br. 9/1959. str. 1-10.

3 Istraživanje i razvoj metoda ispitivanja alatnih mašina - Elaborat br. 36/66, Institut za alatne mašine i alate, Beograd, (1966).

М. Недельковић

Некоторые проблемы баланса мощности металлорежущих станков

Опыт применения расчета потерь на трение в приводах станков, потвердил достаточную его точность и надежность и поэтому этот метод используемий для ориентировочного расчета вариантов конструкции и реконструкции приводов. Ускоренный экспериментальный метод измерения мощности холостого хода в условиях серийного производства позволяет дать оценку качества изготовления и сборки механизмов приводов.

В статье предложена диаграмма, позволяющая определить использование механики станка P_M и M_{max}, а также и критерий для определения установившегося температурного состояния, позволяющего сопоставление опытных данных при идентичных условиях. В отношении средств измерения мощности и сил резания, опыт показал, что необходимо их дополнить устройством для записи с целью улучшения точности измерения.

P. Popović *)

PRILOG REŠAVANJU PROBLEMA IZBORA TIPA PNEUMATSKOG URAVNOTEŽIVAČA PRITISKIVAČA MEHANIČKIH PRESA**)

Uvod

Mehaničke krivajne prese koriste kao pogonski mehanizam pritiskivača prosti mehanizam krivaje, ili ovaj mehanizam kombiniran sa još nekim kinematskim elementima.

Pri rotacionom kretanju kolenastog (ekscentarskog) vratila pritiskivač prese vrši oscilatorno pravolinisko kretanje, pa svojom težinom i inercijalnim silama opterećuje krivajni mehanizam, odnosno krivajne mehanizme, s obzirom da zavisno - uglavnom - od dimenzija pritiskivača postoje prese sa jednom, dve ili četiri tačke njegovog vešanja.

Kako su u većih presa dimenzije pritiskivača, pa samim tim i njihove težine, znatne (i do više desetina Mp), a takode i dimenzije, odnosno težine alata koji se vezuje za njih, to se obavezno vrši njihovo uravnoteženje, a u nameri da se postigne:

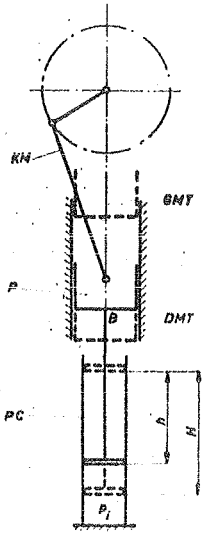
- rasterećenje pogonskog mehanizma;
- smanjenje gubitaka energije prese u povratnom hodu pritiskivača, tj. smanjenje trošenja energije prese na podizanje pritiskivača;
- poništenja zazora reduktora, tj. uništenja mrtvog hoda time što su zubi zupčanika reduktora uvek u jednostranoj sprezi, a što se manifestuje mirnijim radom prese i smanjenjem zvuka reduktora, i najzad:
- veće bezbednosti rada, jer u slučaju loma elemenata veze pritiskivač-klipnjača, pritiskivač će pridržati pneumatski uravnoteživač i sprečiti njegov pad.

Elementi koji služe za uravnoteženje pritiskivača su pneumatski cilindri. Radi daljeg razmatranja na slici 1 šematski je prikazan pritiskivač (P) sa prostim krivajnim mehanizmom (KM) i pneumatskim cilindrom -uravnoteživačem (PC), u kome vlada pritisak vazduha p_0 kada je pritiskivač u gornjoj mrtvoj tački (GMT). Jasno je, na osnovu ove slike, da će pri kretanju pritiskivača od GMT do DMT i obrnuto, tj. njegovom kretanju u području hoda H i klip i cilindri vršiti isto kretanje. Ovim kretanjem klipa vrši se promena zapremine cilindra, što izaziva promenu pritiska u njemu sa p_0 na p_i, a time i sile kojom uravnoteživač deluje na pritiskivač u tački B sa F_0 na F_i.

---

*) Popović Predrag, dipl.ing., Savetnik u Fabrici mašina "Ivo Lola Ribar" - Beograd

**) Saopštenje iz Fabrike mašina "Ivo Lola Ribar" - Beograd



Sl. 1

Polazeći od pretpostavke, koja praktično odgovara stvarnosti, da se pri radu prese u uravnoteživaču vrši adijabatska promena stanja vazduha, tj. po zakonu:

$$p_o \cdot V_o^k = p_i \cdot V_i^k \qquad (1)$$

gde je: $p_o/p_i/$ - pritisak vazduha u cilindru kada je klip u GMT /bilo kom položaju/;

$V_o/V_i/$ - zapremina uravnoteživača kada je klip u GMT /bilo kom položaju/ i

k - eksponent adijabate (k = 1,4),

i dobivši iz slike 1 da je:

$$V_i = V_o - A \cdot h = V_o - V_{ri} \qquad (2)$$

gde je:

A - radna površina klipa;

h - rastojanje klipa pri kretanju od GMT ($h_{max} = H$) i

V_{ri} - zapremina koju prebriše klip na svom putu h od GMT, te označivši sa:

$$\varphi_i = \frac{V_o}{V_o - V_{ri}} \qquad (3)$$

dobija se izraz za promenu pritiska:

$$p_i = p_o \cdot \varphi_i^k \qquad (4)$$

odnosno izraz za promenu sile uravnoteženja $F_i = p_i \cdot A$ dobija oblik:

$$F_i = A \cdot p_o \cdot \varphi_i^k \qquad (5)$$

Za h = H postaje: $p_i = p_1$, $V_{ri} = V_r$ i:

$$\varphi_i = \varphi_1 = \frac{V_o}{V_o - V_r} \qquad (6)$$

pa izrazi (4) i (5) dobijaju oblike:

$$p_1 = p_o \cdot \varphi_1^k \qquad \text{i} \qquad F_1 = A \cdot p_o \cdot \varphi_1^k$$

Nadalje, kako je uopšte:

$$G = a \cdot G_u = a \cdot p_o \cdot A \qquad (7)$$

gde je: G – težina pritiskivača sa klipnjačom i alatom;
G_u – deo težine G koji se uravnotežuje kada je pritiskivač u GMT (za h = H je $F_i = F_o = G_u$) i
a – koeficijent koji određuje odnos ukupne težine G prema uravnoteženoj G_u (njegova vrednost se kreće u granicama od a = 1,0 do a = 1,6),

i kako je radna zapremina cilindra $V_r = A \cdot H$, to se zamenom vrednosti za A iz izraza (7) u obrazac V_r dobija:

$$V_r = \frac{G}{a \cdot p_o} \cdot H \qquad (8)$$

Iz izraza (8) se vidi da je V_r = const. za određenu presu, pa se prema tome može uticati na veličinu procentualnog povećanja pritiska u uravnoteživaču do koga dolazi u toku kretanja pritiskivača na dole, odnosno procentualnog povećanja sile uravnoteženja F_i od F_o na F_1 samo menjanjem zapremine V_o, odnosno V_1.

Najzad, na osnovu svega do sada iznetog, pri rešavanju problema uravnoteženja, odnosno traženja konstruktivnog rešenja uravnoteživača, može se poći od sledećih postavki:

- da je sila uravnoteženja približno konstantna za vreme radnog ciklusa, tj. $F_i \cong$ const., i
- da se sila uravnoteženja menja u toku radnog ciklusa, tj. $F_i \neq$ const

Sila uravnoteženja približno konstantna

Kako je uslov da sila uravnoteženja u toku tadnog ciklusa, tj. za vreme oscilatornog pravolinijskog kretanja pritiskivača od GMT do DMT i obratno ostaje približno konstantna i jednaka ukupnoj težini pritiskivača sa klipnjačom i alatom, ili približno toj težini (vidi izraz 7), variranje pritiska vazduha u cilindrima uravnoteživača mora biti minimalno. Da bi se ovo ostvarilo, cilindri se povezuju sa dovoljno velikim rezervoarom.

Da bi bio zadovoljen uslov $F_i \cong$ const., moraju se ispravno dimenzionisati cilindri i rezervoar uravnoteživača.

Osnova za proračun dimenzija cilindara su: hod pritiskivača H, težina pritiskivača sa klipnjačom i alatom G, i broj cilindara n (najčešće n = 2 ili n = 4).

Iz zavisnosti:

$$G_u = n \cdot p_o \cdot A' \qquad (9)$$

i izraza (7) dobijaju se izrazi za izračunavanje prečnika klipa, i to:
- za slučaj da je pritiskivač obešen o cilindre uravnoteživača:

$$D' = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{a' \cdot \pi \cdot n \cdot p_o} + d^2} \qquad (10)$$

gde je: d – prečnik klipnjače;
a′ – koeficijent koji određuje odnos težine G prema G_u za ovaj slučaj, a čija se vrednost kreće od $a'_{min} = 1,0$ do $a'_{max} = 1,1$, i

– za slučaj postavljanja cilindara ispod pritiskivača, tj. da se pritiskivač o njih oslanja:

$$D' = \sqrt{\frac{4 \cdot G}{a' \cdot \pi \cdot n \cdot p_o}} \qquad (11)$$

Osnova za proračun dimenzija rezervoara je uslov da povećanje pritiska vazduha u uravnoteživaču pri radu prese, a time i povećanje sile uravnoteženja, ne prelazi 10%, tj. da je: $\varphi_1'^k = 1,1$, odnosno:

$$p_1 \leq 1,10 \cdot p_o \qquad (12)$$

Koristeći obrazac (6) tako, da V'_o u ovom slučaju pretstavlja ukupnu zapreminu svih cilindara i rezervoara (cevovod se može zanemariti), i da je $\Sigma V'_r = n \cdot V'_r = n \cdot A' \cdot H$ uz označavanje sa:

$$\alpha' = \frac{\varphi_1}{\varphi'_1 - 1} \quad \text{i} \qquad (13)$$

$$\beta' = \frac{1}{\varphi'_1 - 1} \qquad (14)$$

dobija se da je ukupna zapremina V'_o data izrazom:

$$V'_o = \alpha' \cdot \Sigma V'_r \qquad (15)$$

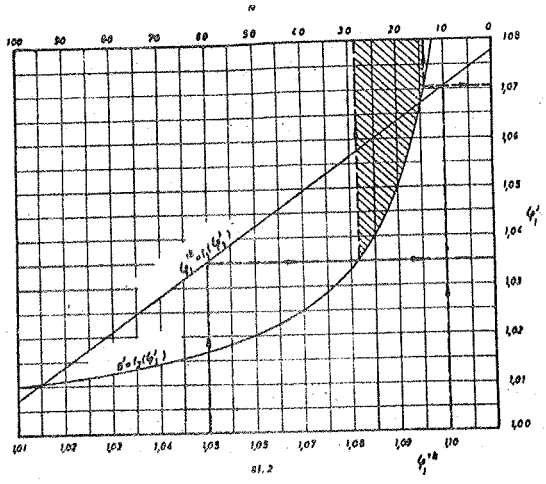
odnosno zapremina rezervoara:

$$V_{rez} = \alpha' \cdot \Sigma V'_r \qquad (16)$$

Na osnovu uslova da je $\varphi_1'^k = 1,10$ i izraza (14) nacrtan je dijagram na slici 2 u kome su date dve krive: $\varphi_1'^k = f_1(\varphi'_1)$ i $\beta' = f_2(\varphi'_1)$.

Analizirajući ovaj dijagram dolazi se do zaključka da nema smisla ići sa izborom $\varphi_1'^k$ ispod vrednosti 1,05, jer daleko brže raste β', a time zapremina rezervoara nego što se vrši približavanje uslovu da je $p_1 = p_o = const.$, tj. da je sila uravnoteženja pri radu prese konstantna.

Za $\varphi_1'^k = 1,05 \div 1,10$ je $\varphi'_1 \cong 1,0355 \div 1,0705$, odnosno $\beta' \cong 28,2 \div 14,2$, pa je zapremina rezervoara u ovom slučaju:

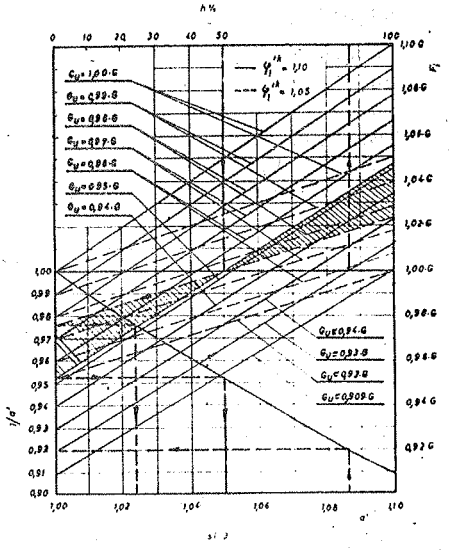


$$V_{rez} = (14,2-28,2)\cdot \Sigma V'_r$$

ili za uravnoteživač sa dva cilindra: $V_{rez} = (28,4 \div 56,4) \cdot A' \cdot H$,
odnosno četiri cilindra: $V_{rez} = (56,4 \div 112,8) \cdot A' \cdot H$.

Na slici 3 dat je dijagram koji je nacrtan na osnovu zavisnosti (5), (7) i (12), a koristan je za praktične proračune, jer se brzo pomoću njega nalazi promena sile $F_i = f(h)$ i težina G_u procentualno izražena od G za unapred usvojene vrednosti $\varphi_1'^k$ i a'.

Međutim, još korisnije može poslužiti, ako se unapred odredi na kom procentu hoda se želi da sila uravnoteženja F_i bude jednaka težini G, pa se za usvojeno $\varphi_1'^k$ iznalazi G_u i a'.



Najzad, analizirajući dijagram na slici 3 i zavisnosti na osnovu kojih je izrađen dolazi se do sledećih zaključaka:

1. Zavisnost $F_i = f(h)$ za vrednost $\varphi_1'^k = 1,05 \div 1,10$ praktično predstavlja pravu liniju.
2. Za $a' < \varphi_1'^k$ je $F_0 < G$ i $F_1 > G$, odnosno sila uravnoteženja F_i u domenu hoda od 0 do h je $F_i < G$, za h je $F_i = G$ i u domenu od h d H: $F_i > G$. Graničan slučaj je $a' = 1,0$, za koji je $F_0 = G$ i $F_1 = G \cdot \varphi_1'^k$, tj. sila uravnoteženja je uvek veća ili najmanje jednaka težini G ($F_i \geqq G$).
3. Za $a' = \varphi_1'^k$ je $F_1 = G$, tj. sila uravnoteženja za vreme kretanja klipa od h = 0 do h = H uvek je manja ili najviše jednaka težini G ($F_i \leqq G$).
4. Za $a' > \varphi_1'^k$ je $F_1 < G$, tj. sila uravnoteženja je uvek manja od težine G i nikada je ne dostiže ($F_i < G$).

5. Uravnotežívač u kog je $F_1 = G$ pri $h = 0,5 \cdot H$ predstavlja optimalni, jer su veličine $G - F_0$ za $h = 0$ i $F_1 - G$ za $h = H$ međusobno jednake. Za sve ostale slučajeve, ili je $G - F_0$ veće od $F_1 - G$, ili $G - F_0$ manje od $F_1 - G$, a to znači da su odstupanja od prve $G = const.$ veća.

Šrafirna površina na dijagramu predstavlja polje u kome se nalaze zavisnosti promene sile uravnotežívača od hoda pritiskivača za ovaj slučaj, a vrednosti $\varphi_1'^k = 1,05 - 1,10$.

Sila uravnotežanja se menja

Svrha ovog načina je da se izbegne potreba postojanja rezervoara, pa se u ovom slučaju, u odnosu na prethodni, dozvoljava veće povećanje pritiska u uravnotežívaču, odnosno veće povećanje sile uravnotežanja u toku vršenja radnog ciklusa prese. Uzima se da ovo povećanje iznosi 40% do 60%, tj. da je $\varphi_1''^k = 1,40 - 1,60$, odnosno:

$$p_1 = (1,40 - 1,60) \cdot p_o \qquad (17)$$

Prema tome, problem se u ovom slučaju svodi na ispravno dimenzionisanje cilindara.

Prečnik klipa D" izračunava se po obrascu (11) (samo umesto a'uvrsti se a"), pa kako se u prvom slučaju vrednost koeficijenta a'menja u uskim granicama od 1,00 do 1,10, a u ovom slučaju a" u širim granicama od 1,00 do 1,60, to će u ovom slučaju prečnik klipa u principu biti manji, odnosno između prečnika klipa uravnotežívača prvog slučaja D'i drugog slučaja D" postoji odnos:

$$D' = D''\sqrt{\frac{a''}{a'}} = \mathcal{E} \cdot D'' \qquad (18)$$

pa kako je $a'' \geqq a'$ to je i $D' \geqq D''$. Prema tome, odnos D'prema D" kreće se između dva ekstremna slučaja:

- $a'' = a'$ pa je $D' = D''$ i
- $a''_{max} = 1,60$, $a'_{min} = 1,00$, pa je $D' = D''\sqrt{1,60} = 1,265 \cdot D''$,

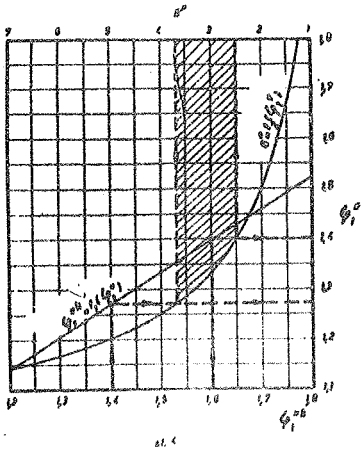
jer mogućnost da je $a'' < a'$ samo je teoretska.

Koristeći obrasce (6), (13) i (14) dobija se, da je zapremina kompresionog prostora jednog cilindra V_c data zavisnošću:

$$V_c = \beta'' \cdot V_r'' \qquad (19)$$

Na osnovu uslova $\varphi_1''^k = 1,40 - 1,60$ i izraza (14) nacrtan je dijagram na slici 4, koji, samo za izmenjene uslove, odgovara dijagramu na slici 2.

Njegovom analizom dolazi se do zaključka, da nema smisla ići pri izboru $\varphi_1''^k$ iznad vrednosti 1,60, jer brže raste sila uravnotežanja, nego što opada β'', odnosno zapremina kompresionog prostora cilindra,

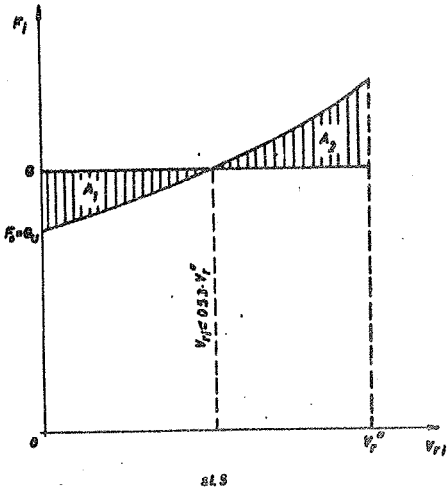


a takođe ni ispod $\varphi_1^{"k} = 1{,}40$, jer β'' raste brže nego što sila uravnoteženja opada, pa se ulazi u domen velikih cilindara, ili dolazi do potrebe primene uravnoteživa[illegible] koji se sastoji iz cilindra i rezervoara. Stoga vrednosti $\varphi_1^{"k} = 1{,}40$ do $\varphi_1^{"k} = 1{,}60$ predstavljaju ustvari kompromis između ova dva oprečna, dijametralno suprotna, zah[illegible].

Za $\varphi_1^{"k} = 1{,}40 - 1{,}60$ je $\varphi_1'' = 1{,}272 - 1{,}400$, odnosno $\beta'' = 3{,}68 \div 2{,}50$, pa je zapremina potrebnog kompresionog prostora jednog cilindra:

$$V_c = (2{,}50 \div 3{,}68) \cdot V_r''$$

Pri ovome, treba imati na umu, da zapremina cilindričnih tela raste sa kvadratom prečnika, a linearno sa visinom, pa uvek treba težiti ka povećanju prečnika cilindra, i to kolikogod konstrukcija tela prese to dozvoljava.



Na slici 5 prikazana je zavisnost $F_i = f(V_{ri})$ za slučaj $G_u = G/a''$ gde je $a'' > 1$, i prave $G = const.$ Za optimalni uravnoteživa[illegible] treba da bude ispunjen uslov da je $A_1 = A_2$ (vidi sliku 5), a to će biti kada je:

$$\int_{V_{ri}=0}^{V_{ri}=V_r''} F_i \cdot dV_{ri} = G \cdot V_r'' \qquad (20)$$

Zamenom vrednosti $F_i = \frac{G}{a''} \cdot \left(\frac{V_o}{V_o - V_{ri}}\right)^k$ u izrazu (20) dobija se:

$$a'' = \frac{V_o^k}{V_r} \int_{V_{ri}=0}^{V_{ri}=V_r''} \frac{dV_{ri}}{(V_o - V_{ri})^k} \qquad (21)$$

Rešavajući integral za $\varphi_1''^k = 1,40 - 1,60$ dobiju se vrednosti za a'' date u tablici 1

TABLICA 1

$\varphi_1''^k$	a''
1,40	1,18260
1,50	1,22263
1,60	1,26208

Sila uravnoteženja $F_i = G$ pri:

$$V_{ri} \cong 0,53 \cdot V_r$$

odnosno:

$$h \cong 0,53 \cdot H$$

Za vrednosti a'' iz tablice 1, date su u tablici 2 procentualno izražene od G vrednosti sile uravnoteživa̧a F_o za $h = 0$ i F_1 za $h = H$ u funkciji $\varphi_1''^k$.

TABLICA 2

$\varphi_1''^k$	F_o	F_1
1,40	~0,845·G	~1,182·G
1,50	~0,818·G	~1,230·G
1,60	~0,793·G	~1,270·G

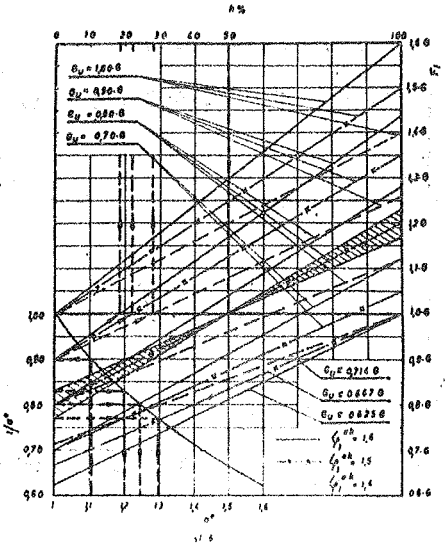
Međutim, ako se pretpostavi da je zavisnost $F_i = f(\varphi_1''^k)$ prava linija, pa se uzme da je $F_i = G$ pri $h = 0,5 \cdot H$, dobijaju se vrednosti za F_o i F_1 date u tablici 3.

TABLICA 3

$\varphi_1''^k$	F_o	F_1
1,40	0,833·G	1,165·G
1,50	0,800·G	1,200·G
1,60	0,769·G	1,231·G

Poređenjem vrednosti iz tablica 2 i 3 vidi se da je red greške, koja se čini pri usvajanju da je zavisnost $F_i = f(V_{ri})$ prava linija, takav, da se greška koja se time čini može zanemariti, pa je dijagram dat na slici 6 dovoljno tačan za praktičnu upotrebu.

Najzad, analizom dijagrama na slikama 4 i 6 dolazi se do zaključka, da uravnoteživa̧ dimenzionisan sa $\varphi_1''^k = 1,50$ i regulisan da je $F_i = G$ pri $h = 0,5 \cdot H$, sa $V_c = 2,98 \cdot V_r''$, $F_o = G_u = 0,8 \cdot G$ i $F_1 = 1,2 \cdot G$ predstavlja optimalno rešenje uravnoteživa̧a.



Iz svega do sada izloženog vidi se da postoje dva tipa uravnotežívača, i to:

- I URAVNOTEŽIVAČ koji se sastoji: iz pneumatskih cilindara, rezervoara i iz cevovoda koji ih spaja, i
- II URAVNOTEŽIVAČA koji čine samo pneumatski cilindri

Oba uravnotežívača praktično zadovoljavaju s tim što drugi uravnotežívač u odnosu na prvi ima sledeće prednosti:

- manji broj elemenata (nema rezervoara i cevovoda cilindar-rezervoar), pa samim tim konstruktivno rešenje prostije, manja mogućnost kvara, manja cena itd., odnosno sve one prednosti koje imaju uređaji sa manjim brojem elemenata,
- manja ukupna težina uravnotežívača ($V''_o \ll V'_o$) i
- ne postoji problem smeštanja rezervoara u radionici,

dok je prednost I uravnotežívača u odnosu na drugi:

- manje odstupanje od idealnog uravnoteženja, tj. manja su kolebanja sile uravnoteženja za vreme rada prese.

Na primer: za $F_1 = G$ pri $h = 0{,}5 \cdot H$ kada je pritiskivač u GMT:

I uravnotežívač uravnotežuje 95,2 - 97,6% od težine G, što se praktično može reći 100%, a
II uravnotežívač 76,9 - 83,3%, što predstavlja zadovoljavajući procenat.

Stoga, u najviše slučajeva, odlučujući faktor pri izboru tipa uravnotežívača je prostor koji stoji na raspoloženju, u koji se predviđa smeštaj pneumatskih cilindara. U zbijenih konstrukcija mehaničkih presa, kao što su ekscentarske prese otvorenog tipa, ide se na rešenje $F_1 \cong \text{const.}$, a u velikih ramnih presa, specijalno sa telima zavarene konstrukcije preporučljivije je rešenje $F_1 \neq \text{const.}$

PRIMER: Potrebno je uravnotežiti pritiskivač ramne kolenaste prese od 250 Mp pritiska, čiji je pritiskivač sa klipnjačom i alatom težak 2.000 kp, a ima hod H = 300 mm.

I uravnotežívač: Usvojivši n = 2, $\varphi_1'^{,k} = 1{,}1$, $a' = 1{,}05$ i $p_o = 4$ kp/cm^2, dobija se po obrascu (11) prečnik klipa:

$$D' \cong 17{,}5 \text{ cm}$$

pa je:

$$\sum V'_r = n \cdot A' \cdot H = 2 \cdot \frac{\pi}{4} 17{,}5^2 \cdot 30 \cong 14400 \text{ cm}^3$$

odnosno zapremina rezervoara:

$$V_{rez} = \beta' \cdot \Sigma V'_r = 14,2 \cdot 14,4 = 204 \text{ dm}^2$$

Minimalna vrednost sile uravnoteženja je $F_o = G_u \cong 1 \cdot 900$ kp, a maksimalna $F_1 = \varphi'^k_1 \cdot G_u \cong 2 \cdot 100$ kp.

II uravnoteživač: Usvojivši n = 2, $\varphi''^k_1 = 1,5$, a" = 1,25 i $p_e = 4$kp/cm^2 dobija se pomoću obrasca (11) prečnik klipa:

$$D'' \cong 16 \text{ cm}$$

pa je:

$$V''_r = A'' \cdot H = \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 \cdot 30 \cong 6 \cdot 050 \text{ cm}^3$$

odnosno zapremina kompresionog prostora:

$$V_c = \beta'' \cdot V''_r = 2,98 \cdot 605 = 18 \text{ dm}^3$$

Minimalna vrednost sile uravnoteženja je $F_o = G_u \cong 1.600$ kp, a maksimalna $F_1 = \varphi''^k_1 \cdot G_u \cong 2.400$ kp.

Iz ovog primera se vidi da je:

$$17,5 \text{ cm} = D' > D'' = 16 \text{ cm}$$

odnosno:

$$14,4 \text{ dm}^3 = \Sigma V'_r > \Sigma V''_r = 12,1 \text{ dm}^3$$

i:

$$204 \text{ dm}^3 = V_{rez} \gg V_c = 36 \text{ dm}^3$$

L I T E R A T U R A

1 Die Mechanischen Pressen - Heinrich Mäkelt - München 1961.

2 Mehaničeskie presi - V.G.Šaljnev - Mašgiz 1946.

3 Nauka o toploti - Milan K.Jovanović Beograd 1949.

P. Popović

Beitrag zur Lösung des Problems der Auswahl der Type von pneumatischen Auswuchteinrichtungen des Stössels mechanischer Pressen

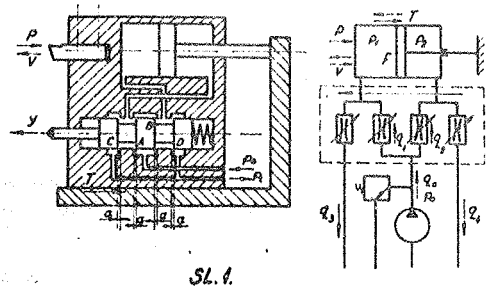
Schwerere und grössere Stössel mechanischer Pressen ist unbedingt notwendig auszuwuchten wegen der Entlastung der Antriebeinrichtung, der Herabsenkung von Energieverlusten beim Rückgang der Presse, und wegen des Vorgelegespieles, somit auch der Beseitigung des schädlichen Leerganges, indem die Zähne des Vorgeleges stets in einseitigem Eingriff sind, was durch einen ruhigen Pressegang und geringeres Vorgelegeräusch gekennzeichnet ist. Das Auswuchten wird heute mittels pneumatischer Zylinder erreicht.
In diesem Aufsatz sind zwei Lösungsarten des Problems in Betracht genomen worden, die in direkter Beziehung auf die Konstruktive Lösung der Auswuchteinrichtung Einfluss ausüben, sodass diese Betrachtungen den Projektanten und Konstrukteuen dieser Maschinen von Nutzen sein können.

K. Velebir *)

O PROBLEMATICI HIDROKOPIRNIH UREĐAJA **)

U posljednje se vrijeme mogu naći u literaturi analize pojedinih hidrokopirnih sistema, njihova klasifikacija i ocjena. Analize su tretirane sa teoretskog stanovišta i ne vode računa o tehnološko-tehničkim varijacijama izrade pojedinog tipa. Dok su s druge strane hidrokopirni uređaji zbog svoje pouzdanosti u radu, visoke tačnosti kopiranja, jednostavnosti itd gotovo postali redoviti pribor tokarskih strojeva, te se na svjetskom tržištu tokarilica bez kopirnog uređaja više ne pojavljuje.

Stoga je u Institutu za alatne strojeve provedeno ispitivanje četverobridnog hidrokopirnog sistema sa konstantnim pritiskom, a koji je tehnološki najkompliciranije izvediv.



Sl. 1.

Na slici 1. prikazan je rad četverobridnog sistema. Potisne li šablona ticalo razvodnika u desno, otvore se bridovi A i D, a zatvore bridovi C i B. Tlačno ulje može sada pritjecati kroz otvor A u desnu stranu cilindra, a ulje iz lijeve strane cilindra isticati kroz D u rezervoar. Zbog razlike pritiska s lijeve i desne strane cilindra hidrokopirni suport krstat će se u desno. Za pomak razvodnika u lijevo sve se događa analogno. Kod idealnog kopiranja ne smije se relativno pomaći ticalo razvodnika spram alata kopirnog suporta. Za uspostavljanje brzine suporta ili prihvat opterećenja, relativni pomak ticala spram alata je nužan. Zavisnost brzine hidrokopirnog suporta, odnosno opterećenja, o pomaku razvodnika važne su karakteristike sistema, a nazivaju se pojačanje brzine, odnosno pojačanje sile. Ove karakteristike mogu se lako izračunati iz jednadžbi ravnoteže sistema, uslova kontinuiteta proticanja, i karakteristika protoka kroz pojedine prigušnice tj. kroz otvore razvodnika. Za četverobridni sistem su to: Uslov ravnoteže:

$$P - p_1 F + p_2 F \pm T \pm M\dot{v} = 0$$

gdje je P – povratna sila na nož
F – površina klipa (površina stapajice se zanemaruje)

*) Krešimir Velebir, dipl.ing. strojarstva, Institut za alatne strojeve – Zagreb, Đure Salaja bb.

**) Saopćenje iz Institut za alatne strojeve – Zagreb

p_1 - pritisak s lijeve strane klipa
p_2 - pritisak s desne strane klipa
v - brzina kopirnog suporta
M - masa kopirnog suporta
T - sila trenja

uslov kontinuiteta proticanja:

$$vF = q_1 - q_3 = q_4 - q_2$$

i karakteristike protoka:

$$q_1 = B(y + a)\sqrt{p_o - p_1}$$

$$q_2 = B(y - a)\sqrt{p_o - p_2}$$

$$q_3 = B(y - a)\sqrt{p_1}$$

$$q_4 = B(y + a)\sqrt{p_2}$$

Ovdje je:

$$B = \pi\, d\alpha\sqrt{\frac{2g}{\gamma}}$$

y - pomak razvodnika
a - prekrivanje
d - promjer razvodnika
α - koeficijent protoka i iznosi oko 0,6 do 0,7

Analizom ovih uslova za pojedine sisteme mogu se kopirni uređaji međusobno uspoređivati, pa čak i pod izvjesnim uslovima brojčano vrednovati, ako se kao karakteristike uzmu:

Pojačanje sile definirano porastom sile za jedinicu pomaka razvodnika a pojačanje brzine kao prirast brzine, oboje definirano za ishodni položaj koordinatnog sistema.

Za ispitivani četverobridni sistem ove karakteristike iznose:
Pojačanje sile

$$E_o = 2\,\frac{p_o F}{a}$$

i pojačanje brzine

$$C_o = \sqrt{2}\,\frac{B \cdot \sqrt{p_o}}{F}$$

U usporedbi s jednobridnim sistemom ispitivani uređaj ima pojačanje sile 4 puta veće, a pojačanje brzine 2 puta veće, pa jer je namjenski bio predviđen i za neokruglo kopiranje, njegov je izbor ispravan.

Da bi hidrokopirni uređaj mogao razviti određenu brzinu, kao i preuzeti natražnu komponentu sile rezanja, razvodnik se mora pomaknuti iz svog srednjeg položaja za

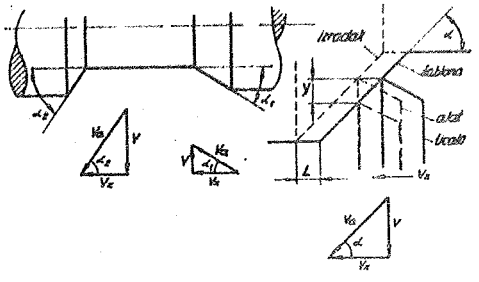
$$y = \frac{v}{C_o} + \frac{P}{E_o}$$

Međutim, kod realnog hidrokopirnog sistema nastupaju još popratne pojave, koje tu vrijednost mogu znatno promijeniti. Opterećujemo li hi-

drokopirni suport kod brzine v = 0, ili kod neke konstantne brzine v = konst, moramo, za održavanje ravnoteže, odgovarajuće pomicati razvodnik. Smanjuje li se opterećenje, i razvodnik se mora pomicati u suprotnom smjeru. Budući da sila trenja na kliznim površinama kod toga mijenja smjer, dobivamo razliku pomaka razvodnika za isto opterećenje. Ova razlika predstavlja nam histerezu trenja. Na tačnost izratka ove pojave imaju direktan utjecaj, stoga je povoljno, da npr. izradak s više stepenica i velikim razlikama u promjeru kod neizbježne razlike u veličini strugotine pri završnom kopiranju obrađujemo s konstantnim presjekom strugotine. Na izradak, zbog promjene opterećenja, ima u istom smislu utjecaj i popustljivost sistema (recipročna vrijednost krutosti), te kompresibilitet ulja. Daljnji vanjski utjecaj na tačnost izratka su trošenje alata, progib izratka, toplinska deformacija izratka, alata i stroja, kao i deformacija stroja pod opterećenjem.

Kod opterećenja P = 0 ili kod P = konst, pomaknemo li razvodnik u lijevo ili desno, hidrokopirni suprt dobiti će brzinu određenu uslovom protoka. Međutim kako i ovdje kod promjene smjera promjeni se uslov ravnoteže zbog promjene smjera sile trenja, dobivamo izvjestan mrtvi hod razvodnika. Unutar mrtvog hoda razvodnika brzina suporta hidrokopirnog uređaja jednaka je nuli.

Želimo li kopirati rastuću ili padajuću konturu, moramo uspostaviti na suportu hidrokopirnog uređaja brzinu v. Ova brzina treba, s posmičnom brzinom suporta tokarilice, zatvarati trokut brzine čija je rezultanta v_a, tj. apsolutna brzina vrha oštrice alata, paralelna sa zadanom konturom. Iz slike 2 vidi se da za uspostavljanje potrebne brzine hidrokopirnog suporta v potrebno je da se razvodnik pomakne za veličinu y. Ovo ima za posljedicu pomak profila izratka spram profila šablone za veličinu L. Kod realnog hidrokopirnog uređaja na tu veličinu utječe mrtvi hod razvodnika. Označimo li dužinu mrtvog hoda sa H, tada je pomak profila L.

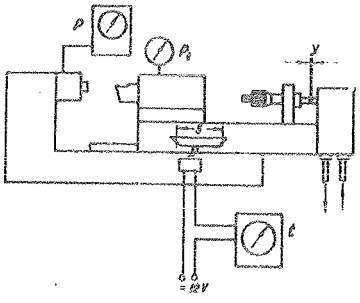


Sl. 2.

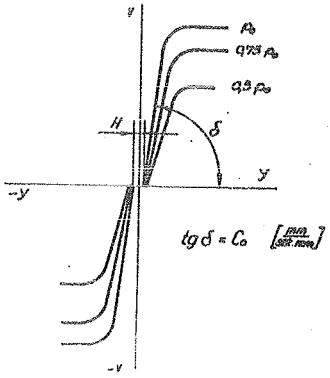
$$L = \frac{v}{C_o} + \frac{H}{2\ tg\alpha}$$

Iz ovog slijedi da će za razne kosine nagiba konture, biti pomak profila drugačiji. Razlike u pomaku profila daju nam dužinsku grešku izradka. Na ovu grešku možemo utjecati korekcijom šablone i zahtjevom na što manji mrtvi hod razvodnika.

U Institutu za alatne strojeve određivane su ove karakteristike, koje iz izloženog imaju bitan utjecaj na kvalitet kopirnog uređaja, za nekoliko razvodnika pripasanih u isti hidrokopirni uređaj. Razvodnici su varirali u dužinskim dimenzijama od negativnog prekrivanja do pozitivnog prekrivanja od 0,05 mm.



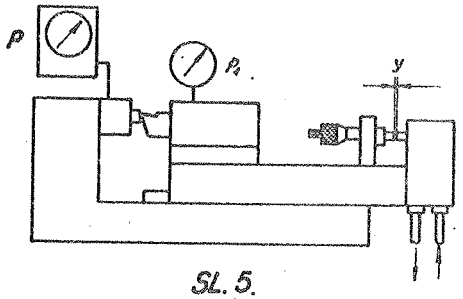
Sl. 3.



Sl. 4.

Ispitivanje pojačanja brzine i mrtvog hoda razvodnika izvedeno je tako, da se položaj razvodnika određivao mikrometarskim vijkom. Brzina hidrokopirnog suporta određivana je iz vremena u kom suport hidrokopirnog uređaja prevali put s. Snimanje vremena vršeno je, uz pomoć mikroprekidača, električki, upravljanom urom s očitanjem tačnosti od 0,01 sek.

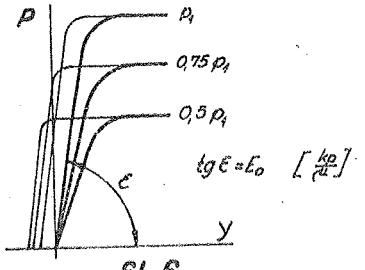
Dijagram zavisnosti brzine o pomaku razvodnika prikazan je na slici 4. Mjerenja su bila obavljena za nekoliko različito podešenih pritiska pumpe. Iz dijagrama je vidljivo da se mrtvi hod u stanovitoj mjeri smanjuje s porastom pritiska. Izmjerene vrijednosti slažu se i s teoretskom postavkom, da pojačanje brzine raste s porastom pritiska, kao i da maksimalno postiživa brzina progresivno opada s padom pritiska. Za niz razvodnika dobijene su varijacije u karakteristici pojačanja brzine u granicama od 360 do 730 mm/sek.mm na što je bitnije utjecalo stanje razvodnih bridova kao i veličina prekrivanja. Primjećeno je i variranje u vrijednosti karakteristike pojačanja brzine kod istog razvodnika za hod naprijed i nazad, a kao posljedica stanja razvodnih bridova. Na temelju mjerenja može se dalje zaključiti da porastom pozitivnog prekrivanja raste i mrtvi hod. Izmjerene vrijednosti mrtvog hoda kretale su se od ± 0,01 do ± 0,02 mm.



Sl. 5.

Karakteristika pojačanja sile mjerena je tako da se položaj razvodnika određivao mikrometarskim vijkom, dok je vrh alata pritiskivao u mjernu dozu za mjerenje sile kako to prikazuje sl.5.

Na slici 6. prikazan je dijagram za takvo mjerenje iz kojeg je vidlji-

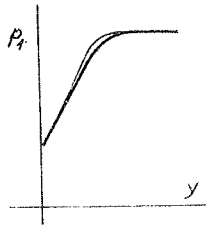


Sl. 6.

vo da s porastom pritiska pumpe raste karakteristika pojačanja sile i maksimalno postiživa sila. Osim toga zapaženo je da sila trenja na vodilicama realno izvedenog hidrokopirnog uređaja može poprimati znatne vrijednosti, što se manifestira sa velikom histerezom. Istovremeno mjeren je i pritisak u tlačnom cilindru s preciznim manometrom tačnosti očitanja 0,1 at. Mjerenja i ovdje potvrđuju teoretsku zakonitost, koja je istovjetna s opisanim ponašanjem sile. Interesantno je, da kod mjerenja pritiska linije opterećenja i rasterećenja nisu identične, već da i ovdje nastaje neka histereza različita za svaki ispitivani razvodnik. Ovu pojavu teško je tumačiti, no to mora u svakom slučaju zavisiti o toku prigušivanja na razvodnim bridovima.

Da bi se dobila zavisnost brzine o pomaku razvodnika kod određenog nametnutog opterećenja, što je realni slučaj kod kopiranja, bilo bi potrebno ispitivati uređaj sa međuvodilicama koje bi se sada kretale brzinom v. No za ovo mjerenje trebalo bi posjedovati odgovarajući uređaj.

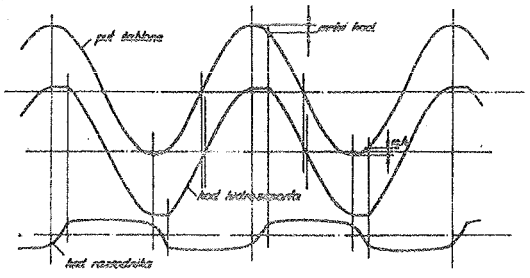
U svrhu dobivanja uvida u razliku trenja kod stanja mirovanja, što je ranije opisani slučaj, te trenja kod kretanja, pušten je hidrokopirni suport kod mjerenja pojačanja brzine (slika 3), da se zaustavi na mjernoj dozi za mjerenje sile. Kod toga je za određeni pomak razvodnika y, nakon zaustavljanja suporta, očitana vrijednost sile i pritiska u tlačnom cilindru. Kvalitativno, dijagrami ovih ispitivanja identični su s dijagramima opisanim kod ispitivanja pojačanja sile. Vrijednosti pojačanja sile po definiciji u ovom slučaju leže nešto više od ranije dobijenih i iznose do 14,5 kp/μm za pritisak od 20 atp. Kod ovog mjerenja i sila inercije ima utjecaj na očitanu vrijednost sile. Budući da je maksimalna brzina kopirnog suporta iznosila svega 40 mm/sek., a mjerenje bilo obavljano sa relativno mekanim stremenom, to je i iznos mase suporta puta retardacija izračunat kao mala vrijednost. Razlika u postignutoj sili nakon kretanja i mirovanja kod svih mjerenja bila je evidentna, što ukazuje da vodilicama hidrokopirnog suporta treba posvetiti odgovarajuću pažnju. Zbog velike razlike u trenju mirovanja i kretanja, teško je postići vrlo male brzine kretanja kopirnog suporta, pa zato može doći do poteškoća kod kopiranja malih nagiba konture izratka, a također i realni mrtvi hod raste (mrtvi hod kod minimalne ostvarljive brzine).



Sl. 7.

Ispitivanje dinamičkog ponašanja hidrokopirnog uređaja provedeno je pobudom razvodnika pomoću sinusoidalnog ekscentra hoda 1 mm. Kod toga mjereno je kretanje kopirnog suporta, apsolutni hod ticala tj. sinusoida pobu-

de ekscentra i relativni put razvodnika, pomoću induktivnih mjerača puta. Iznosi mjernih veličina registrirani su pomoću petljastog osciloografa. Frekvencija pobude kretala se je od 0,16 do 2,5 Hz tj. do 150 o/min ekscentra.



Sl. 8.

Prema jednadžbi ravnoteže, dinamički utjecaj na kretanje hidrokopirnog suporta vrši inerciona sila mase suporta. Inerciona sila ima-de smjer kretanja kod retardacije, a suprotan smjeru kretanja kod akceleracije. Kod značajnijih masa suporta to bi moglo imati kao posljedicu promjenu amplitude i oblika putanje hoda suporta. Međutim mjerenjem nije primjećena razlika amplitude niti kod pobude od 2,5 Hz, što je lako shvatiti, jer za ispitivani uređaj inerciona sila može se, spram ostalih zanemariti.

Međutim na oscilogramu jasno se zamjećuje da relativni put razvodnika nije sinusoida, pa prema tome ni put suporta nije sinusoidalan. Što više, na grafu puta suporta jasno se zamjećuje jedan ravni dio koji predstavlja stajanje suporta zbog prelaska mrtvog hoda razvodnika. Za tu vrijednost zaostaje i kretanje suporta spram pobude. Prema tome mrtvi hod je bitna veličina koja utiče na kačnost kopiranja i neokruglih izradaka. Osim toga primjećeno je da kod nesimetričnih razvodnika u pogledu stanja bridova, relativni put razvodnika može biti također nesimetrično deformiran, što ima za posljedicu oštrije prelaze ravnog dijela puta suporta u krivulju.

Kod razvodnika neprilagođenih toku strujanja, primjećeno je, da turbulencija strujanja izaziva takove sile na razvodnik, koje mogu podržavati razvodnik u stanju titranja. Amplituda ovih oscilacija raste s frekvencijom pobude. Međutim, ove oscilacije imaju tek nakon izvjesne veličine utjecaj na tok hoda suporta i primjetna superponiranja javljaju se tek iznad 100 o/min pobude ekscentra.

Osim ovih ispitivanja važnu ocjenu daje ispitivanje u normalnom radu kod kopiranja s kaljene i brušene šablone konfigurirane s nekoliko različitih nagiba. Kod toga se snimaju relativni putevi kod prelaza iz smijera u smijer.

Na temelju izloženog jasno se može zaključiti da su za vrednovanje hidrokopirnog uređaja od značajnijeg utjecaja karakteristike pojačanja sile i brzine, kao i iznos mrtvog hoda. Provedena ispitivanja u IAS-u nadalje ukazuju, da rasipanje dužinskih dimenzija razvodnika unutar 0,03 mm još ne utiče bitno na karakteristike četverobridnog sistema. Posebnu pažnju kod izrade razvodnika treba posvetiti dotjerivanju razvodnih bridova. Usporedbom s literaturnim podacima mjerenjem dobivene karakteristične veličine su iznad prosjeka. Prema tome

može se zaključiti, da smo u stanju proizvoditi ovakove kopirne uređaje, bez posebnih tehnoloških zahvata. Ispitivani kopirni uređaj bio je proizvod tvornice "Prvomajska".

L I T E R A T U R A

1. Ing.A.Schmitt: Hydraulische Brückenschaltungen mit konstantem Durchflussstrom, Industrie-Anzeiger br.43 1965.

2. Ing.A. Schmitt: Gegenüberstellung hydraulischer Brückenschaltungen mit konstantem Pumpendruck und konstantem Durchflussstrom am Eingang, Industrie-Anzeiger br.85 1965.

3. Dr Ing. W.Backé: Hydraulische Brückenschaltungen mit Selbstabgleich, Industrie-Anzeiger Br 36 1964.

4. V.A. Lišćenko: Ustoičivost i točnost kopirovanija gidravličeskih sledjaščih privodov s odnoščelevim drosselnim zolotnikom, Stanki i instrument br.9 1964.

5. B.L. Korobochkin: Investigation of the Hydraulic Drive Dynamics of the Copying Machine Tool.

6. Ing.W. Backé: Ponašanje jednobridnog kopirnog sistema pod opterećenjem kod kopirnog tokarenja, Industrie-Anzeiger br.80 1956.

K. Velebir

Problems of Hydrocopying Equipment

Various theoretical hydrocopying systems have been considered in literature, systematized and compared, but some significant factors, individual for each case, have in most cases been omitted, as, for instance, friction values for all sliding elements, etc. Hydrocopying equipment is always dicussed as ideal.
This article deals with various factors, which influence the precision of copying. Characteristics of speed and force increase are explained to the extent necessary to enable us to follow the theme. Research work, undertaken in order to find real characteristics of the hydrocopying equipment is described. Analysis of the behaviour and performance of the equipment was done on the basis of the results. Influence of individual factors is demonstrated in the exemple of copying accuracy. Differences for characteristic values of static and dynamic behaviour of hydrocopying equipment are also discussed.

B. Antunović *)

KONTAKTNI PROGRAMATOR SISTEMA IAS **)

Prednost kontaktnih programatora je njihova relativno niska cijena, dok je mana sam način sastavljanja programa. Naime, sastavljanje programa u ovom slučaju je dugotrajan posao, koji postaje to dugotrajniji što se zahtijevaju veće tačnosti. Jasno je da napori u razvoju kontaktnih programatora moraju ići putem smanjenja cijene programatora i putem olakšavanja sastavljanja programa. Jedini način smanjenja cijene je smanjenje broja komponenata sistema, a da mu se time ne smanje performanse. Ovo se može postići primjenom novih metoda projektiranja, od kojih su dvije razvijene u IAS-u. Primjena matematskih metoda projektiranja dovode ne samo do uprošćenja sheme programatora, već projektanata postavlja na novi, viši, nivo gledanja na sistem u cjelini, pa i tamo gdje se matematske metode direktno ne primjenjuju. Glomazni, skupi i nepraktični programatori izazivaju nepovjerenje kod korisnika i time više štete, nego što koriste i samoj ideji programiranja.

Smatrajući da pitanje kontaktnog programiranja nije riješeno, poduhvatili smo se projektiranja i izgradnje funkcionalnog prototipa kontaktnog programatora za glodalicu PGH-3 "Prvomajska". (Produkciona horizontalna glodalica srednje veličine, snage glavnog motora 7,5 kW, s mogućnošću isporuke s ručnim programskim upravljanjem. Isti tip glodalice proizvodi se u familiji: univerzalna, vertikalna i vertikalna zakretna). On je izrađen i nalazi se u pokusnom pogonu.

Glodalica PGH-3 ima slijedeće osobine:

1. Smjer i koordinate kretanja stola određuju se elektromagnetskim spojkama.
2. Posmici i broj okretaja glavnog vretena moraju se namjestiti ručno.
3. Spuštanje konzole i stezanje matice za istosmjerno glodanje uključuje se električnim putem.
4. Ova glodalica nema puzajućeg hoda.

Posljednja tačka prisiljava korisnika programatora i stroja da se u eksploataciji uvijek opredjeli ili za veće brzine kretanja stola i manju tačnost ili za relativno veliku tačnost, ali za smanjenu brzinu obrade. Kasnije ćemo vidjeti kako programator sistema IAS omogućava i jedno i drugo, ne dirajući pri tom u kinematsku shemu stroja.

Naravno, svaki programator mora dozvoljavati i ručno upravljanje strojem. Tokom dužeg vremena iskristalizirala su se tri zahtjeva na način rada sistema programator-stroj.

---

*) Bojan Antunović, suradnik Instituta za alatne strojeve, Zagreb, Đure Salaja bb.

**) Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve, Zagreb

1. Ručni rad

Ovaj način dozvoljava uključivanje svih komandi ručnim putem, nezavisno jedne od druge. Iznimku čine neophodna osiguranja, kao na pr. konzola se smije spustiti samo pri brzom hodu u ravnini x-y i sl. Kretnje stola uključuje se tipkalima na stroju. Pritiskom na neko tipkalo za radni posmik stroj ostane u pokretu i nakon prestanka pritiska, sve do pritiska na gljivasto tipkalo "stop". Pritiskom na neko tipkalo za brzi hod stroj se kreće samo toliko dugo dok traje pritisak, i odmah se zaustavi čim pritisak prestane. Moguće je prelaziti iz jednog kretanja u drugo, pritiskom odgovarajućih tipkala, direktno, bez upotrebe gljivastog tipkala "stop".

2. Poluautomatski rad

Kod ovog načina rada programator upravlja strojem po postavljenom programu; međutim, program se ne odvija neprekidno od početka do kraja, već se zaustavi nakon svakog takta. Pritiskom na tipkalo programator obavi slijedeći takt i tako sve do završetka programa. Svaki put kada se, nakon obavljenog takta, programator i stroj zaustave, može se preći i na ručni rad, okretanjem prekidača koji ima tu funkciju. Sada se može strojem upravljati ručno. Poslije se opet može preći na poluautomatski rad i nastaviti na dva načina. Pritiskom na tipkalo "start program" program se nastavlja slijedećim taktom. Pritiskom na tipkalo "ponavljanje pozicije" stroj ide na istu poziciju koju je imao već jednom u istom taktu. Ova mogućnost programatora od znatne je vrijednosti, jer omogućava tačno postavljanje graničnika. Ovdje treba spomenuti da postavljanje graničnika prema nepomičnom stolu ne daje iste pozicije i kada se stol kreće, zbog konačne brzine reakcije releja u programeru i elektromagnetskih spojki u stroju i inercijalnih sila nakon isključenja spojki. Tako, ako se graničnici postave prema nepokretnom stolu, stroj će davati izratke s greškama koje mogu biti znatne. Jedini način da se ove greške korigiraju je da se mjeri prebačaj stola preko određene dimenzije i postupno ga smanji u dozvoljenu toleranciju.

U načinu rada "poluatomatski rad" programatora sistema IAS moguće je gornje zahtjeve lako ostvariti. Dakle, ako se želi tačno podesiti pozicija u odnosu na jedan granični postupak je slijedeći:

1. U poluautomatskom radu stroj naiđe na taj granični i zaustavi se
2. Očita se greška
3. Programator se prebaci u "ručni rad" i stol se ručno vrati nekoliko milimetara
4. Korigira se položaj graničnika
5. Programator se prebaci u "poluautomatski rad" i tipkalom "ponavljanje pozicije" pusti u pogon (komande se pri tom nisu promjenile)
6. Nailaskom na isti granični stroj se zaustavi i očita greška, koja će biti manja od prethodne.

Postupak se može ponoviti onoliko puta koliko je potrebno i, nakon toga, pritiskom na tipkalo "start program" programator počne izvršavati poziciju i komande slijedećeg takta.

3. Automatski rad

Po ovom načinu rada programator upravlja strojem po programu od početka do kraja.

Program sadrži ove komande:

1. Koordinate i smjer kretanja stola
2. Komandu za uključenje i smjer okretanja glavnog vretena
3. Programirani stop
4. Brzi hod-posmik
5. Stezanje matice kod posmika
6. Spuštanje konzole kod brzog hoda
7. Biranje jednog od 6 kanala s graničnicima na stroju
8. Preskakivanje jednog do deset graničnika, o čemu će kasnije biti više riječi

Moguća su dva postupka programiranja na opisanom programatoru.

1. Varijabilni program, tj. program koji korisnik može potpuno slobodno sastavljati po želji, u okviru gornjih komandi. Iako izvedbeni funkcionalni prototip ima samo 15 taktova, moguće je ekspandirati ga do 34 takta, bez dodavanja ijednog releja, a do 68 taktova dodavanjem dva do tri releja.

2. Fiksni program, tj. program koji je za određeni oblik izratka unapred izrađen, tako da rukovalac stroja nema potrebe da se upušta u sastavljanje programa. Fiksni programi mogu se čuvati u arhivi, a sam programator dozvoljava upotrebu neograničenog broja fiksnih programa.

I kod varijabilnog i kod fiksnog programa može se upotrebiti komanda "programirani stop". Već je spomenuto da se brzina obrade i tačnost isključuju. Kako ova glodalica, kao uostalom i većina drugih, nema automatsko mijenjanje posmaka i brzine vrtnje glavnog vretena, već je to potrebno izvršiti ručno, ni programator nema mogućnost da direktno promijeni te brzine. Zato je ovaj problem riješen na drugi način, upotrebom komande poznat pod imenom "programirani stop". Nailaskom na ovu komandu stroj i programator se zaustave, a upali se posebno označeno svijetlo. Ispod tog svijetla nalazi se hvataljka koja omogućava ulaganje papira, na kojem treba da piše broj takta i instrukcije rukovaocu stroja što treba da uradi, ako je "programirani stop" nastupio u tom taktu. Nakon ispunjenja instrukcije, koja može biti promjena brzine, promjena broja okretaja, zamjena alata i slično, rukovalac pritisne tipkalo "start program", čime se program dalje nastavlja. Komanda "programirani stop" može se u program unijeti onoliko puta koliko je to potrebno. Sve komande u programu u toku jednog takta postižu se s 10 čepova, drugim riječima za svaki takt potrebno je najviše 10 čepova.

Preskakivanje graničnika

Za slučaj kada se, zbog bilo kakvog razloga, želi koristiti što manje kanala, minimum je dva, može se to postići pomoću sklopa za preska-

kivanje graničnika, koji se pomoću konektora spoji za programator. Ovaj sklop sadrži jedno rele, jedno dekadsko rele i po jedan deset-položajni prekidač za svaki takt koji se želi obuhvatiti preskakivanjem. Svaki prekidač se namjesti na broj koji označava koji će granični po redu nailaska biti aktivan i izvršiti prebacivanje u slijedeći takt. Moguće je maksimalno podesiti da tek deseti, po redu nailaska, granični postane aktivan. Ustvari kod strojeva koji imaju šest kanala s graničnicima malo je vjerojatno da će preskakivanje ikada zatrebati. S druge strane upotreba sklopa za preskakivanje dozvoljava da stroj ima samo dva kanala s graničnicima. Ipak potrebno je naglasiti da dodavanje dekadskog releja smanjuje pouzdanost čitavog programatora, zato što smo jedna greška ovog releja pobrka čitav program. Prema tome s gledišta pouzdanosti bolje je upotrebiti šest kanala umjesto sklopa za preskakivanje, iako je ovo možda nešto skuplje rješenje.
Ovaj sklop za preskakivanje može služiti za neograničeno mnogo taktova, jedino što je potrebno za svaki takt dodati jedan deset-položajni prekidač.
Kroz podatke o mogućnostima programatora sistema IAS pokazano je što po našem mišljenju treba jedan kontaktni programator da ispuni, pa da bi se pomoću njega moglo efikasno upravljati strojem.

Poseban je problem kako projektirati relejni uređaj, koji će s minimalnim brojem komponenata moći te funkcije i ispuniti. Već je spomenuto da se primjenom matematskih metoda može, za iste funkcije, broj releja smanjiti. Ovdje nije moguće prikazati postupak sinteze čitavog uređaja. Zbog toga će biti prikazan samo jedan prostiji dio: upravljanje glavnim motorom.

Uređaj za upravljanje glavnim motorom je okarakteriziran s dvije ulazne i tri izlazne varijable.

Dvije ulazne varijable predstavljaju komande za okretanje motora u lijevo i u desno, dok su izlazne varijable I uključena sklopka lijevo, uključena sklopka za desno i uključena kočnica dok se ne zaustavi glavni motor. Osim toga posebnim prekidačem može se podesiti da nakon nestanka ulaznih varijabli izlazne postoje još cca 3 sekunde, nakon čega nastupa kočenje.

Varijable će kao što je uobičajeno biti označene:

x_1 - okretanje glavnog motora u lijevo
x_2 - okretanje glavnog motora u desno
z_1 - ukopčavanje sklopnika za okretanje motora u lijevo
z_2 - ukopčavanje sklopnika za okretanje motora u desno
z_3 - uključenje kočnice
y_1 - izlaz ćelije memorije (releja) Y_1
y_2 - izlaz ćelije memorije (releja) Y_2

Očigledno je da primitivna tabela toka ima četiri stanja:

x_1x_2	00	01	11	10	z_1	z_2	z_3	y_1	y_2
	(1)	3	-	2	0	0	0	0	0
1	-	-	(2)	1	0	0	1	1
1	-	(3)	-	-	0	1	0	0	1
D_o^2 [1]	-	-	-	-	0	0	1	1	0

Ova primitivna tabela toka ne može se stopiti, ako se želi postići formiranje izlaznih varijabli samo relejnim kontaktima, što je neophodno, jer se sklopnici uključuju izmjeničnom strujom, a releji rade s istosmjernom.

Još jedan zahtjev stavlja se pred ovaj automat. On treba mjenjati izlazne varijable i onda kada je ulaz nepromjenljiv. Jasno je da je ovdje neophodno upotreba monostabilne ćelije memorije, koja će se vratiti u početno stanje bez djelovanja ulaza. Ovo stanje je nestabilno u Huffmanovom smislu samo utoliko što je ispunjen uslov

$$Y = y \oplus ty \quad (1)$$
$$ty = y \oplus y \quad (2)$$

gdje je:
- Y - eksitacija releja
- y - stanje kontakta releja
- ty - vrijeme nestabilnosti
- $\oplus$ - simbol za operaciju "ekskluzivno ili"

Učinjeno je da se vrijeme nestabilnosti jedne ćelije memorije jako razlikuje od ostalih. U stvari u automat je unešeno nejednoliko zakašnjenje, jer je potrebno produžiti samo isklopno vrijeme nestabilnosti.

$$t_{1y} = D_o^t \, ty \quad (3)$$

gdje je D_o^t operator nejednolikog zakašnjenja.

Vidi se da se pojavljuje potreba za radom automata i kada se ulazno stanje ne mijenja. Na primitivnoj tabeli toka kvazi-stabilni takt označen je četvorinom, za razliku od stabilnog takta koji se označava krugom. Kvazi-stabilni takt nosi isti broj kao i slijedeće stabilno stanje. Iz primitivne tabele je vidljivo da se pripisivanje memorije vrši i za kvazi-stabilni takt, a isto tako da njemu pripada odgovarajuće izlazno stanje.

Rad automata sada se može opisati riječima:

Ulazima x_1 i x_2 mogu se uključiti Z_1 i Z_2, ali bez obzira na to koja je ulazna varijabla bila uključena, ulazno stanje $x_1 = 0$ i $x_2 = 0$ izaziva prebacivanje automata u kvazi-stabilni takt [1], kada postoji izlaz Z_3. Trajanje kvazi-stabilnog takta [1] određuje operator D_o^t, i to predstavlja vrijeme za koje je kočnica motora uključena.

Ovaj automat je vrlo jednostavan, tako da se električna shema dobiva direktno iz primitivne table toka. Dodatno zakašnjenje od 3 sekunde može se dobiti tako da se i stabilnim stanjem priključe kvazi-stabilna stanja.

Drugim riječima, na svaki izraz za eksitaciju releja djeluje se operatorom D_o^t, tako da se može pisati:

$$Y_{1A} = D_o^3 Y_1 \quad (4)$$
$$Y_{2A} = D_o^3 Y_2 \quad (5)$$

Poznato je da se ovakav operator nejednakog zakašnjenja najlakše realizira dodavanjem kondenzatora paralelno namotajima releja.
Da bi se izbjegla kritična trka može se lako pokazati da izraz za Y_1 treba modificirati.

$$Y_{1B} = D_o^4 Y_2 \quad (6)$$

Na taj način je postignuto da se automat koji realizira sve zadatke funkcije sastoji iz dva releja. Slično opisanoj tretirane su i ostale funkcije u programeru, tako da su postignuti slijedeći rezultati:

1. Samo ručno upravljanje — 11 releja
2. Kompletni programator + ručno upravljanje sveukupno — 23 releja

Usvajajući postavku da je pouzdanost jednog automata aproksimativno obrnuto proporcionalna broju kontakata, ili, što je isto, da je broj kvarova u određenom vremenu proporcionalan broju kontakata, može se reći da je od dva, po performansama jednaka automata bolji onaj koji ima manji broj kontakata.

Na kraju se može reći i to da matematski metodi daju jasnoću konstrukcije. Naime, lakše je objasniti rad automata sintetiziranog po čvrstim matematičkim pravilima, nego intuitivno složenog automata, jer intuicija može imati svaki put drugačije poticaje, pa prema tome i drugačije rezultate. S tim u vezi je i problem lakoće održavanja. Prevelik broj inače nepotrebnih povratnih veza, do čega dovodi čisto intutivni način projektiranja, otežava praćenje signala kroz automat u slučaju kvara ili prilikom rutinskog održavanja.

Konačan zaključak je: Najprije je potrebno iskustvom, razmišljanjem i obradom dostupnih podataka (literatura, iscrpne diskusije), točno ustanoviti koje uslove mora programator ispuniti, a onda koristiti najsavremenije metode da se takav programator ostvari. Programator sistema IAS je jedan pokušaj približavanja tome cilju.

L I T E R A T U R A

1. Edvard F.Moore: "Sequential Machines", Selected Papers, Addison Wesley Publ. Co. (1964.)
2. M.P.Marcus, Switching Circuits for Engineers, Prentice Hall Inc, 1962.
3. B.Kostić, B.Antunović: Sinteza logičkih automata za upravljanje alatnim strojevima. Zbornik saopštenja I Savjetovanje proizvodnog mašinstva 1965.

B. Antunović

Contact Programmer IAS

This programmer represents introduction of new aspects in the field of contact programming. The use of mathematical logic leads to development of more simple and more reliable programmers. This method is demonstrated on the example of control of the main motor. A short description of other important parts of the programmer is given.

The programmer was built in the IAS (Institute of Machine Tools), and extensive experimental work has been carried out.

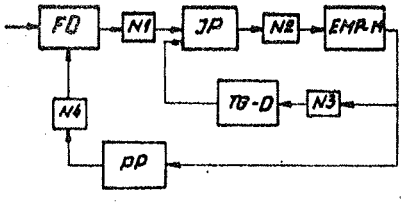
S. Srećković *)

NUMERIČKO PROGRAMSKO UPRAVLJANJE PO SISTEMU FAZNE MODULACIJE NA BORVERKU**)

Sistem fazne modulacije postao je odomaćen naziv za onu vrstu programskih uređaja, koji kao predajnike položaja koriste rizolvere, selsine i induktosine. Za dužine radnog hoda organa koji se pozicioniraju u familiji borverka fabrike "Ivo Lola Ribar", programski uređaj sa gore pomenutim trokaskadnim predajnicima položaja u potpunosti zadovoljava zahtevanu tačnost. Pri realizaciji samog programskog uređaja a posebno na realizaciji programator-mašina postoji niz pitanja (stabilnost, statička tačnost, tačno zaustavljanje-izbor tačke preključenja, optimizacija sistema po brzini dejstva) o kojima će ovde detaljnije biti reči.

Prvo ćemo razmotriti uticaj nelinearnosti na stabilnost servopogona.

Ako posmatramo servo pogon sa jednosmernim motorom, strukturnu šemu možemo prikazati u obliku (sl. 1).



Sl.- 1

gde su:

FD - Fazni detektor
EMP-M - elektro maš. pojačavač i motor
JP - jednosmerni pojačavač sa dva odvojena ulaza
TG-D - tehnogenerator i kolo za diferenciranje
PP - predajnik položaja

Elementi strukturnog dijagrama označeni s N predstavljaju moguće položaje nelinearnosti u servo-pogonu: zazor u mehaničkoj vezi između motora i predajnika položaja, odnosno tahogeneratora; zasićenje pojačavača; mrtvi hod tahogeneratora.

Da bi odredili samooscilovanje i njegovu stabilnost usled prisustva nelinearnosti, za slučaj ovakvog pogona najpogodnije je primeniti t.zv. "metodu harmoniskog balansa". Prednost ove metode je što omogućuje svođenje problema na linearni sistem za koji je razrađeno više pouzdanih metoda ispitivanja. Ovu metodu moguće je primeniti zbog linearnih inercionih elemenata u pogonu, koji prigušuju oscilacije višeg reda. Ako na ulaz nelinearnog elementa dovedemo sinusni signal $x_o = A_o \sin(w t)$ tada bi izlaz mogli razložiti u Furijeov red:

$$x_i = f(A_o \sin wt) = f(t) = A_1 \sin(wt+\varphi_1) + A_2 \sin(2wt+\varphi_2)+\ldots$$

---

*) Slobodan Srećković, dipl.ing. elektrotehnike, konstruktor u razvojnom sektoru fabrike alatnih mašina "Ivo Lola Ribar" - Beograd - Železnik

**) Saopštenje iz fabrike mašina "Ivo Lola Ribar"

Kako zbog napred rečenog zanemarujemo harmonike višeg reda, možemo napisati ekvivalentni koeficijent prenosa nelinearnog elementa.

$$\bar{K}\,(A_0) = \frac{A_1}{A_0}\, e^{j\varphi_1}$$

ili, razvijajući izlaz $x_i = a_1 \sin \omega t + b_1 \cos \omega t$ gde su a_1 i b_1 koeficijenti Furijevog reda, dobijemo:

$$\bar{K}\,(A_0) = \frac{\bar{X}_i}{\bar{X}_0} = a\,(A_0) + jb\,(A_0)$$

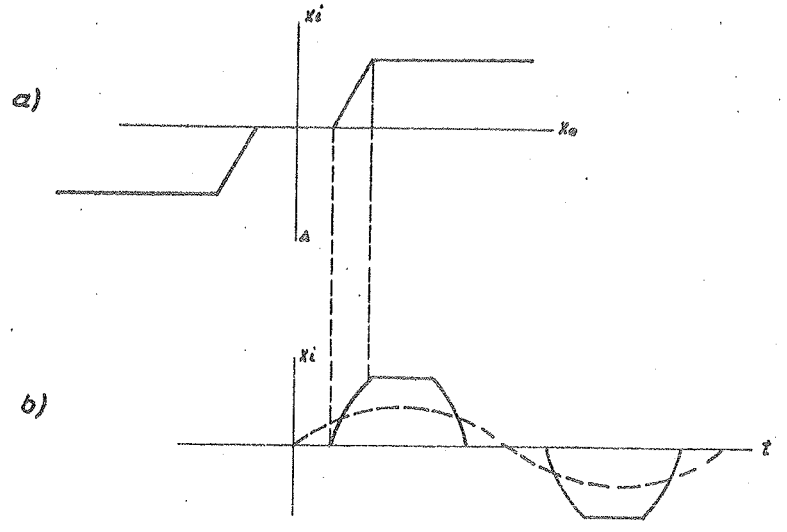
gde su:

$$a\,(A_0) = \frac{a_1}{A_0} = \frac{1}{\pi A_0} \int_0^{2\pi} f\,(A_0 \sin\omega t)\, \sin\omega t\, d(\omega t)$$

$$b\,(A_0) = \frac{b_1}{A_0} = \frac{1}{\pi A_0} \int_0^{2\pi} f\,(A_0 \sin\omega t)\, \cos\omega t\, d(\omega t)$$

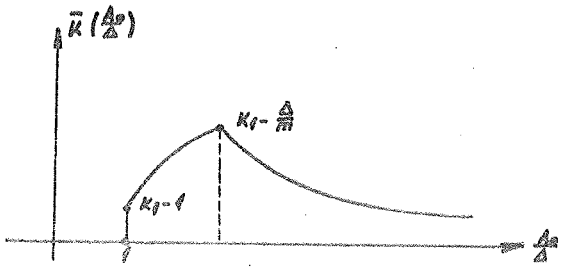
Treba napomenuti da je ekvivalentni prenos zavisan samo od amplitude ulaznog signala ako u nelinearnom delu nema elemenata sa nagomilanom energijom (kondenzatori, induktivnosti, inercione pokretne mase i dr); u suprotnom zavisi samo od frekvencije.

Ako posmatramo nelinearan element s mrtvim hodom i zasićenjem (sl.2a) dobijemo izlaz u obliku kao na sl. 2b.



Sl. 2

Vidimo da je parametar nelinearnosti odigrao važnu ulogu u prenosu, pa možemo posmatrati funkciju $\bar{K}\,\frac{A_1}{A_0}$ (sl.3).



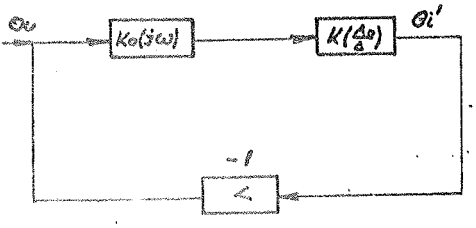
Sl. 3

Treba konstatovati da amplituda prvog harmonika (označena iprekidanim linijama), kad $A_0 \to \infty$, ostaje konačna – tj. samooscilacije nisu nestabilne. Međutim kada je $\varphi_1 \neq 0$, ne može se na ovaj način odrediti amplituda i frekvenca samooscilovanja. Posmatraćemo sada sistem koji se sastoji od linearnog dela, sa prenosom $\bar{K}_0(jw)$ i nelinearnog elementa sa prenosom $\bar{K}\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)$ (sl. 4).

za $\theta_0 = \theta_1$ (režim slobodnih oscilacija) možemo pisati

$$\theta_i' = -K_0(jw)\,\theta_1'$$

$$\theta_i' = K\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)\theta_1$$



Sl. - 4

pa dalje dobijemo:

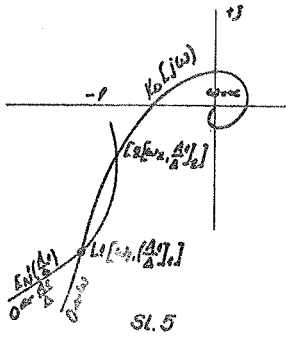
$$\left(\bar{K}_0(jw)\bar{K}\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)+1\right)\theta_i' = \theta$$

i

$$\bar{K}_0(jw) = -\frac{1}{K\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)} = \bar{E}'\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)$$

gde je $-\bar{E}'\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)$ recipročna amplitudno-fazna karakteristika nelinearnih elemenata.

Znači, izjednačenjem realnog i imaginarnog dela gornje jednačine može se dobiti amplituda i faza samooscilacija. Samooscilacije su moguće ako se za w dobije realno rešenje. Rešenje se prosto i pregledno dobija crtanjem vektora $\bar{K}_0(jw)$ i $\bar{E}'\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)$ u kompleksnoj ravni gde se w i $\frac{A_0}{\Delta}$ menja od 0 do ∞. Amplituda i učestanost samooscilovanja očitavaju se u tačkama preseka. Ako se krive ne seku – posmatrana nelinearnost ne može da prouzrokuje samooscilovanje. Da li se u tačkama preseka samooscilacije stabilne ili ne, određuje se pomoću kriterijuma stabilnosti linearnih sistema gde je ukupan prenos:



Sl. 5

$$K\left(kw, \frac{A_0}{\Delta}\right) = +\bar{K}_0(jw)\,\bar{K}\left(\frac{A_0}{\Delta}\right) = -\frac{\bar{K}_0(j\omega)}{\bar{E}'\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)}$$

Ova karakteristika, $K\left(jw\,\frac{A_0}{\Delta}\right)$, odgovara

konstruktivnoj veličini amplitude očitavane na presečnoj tački $\frac{A_0}{\Delta} = \left(\frac{A_0}{\Delta}\right)_k$. Celishodno je napomenuti da, ako je linearni deo otvorenog sistema stabilan, stabilnost samooscilovanja u tačkama preseka određuje se sledećim rezonovanjem. Ako kriva $K_0(jw)$ u okolini preseka sa $E'\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)$ ne obuhvata njoj pripadajuću tačku sa $\frac{A_0}{\Delta} > \left(\frac{A_0}{\Delta}\right)_k$ (u tački preseka), tada je samo oscilovanje sa w_k i $\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)_k$ stabilno. I suprotno.

Daćemo kratak uvid u nekoliko tipova nelinearnosti.

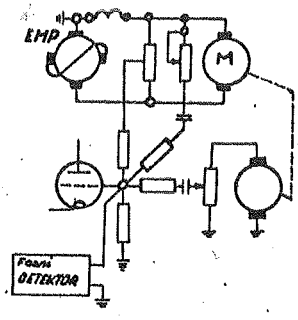
Zazor u mehaničkom prenosu između izvršenog motora i predajnika položaja

Na osnovu napred iznetih izraza možemo za ovaj slučaj dobiti:

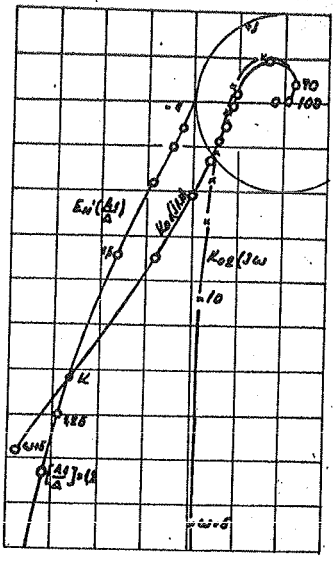
$$E\left(\frac{A_0}{\Delta}\right) = \frac{-\frac{1}{\pi}\left[\frac{3}{2}\pi - \alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2}\right]^2 - j\frac{1}{\pi}\cos^2\alpha}{-\frac{1}{\pi}\left[\frac{3}{2}\pi - \alpha - \frac{\sin 2\alpha}{2}\right]^2 + \frac{1}{\pi^2}\cos^2\alpha}$$

gde je $\alpha = \text{arc sin}\left(1 - \frac{2\Delta}{A_0}\right)$

Da bi ilustrovali određivanje mogućnosti samooscilovanja poslužimo se šemom servo pogona za programsku mašinu (sl. 6) čiji je izvršni motor struje tipa CA - 661. Za linearni deo nacrtat ćemo $K_{0_1}(jw)$ "gipkoj" povratnoj sprezi i $K_{0_2}(jw)$ pri "žestkoj" povratnoj sprezi (sl. 7).



Sl. - 6



Sl. - 7

Pošto se krive $\bar{E}'\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)$ i $K_{02}(jw)$ ne seku znači da slučaj "žestke" povratne sprege nema oscilovanja. Ako je zazor $2\Delta = 0{,}3$ mm imamo $\left(\frac{A_0}{\Delta}\right)_k = 1{,}3$; i $w_k = 7$ sek.

U praksi, samooscilacije se otklanjaju, primenom vretena sa kuglicama sa zazorom manjim od 0,01 - 0,02 mm.

Na istovetan način moguće je posmatrati ostale slučajeve nelinearnosti. Na

primer, zazor u mehaničkom prenosu između motora i tahogeneratora povratne sprege za stabilizaciju može izazvati samooscilovanje sistema i zato se mora obratiti pažnju da se tahogenerator veže malim zarezom i čvrsto, da bi izdržao dinamičko opterećenje u prelaznom režimu.

Zona neosetljivosti tahogeneratora ne dovodi do samooscilovanja. Histerezis elektromašinskog pojačivača može prouzrokovati samooscilacije, i to obično male amplitude i visoke učestanosti.

GREŠKE U POZICIONIRANJU USLED NELINEARNOSTI

Usled nesavršenosti (nelinearnosti) elektromehaničkih elemenata pogona javljaju se statičke greške u pozicioniranju. Ako pretpostavimo da je aktivan rad finog rizolvera L = 1 mm, tj. obrne se za 180° za 1 mm, možemo dobiti greške pojedinih elemenata.

- Greška predajnika položaja svedena na pomeraj stola je:

$$\Delta_{pp} = \frac{\delta l}{\gamma} = \frac{\pm 0{,}5° \cdot 1}{180} = \pm 0{,}003\ mm$$

- Greška položaja spojnice koja vezuje predajnik položaja sa redukto-rom, iznosi približno

$$\delta_m = \pm 0{,}5° \qquad \Delta_m = \frac{\pm 0{,}5 \cdot 1}{180} = \pm 0{,}003\ mm$$

- Greška mrtvog hoda spojnice je $\delta_{mx} = \pm 0{,}25°$

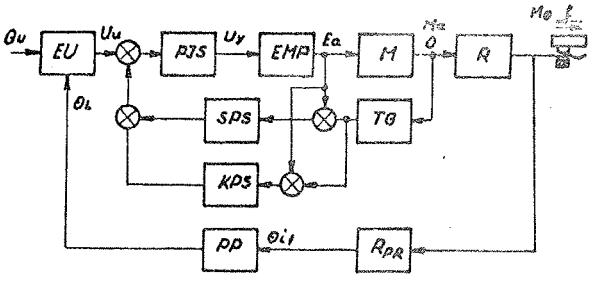
$$\Delta_{mx} = \frac{\pm 0{,}25° \cdot 1}{180} = \pm 0{,}0015\ mm$$

Najzad možemo izračunati grešku u pozicioniranju

$$\Delta = \sqrt{\Sigma (\Delta_i)^2} = \pm 0{,}005 mm$$

Ovaj račun dat je za slučaj najkvalitetnijih elemenata. Statička tačnost sa rizolverima ne premašuje 10 mikrona. Induktosini, linearni induktivni predajnici i difrakcione rešetke omogućuju tačnost od 1 - 2 mikrona.

Pored navedenih, razmotrićemo još greške koje nastaju od drifta nule pojačavačkog kanala i histerezisa elektromašinskog pojačavača. Ako posmatramo blok-šemu elektromašinskog servo pogona (sl. 8), smatrajući da nema ulaznog signala, grešku usled drifta dobijemo ovako:



Sl - 8

Napon drifta Δ u pomeristo za Δ l i signal koji dođe u jednosmerni pojačavač kompenzuje drift. Znači

$$\Delta U = \Delta l_i K_{pp} K_u$$

gde je i - prenosni odnos od stola do predajnika položaja, K_{pp} i K_u - pojačanje predajnika položaja odnosno uporedivača.

Veličina drifta kreće se oko $\Delta u = 50$ mV, $K_{pp} = 1$, $K_u = 0{,}45$ V/(°) i = 180 (°)/mm.

$$\Delta l_{dr} = \frac{50 \cdot 10^{-3}}{180 \cdot 1 \cdot 0{,}45} = 0{,}0006 \text{ mm}$$

Vidi se da je uticaj drifta na grešku mali i treba ga uzimati u obzir samo pri vrlo velikim tačnostima.

Histerezis elektromašinskog pojačavača na osnovu prethodne šeme izaziva grešku

$$\Delta l_h = \frac{\Delta u}{i\, K_{pp}\, K_u\, K_p}$$

K_p - koeficijent pojačanja elektronskog pojačavača. Za $K_p = 25$ i $_{p}\Delta u = \pm 3$ imamo:

$$\Delta l = \frac{\pm 3}{180 \cdot 1 \cdot 0{,}55 \cdot 25} = \pm 0{,}0015 \text{ mm}$$

i u ovom slučaju greška se uzima u obzir samo kod visoko tačnih sistema. Za takve prilike uvođenje povratne sprege smanjuje grešku.

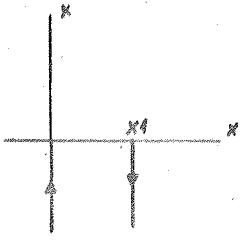
NALAŽENJE FAZNE TRAJEKTORIJE POZICIONIRANOG ORGANA I MOGUĆNOSTI SINTEZE SISTEMA OPTIMALNIH PO BRZINI DEJSTVA

Nalaženje optimalne fazne trajektrorije značajno je s gledišta sinteze upravljačkog dela servo-pogona. Suština optimizacije po brzini dejstva je u postizanju minimum-funkcionala

$$J_x = \int \frac{dx}{x}$$

ili, drugačije rečeno, potrebno je za što kraće vreme izvršiti pozicioniranje.

Apsolutni minimum gornjeg funkcionala je J = 0. Sa slike 9. se vidi da je u ovom slučaju ubrzanje i usporenje beskonačno veliko pa je fizički nemoguće realizovati takav pogon.

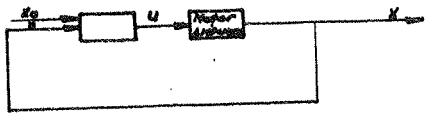


sl.- 9

Prvo ograničenje koje se mora postaviti je $\left|\frac{d^2x}{dt^2}\right| \leqslant M_1$ što znači da nije moguće da ubrzanje raste preko jedne određene, ograničene vrednosti. X je regulisana, izlazna veličina sistema, u ovom slučaju pomeraj stola (sl. 10).

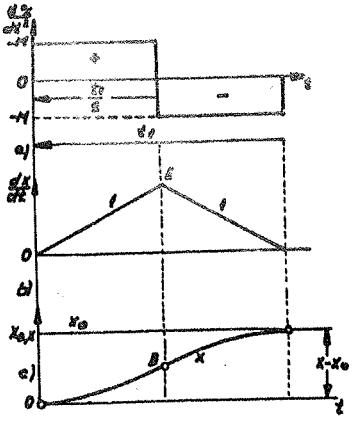
Ako se zadržimo samo na ograničenju po ubrzanju stola (to je takođe nerealno, jer je i brzina ograničena), minimum integrala, odnosno optimalna trajektorija, dobija se ako prvo sistem ubrzavamo koliko je to moguće pa zatim usporavamo (sl. 11). Sa slike se vidi i promena brzine i rastojanja. Jednačinu X i f_1 (t) ili odstupanje od tačke pozicioniranja x = X_0 - X = f (t), dobićemo dvostrukom integracijom

$$X = X_0 \pm \int_0^t \int_0^t M_1 dt\, dt = \Lambda \pm \frac{M_1}{2}(t-\mu)^2$$



Sl.- 10

a brzinu promene odstupanja $y = x = \pm M_1 (t-\mu)$, gde su μ i Λ proizvoljne konstante i znak (-) bira se za prvi deo (ubrzanje) a znak (+) za drugi deo (usporenje.



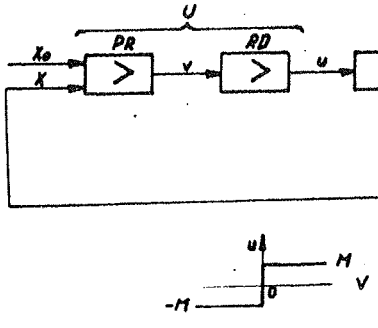
Sl.- 11

Mada je ovakav sistem fizički nerealan za slučaj programskih mašina ipak ćemo se pozabaviti njegovom sintezom jer ona ukazuje na put sinteze sistema sa više ograničenja (u ovom slučaju dodatno ograničenje bilo bi $\frac{dx}{dt} \leq M_2$ Jasno je da izlazni deo upravljačkog uređaja mora biti okidno kolo sa relejnim elementom čija je karakteristika data na sl. 12. Sa slike se vidi da treba odrediti kada izvršiti prekljućenje sa ubrzanja na usporenje, tj. kada v prolazi kroz nulu. Za iznalaženje komandnog signala v poslužićemo se gornjim jednačinama. Ako eliminišemo t dobijamo

$$x = \Lambda \mp \frac{y^2}{2M_1}$$

U x-y ravni dobijamo dve familije parabola (sl. 13). Jednačina otsečka BO je

$x = \Lambda + \frac{y^2}{2M_1}$ ona prolazi kroz koordinatni početak pa je $\Lambda = 0$ pa imamo za krivu prekljućenje B'OB



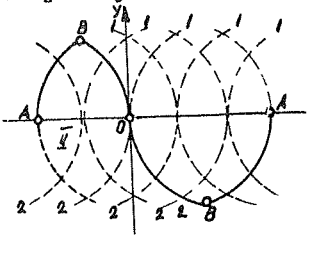
Sl.- 12

$$x = -(\text{sign } y)\frac{y^2}{2M}$$

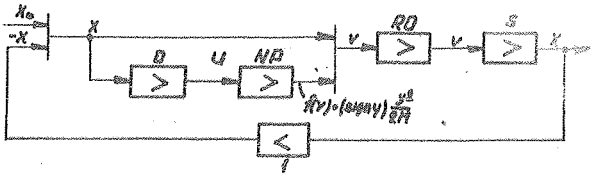
tada dobijamo:

$$v = x + (\text{sign } y)\frac{y^2}{2M}$$

kad v prođe kroz nulu izvrši se prekljućenje. Iznad krive BOB'važi nejednakost $v > 0$ u oblasti I, a pod krivom $v < 0$ u oblasti II. Sada možemo



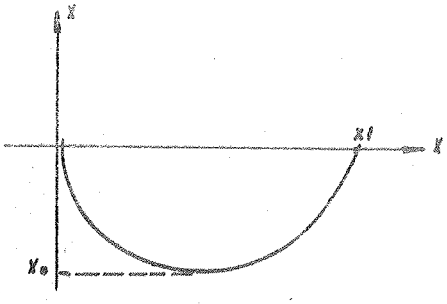
Sl.- 13



Sl - 14

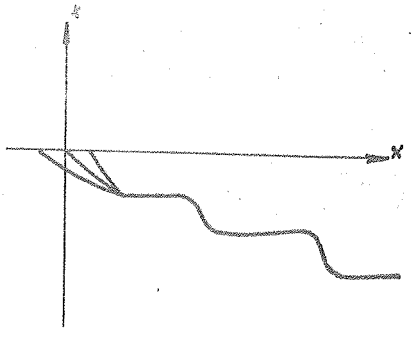
Zadato rastojanje x dobija se oduzimanjem $X_0 - X$. Veličina x se diferencira u D (element za diferenciranje) i u nelinearnom pretvaraču NP dobija $f(y) = (\text{sign } y)$

Na kraju se dovodi $V = x + f(y)$ na relejni deo RD. Tako smo obezbedili da se pozicioniranje vrši na najbrži mogući način. Jasno je da se kod realnog sistema mora uzeti u obzir još niz ograničenja. Pored ograničenja po brzini postoji ograničenje i kod prekljućenja. Prekljućenje se ne vrši trenutno već traži izvestan interval koji takođe povećava vreme pozicioniranja. Uzimajući u obzir ta ograničenja fazna trajektorija izgleda kao na slici 15.



Sl. - 15

Nо, kako se pozicioniranje vrši sa tri brzine u realnosti, trajektorija je (sl.16).

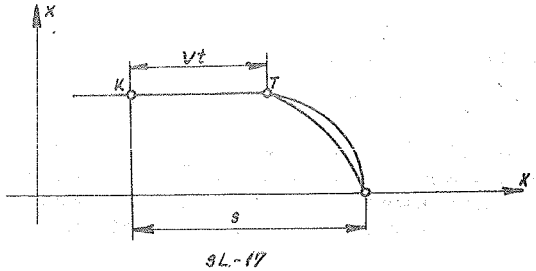


Sl.-16

Da bi odredili tačke prekljućenja brzina treba razmotriti proces zaustavljanja. Proces zaustavljanja teče ovako: radni sto prilazi zadanom položaju i u momentu njegovog dostizanja bilo kakav predajnik puta daje signal K za zustavljanje. Signal se prenosi lancem električnih elemenata i isključuje pogon, počinje kočenje i sto se zaustavlja(sl.17).

Ovaj proces, od trenutka predaje komande do zaustavljanja stola može se predstaviti sledećom jednačinom:

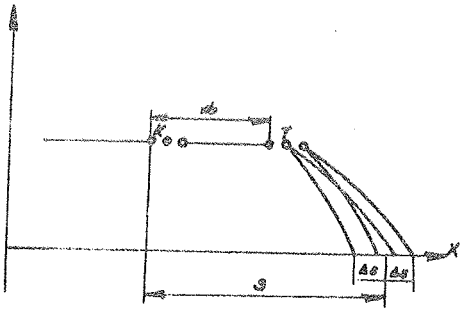
$$s = vt + \frac{mv^2}{2P_c}$$



Sl.-17

v -brzina pomeranja stola u momentu izdavanja komande za zaustavljanje;
t - ukupno vreme prenosa svih električnih aparata od izdavanja komande do početka kočenja;
m - masa svih pokretnih delova;
P_c - sila kočenja

Ovakav način proračuna pomaka krije u sebi nekoliko aproksimacija. Sila kočenja nije konstantna i ne javlja se trenutno na početku kočenja. Brzina stola nije konstantna. Vreme prenosa signala električnim putem takođe varira, a ukupna masa pokretnih delova se menja. Znači, realniju prestavu o zaustavljanju dobićemo ako uzmemo u obzir varijacije navedenih veličina u formuli za pomak (sl. 18).



sl. - 18

Označimo slučajne relativne oscilacije: masa (na primer kao posledica različite težine detalja koji se obrađuje), brzine, vremena "prenosa" električnih aparata i sile kočenja respektivno sa: $\sigma_m, \sigma_v, \sigma_t$ i σ_p. Varijacija puta radnog stola biće:

$$\Delta s = \left|\frac{\partial s}{\partial v}\right| \Delta v + \left|\frac{\partial s}{\partial t}\right| \Delta t + \left|\frac{\partial s}{\partial m}\right| \Delta m + \left|\frac{\partial s}{\partial P_c}\right| \Delta P_c$$

$$\Delta s = t\,\Delta v + v\,\Delta t + \frac{v^2}{2P_c}\Delta m + \frac{2vm\,\Delta v}{2P_c} + \frac{mv^2}{2P_c^2}\Delta P_c$$

$$\Delta s = tv\,(\sigma_v + \sigma_t) + \frac{mv^2}{2P_c}(\sigma_m + 2\sigma_v + \sigma_p)$$

Ovde treba još dodati varijaciju u predaji komande predajnikom položaja $\Delta\sigma$, pa za ukupnu varijaciju pomaka imamo:

$$\Delta l = 2\Delta s + 2\Delta\sigma = 2\Delta\sigma + 2vt\,(\sigma_v + \sigma_t) + \frac{mv^2}{P_c}(2\sigma_v + \sigma_m + \sigma_p)$$

Na osnovu dobijenog izraza za varijacije u zaustavljanju, možemo izvući sledeće zaključke: treba smanjiti grešku predajnika, prenos električnih aparata, masu pokretnih delova i povećati silu kočenja. Teži se, što je moguće većoj stabilizaciji svih pobrojanih parametara. Na primer, stabilizacija brzine može se postići povećanjem konstantnosti sile otpora u pogonu. Zato je celishodno da se u svim mehanizmima, gde je to moguće, trenje klizanja zameni trenjem kotrljanja. Smanjenje vremena "prenosa" električnih aparata izvodi se sma-

njenjem njihovog broja i upotrebom brzih aparata. Smanjenjem ukupnog vremena "prenosa" smanjuju se i njegove varijacije.

Na žalost, zahtev za minimum i konstantnosti masa ne može se ostvariti. Masa stola sa delom koji se obrađuje menja se u širokim granicama.

Sada se može pristupiti određivanju parametara za crtanje optimalne fazne trajektorije stola. Za proračun su usvojeni sledeći parametri:

$$s = vt + \frac{mv^2}{2P_c}$$

$t = 0{,}1$ sec
$v = 6{,}3$ mm/min
$m = 1000$ kg
$vt = 0{,}0105$ mm
$\frac{mv^2}{2Pc} = 0{,}006$ mm
$s = 0{,}0165$ mm

$$\Delta l = 2\Delta_\delta + 2vt(\delta_v + \delta_t) + \frac{mv^2}{Pc}(2\delta_v + \delta_m + \delta_p)$$

$\delta_v = \pm 5\%$
$\delta_t = \pm 5\%$
$\delta_m = \pm 10\%$
$\delta_p = \pm 5\%$
$\Delta_\delta = 10'$

Greška finog rizolvera je: pošto je priključen na osovinu sa prenosom 4:1 greška se smanjuje (10/4). Osovina se obróe 8 mm/obr.

$$\Delta_\delta = \frac{8}{360} \cdot \frac{1014}{60} = 0{,}00091 \text{ mm}$$

$2\Delta_\delta = 0{,}00182$ mm

$2vt(\delta_v + \delta_t) = 2 \cdot 0{,}0105 \cdot 0{,}1 = 0{,}0021$ mm

$\frac{mv^2}{Pc}(2\delta_v + \delta_m + \delta_p) = 0{,}012 \cdot 0{,}25 = 0{,}003$ mm

$\Delta l = 0{,}00182 + 0{,}0021 + 0{,}003 + 0{,}00692$ mm

$\Delta l = 0{,}007$ mm

Još treba izračunati mesto priključenja P. Rastojanje zadanog položaja na kome treba izvršiti priključenje je jednako zbiru pomaka s i putu potrebnom da se priključenje izvrši. Sa dovoljno rezerve možemo uzeti da se priključenje izvrši za 0,5 sec. Tada imamo:

$$s' = v_o t - \frac{at^2}{2} = 8{,}3 \text{ mm}$$

Prema dobijenim parametrima nacrtana je optimalna fazna trajektorija

stola za pozicioniranje na rastojanju 1 na sl. 16. Po dobijanju komande za pozicioniranje, sto maksimalnim ubrzanjem dostiže maksimalnu brzinu od 2000 mm/min. Sto se kreće ovom brzinom dok ne dođe do rastojanja p = 8,317 mm od tačke pozicioniranja. U tom trenutku napon na srednjem rizolveru je $U = U_0 \sin \frac{90°}{50mm} 8,317mm$

Ovaj napon daje komandu za prekljućenje koja deluje na reduktor i za t = 0,5 sec sto prelazi u spori hod. Na rastojanju s = 0,017 napon na finom rizolveru je $U = U_0 \sin \frac{90°}{0,5mm} \cdot 0,017mm$ i u tom trenutku koincidentno vrlo daje signal za zaustavljanje. Prema proračunu, sto bi se zaustavio u intervalu od ± 3,5 mik. od ravnotežnog položaja. Jasno je da rizolverom kao predajnikom položaja i pored 3 kaskade nije moguće u praksi postići takvu tačnost. Ipak proračun ukazuje da izneti sistemom može biti postignuta tačnost od ± 0,01 mm. Mada to još povećava vreme pozicioniranja, uobičajeno je da se sa najveće brzine pređe na srednju, pa da se tek onda u tački prekljućenja pređe na puzeći hod i izvrši pozicioniranje. Tačka prekljućenja sa brzog hoda na srednji hod određuje se po iskustvu.

S. Srećković

Programmed Numerical Control by Means of Phase Modulation on a Horizontal Drilling Machine

The article considers complex problems connected to relization of programmed control of the horizontal drilling machine produced by "Ivo Lola Ribar" in Železnik.

In the first part the influence of nonlinearities in the cynemati. circles on the precision of positioning and stability is considered.

The second part diccusses the choice and synthesis of the servodrive for a horizontal drilling machine, taking precision and stability of the system into consideration.

In the third part the optimum phase trajectory of the positioning organ is found, and the process of stopping is analysed.

J. Zec, A. Hrabrić *)

GRUPNA OBRADA KRATKIH ROTACIONIH DIJELOVA NA BUBNJASTIM REVOLVERSKIM TOKARILICAMA **)

Uvod

Svojim saopćenjem na I savjetovanju proizvodnog mašinstva, grupa saradnika Instituta za alatne strojeve i tvornice alatnih strojeva "Prvomajska", dala je uvid u osnove klasifikacije dijelova u vezi s grupnom tehnologijom. U ovom saopćenju iznose se informacije iste radne grupe o daljnjoj fazi rada na jednoj od grupa rotacionih dijelova, koja se kroz klasifikaciju iskristalizirala kao grupa kratkih rotacionih dijelova.

Kod rotacionih dijelova tokarenje se javlja kao centralna operacija, u kojoj se vrši osnovno oblikovanje dijela. Za grupu kratkih rotacionih dijelova ova operacija se kod malih i srednjih serija vrlo uspješno izvodi na bubnjastim revolverskim tokarilicama. Revolverska glava omogućava postavljanje većeg broja alata, čime se postiže veća koncentracija obrade u jednom stezanju, a time i smanjenje pomoćnih vremena i poboljšanje kvalitete obrađenih dijelova. Ove karakteristike revolver-tokarilica dovode ih na kratkim rotacionim dijelovima u prednost pred univerzalnim tokarilicama. Ta prednost u vremenu izrade iznosi u prosjeku 1 : 2,5 u korist bubnjastih revolverskih tokarilica.

Podešavanje revolverske glave je zbog složenosti udesne slike često relativno dugotrajno, a posebno ako se udesna slika formira neposredno pri podešavanju samog stroja. Da bi se vrijeme podešavanja skratilo, prilazi se izradi udesne slike (plana podešavanja) čime se jedan dio vremena potrebnog za podešavanje prebacuje sa neposrednog podešavanja na stroju na fazu pripremanja van proizvodnje. Za izradu udesne slike za jedno stezanje potrebno je u prosjeku oko 4 sata. Ako se uzme u obzir da "Prvomajska" ima na svojim proizvodima oko 5.5oo dijelova čija bi se izrada mogla izvoditi na revolver tokarilicama onda bi trebalo utrošiti oko 44. ooo sati za izradu udesnih slika, koje bi se radile individualno za svaki ili gotovo svaki dio. Preudešavanje revolverske glave od jedne individualne udesne slike na drugu traje u prosjeku oko jedan sat, tako da bi se uz izradu svakog dijela prosječno u dvije serije godišnje trošilo oko 22.ooo sati na preudešavanje. Zbog toga je razumljiv napor, da se nađe put za sniženje tih troškova. Pristup ovom problemu u duhu grupne tehnologije otvara velike mogućnosti za tražena sniženja.

Općenito uzevši pri izradi udesnog lista (plana podešavanja) za neku bubnjastu revolversku tokarilicu, osnovni utjecaj na izgled udesne slike ima oblik dijela koji želimo obraditi. Promjer dijela, odnosno područje promjera, u kojem se dio odabranog oblika može izvesti, određen je veličinom stroja, koji će biti podešen prema spomenutoj ude-

*) Josip Zec, dipl.inž., Anton Hrabrić, dipl.inž., Tvornica alatnih strojeva "Prvomajska" Zagreb, saradnici Instituta za alatne strojeve, Zagreb

**) Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve, Zagreb

snoj slici. Ako se raspolaže sa familijom bubnjastih revolverskih tokarilica, koja pokriva čitavo područje promjera šipkastog materijala, onda se spomenutom udesnom slikom, prema kojoj je podešen svaki stroj familije, mogu izraditi dijelovi dotičnog oblika u svim veličinama obuhvaćenog područja promjera. Ako se područje primjene familije ovih tokarilica proširi sa područja šipki i na područje dijelova većeg promjera, kod kojih obrada polazi od komadnog pripremka (otkivak, odljevak, rezani materijal), onda se i na ove dijelove mogu primijeniti slična razmatranja, koja važe za dijelove, čija izrada polazi od šipkastog pripremka. Područje promjera, koji se mogu odrediti spomenutom familijom tokarilica prošireno je time do maksimalnog promjera, koji se može prihvatiti steznom glavom najvećeg stroja familije.

Pristup grupnoj obradi

Prethodna su razmatranja poslužila kao polazna baza kod pristupa grupnoj obradi dijelova na bubnjastim revolverskim tokarilicama.

Jedan od osnovnih zadataka kod ovoga pristupa sastoji se u tome da se nađu takvi oblici, koji reprezentiraju odgovarajuće skupine realnih dijelova i koji će svojim udesnim slikama davati grupno rješenje revolverske obrade dijelova pripadajuće skupine. Pri tome treba uočiti, da se udesna slika postavlja uvijek za onu stranu dijela, koja se može obraditi u dotičnom stezanju. Ovo nameće konstataciju, da se svaki dio sastoji iz dvije polovine, koje se pri revolverskoj obradi obrađuju u odvojenim stezanjima, i da pri traženju reprezentirajućih oblika treba u stvari tražiti reprezentirajuće polovine.

Reprezentirajuća polovina može, a ne mora, imati oblik polovine nekog od realnih dijelova pripadajuće skupine. Ona mora u sebi obuhvatiti kompleks elementarnih površina iz kojih se mogu sagraditi realni oblici polovina pripadajuće skupine. Ovakova reprezentirajuća polovina, zbog tog svojstva, naziva se kompleksnom polovinom.

Ovdje treba napomenuti, da grupnom obradom nije obuhvaćena samo obrada dijelova na operaciji tokarenja, nego potpuno dovršavanje realnih dijelova kroz operacije maršrutnog postupka pripadajućeg kompleksnog dijela. Kompleksni dio sačinjen je iz dviju kompleksnih polovina i, analogno tome, maršrutni tehnološki postupci kompleksnih dijelova izvedeni su iz maršrutnih tehnoloških postupaka kompleksnih polovina. Zbog toga je potrebno, da kompleksna polovina (kao i kompleksne cjeline t.j. kompleksni dijelovi) bude sastavljena ne samo iz rotacionih nego i svih ostalih elementarnih površina, koje su u dovoljnoj mjeri zastupljene u pripadajućoj skupini dijelova.

Kako ova tema obuhvaća samo grupnu obradu na bubnjastim revolverskim tokarilicama, dakle samo jednu (osnovnu) operaciju grupne maršrute dovoljno je, da u daljnjem izlaganju pod pojmom kompleksne polovine (ili kompleksnog dijela) podrazumijevamo samo takvu reprezentirajuću polovinu (ili cjelinu), koja je sačinjena iz onih elementarnih površina, koje se mogu dobiti rotacionom obradom na bubnjastim revolverskim tokarilicama.

Iako se gotovo svemu, što će ovdje biti rečeno o grupnoj obradi na

bubnjastim revolverskim tokarilicama može dati opći značaj, treba napomenuti, da je rad na ovome problemu baziran na potrebama tvornice "Prvomajska", koja raspolaže sa familijom bubnjastih revolverskih tokarilica tipa Pirex. Pošto ovaj tip strojeva dozvoljava obradu dijelova, čija dužina nije veća od 160 mm, a promjer nije veći od 250 mm, ovo su ujedno i osnovni gabariti naše grupa kratkih rotacionih dijelova. Kako se uz puno korištenje revolverske glave na strojevima ovakve vrste mogu obrađivati samo kruti dijelovi, koji pri tokarskoj obradi ne zahtjevaju protuoslonac, iz našeg su razmatranja isključeni vitki dijelovi, koji se po svojim dimenzijama uklapaju u navedene gabarite, ali koji bi zbog svoje vitkosti pri tokarskoj obradi zahtjevali protuoslonac.

Familija spomenutih revolverskih tokarilica konstruirana je za obradu šipkastog materijala do promjera Ø 80 mm, a komadnog materijala do promjera Ø 250 mm. Kako je tehnološki pristup dijelovima, čija obrada polaži od šipkastog pripremka u nekoliko različit od pristupa dijelovima, čija obrada polazi od komadnog pripremka, spomenuti granični promjeri daju ujedno i osnovnu podjelu unutar grupe kratkih rotacionih dijelova.

Razvoj kompleksne polovine

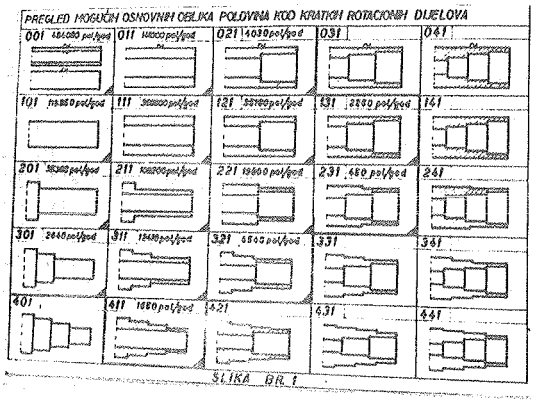
Promatrajući geometrijski oblik nekog rotacionog dijela može se zapaziti, da je on sastavljen iz elementarnih površina, koje formiraju njegov osnovni oblik i dodatnih elementarnih površina (kao što su navoj, urez, utor, brid itd.), koje taj oblik detaljiraju i dopunjuju. Polazeći od ovog zaključka izrađene su skice 25 teoretskih do određenog stupnja složenosti mogućih osnovnih oblika polovina. Analizirajući realne oblike kratkih rotacionih dijelova koji se pojavljuju u svakodnevnoj praksi "Prvomajske" konstatirano je, da se svi ovi oblici mogu sastaviti iz svega 15 od navedenih 25 mogućih osnovnih oblika polovina.

Na slici br. 1 prikazani su teoretski mogući osnovni oblici. Posebno je označeno 15 spomenutih osnovnih oblika polovina iz kojih su sastavljeni oblici naših rotacionih dijelova.

Ranije je sasvim općenito spomenuto, da osnovni utjecaj na izgled udesne slike ima oblik dijela odnosno polovine koja se želi obraditi. U slučaju grupne obrade bio bi to oblik kompleksne polovine, koja će se dobiti, ako se osnovnom obliku dodaju sve već ranije spomenute dodatne elementarne površine, koje su zastupljene u skupini dijelova odgovarajućeg osnovnog oblika.

Ovakovo formiranje kompleksne polovine bilo bi moguće, jer se, teoretski gledano, može formirati kompleksni oblik neograničene složenosti. Praktički se, međutim, za takvu teoretsku kompleksnu polovinu ne bi mogla formirati udesna slika na bubnjastoj revolverskoj tokarilici. Razlozi tome su slijedeći:

1. Revolverska glava bubnjaste revolverske tokarilice ima na sebi 16 gnijezda za postavljanje alata što znači, da se sa njom mogu obraditi polovine ograničene složenosti oblika.



SLIKA BR. 1

2. Izgled udesne slike ne zavisi samo o složenosti oblika nego i o dimenzijama toga oblika.

Odavde proizlazi zaključak, da se jedan osnovni oblik polovine ne može reprezentirati samo jednom kompleksnom polovinom i jednom za taj oblik podešenom udesnom slikom. Da bi se dobile kompleksne polovine, koje mogu reprezentirati jedan osnovni oblik potrebno je prije svega unutar skupine dijelova istog osnovnog oblika izvršiti razdiobu dijelova po onim područjima dimenzija osnovnog oblika, koja se mogu obuhvatiti jednom udesnom slikom. Stvarajući ovakve podskupine dijelova istovremeno se postiglo i smanjenje broja dodatnih elementarnih površina, koje trebaju biti zastupljene u kompleksnoj polovini te skupine. Na taj način došlo se do kompleksne polovine znatno jednostavnijeg oblika, koji međutim još uvijek ne mora biti definitivan. Kao što je već ranije spomenuto, kompleksna polovina mora sadržavati sve površine, koje sačinjavaju osnovni oblik i onoliko dodatnih elementarnih površina koliko ih se pored osnovnih još može uklopiti u udesnu sliku. Ako dakle dobivena kompleksna polovina sadrži više dodatnih elementarnih površina nego što ih je moguće obuhvatiti udesnom slikom revolverske glave, potrebno je izvršiti pojednostavljenje oblika kompleksne polovine, odbacujući one dodatne elementarne površine, čija je učestalost u dotičnoj podskupini manja. Tako dobivene kompleksne polovine mogu reprezentirati skupinu dijelova pojedinog osnovnog oblika, i za njih se može izraditi odgovarajuća udesna slika.

Razvijajući na ovaj način kompleksne polovine za spomenutih 15 osnovnih oblika došli smo u "Prvomajskoj" do 32 kompleksne polovine za kratke rotacione dijelove promjera do 8o mm i 24 kompleksne polovine za kratke rotacione dijelove promjera 8o do 25o mm, za koje su izrađene odgovarajuće udesne slike. Na temelju ovih udesnih slika mogu se obraditi svi kratki rotacioni dijelovi u "Prvomajskoj", kojih, kako je u uvodu rečeno ima oko 5.5oo i za koje bi, kad bi se udesne slike radile individualno za svako stezanje (polovinu), trebalo izraditi ukupno 11.ooo udesnih slika. Šta više, sa tih 56 udesnih slika dobivenih kompleksnih polovina moći će se obraditi i budući kratki rotacioni dijelovi "Prvomajske" (ili nekog drugog proizvođača kratkih rotacionih dijelova), koji se uklapaju u ove kompleksne polovine.

Odstupanje oblika polovine realnog dijela od oblika kompleksne polovine

U izlaganju o razvoju kompleksne polovine rečeno je, da se radi neop-

hodnosti pojednostavljenja ovog oblika moraju odbacivati neke dodatne površine manjih učestalosti u pripadajućoj podskupini. Odatle proizlazi zaključak, da se dio, čiji oblik sadrži jednu ili više elementarnih površina, koje nisu sadržane u pripadajućoj kompleksnoj polovini, neće moći kompletno obraditi po udesnoj slici te kompleksne polovine. To također znači, da će se te dodatne elementarne površine morati dovršiti u nekoj doradnoj tokarskoj operaciji. Ova činjenica, međutim, ne umanjuje bitno kvalitetu dobivenih rezultata. Treba, naime, naglasiti, da se ovdje ne radi o osnovnim elementarnim površinama, koje su, kao što je rečeno, uvijek sadržane u kompleksnoj polovini, već o dodatnim elementarnim površinama, u koje spadaju na primjer urezi, utori, navoji i slične jednostavne rotacione površine. Osim toga treba naglasiti, da je procentualni udio takvih dijelova u ukupnoj količini dijelova podskupine relativno malen, a da doradne operacije nisu uvijek individualne nego se u većini slučajeva javljaju kao grupne.

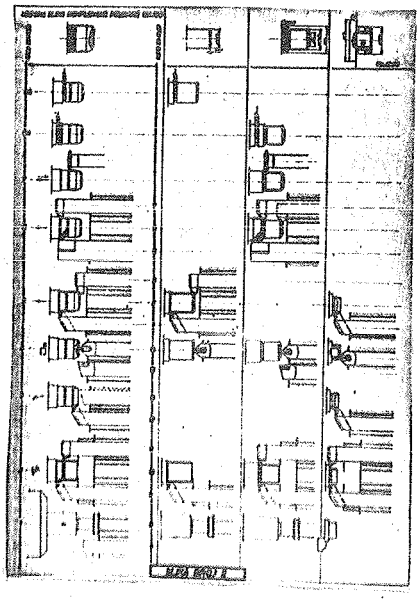
Izrada realnih dijelova po udesnim slikama kompleksnih polovina

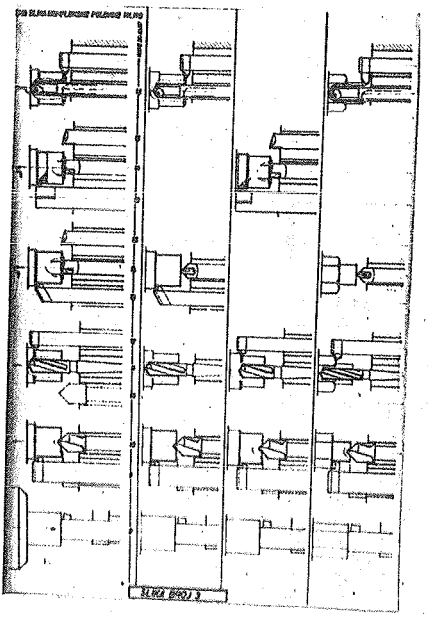
Da bi se odredila pripadnost nekog realnog dijela odgovarajućim kompleksnim polovinama (dio je sastavljen iz dvije polovine) potrebno je, da se on provede kroz sistem klasifikacije, čije su osnove date u izlaganju na I savjetovanju proizvodnog mašinstva. Polazeći kroz spomenuti sistem klasifikacije dio se označava nizom šifara, koje definiraju njegove konstruktivne i tehnološke karakteristike. Ovako izvedena konačna šifra dijela ima zadatak da ga dovede do pripadajućeg maršrutnog postupka kompleksne cjeline, koja predstavlja kombinaciju odgovarajućih kompleksnih polovina, odnosno do udesnih slika tih polovina. Prolazeći tokarsku obradu kroz spomenute udesne slike, dio doživljava obradu samo u onim zahvatima koji su predviđeni za obradu upravo takvih površina kakve on ima, dok se ostali, za taj dio suvišni zahvati, preskaču.

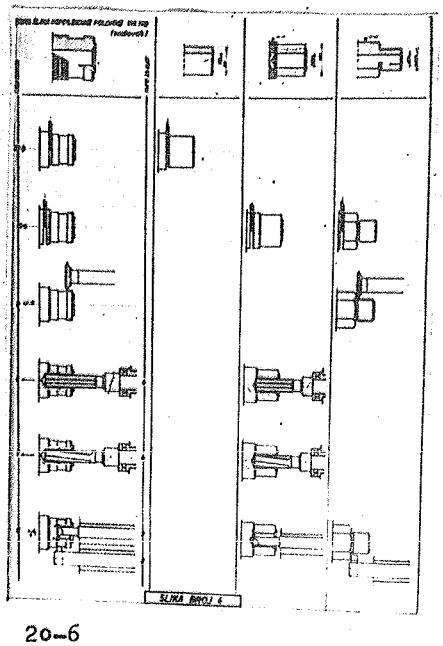
Na slikama 2,3,4,5 i 6 prikazani su primjeri obrade po tri realna dijela prema udesnim slikama kompleksnih polovina, koje su označene šiframa 101.100, 111.110 i 211.110. U navedenim primjerima prikazani su izgledi kompleksnih polovina i spomenutih realnih dijelova, kompletne udesne slike navedenih polovina, kao i tok polovina realnih dijelova kroz pojedine zahvate. Nepotrebni zahvati u toku obrade realnih polovina izostavljeni su.

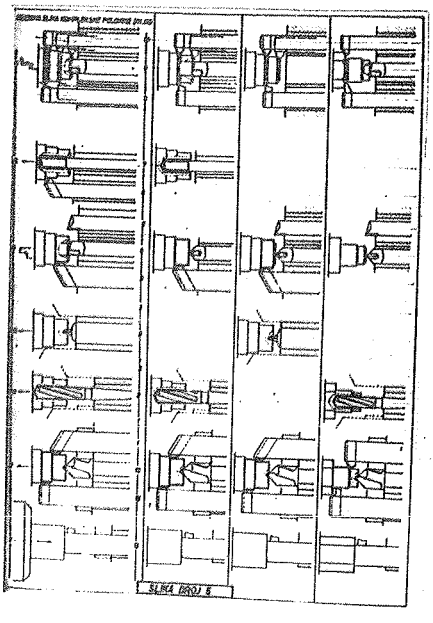
Na slici 7 prikazano je 27 primjera realnih dijelova čije polovine pripadaju kompleksnoj polovini 001.000, te spomenutim kompleksnim polovinama 101.100, 111.110 i 211.110. Radi objašnjenja treba napomenuti, da kompleksna polovina oznake 001.000 predstavlja u stvari samo ravno čelo dobiveno nekom tokarskom obradom, koja obzirom na svoju jednostavnost ne mora biti revolverska.

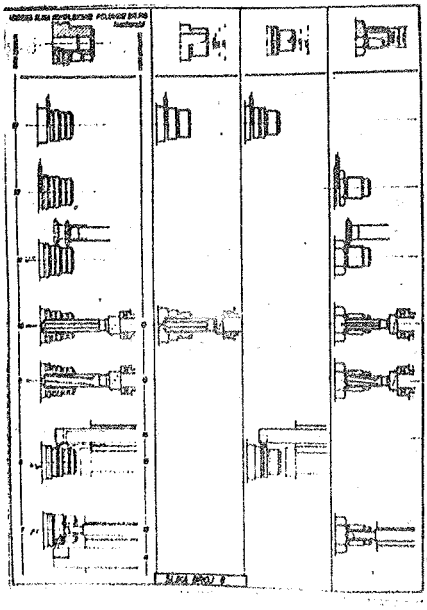
Prikazani primjeri predstavljaju dakle realne dijelove, koji su obrađeni pomoću prethodno prikazanih udesnih slika triju kompleksnih polovina te jednostavnog tokarskog zaravnavanja čela. Brojke označavaju broj dijelova, koji su se pojavili u pojedinim kombinacijama, te ukupne godišnje količine dijelova pojedine kombinacije. Radi lakšeg razumijevanja prikazani su osnovni a ne kompleksni oblici polovina iz kojih su dijelovi sastavljeni.









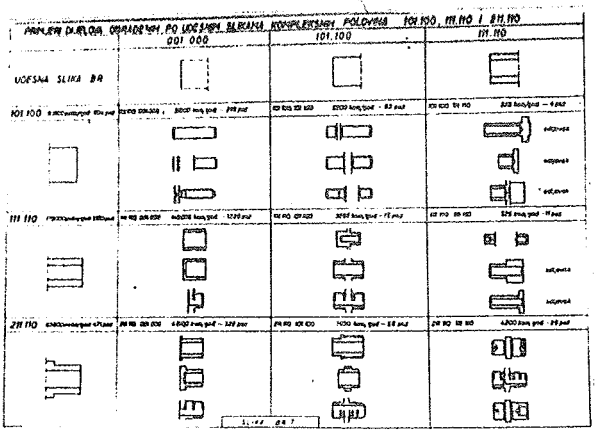


Zaključak

Rješenja koja su ovdje predložena odnose se na obradu kratkih rotacionih dijelova na bubnjastim revolverskim tokarilicama, međutim principi, na kojima su ta rješenja bazirana mogu se primijeniti na obradu ovih dijelova i na nekoj drugoj vrsti strojeva (na pr. na tokarskim automatima), a općenito uzevši i na obradu dijelova drugih oblika i gabarita.

Predloženo grupno rješenje omogućiti će projektiranje i postavljanje linije kratkih rotacionih dijelova, u kojoj će bubnjaste revolverske tokarilice odigrati ključnu ulogu.

Ovako postavljena, specijalizirana i pravilno kapacitirana linija će, prema našim očekivanjima, omogućiti proizvodnju rotacionih dijelova sa svim prednostima, koje takva specijalizirana proizvodnja donosi.



J. Zec, A.Hrabrić

Machining Short Rotating Pieces on Drum Type Turret Lathes

A group of engineers in the Institute of Machine Tools and machine tools factory "Prvomajska" in Zagreb has been working on the problem of group machining of rotating pieces. On the basis of classification system which was discussed earlier, on the first meeting of production engineers in Belgrade, a new characteristic group was established - the group of short rotating pieces.

In this report we deal with a more precise classification inside this group, dividing parts into smaller groups with common technological problems, and representing those groups by means of complex halves. In technological processes of machining complex halves, the central operation is machining of the fundamental form and corresponding rotating surfaces. In this case operation was done on drum type turret lathes. Group adjustment of lathes to corresponding complex forms is also shown.

S. M. Urošević *)

OSVRT NA NEKE MOGUĆNOSTI RAZVOJA ALATNIH MAŠINA ZA POTREBE MALOSERIJSKE I POJEDINAČNE PROIZVODNJE **)

1. Među putevima razvoja tehnologije u metalnoj industriji koji vode povišenju produktivnosti rada u ovoj industriji, odnosno snižavanju troškova njene proizvodnje, a naročito u maloserijskoj i pojedinačnoj izradi proizvoda, svakako su od primarnog značaja sledeći:

(i) Razvoj novih metoda tehnološke pripreme proizvodnje, planiranja i upravljanja proizvodnjom;

(ii) Razvoj novih konstrukcija alatnih mašina, pribora i alata sa težnjom maksimalnog povećanja njihovog sumarnog stepena iskorišćenja.

2. Nove metode tehnološke pripreme proizvodnje već daju vidne rezultate stalnim razvojem i primenom principa grupne, odnosno tipske tehnologije. Grupna, odnosno tipska tehnologija, zasnivaju se na raznim sistemima tehnološke klasifikacije delova. Međutim, kao rezultat studije osnovne tehnološke problematike tehnoloških grupa delova formiranih metodama njihove klasifikacije, odnosno pri praktičnom uvođenju u pogonima organizacije izrade ovih grupa delova po grupnoj i tipskoj metodi, otkriveno je područje novih intervencija u ovoj oblasti, koje će dalje igrati bitnu ulogu u njenom razvoju i primeni u praksi. Područja ovih intervencija se svode na proučavanje i rešavanje kompleksa tehnološko-organizacionih zadataka vezanih za pojam "optimiranja radnih mogućnosti alatne mašine prema proizvodnim zadacima". Razmatranje ovog kompleksa zadataka je veoma aktuelno i od bitnog je značaja za tipiziranje tehnoloških procesa i specijalizaciju proizvodnje u metalnoj industriji uz stvaranje uslova za maksimalno snižavanje proizvodnih troškova.

Zato će se u daljem izlaganju učiniti pokušaj prilaza sistematskom proučavanju ovog zadatka.

2.1. Kratak osvrt na metode tehnološkog projektovanja pogona metalne industrije, a naročito onih namenjenih maloserijskoj i pojedinačnoj proizvodnji, a zatim na izbor potrebne opreme tj. alatnih mašina, govori da je još uvek dominantna težnja za nabavkom alatnih mašina sa radnim mogućnostima većim od potrebnih. Ovakav stav je rezultat težnji projektanata da imaju na raspoloženju alatne mašine "za svaki slučaj" tj. i za obradu onih delova koji se pojavljuju veoma retko, ali se ipak pojavljuju. Ovo gledište, pri izboru opreme, računa još i sa mogućnošću promene proizvodnog programa, te ovaj momenat bitno

---

*) Sreten M. Urošević, dipl.ing., saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27 marta 80

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd.

utiče na dalje proširenje rezervi radnih mogućnosti alatnih mašina koje se odabiraju za nabavku. Neka proučavanja odnosa radnih mogućnosti alatnih mašina prema proizvodnim zadacima u nizu preduzeća mašinogradnje, pokazala su da je ovaj odnos veoma nepovoljan, i da postoji bitan nesklad između optimalnih potreba prema raspoloživim kapacitetima. Da bi se dala delimična ilustracija postojećeg stanja, daće se kratak izvod nekih studija ovog kompleksa problema koje su vršene u više industrijskih razvijenih zemalja (2), (6). Kao primer uzeće se istraživanja vršena u Zapadnoj Nemačkoj (2) te će se ista delimično prikazati u daljem tekstu.

3. Ispitivanja "optimiranja radnih mogućnosti alatnih mašina prema proizvodnim zadacima", vršena su u Zapadnoj Nemačkoj od strane Instituta za alatne mašine TVŠ u Aachen-u. Radi sagledavanja postojećeg stanja, saradnici ovog Instituta su odabrali 19 preduzeća metalne industrije radi snimanja potrebnih podataka i njihove dalje obrade. Pregled ovih preduzeća dat je na sl. 1.

Oznaka pogona	Vrsta proizvodnje u pogonu	Snimljeni podaci: Broj snimljenih kartica	Godišnje opterećenje mašina (h)	Učešće obrade na strugovima u ukupnoj mašinskoj obradi: Učešće strugova u strukturi alatnih maš.: Br strugova po pogonima	% strugova u odnosu na br. sn. mašina	Broj snimljenih kartica: Broj po pogonima	% od ukupnog br. kartica	Broj radnih sati na strugovima: Broj po pogonima	% od ukupnog br. snimljenih sati
01	Reduktori, kardanski prenosnici, menj. kuće i njihovi elemenli.	2000	772000	130	47	660	34	15000	50
02	Frikcioni prenosnici.	600	89000	21	39	230	39	1900	55
03	Valjkasti(ravni stepenasti) zupčanici za zatezanje cevi, teške mašinske maš.	1600	236000	61	48	530	33	4500	46
04	Industrija naoružanja.	600	308000	63	20	80	20	2500	21
05	Alatne maš. za obradu prevlačenjem i alati za ove mašine	1000	221000	47	24	320	33	2500	30
06	Teške alatne mašine.	2800	432000	67	32	820	30	5900	36
07	Motori putničkih automobila.	400	1184000	115	26	110	26	11400	25
08	Horizontalne bušilice.	1900	390000	48	36	450	24	6400	43
09	Automatski strugovi.	1100	268000	46	22	290	23	3400	29
10	Teške elektromašine (samo obeležene strugovi).	1800	522000	96	x)	1840	—	20100	—
11	Tekstilne mašine.	6200	379000	79	46	2550	42	5700	39
12	Brusilice i horizontalne bušilice.	1900	285000	30	37	570	29	3300	30
13	Strugovi raznih veličina.	2500	352000	79	34	770	30	4600	34
14	Strugovi raznih veličina.	3800	439000	84	31	1210	31	5500	33
15	Mašine za prehrambenu industriju, razni aparati i sklop.	9100	831000	110	35	3360	37	16800	52
16	Postrojenja za železare.	1100	327000	25	36	480	43	5900	47
17	Teške alatne mašine.	2100	408000	36	37	860	41	5100	33
18	Strugovi raznih veličina.	2200	312000	35	27	750	34	3900	32
19	Postrojenja za valjaonice.	1400	619000	78	37	420	30	8300	35
	Svega	44000	8000000	1250	36,8	16300	37	132600	41

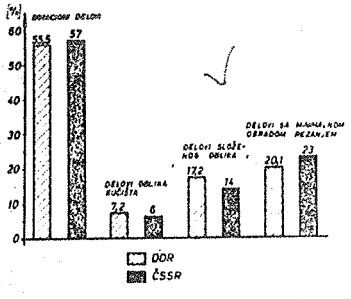
Sl.1 - Pregled proizvodnih pogona obuhvaćenih istraživanjem strukture alatnih mašina i učešće obrade na strugovima u odnosu na ukupnu mašinsku obradu.

Za obradu snimljenih podataka korišćene su elektronske računske mašine koje rade na principu bušenih kartica. Uzimanje pak planiranih podataka radi njihovog nanošenja na bušene kartice, vršeno je u samim preduzećima snimanjem podataka sa radnih naloga koji su u toku dve radne nedelje lansirani u proizvodnju. Istraživanja su se odnosila na delove koji se obraduju u procesu odvajanja strugotina. Tako su u ovom razdoblju zabeleženi podaci o broju lansiranih radnih naloga, broju komada za izradu po nalogu, potreban broj mašinskih sati po vrstama mašina za obradu date količine delova, oblik delova (osnovne dimenzije sa tolerancijama izrade i sl.) itd.

Obradom podataka sa bušenih kartica, odnosno njihovim tabeliranjem po određenom programu dobijeni su interesantni podaci. Tako pregled na sl. 1. daje podatke o broju snimljenih kartica po preduzećima za dve radne nedelje, a zatim aproksimacijom potreban broj mašinskih sati koji bi se dobio za celu godinu. Ovaj broj je zaokružen na 8,000.000.- što u toku godine pokriva kapacitete od blizu četiri hiljade alatnih mašina. Dalje se na sl. 1. vidi da su anketirana uglavnom preduzeća mašinogradnje tipična, sa izuzetkom preduzeća 07, za pojedinačnu i maloserijsku proizvodnju.

U daljem iznošenju rezultata ove studije ograničićemo se samo na obradu rotacionih delova na strugovima. Tako dalji podaci na sl. 1. prikazuju pregled učešća obrade na strugovima u odnosu na ukupnu mašinsku obradu.

Proučavanje obrade na strugovima, odnosno optimiranje njihovih radnih mogućnosti proizvodnim zadacima, ima veliki praktičan značaj. Prema sl. 1 preko 41% svih mašinskih sati obrade delova otpada na strugove. Jedan drugi podatak, uzet iz rezultata sličnih istraživanja vršenih u Čehoslovačkoj i Istočnoj Nemačkoj, takođe govori o velikom učešću strugova u ukupnoj obradi delova odvajanjem strugotine. Na sl. 2 je prikazan grafički rezultat ove studije.



Sl.2 - Uporedni pregled strukture delova u DDR i ČSSR

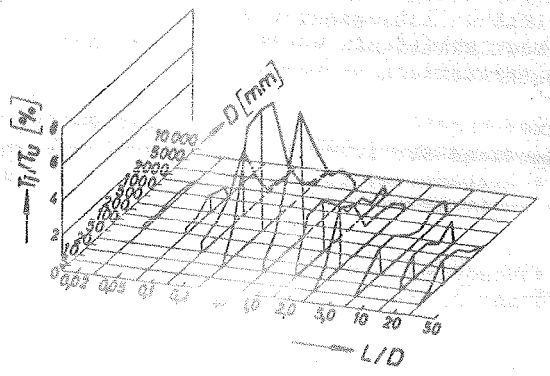
Histogram na sl. 2 pokazuje da ukupna obrada rotacionih delova u anketiranim preduzećima pokriva pretežan deo svih potrebnih mašinskih sati za obradu delova uopšte. Prema tome, racionalno rešenje samo ove vrste obrade vodi sigurno značajnim ekonomskim efektima. Za industriju alatnih mašina u Jugloslaviji ova činjenica je od posebnog interesa obzirom da su u njenom proizvodnom programu u znatnoj meri zastupljeni upravo strugovi.

Od ostalih rezultata istraživanja obrade na strugovima, od posebnog značaja su sledeći:

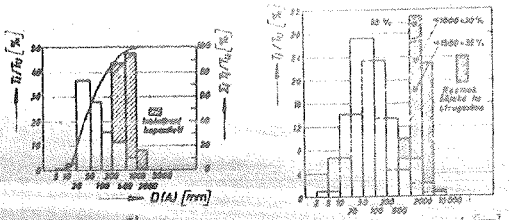
(i) Svi rotacioni delovi koji su se obrađivali na strugovima, svrstani su u određene grupe prema njihovim prečnicima (D) i odnosu dužine (L) i prečnika (D) tj. prema odnosu (L/D). Podatke o vremenskom učešću obradi na strugovima pojedinih grupa ovih delova daje sl.3.

Podaci uneti na dijagram u sl. 3 pokazuju da u ukupnom vremenu obrade na strugovima dominiraju kratki rotacioni delovi (mali odnos L/D) i delovi manjeg prečnika uopšte;

(ii) Dalji rezultati analize obrađenih podataka prikazani su na sl.4a i 4b. Obe slike pokazuju odnos dimenzija radnih predmeta i radnih mogućnosti strugova u jednom delu anketiranih pogona.



Sl.3 – Potrebno vreme za obradu strugarskih delova raznih veličina



Sl.4 – Odnos dimenzija radnih predmeta i radnih mogućnosti strugova (a -prečnika , b-razmak šiljaka)
- Potrebne radne mogućnosti strugova
- Radne mogućnosti instal. strugova

Slika 4a daje uporedni pregled potrebnog broja mašinskih sati za obradu delova određenih prečnika prema raspoloživim tj. instaliranim kapacitetima. Slika 4b daje sličan pregled sveden na odnose dužina radnih strugova u ovim pogonima.

Oba dijagrama na sl.4 pokazuju iznenađujući nesklad između potrebnih i raspoloživih radnih mogućnosti alatnih mašina na kojima su se oni obrađivali, je pokazala nesklad između potrebne tačnosti obrade i raspoložive preciznosti mašine, zatim učestanost korišćenja pribora alatne mašine, odnosno korišćenja ovih pribora u uslovima primene univerzalnih alatnih mašina, zatim učešće obrade navoja pri izradi delova, učešće obrade ravnih površina itd.

Bitan zaključak ovih istraživanja je konstatacija nesklada između radnih mogućnosti instaliranih i potrebnih kapaciteta. Ovaj rezultat upućuje na zaključak da se u "optimiranju radnih mogućnosti alatnih mašina prema proizvodnim zadacima" nalaze znatne rezerve u snižavanju proizvodnih troškova izrade delova mašinskih konstrukcija. Zato se razvoju naučnotehničke osnove za optimiranje ovih odnosa mora posvetiti puna pažnja uz stvaranje potrebnih drugih preduslova njegovog razvitka.

4. Nema sumnje da se osnovni preduslovi optimiranja radnih mogućnosti alatnih mašina proizvodnim zadacima, treba da rešavaju kroz:

(i) Razvoj opšte i interne standardizacije delova i specijalizacije njihove proizvodnje. Ovim se stvaraju uslovi za povišenje serijnosti proizvoda u čijoj izradi treba da učestvuje specijalna oprema;

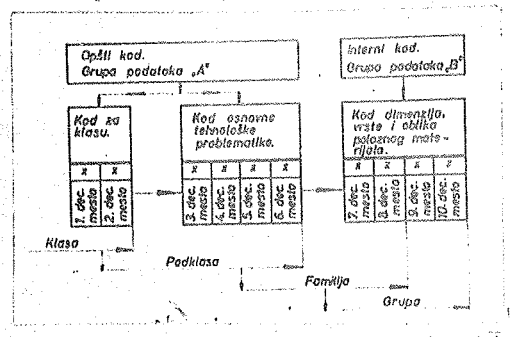
(ii) U izradi delova za proizvode pojedinačne i malo serijske proizvodnje, obzirom na činjenicu da ovde postoji neiscrpan broj delova različitih po svojim oblicima i dimenijama, ipak se stvoriti jedinstvena osnova za njihovu tehnološku klasifikaciju.

Kao rezultat tehnološke klasifikacije formiraju se grupe delova čije se dimenzije kreću u određenim rasponima, a uz to imaju i sličnu tehnološku problematiku, što znači mogućnost primene istih alatnih mašina u njihovoj izradi;

(iii) Moraju se obezbediti organizacioni uslovi u kojima će se preduzeća specijalizovati u izradi određenih tehnoloških grupa delova uz mogućnost stalnog povišenja tehnološkog nivoa njihove izrade.

Dalje izlaganje ukazaće na mogućnosti rešenja zadatka tehnološkom klasifikacijom delova i tipizacijom tehnoloških procesa njihove izrade.

4.1. U nekim zemljama su već razrađeni sistemi jedinstvene tehnološke klasifikacije delova, a u nekima od njih oni su predmeti državnih standarda. Jedan od optimalnih jedinstvenih sistema tehnološke klasifikacije delova, može se predstaviti pomoću šeme na sl. 5.

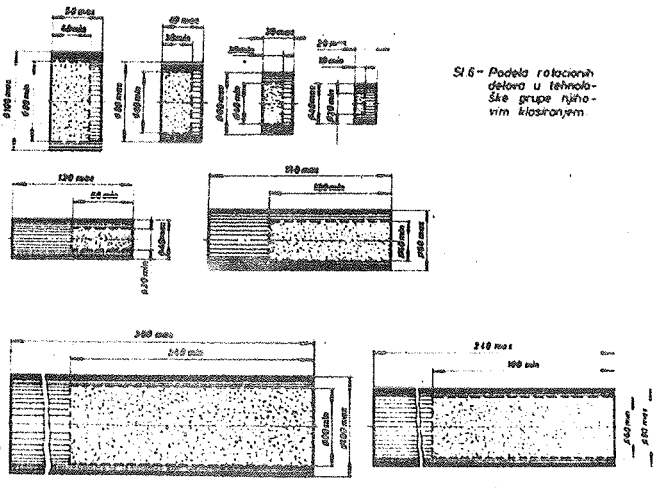


Sl. 5
Opšta šema tehnološke klasifikacije delova IAMA

Prema ovoj šemi svi delovi mašinskih konstrucija se dele na klase prema svom osnovnom obliku ili tehnološkim metodama izrade. Uzimanjem u obzir specifičnosti tehnološke problematike pri njihovoj izradi, delovi se dalje dele na podklase. Najzad, podelom delova prema njihovim opštim dimenzijama i vrstama materijala, delovi se dele na familije i konačno na tehnološke grupe. Klasiranje delova se vrši upisivanjem odgovarajućih kodova u skupinu od 10 decimalnih mesta. Za oznaku klase predviđena su dva decimalna mesta, podklase četiri, familije dva i grupe dva.

4.2. Pri tehnološkoj klasifikaciji rotacionih delova, tj. delova koji se obrađuju na strugovima odvajanjem strugotine, mogu se primeniti različiti kriterijumi za njihovu podelu na klase. Jedna od njihove najčešće podele na klase je podela na diskove (odnos dužine i prečnika $L/D \leq 0{,}5$) i kratke rotacione delove sa odnosom $0{,}5 < L/D \leq 3$. Ako se dalje ovi delovi podele prema njihovim prečnicima na familije po sledećim kriterijumima: D = 0 - 20, 20 - 40, 40 - 60, 60 - 80, 80 - 100 itd. onda se njihove konturne dimenzije mogu predstaviti na sl.6.

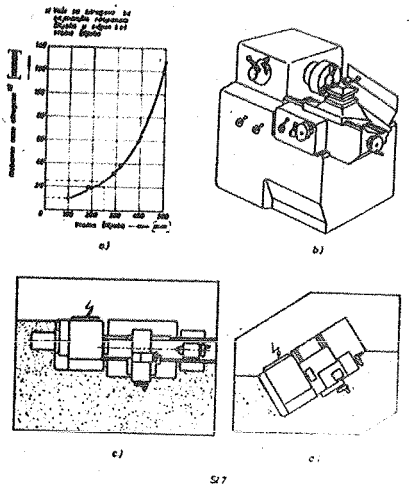
Razume se da se intervali podele delova na familije prema njihovim prečnicima mogu izabrati i drugačije. Međutim, bitno je da se ovak-



Sl 6- Podela rotacionih delova u tehnološke grupe njihovim klasiranjem

vom podelom delova na njihove familije i formiranjem unutar preduzeća, na osnovama tehnološke specijalizacije, linija za obradu određenih familija delova, stvaraju povoljni uslovi za optimiranje radnih mogućnosti alatnih mašina proizvodnim zadacima. Ova metoda vodi dalje ka stvaranju uslova za primenu metoda grupne i tipske tehnologije na jednom znatno višem tehnološko-organizacionom nivou. Ona stvara uslove za potpunu automatizaciju izrade delova u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji, odnosno uslove za stalno podizanje tehnološkog nivoa i u ovoj oblasti proizvodnje. Jedan od važnih rezultata ovog razvoja je njegov uticaj na oblikovanje alatnih mašina u cilju optimiranja njihovih radnih mogućnosti prema proizvodnim zadacima.

4.3. Na slici 7 prikazan je oblik struga prilagođen potrebama obrade familije delova 3 . Radne mogućnosti struga su optimirane potrebama obrade familija kraćih rotacionih delova i delova oblika diska.



Sl 7

Tehničko-ekonomske prednosti sprovođenja ovakve koncepcije tehnološke organizacije u izradi delova su očigledne. Na slikama 7c i 7d je prikazan odnos u potrebnim radioničkim površinama za postavljenje struga optimalnih dimenzija i jednog univerzalnog struga. Nadalje, dijagram na sl. 7a prikazuje cene nabavke strugova različitih visina šiljaka pri čemu je uzet njihov minimalni raspon za odgovarajuću visinu. Razume se da bi za strugove sa većim rasponima šiljaka kriva dijagrama bila još strmija.

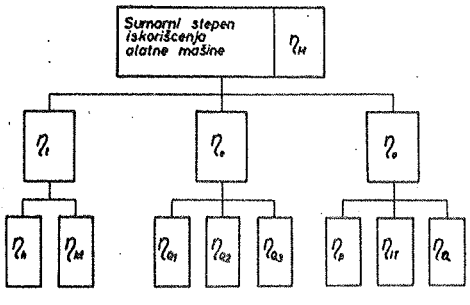
4.4. Ova razmatranja pokazuju u kojoj meri se, zbog postojeće tehnolo-

ške organizacije izrade delova mašinskih konstrukcija, izdaju veća sredstva za nabavku opreme u odnosu na moguće optimalne izdatke. Dalje, iz ovih razmatranja proizlazi i jasan put onih intervencija koje će otvoriti dugoročan proces značajnih snižavanja troškove izrade delova mašinogradnje. Ovaj proces će dovesti do potrebe veće proizvodnje manjih ili specijalnih sturgova. Naime, sigurno je da i u Jugoslaviji, kao i u zemljama u kojima su vršena izložena istraživanja, postoji sasvim dovoljno univerzalnih strugova velikih radnih mogućnosti. Popuna sa novim strugovima trebalo bi da se vrši uglavnom nabavkom manjih uz odgovarajuću preraspodelu postojećih.

Trasiranje ovih puteva racionalizacije proizvodnje, uslovljeno je tipiziranjem tehnoloških procesa izrade delova uz specijalizaciju njihove proizvodnje i uz odgovarajuće druge organizacione mere.

5. Prethodna izlaganja, a posebno zaključci u delu 4, ukazuju na potrebu formulisanja tehno-ekonomskih kriterijuma za ocenu kvaliteta tehnološko-organizacionih projekata pogona za izradu delova mašinskih konstrukcija. Zadatak je veoma složen, jer se metode tehnološkog projektovanja i izbor opreme za pogone masovne, velikoserijske ili pojedinačne proizvodnje, međusobno bitno razlikuju. Zato će se dalje izlaganje ograničiti na pogone predviđene za pojedinačnu i maloserijsku izradu delova.

Obzirom na mogućnosti koje su stvorene sa uvođenjem tehnološke klasifikacije delova za tehnološku integraciju preduzeća u izradi delova, a zatim na razvoj novih metoda tehnološke pripreme proizvodnje kroz primenu tipizacije tehnoloških procesa, bitna komponenta za ocenu kvaliteta tehnološko-organizacionih projekata pogona za izradu delova mašinskih konstrukcija u maloserijskoj i pojedinačnoj izradi, odnosno za ocenu opšteg tehnološkog nivoa u razvoju industrijske grane kao celine, mogla bi biti sadržana u razmatranju vrednosti "sumarnog stepena iskorišćenja alatne mašine".
Sumarni stepen iskorišćenja alatne mašine je rezultat vrednosti više parcijalnih njegovih komponenti koje su šematski predstavljene na sl. 8.



Sl.8

Komponentni stepeni iskorišćenja alatne mašine su definisani uzimanjem u obzir mogućnosti koje pruža tehnološka klasifikacija delova i specijalizacija njihove izrade, na optimiranje radnih mogućnosti koje ovakav razvoj pruža za opšte podizanje produktivnosti u izradi delova. Parcijalni stepeni iskorišćenja se računaju po obrascima:

$$\eta_t = \eta_h \cdot \eta_{kt} \qquad (1)$$

η_t - stepen vremenskog iskorišćenja alatne mašine.

$$\eta_h = \frac{\Sigma T_{mi}}{T_{op}} \quad (2)$$

η_h - stepen opterećenja alatne mašine proizvodnim zadacima. On definiše u kojoj meri je bila opravdana nabavka i instalacija mašine u nekom pogonu.

T_{mi} - stvarni broj sati aktivnog rada mašine u toku godine na izradi pojedinih serija delova.

T_{op} - optimalan broj radnih sati opterećenja mašine u toku godine. Za rad u dve smene obično se uzima za T_{op} = 4000 MČ.

$$\eta_{ki} = \frac{\Sigma t_{gi}}{\Sigma (t_{gi} + \Delta t_{pi})} \quad (3)$$

η_{ki} - stepen kvaliteta tehnološkog projekta za operaciju koja se obavlja na datoj alatnoj mašini. Ovim stepenom se karakteriše kvalitet pripreme mašine, alata i pribora za obavljanje određene operacije. Na pr. korišćenje sredstava male automatizacije, alata sa većim učinkom i sl.

t_{gi} - glavno (mašinsko) vreme izrade pojedinih serija delova u toku godine.

Δt_{pi} - višak pomoćnog vremena u odnosu na optimalno pri izradi pojedinih serija delova u toku godine.

$$\eta_e = \eta_{a_1} \cdot \eta_{a_2} \cdot \eta_{a_3} = \frac{(K_r + a_1 K_d)^2 \cdot K_p \cdot K_s^{1-y_1}}{(K_r + a_1)(1 + a_1 K_d)} \quad (4)$$

η_e - prema prof. Stankoviću /1/, je eksploatacijski stepen iskorišćenja alatne mašine.

η_{a_1} - stepen iskorišćenja alatne mašine zavisan od faktora njenog dimenzijskog iskorišćenja.

η_{a_2} - stepen iskorišćenja alatne mašine zavisan od faktora njenog režimskog iskorišćenja.

η_{a_3} - stepen iskorišćenja alatne mašine zavisan od faktora njenog energetskog iskorišćenja.

$a_1 = t_{pl}/t_{gl}$ - odnos stvarnog pomoćnog vremena prema stvarnom glavnom

K_d - faktor dimenzijskog iskorišćenja alatne mašine

K_r - faktor režimskog iskorišćenja alatne mašine.

K_p - faktor energetskog iskorišćenja alatne mašine.

K_s - s/s_{max} odnos stvarnog prema maksimalnom posmaku noža

y_1 - konstanta zavisna od materijala.

$$\eta_p = \frac{\Sigma K_i \cdot Q_{oi}}{\Sigma Q_{pi}} \quad (5)$$

η_p - stepen iskorišćenja pomoćnog pribora alatne mašine.

Q_{pi} - godišnji fiksni troškovi vezani za nabavku i održavanje pojedinih pomoćnih pribora.

k_i - koeficijent dobijen deljenjem broja radnih sati za koje vreme je pomoćni pribor alatne mašine bio u upotrebi, sa brojem 4000 odnosno optimalnim brojem sati rada mašine u toku godine.

$$\eta_{IT} = \frac{Q_{ITop}}{Q_{ITst}} \qquad (6)$$

η_{IT} - stepen iskorišćenja tačnosti alatne mašine pri obradi delova.

Q_{ITop} - godišnji troškovi nabavke i održavanja alatne mašine optimalne tačnosti obrade.

Q_{ITst} - godišnji troškovi nabavke i održavanja raspoložive alatne mašine.

$$\eta_a = \frac{Q_{po}}{Q_{ps}} \qquad (7)$$

η_a - stepen optimiranja troškova instalacije alatne mašine

Q_{po} - godišnji troškovi izgradnje radioničkih površina, elektroinstalacija i sl, za optimalnu alatnu mašinu.

Q_{ps} - godišnji troškovi izgradnje radioničkih površina, elektroinstalacija i sl, za raspoloživu alatnu mašinu.

Pomoću jednačine (8), uz korišćenje veličina koje se pojavljuju u jednačinama (2), (5), (6) i (7), može se izračunati godišnje povećanje troškova (q′) raspoložive u odnosu na optimalnu alatnu mašinu svedeno na jedan radni sat eksploatacije alatne mašine.

$$q' = [(Q_{ITst} + Q_{ps} + \Sigma Q_{pi}) - (Q_{ITop} + Q_{po} + \Sigma K_i Q_{pi})] \frac{1}{\Sigma T_{mi}} \qquad (8)$$

Odnosno u godišnjem iznosu

$$q = q' \Sigma T_{mi} \qquad (8')$$

Pomoću vrednosti za q izračunate po jednačini (8′) može se definisati:

$$\eta_o = \frac{Q_{ITop}}{Q_{ITop} + q} \qquad (9)$$

η_o - ekonomski stepen optimalizacije alatne mašine proizvodnim zadacima

Koristeći izneta razmatranja i zaključke po jednačinama (1), (4) i (9) moguće je definisati sumarni stepen iskorišćenja alatne mašine pomoću jednačine (10) koja bi se u ovom obliku mogla primeniti na strugove.

$$\eta_M = \eta_t \cdot \eta_e \cdot \eta_o \qquad (10)$$

Zaključak

Ocena kvaliteta tehnoloških projekata pogona za izradu delova mašinskih konstrukcija, odnosno nivoa organizacije njihove izrade, pomoću analize vrednosti jednačine (10), može imati veliki praktičan značaj.

Ove vrednosti mogu ukazati na puteve iznalaženja novih tehnološko-organizacionih metoda koje treba da vode snižavanju troškova u pojedinačnoj i maloserijskoj izradi delova mašinskih konstrukcija. Za rešavanje ovih zadataka od velikog značaja je dalja teorijska razrada i primena metoda grupne i tipske tehnologije.

L I T E R A T U R A

1 P. Stanković, Eksploatacijski stepen iskorišćenja mašina alatki za obradu rezanjem - Zbornik saopštenja I Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd 5-7.10. 1965. godine.

2 Dipl.Ing.Galland, Entwicklung einer Werkstückbeschreibenden Systemordnung zur Kostensenkung in der Kleinserien - und Einzelfertigung. Disertation, TH Aachen 1964.

3 Dipl.Ing.Galland, Werkstücksystematik und Teilefamilienfertigung. Industrie-Anzeiger Nr. 37 (1963.) Essen.

4 H. Opitz, Klassifizierungssystem. Industrie-Anzeiger, Nr 103 (1965)

5 S.M.Urošević, Prilog studiji izgradnje jedinstvenog sistema tehnološke klasifikacije delova - IAMA, Beograd 1966. godine.

6 Koloc, Praha, Technologisches Konzept der Werkzeugmaschine. Kongres u Leipzigu od 9-11. 3. 1966. godine.

S.M.Urošević

Der Rückblick auf die Möglichkeiten der Entwicklung der Werkzeugmaschinen für die Bedürfnissen Einzel und Kleinserienfertigung

In den Entwicklungswegen die zur Senkung der Produktionskosten in der Einzel - und Kleinserienfertigung führen sollen, zeichnen sich aus: (i) die neue Methode der technologischen Vorbereitung, der Planung und der Produktionssteuerung, und (ii) die Entwicklung der neuen Konstrucktionen der Werkzeugmaschinen, der Zubehören und der Werkzeugen mit dem Ziele der Optimierung ihrer Nutzungsgrade.
Wenn die Ergebnisse der Entwicklung der technologischen Teileklassifizierung, beziehungsweise der Typisierung der technologischen Prozesse, die Möglichkeiten für die Entwicklung der neuen Formen der Werkzeugmaschienen geschaffen haben, ihre Anpassung an die Fertigungsaufgabe wird möglich.
Für die Schätzung des Grades der Anpassung der Werkzeugmaschine an die Fertigungsaufgabe und des technologischen Niveaus der Maschinenbauteilefertigung, die Nutzung "der summarischen Nutzungsgrades der Werkzeugmaschinen" vorgeschlagen ist.

M. Savić - A. Mora *)

KONCEPCIJE FAMILIJA STRUGARSKIH MAŠINA I NJIHOVA PROIZVODNJA U VELIKIM SERIJAMA NA PRINCIPIMA GRUPNE TEHNOLOGIJE **)

1. Uvod

Fabrika alatnih mašina i zupčanika "Potisje" u Adi, stvorena u 1947. godini počela je da se bavi proizvodnjom univerzalnih strugova. Prvi pokušaji (u pr[illegible]nim zanatskim radionicama) proizvodnje strugova datiraju još iz tridesetih godina kada je u predratnim uslovima nastala konjuktura na tržištu alatnih mašina. Budući da je novoosnovano preduzeće neposredno posle rata bilo locirano na ovom mestu, a radnici su bili oni isti koji su radili kod bivših privatnih zanatlija, onda je sasvim prirodno što je i proizvodna orijentacija preduzeća ostala uglavnom ista.

U to vreme proizvodio se samo jedan jedini tip univerzalnog struga. Ovaj prvi proizvod obzirom na tadašnji kadar, opremu i ostale uslove imao je, prirodno, nedostataka kako u samoj konstrukciji, tako i u pogledu kvaliteta izrade. Prvih desetak godina prošlo je u neprekidnoj napornoj borbi za poboljšanje konstrukcije i kvaliteta izrade navedenog tipa uz istovremene pokušaje širenja asortimana na polju strugarskih mašina. Iz tog perioda datira i pokušaj stvaranja familije strugarskih mašina koja se sastojala iz dva tipa univerzalnih strugova AP-2 i AP-3, produkcionog struga PB-1 i revolver-struga sa horizontalnom revolverskom glavom RV-1. Pokušaj stvaranja familije na ovakav način nije doživio uspeh iz više razloga. Između ostalog neuspehu su doprineli i sledeći faktori: nedovoljan kvalitet konstrukcije, nepostojanje tesne saradnje konstruktora, tehnologa i proizvođača, nizak tehnički nivo i brojna nedovoljnost kadrova, kao i čitav niz drugih. Bez obzira na ove pokušaje uvođenja novih tipova, preduzeće uspeva iz godine u godinu da kvantitativno poveća proizvodnju dva svoja osnovna stara tipa: US-1 i US-51 uz neprekidno poboljšanje kvaliteta konstrukcije i izrade, a da se u kasnijem periodu pojave još dva člana porodice, US-2 i US-22. Od navedenih tipova familiju sačinjavaju US-1; US-2 i US-22, dok je US-51 potpuno nezavisan i nije obuhvaćen u familiji.

Kao što se vidi iz ovog uvodnog dela, određena težnja za stvaranje familija postojala je i ranije i ostvarivala se s manjim ili većim uspehom.

2. Osnovne postavke

Zahtevi tržišta kao skup elemenata koji nastaju aritmetičkim sabiranjem pojedinačnih zahteva, mogu da posluže projektantu neke određene

---

*) (1-4) Mirko Savić, dipl.inž., šef odeljenja za razvoj konstruk.
**) (5-10) Andreš Mora, dipl.inž., tehnički direktor FAMiZ "Potisje" Ada
Saopštenje iz Fabrike alatnih mašina i zupčanika "Potisje" Ada

alatne mašine tek kada prođu izvesnu analizu. Kako će davalac projektnog zadatka doći do zahteva tržišta i na koji način će "filtrirati" iste, nije predmet ovog saopštenja. Međutim, vrlo je korisno i interesantno razmotriti rezultat jedne ovakve analize, jer se kao rezultat pojavljuju potrebe tržišta za određenim proizvodima.

Ako se zadržimo u domenu strugarskih mašina, onda se zahtevi tržišta mogu sasvim sigurno svesti na sledeće tri grupe:

1. - Horizontalni uzdužni strugovi,
   - Horizontalni poprečni strugovi;

2. - Vertikalni uzdužni strugovi,
   - Vertikalni poprečni strugovi;

3. - Specijalni zahtevi.

Pod brojem tri je sve ono što se ne može obuhvatiti u okvire navedene pod brojevima 1 i 2. S druge strane zahtev tržišta ide svakako i u smislu pokrivenja određenog dimenzionog dijapazona.

Sem dosada navedenog, kupac postavlja zahtev u pogledu pogonskih karakteristika, stepena automatizacije i naravno, cene. Posvetimo posebnu pažnju jednoj od 3 grupe mašina. Neka to bude prva grupa, što je i prirodno, s obzirom na poreklo ovog rada. Grupu horizontalnih strugova daljim raščlanjavanjem razbijamo na:

- univerzalne strugove,
- produkcione strugove,
- poluautomate,
- automate,
- revolver-strugove.

Nažalost, zahtevi i informacije ne potiču direktno od budućih krajnjih korisnika, već preko niza posrednika. Od broja i stručnosti posrednika zavisiće i sama vrednost primljene informacije.

Isključimo li za trenutak određenu grupu kupaca koji se bave specijalizovanom proizvodnjom u metaloprerađivačkoj industriji, tada se sasvim slobodno može tvrditi da je opšta težnja za nabavkom takvih mašina, koje pokrivaju što širi dimenzioni dijapazon, a čije pogonske karakteristike dozvoljavaju ekonomičan režim obrade za najrazličitije metale (silumin, liveno gvožđe itd.). Na konstruktoru ostaje, da se na osnovu postojećih zahteva odluči za:

- pojedinačnu konstrukciju,
- familiju u određenim dimenzionim dijapazonima za jedan određeni tip mašine.
- familiju u jednom jedinom dimenzionom dijapazonu, ali za razne tipove mašina i
- kombinacija poslednja dva stava.

Pojedinačna konstrukcija određenog tipa mašine i za jedno dimenziono područje, bilo po prečniku bilo po dužini (visina i raspon šiljaka), dolazi u obzir samo izuzetno, u slučaju da se radi o usko specijalizovanim kupcima.

Posmatrano strogo sa naučno-tehničkog stanovišta, jedino stvaranje pojedinačne konstrukcije je potpuno opravdano, ali na taj način napuštamo oblast univerzalnih mašina i prelazimo na specijalne mašine.

Obzirom na vreme potrebno za stvaranje (projektovanje) jedne familije istovrsnih mašina za određenu dimenzionu oblast došlo se na ideju da se ovakav rad olakša tipizacijom ne samo pojedinih delova u okviru jedne familije, nego i čitavih sklopova. Vremenom ovaj metod prerasta u takozvani "baukasten" sistem gradnje koji se primenjuje i u domenu univerzalnih i produkcionih strugova.
Svakako da bi uspešna kombinacija ovakvog načina i predhodnog bila najcelishodnija, mada i za istu ima izvesnih sasvim ozbiljnih primedbi.

3. Konkretizacija

Uzimajući u obzir današnje stanje tehnologije obrade, raspoložive alate, i težnju savremene proizvodnje za neprekidnim povećavanjem produktivnosti, izlazi da su za stvaranje familije mašina najvažniji faktori:

1. ekonomična brzina rezanja,
2. veličina sile rezanja.

Usvoji li se za sve članove jedne familije konstantna sila rezanja, tada u slučaju da je to familija sastavljena od članova za istu dimenzionu oblast, ne nailazimo ni na kakve probleme pri dimenzionisanju delova. Ovo se daje jedino kao napomena da su delovi strugarskih mašina dimenzionisani ili na osnovu glavnog otpora rezanja (maksimalna sila) ili na osnovu torzionog momenta, pa pošto je i jedno i drugo isto za sve članove familije onda nema mesta dvoumljenju. U bilo kom drugom slučaju projektant i konstruktor nalaze se pod uticajem dve oprečne težnje: što potpunija tipizacija - što više zajedničkih delova - za sve članove familije kao i tačno dimenzionisanje delova prema opterećenju.

Zadovoljiti obe u isto vreme, a pod navedenim uslovima, nemoguće je. Preostaje jedino kompromis. Postavi li se uslov povećanja sile sa povećanjem dimenzionih karakteristika, tada se situacija još više komplikuje.

Eksploatacijski stepen iskorišćenja, definisan na I savetovanju, opravdava jedino stvaranje familija za isti dimenzioni dijapazon, a sastavljenih od raznorodnih mašina.

Faktori koji su u konkretnim slučajevima naveli projektanta na stvaranje familija sa mnogo zajedničkih sklopova i delova, bez obzira na eksploatacijski stepen iskorišćenja ~~ne~~ često se ne mogu opravdati drugačije već samo faktorima ekonomske prirode.

4. Familija strugova PA

Familija strugova kao što se vidi iz tabelarnog pregleda sastoji se prividno iz 5 članova dok se međutim u stvarnosti sastoji iz 9 članova, pošto se i tipovi PAK i PAP mogu javiti kao PAK-22, PAK-25 i PAK-30 (isto važi i za tip PAP)

PREGLED ZAJEDNIČKIH SKLOPOVA
FAMILIJE STRUGOVA TIPA „PA"

NAZIV SKLOPOVA	Tip mašine				
	PA 22	PA 25	PA 30	PAK	PAP
Postolje	isto	isto	isto	isto	isto
Vretenište [1]	isto	isto	isto	isto	isto
Norton	isto	isto	isto	isto	isto
Ključna ploča	isto	isto	isto	isto	isto
Kada	isto	isto	isto	isto	isto
Uređaj za hlađenje	isto	isto	isto	isto	isto
Suport [1]	isto	isto	isto		
Konjić [1]	isto	isto	isto		
El. uređaj	isto	isto	isto		
Pribor	isto	isto	isto		
Hidrokopir uređaj				isto	isto
Hidraulični konjić				isto	isto

[1] izuzev oslonca

Doda li se ovome i mogućnost izvedbe sa raznim rasponima šiljaka od 750 do 4000 mm, dobijamo vrlo veliki broj kombinacija.

U ovom tabelarnom pregledu nije obuhvaćena produkciona varijanta niti izvedba sa mostom.

Oznake date u pregledu znače:

PA - oznaka tipa familije
22, 25, 30 - visina šiljka u cm,
K - kopirna varijanta,
P - programirana varijanta

Iz prvog pregleda se vidi da je broj zajedničkih sklopova u svakom slučaju veoma velik.

U sledećoj tabeli za iste članove familije dat je tabelarni pregled br. zajedničkih delova.

PREGLED ZAJEDNIČKIH DELOVA
FAMILIJE STRUGOVA TIPA „PA"

TIP	Ukupan broj delova	Broj zajedničkih delova				
		PA22	PA25	PA30	PAK	PAP
PA 22	1090	1090	-	-	-	-
PA 25	1090	1062	28	-	-	-
PA 30	1090	1062	1	27	-	-
PAK	1314	1017	-	-	297	-
PAP	1394	1008	-	-	101	285

Ovde se vidi, da je čak i u najnepovoljnijem slučaju broj zajedničkih delova veći od 70% tj. svega oko 30% specijalnih delova ima programirana varijanta ako se uporedi sa osnovnom izvedbom.

Ovako veliki broj zajedničkih delova omogućuje tehnologiji da pristupa radu na principima grupne tehnologije bez većih poteškoća, jer je veličina serije već sama po sebi zavisna uglavnom od ukupne količine proizvodnih mašina.

5. Tehnološke prednosti proizvodnje familije strugova

Obrazovanje familija i proizvodnja alatnih mašina u familijama vrlo brzo je prihvaćeno od strane većih renomiranih proizvođača, što je i razumljivo jer različite zahteve kupaca - potrošača samo na osnovu ovakove konstrukcione koncepcije je moguće zadovoljiti. Jedino proizvodnja alatnih mašina u familijama može da bude toliko fleksibilna, da za relativno kratko vreme daje širok izbor kvalitetnih mašina.

Fabrika "Potisje" - Ada u svom proizvodnom programu ima familiju visokoproduktivnih strugova tipa PA. Na osnovu konstrukcionog rešenja ovog tipa postoji mogućnost za proizvodnju velikog broja strugova različite veličine i karakteristika. Postoje sledeće mogućnosti izvedbe:

a) visokoproduktivni univerzalni strugovi sa

- tri visine šiljaka,
- šest razmaka šiljaka,

- sa ugrađenim mostom i bez toga,

pored toga postoji mogućnost ugradnje elektromotora povećane snage i povećanog broja obrtaja. Teoretski se, dakle, strugovi tipa PA mogu proizvesti u 36 varijanti, dok sa obzirom na ugrađene snage i brojeve obrtaja, ovo se još 4 puta povećava. Koliko je tržište zainteresovano za ove mogućnosti izbora, pokazuje i činjenica, da su u 1965. godini prodati ovi strugovi u 15 varijanti;

b) produkcioni strugovi sa hidrokopirnim uređajima tipa PAK;
c) produkcioni strugovi sa hidrokopirnim uređajem i programiranim ciklusom tipa PAP.

Ovako širok asortiman strugova različite izvedbe je moguće proizvesti na bazi oko 1800 delova, od kojih ima oko 1000 zajedničkih, osim toga 400 standardisovanih.

Prednosti zajedničkih delova, zatim zajedničkih sklopova su očigledne: proizvodnja strugova u serijama od 50 kom. na ovaj način postoje ekonomična, kod velikog broja delova postoji mogućnost obrazovanja većih serija i postoje realne mogućnosti organizovanja protočne proizvodnje.

Razrada tehnološke dokumentacije pri proizvodnji familije znatno je uprošćena i skraćena.

6. Obrada sitnih i srednjih delova

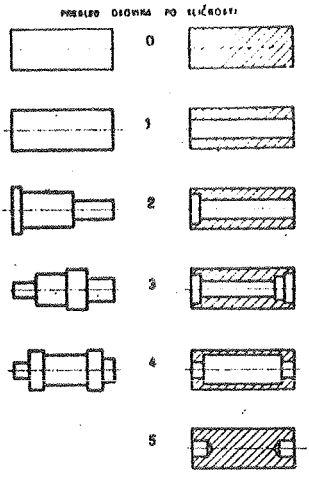
Pogon mehaničke obrade organiziran je na bazi linijske obrade. Stepen zatvorenosti ovih proizvodnih linija je dosta visok, tako da međulinijska kooperacija iznosi oko 5%. Na ovim linijama, obzirom na postojanje velikog broja zajedničkih delova, radimo na primeni grupne obrade, što će pored pojednostavljenja razrade tehnologije i smanjenja raznolokosti delova na radnim mestima, u mnogome doprineti povećanju produktivnosti radnih mesta. Podela pogona mehaničke obrade na proizvodne linije bila je uslovljena tehnološkom specijalnošću linije i veličinom serije grupno obrađenih delova. Na osnovu ovoga postignuta je specijalizacija proizvodnih linija: svaka linija ima svoj proizvodni program i plan obrade.

Pre formiranja proizvodnih linija izvršena je klasifikacija delova. Po usvojenom klasifikatoru i izvršenoj klasifikaciji dobiveni su sledeći rezultati:

Red. br.	K l a s a	Zbirna grupa	Broj delova	Ukupan br.delova
1.	Delovi sa rotacionim površinama	11	201	497
		12	159	
		13	97	
		14	7	
		15	34	

Red. br.	K l a s a	Zbirna grupa	Broj delova	Ukupan br. delova
		21	31	
	Delovi sa	22	1o	
2.	ravnim	23	18	131
	površinama	24	5o	
		25	22	
	Komplikovani	31	9	
	delovi sa	32	7	
3.	specifičnom	33	25	75
	obradom	34	9	
		35	25	
		41	21	
	Limeni	42	1o	68
4.	delovi	43	11	
		44	26	
	Standardi	51	181	
5.	normalije	52	84	318
		53	53	
	Svega:			1o9o

Na liniji zupčanika proizvodimo svega 97 delova, i to zupčanike, diskove i prstenove. Bez obzira na mali broj delova na ovoj liniji, s obzirom da su to delovi gde se troši dosta vremena obrade, opravdano je formiranje ove linije, i mašine su poređane po redosledu obrade izabranog predstavnika - tipskog zupčanika. Sastavni deo ove linije je i kontrolni punkt.



Sl. 3

Na liniji osovina proizvodi se 159 delova. Ovde se radi i glavno vreteno sa 26 operacija, ali i kratke osovinice sa svega 2-3 operacije. Raspored mašina i ovde odgovara redosledu obrade tipske osovine. Da bi prikazali uticaj primene linijske proizvodnje i grupne obrade na odabiranje potrebnih mašina za obradu, u daljem delu je dat pregled podele osovina po geometrijskoj i tehnološkoj sličnosti.

Na bazi ovakve podele pri klasificiranju, uzimajući u obzir oblik, dimenzije, materijal, potrebu termičke obrade i kvalitet obrade, dobivena je prikazana grupa osovina sa oznakom grupe 12241, prečnika Ø 32--6o, dužine 25o - 5oo mm. Broj delova u grupi je 17.

Na osnovu redosleda obrade po sl. 4 očito se vidi razlika u izboru potrebne mašine pri pojedinačnoj (i maloserijskoj) kao i pri serijskoj proizvodnji, gde sada pod

REDOSLED OBRADE OSOVINA SA IZBOROM PRIMENJENE MAŠINE

1. OZNAKA GRUPE: 12241
2. PREČNICI: Φ32 ÷ Φ60
3 DUŽINE : 250÷500
4. BROJ DELOVA U GRUPI: 17

REDOSLED OBRADE	IZBOR PRIMENJENE MAŠINE	
	ZA POJEDINAČNU PROIZVODNJU	ZA SERIJSKU PROIZVODNJU
PARČANJE SA DODATKOM ZA OBRADU	TRAKASTA TESTERA	TRAKASTA TESTERA
OBRADA ČEONE STRANE NA MERU I ZABUŠIVANJE KIRNERA SA OBA KRAJA	UNIVERZ. STRUG	SPEC.MAŠINA ZA ČEONO PORAVNANJE I ZABUŠIVANJE
STRUGANJE SPOLJNIH POVRŠINA GRUBO I FINO	UNIVERZ. STRUG	KOPIRNI STRUG
STRUGANJE UREZA	UNIVERZ.STRUG	UNIVERZ. STRUG
GLODANJE ŽLJEBA ZA KLIN	VERTIKALNA GLOD.	GLODALICA ZA ŽLJEBOVE
GLODANJE ŽLJEBASTOG PROFILA	UNIVERZALNA GLOD.	ODVALNA GLOD. ZA GLODANJE ŽLJEBOVA
BUŠENJE OTVORA	JEDNOVRETENA BUŠILICA	JEDNOVRETENA BUŠILICA
REZANJE NAVOJA NA KRAJEVIMA OSOVINE	UNIVERZ. STRUG	SPEC.MAŠINA SA UREĐAJEM ZA REZ. NAVOJA
ISPRAVLJANJE POSLE TERM. OBRADE	RUČNA PRESA	MAŠINA ZA ISPRAVLJANJE
BRUŠENJE SPOLJNIH POVRŠINA	BRUSILICA ZA SPOLJNO BRUŠ.	BRUSILICA ZA SPOLJNO BRUŠ.
BRUŠENJE ŽLJEBOVA	BRUSILICA ZA ŽLJEBOVE	BRUSILICA ZA ŽLJEBOVE POLUAUTOMAT.

Sl. 4

serijskom proizvodnjom podrazumevamo linijsku proizvodnju grupnom obradom. Odmah treba napomenuti da, ukoliko nisu postojale potrebne mašine za ovakvu serijsku proizvodnju, iste su ili adaptirane ili modernizovane, pri čemu je za osnovu poslužila neka od postojećih univerzalnih mašina.

Na ovaj način stvoreni su idealni uslovi za primenu metode grupne obrade, za adaptiranje nekih mašina za obradu određenih delova. Serijska proizvodnja iziskuje upotrebu velikog broja zajedničkih delova, troškovi opremanja znatno su sniženi. Veličina ovih troškova, zatim stepen opremljenosti ovih osnovnih tipova prikazani su u sledećoj tabeli:

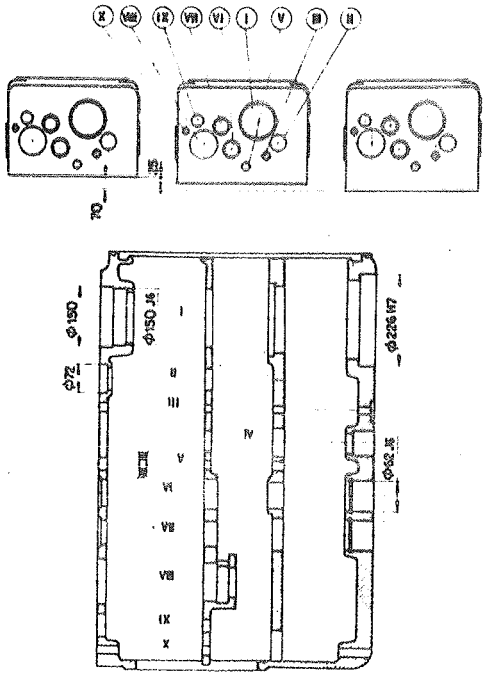
Tip mašine	PA-22	PA-25	PA-3o	PAK	PAP
troškovi alata	1oo%	1o%	18%	52%	42%
stepen opremljenosti	0,6o	0,6o	0,60	o,62	o,55

Kao što se vidi, približno isti stepen opremljenosti je postignut sa znatnim uštedama kod naredних izvedbi u familiji. To je naročito bitno kod najnovijeg tipa programiranog struga PAP, gde bi troškovi opremanja alatima i uređajima bili više nego dvostruki u odnosu na sada postignute troškove.

7. Obrada kapitalnih delova

Vreteništе je jedno od najkomplikovanijih i najvažnijih delova alatne mašine. Kao što je na sl. 5 prikazano, kod familije strugova PA odlivak vreteništa se razlikuje samo po visini, dok je raspored otvora identičan, što se vidi i na razvijenom preseku vreteništa.

Ovakovo konstrukciono rešenje omogućava primenu iste mašine, istog tehnološkog postupka, primenu istih alata pri obradi s tom razlikom što visinsku razliku od 25 odnosno 7o mm treba kompenzirati odgovarajućim podmetačima.



Sl. 5

Postolje (krevet) kod familije strugova razlikuje se samo po tome da li je sa ugrađenim mostom ili bez toga, kao i po svojoj dužini, ali u svakom slučaju je pregib kliznih prizmi ostao isti pa se mogu obrađivati istim postupkom i kontrolisati istim kontrolnim instrumentima.

Kod oba navedena primera potrebne stezne, rezne i merne alate treba samo jedanput rešiti i ovo rešenje je potpuno primenljivo za sve varijante.

8. Pogon montaže

U pogonu montaže isto tako preovladava predmetno - tehnološka specijalizacija. Najlepše rezultate od koncepcije proizvodnje mašina u familijama upravo u fazi montaže možemo očekivati. Na specijalizaciju pojedinih montažnih brigada utiče činjenica, što je veliki broj sklopova (sl. 1) potpuno identičan, odnosno sličan kod svih članova familije, i na osnovu ove sličnosti postoji mogućnost za specijalizaciju. U montaži PA strugova učestvuje lo brigada, od kojih su neke postigle tehnološku specijalizaciju

(npr. farbari, tušireri), a druge predmetnu specijalizaciju
(npr. monteri vreteništa, nortona itd)

Na osnovu ovoga odlučili smo se za organizovanje montaže po unapred utvrđenom taktu napredovanja mašina u liniji montaže. Danas je termin tog takta tri dana, s tim što će pri konačnoj organizaciji protočne proizvodnje taj takt iznositi jedan dan sa veličinom dnevne serije od 3 kom.

9. Veličina serije i programiranje proizvodnje

Činjenica je da česta promena delova za obradu na radnim mestima loše utiče na produktivnost rada, kvalitet obrade delova, kao i ciklus obrade. Osnovni zadatak programiranja se sastoji u tome, da ove neželjene ali neizbežne pojave svede na minimum. Različite izvedbe strugova lansiraju se u okviru iste serije, tako npr. u okviru serije od 5o kom strugova ima:

PA-22/75o	bm 5 kom	PA-3o/15oo	bm 6 kom
"	sm 6 "	PA-22/15oo	sm 8 "

PA-22/1000	bm	4 kom		PA-30/1500	sm 6 kom
"	sm	4 "		PA-30/2000	sm 5 "
PA-22/1500	bm	4 "		PA-30/4000	bm 2 "

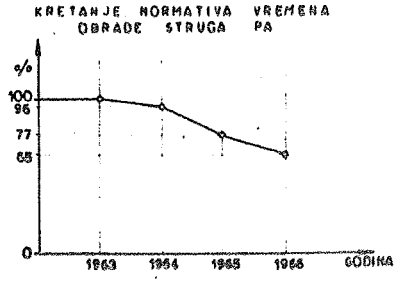
Svi delovi struga se ne lansiraju po istoj veličini serije. Proračunato je ili je određeno na bazi dugogodišnjeg iskustva odgovarajući broj komada u seriji za grupe i podgrupe klasificiranih delova, tako da mašinska obrada dobije naloge za proizvodnju delova:

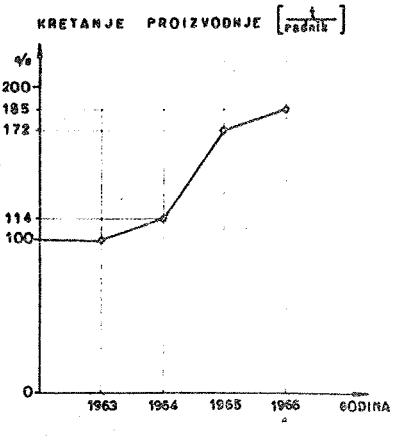
- za dnevnu potrebu,
- za nedeljnu potrebu,
- za mesečnu potrebu,
- za kvartalnu, polugodišnju i godišnju potrebu.

Ovakvo tretiranje problema veličine serije važno je i zbog drugog razloga: broj operacija na delovima jako je različit i usljed toga je ciklus obrade različite dužine. Pogodnim kombinovanjem veličine serije i termina postiže se znatno skraćenje proizvodnog ciklusa, što je u konkretnoj fabrici po uvođenju ovog načina programiranja smanjeno na 45% u odnosu na period pre primene ovog sistema.

10. Zaključak

Predmet ovog saopštenja je iznošenje nekih problema organizacije proizvodnje familije strugova u velikim serijama.





U koliko bi želeli odrediti karakter ove proizvodnje, treba da pođemo od toga, da proizvodni program nije širok, nego se mali broj tipova proizvodi u velikim količinama. Prema tome realizovani su određeni elementi velikoserijske proizvodnje, ali i obzirom na veličinu fabrike i broj proizvodnih strugova može se govoriti samo o protočnoj proizvodnji. Realizovani elementi protočne proizvodnje su:

- proizvodi se jedna familija strugova,
- izvesni delovi rade se u serijama za godišnju, polugodišnju itd. potrebu,
- postoje predmetno - specijalizovane linije,
- postoje specijalizovana radna mesta za obradu istih delova, sklopova,
- montiranje podsklopova javlja se po istom taktu, što je doprinelo formiranju specijalizovanih brigada,
- na velikom broju radnih mesta operacije se ponavljaju po određe-

nom taktu .

Dalji razvoj organizacije rada usmeren je ka potpunom ostvarenju protočne proizvodnje, putem primene grupne obrade, usavršavanja sistema terminiranja i daljom specijalizacijom proizvodnih linija i radnih mesta.

Ovakva organizacija proizvodnje je našla svoje opravdanje kroz rezultate koji su poslednjih godina postignuti.

Na sl. 6 dat je prikaz nekih pokazatelja, koji u punoj meri dokazuju ispravnost orijentacije fabrike.

L I T E R A T U R A

1 Dr Ing.P.Stanković: Eksploatacijski stepen iskorišćenja mašina alatki za obradu rezanjem (I Savetovanje proizvodnog mašinstva, Beograd).

2 Voigtländer H: Methode der gruppenfertiegung in der Montage des Maschinenbaus. Fertiegungstechnik und Betrieb 3/1964. str.146.

M. Savić - A. Mora

Conception of Lathe Families and their Large Batch Production Based on Principles of Group Technology

Lathes belonging to the PA family are produced on lines and assembled in the erecting shop with a determined displacement pattern. Thus every production line constitutes a closed working cycle with a certain amount of cooperation between lines. Assembling is accomplished by the team system, where there exists either technological specialization (scrapers, painters) or object specialization (fitters of nortons, mandrelstocks, supports, etc.).

Production of families of lathes makes posible the organization of production with large batch characteristics:

- one family of lathes produced
- certain parts produced on half-year or one year requiremant basis
- a certain specialized working cycle existing
- a great number of working places specialized for working on several objects
- in a great number of working places operations are repeated according to a fixed pattern

In a comparotively short time since production was organized according to this principle, from the begining stage remarkable results were achieved, decreasing the standard time necessary for working as well as increasing the overall production, the latter has been doubled without investmenta.

V. Milčić *)

IZRADA PODLOGA ZA NORMIRANJE I KORIŠTENJE PODATAKA O VREMENIMA TRAJANJA ELEMENATA RADA DOBIVENIH OD PROIZVOĐAČA STROJEVA **)

Mogućnost plasiranja proizvoda i borba za prestiž na domaćem i svjetskom tržištu, dovodi industriju svake zainteresirane nacije do problema sniženja cijene proizvoda, te do problema povećanja produktivnosti. Poznato je, da se cijene proizvoda formiraju na osnovu vrijednosti utrošenog materijala i vremena utrošenog na izradu, kao dva osnovna faktora. Budući da se kod izrade istih ili sličnih proizvoda cijene materijala za pojedine proizvođače ne razlikuju bitno, to se stepen proizvodnosti tvornice bazira na vremenu potrebnom za izradu proizvoda, pa će nas u daljem izlaganju interesirati samo problem vremena. Ovo vrijeme je nama poznato pod nazivom - norma - , preko koje se vrši nagrađivanje radnika za izvršeni rad, a često se zaboravlja da to nije glavna i jedina svrha određivanja vremena izrade, nego da nam je poznavanje tačnog vremena izrade neophodno i radi mogućnosti ispravnog planiranja, izrade predkalkulacija i za druge važne svrhe. Nacije koje su zainteresirane za očuvanje vlastitog tržišta, odnosno za prodiranje i osvajanje novog, nastoje da putem skraćenja vremena, potrebnog za izradu proizvoda, snize cijene svojih proizvoda. Budući da su strojevi, alati i naprave kojima se izvršioc rada služi pri izradi nekog određenog posla, od presudnog značaja za vrijeme koje će biti potrebno da se taj posao izvede, došlo je do prave utrke u usavršavanju sredstava za rad. Mnoga rješenja upravo iznenađuju svojom jednostavnošću, funkcionalnošću, mogućnošću spretnog rukovanja i postizavanjem izvanrednih brzina. Proizvođačima strojeva, naprava i alata je potpuno jasno, da su njihovi proizvodi glavna karika u rješavanju problema skraćenja vremena izrade. Oni nastoje otkriti novitete, a strani časopisi su puni reklama. Glavna je reklama međutim brzina, jer postići brzinu znači prodati proizvode odnosno osvojiti tržište. Da bi se taj krajnji cilj postigao, reklama mora imati i čvrstu osnovu. Mnogi inostrani proizvođači strojeva su došli do takove spoznaje, pa osim kataloga i prospekta svojih proizvoda, a na osnovu ispitivanja rada strojeva vlastite proizvodnje u vlastitim radionicama, izrađuju dijagrame odnosno tabele sa podacima o vremenima potrebnim za izvođenje pojedinih elemenata rada, operacija ili za izradu različitih proizvoda na njihovim strojevima. Pošto se ova vremena sastoje od nekoliko sastavnih elemenata, od kojih neki ovise samo o pravilnom korištenju stroja, dok na dužinu trajanja nekih znatno utječe organizacija rada radionice, proizvođači se najčešće ograničavaju na davanje samo onih podataka, koji su potpuno neovisni o organizaciji radionice, kako nebi došlo do neželjenih reklamacija i ne-

*) Vojislava Milčić, dipl.ing., asistent Visoka tehnička škola, Zagreb - Đure Salaja bb.

**) Saopćenje iz Visoke tehničke škole, Zagreb

godovanja. Međutim i ovakovi nepotpuni podaci mogu biti od velike koristi kupcima, jer im uklapanje dobivenih tačnih podataka o vremenima u vlastite podloge za normiranje znatno skraćuje vrijeme izrade ovakovih podloga.

Što su zapravo podloge za normiranje i čemu služe?
Podloge za normiranje jesu pomagala, u kojima su vremena trajanja pojedinih zahvata rada ili operacija, određena računskim putem ili snimanjem elemenata rada i statističkom analizom, prikazana na najpogodniji način, da posluže tehnologu - normircu za brzo i tačno određivanje vrijednosti pojedinih sastavnih elemenata vremena izrade, a na osnovu toga i norme za svaki posao, za koji je razrađen tehnološki proces.
Na koji način se mogu izraditi podloge za normiranje i kako mogu biti prikazani podaci vremena?
Da bi se dao odgovor na postavljeno pitanje, najprije se moramo ukratko osvrnuti na podjelu radova odnosno vremena potrebnih za izvođenje radova. Bez obzira na vrstu posla i radnog mjesta na kome se posao izvodi, ovi radovi odnosno vremena potrebna za izvođenje istih, dijele se na tri osnovna elementa vremena izrade, a to su:

- pripremno-završna vremena odnosno radovi,
- tehnološka vremena odnosno radovi i
- pomoćna vremena odnosno radovi.

Pošto se radovi mogu izvoditi na strojnim i ručnim radnim mjestima, to tehnološki i pomoćni radovi mogu biti: strojni, strojno-ručni i ručni prema tome da li je pri izvođenju istih zauzet samo stroj, dok je radnik slobodan (strojni radovi), da li posao izvode istovremeno i stroj i radnik (strojno-ručni radovi), ili radove izvodi radnik bez pomoći stroja (ručni radovi). Pripremno-završne radove izvodi radnik, pa su zahvati ovih radova uglavnom ručni.
Ovaj referat će u dalnjem izlaganju biti ograničen na izradu podloga za normiranje radova, koji se izvode na strojnim mjestima, tako da neće biti razmatrane sve navedene vrste vremena odnosno radova. Podloge za normiranje moraju sadržavati podatke za brzo određivanje svih sastavnih elemenata vremena izrade. Kod sastavljanja podloge postoje dva, u osnovi različita načina dobivanja podataka vremena, i to su:

- računskim putem i
- prikupljanjem podataka snimanjem

1.o. Izrada podloga za normiranje izračunavanjem podataka

Izračunavanjem podataka izrađuju se podloge za normiranje tehnoloških strojnih i nekih pomoćnih strojnih zahvata. Tehnološka strojna vremena obuhvaćaju sve vrste obrada materijala kod kojih rad izvodi automatika stroja. Vremena trajanja ovih radova moguće je izračunati uvrštavanjem poznatih podataka u određene formule, jer faktori, o kojima ovise vremena, stoje u izvjesnim međusobnim odnosima, koji se mogu izraziti pomoću formula.
Ako se kao primjer uzmu radovi na strojevima za obradu skidanjem strugotine, tehnološka vremena se za sve vrste obrada određuju po

osnovnoj formuli: $t_t = \frac{L}{n \cdot s}$ koja je u daljnjoj razradi za strojeve sa rotacionim kretanjem izražena formulom: $t_t = \frac{L \cdot \pi \cdot d}{1000 \cdot v \cdot s}$, gdje je L - dužina obrađivane površine (mm), d - promjer obrađivanog komada (mm), v - brzina rezanja (m/min), s - posmak (mm/okretaju), a za strojeve sa pravocrtnim kretanjem glasi: $t_t = \frac{B \cdot 2h}{v_m \cdot 1000 \cdot s}$, gdje je B - širina obrađivane površine (mm), h - hod (mm), v_m - srednja brzina (m/min), s - posmak (mm/hod).

Sve navedene veličine u oba slučaja osim obrađivanih dimenzija predstavljaju karakteristike, odnosno mogućnosti stroja na kome se obrada vrši. Znači da vrijeme trajanja obrade komada, osim nekih faktora koji nisu navedeni, ovisi o obrađivanim dimenzijama i pravilnom izboru režima rada. Radi što pravilnijeg korištenja strojeva, proizvođači strojeva u pravilu daju podatke o mogućim režimima rada. Neki daju nomograme za brzo odabiranje najpovoljnijih režima rada, no neki proizvođači izrađuju takozvane karte rada stroja, koje se postavljaju na strojeve, služe kako za što pravilnije korištenje strojeva, tako i za tačno određivanje tehnoloških strojnih vremena. Karte rada stroja su nomogrami, u kojima je međusobna zavisnost većeg broja promjenljivih veličina prikazana u koordinatnom sistemu sa logaritamskom mrežom. Pomoću ovih nomograma može se na osnovu odabranih vrijednosti režima rada, a po određenom ključu, brzo odrediti potrebno vrijeme. Kod izrade podloga za normiranje mora se, međutim, voditi računa o tome, da se nakon što je završen dugotrajan posao izrade podloga, dobiju takova pomagala, koja su jednostavna i svima lako shvatljiva. Ta pomagala služe za određivanje potrebnog vremena izrade, pa ih moraju shvatiti ne samo tehnolozi-normirci, nego i svaki izvršilac rada. Osim toga je važno da se dobiju pomagala, koja pružaju najmanju mogućnost grešenja pri upotrebi. Testiranja koja su izvršena na taj način, da su ljudima dani podaci prikazani na razne načine (formule, tabele, dijagrami i nomogrami), kojima su se morali služiti da bi odredili izvjesne podatke, pokazala su, da je najbrže i najtačnije određivanje pomoću tabela. Dok izračunavanje pomoću formula daje velike mogućnosti griješenja, dijagrami i nomogrami su teže shvatljivi, a naročito ako se radi o većem broju promjenljivih veličina. Radi toga najrasprostranjenije je tabelarno prikazivanje podataka, pa se i u literaturi najčešće mogu naći tabelarni prikazi tehnoloških strojnih vremena. Svaka tvornica može za svoje potrebe izraditi ovakove tabele, uzimajući u obzir karakteristike strojnog parka koji posjeduje. Kod izrade tabela treba, s obzirom na broj faktora, o kojima ovise tehnološka strojna vremena, voditi računa o tome, da se količina konačnih tabela svede na takav broj, da služenje njima bude spretno i jednostavno. Izradom jedne složene tabele, koja bi obuhvatila utjecaj svih faktora (obrađivani materijal i dimenzije, alat kojim se obrada vrši, kvaliteta obrađivane površine, režimi rada), koji utječu na trajanje vremena obrade, dobila bi se prekomplicirana tabela, no s druge strane se ne smije ići niti na preveliki broj jednostavnih tabela. Složene tabele koje obuhvaćaju do četiri varijable su se pokazale najpovoljnije u praksi. Izrada tabele sastoji se od izbora oblika odnosno sa-

stava same tabele s obzirom na sve navedene faktore, te od izračunavanja i unošenja podataka vremena u tabelu. Budući da se tabele ne mogu izraditi za sve moguće vrijednosti varijabilnih faktora, vrijednosti faktora koje će biti unesene u tabelu i za koje će biti izračunata vremena treba tako odabrati, da razlika između dvije susjedne vrijednosti vremena nije veća od 10 - 15%. O ovome treba voditi računa i radi toga, jer je kod određivanja vremena iz tabela u slučaju ovisnosti vremena o većem broju faktora, interpolacija vrijednosti otežana, pa se u slučaju nepostojanja traženih vrijednosti varijabli, očitavaju najbliže veće vrijednosti.

2.0. Izrada podloga za normiranje snimanjem podataka

Snimanjem vremena se određuju trajanja svih ručnih, strojno-ručnih i nekih strojnih zahvata. Ova snimanja se mogu provoditi različitim instrumentima za registraciju vremena od kojih je kod nas uvedena primjena kronometra, pa će se dalnja izlaganja odnositi na snimanja kronometrom. Cijeli posao izrade podloga na ovaj način se sastoji od slijedeće tri faze rada: 1. Snimanje radova na radnom mjestu, 2. Svrstavanje i analiza snimljenih podataka, 3. Izrada tabela ili dijagrama.

2.1. Snimanje radova na radnom mjestu

Način snimanja rada na radnom mjestu ovisi o vrsti promatranog rada. Dok se zahvati pomoćnih radova ponavljaju prilikom izrade svakog pojedinog komada u izradi serije, pa u toku cijelog snimanja mogu biti zabilježeni i više puta, zahvati pripremno-završnih radova se izvode prilikom pripremanja radnog mjesta za izradu nove serije izradaka, te u toku snimanja jedne pripreme mogu biti zapaženi samo jedan puta. Bitna razlika između ove dvije vrste zahvata zahtijeva drugačiji način snimanja i analize njihovih podataka. Za sva snimanja bez obzira na vrstu snimanih zahvata se međutim mora napomenuti, da se prilikom snimanja moraju zabilježiti podaci o vrijednostima svih faktora koji utječu na vrijeme trajanja zahvata. Ovi podaci se bilježe u snimački list. Budući da se tabele i dijagrami izrađuju u ovisnosti o broju i karakteristikama ovih faktora, svako snimano vrijeme uz koje nisu naznačeni i ovi podaci, neće moći biti korišteno.

2.1.1. Snimanje pripremno-završnih radova

Navedene radove sačinjavaju slijedeći elementi:

- preuzimanje dokumentacije i posla, upoznavanje s poslom, vraćanje nakon završne izrade,
- dobivanje specijalnog alata i potrebnih naprava ili uzimanje alata i naprava iz ormarića, predaja nakon završene izrade,
- postavljanje alata na stroj (namještanje i pritezanje), skidanje nakon završene izrade,
- postavljanje naprava na stroj (namještanje i pritezanje), skidanje nakon završene izrade,
- podešavanje st roja za određene režime rada itd.

Ovi zahvati prilikom pripremanja stroja za rad ne slijede jedan za drugim uvijek po istom redoslijedu, nego ovaj ovisi o načinu rada pojedinog radnika. Radi toga snimač prilikom snimanja pripremno-za-

vršnih radova mora osim očitavanja i bilježenja vremena trajanja zahvata, te procjene zalaganja radnika, u posebnu kolonu snimačkog lista ubilježiti kratak opis zahvata rada, koji se u snimanom momentu odvija. Ako se razmotre elementi rada, od kojih se sastoje pripremno-završni radovi, biti će jasno, da se oni u toku izvođenja jedne pripreme ne ponavljaju. Da bi se prema tome prikupio dovoljni broj podataka o vremenima trajanja pojedinih elemenata rada, čije će prosječne vrijednosti reprezentirati stvarno potrebna vremena za izvođenje tih elemenata rada, morat će biti izvršen veći broj snimanja istih ili sličnih radova koji se odvijaju pod djelovanjem istih faktora o kojima ovisi vrijeme.

2.1.2. Snimanje pomoćnih radova

Navedene radove sačinjavaju slijedeći elementi:

- uključivanje i isključivanje glavnog kretanja stroja,
- primicanje i odmicanje alata od određenog predmeta,
- izmjena komada na stroju,
- izmjena alata na stroju u toku izrade serije,
- kontrola određenog komada u toku izrade serije, i dr.

U ovisnosti o načinu obrade komada izvodi se veći ili manji broj spomenutih zahvata rada, a ovi se onda ponavljaju prilikom izrade svakog komada. Na koji način će se izvršiti snimanje ovih zahvata, ovisi o broju komada promatrane serije i o dužini trajanja ciklusa rada, pa postoje dva različita slučaja:

1. Kratki ciklus i veliki broj komada u seriji,
2. Dugi ciklusi i mali broj komada u seriji.

Snimanje trajanja pojedinih elemenata rada u slučaju snimanja radova sa kratkim ciklusima izvodi se na taj način, da se, u okviru jednog snimanja, snimi veći broj kompletnih ciklusa rada podijeljenih u zahvate. Na taj način se očitavaju jedinična vremena zahvata, koja se uz procjenu zalaganja radnika unose u snimački list, a iz svakog snimanja se dobiva veći broj očitanja trajanja istih zahvata rada.

U slučaju prikupljanja podataka na poslovima sa dugačkim ciklusima rada, a da bi se radno vrijeme snimača što bolje iskoristilo, snimanje se provodi na taj način, da snimač promatra samo onaj dio ciklusa koji želi snimati, dok za vrijeme trajanja dugačkog tehnološkog vremena odlazi do drugog radnog mjesta, na kome opet ima mogućnost snimanja pojedinačnih pomoćnih zahvata. Samo snimanje je nešto teže nego u prvom slučaju, jer osim vremena i procjene zalaganja snimač mora opisati i snimljeni zahvat rada, a u toku radne smjene je moguće prikupiti samo mali broj očitanja trajanja istih zahvata rada.

2.2. Svrstavanje i analiza snimljenih podataka

Da se prilikom izrade konačnih podataka za tabele i dijagrame ne bi moralo baratati velikim brojem snimačkih listova, snimljena vremena se unose u formulare koji se nazivaju List snimljenih vremena za operaciju-zahvat. Svrstavanje snimljenih podataka se vrši prema osnovnim vrstama radova, pa postoje Listovi snimljenih vremena za operaciju-zahvat za pripremne-završne radove i za pomoćne radove. Unutar

navedenih grupa postoji detaljnije svrstavanje podataka i to prema:

1. faktorima koji utječu na vrijeme trajanja elemenata rada
2. sadržaju snimljenog zahvata rada

Iako se kod svrstavanja pripremno-završnih vremena mora voditi računa o slijedećim faktorima: - vrsta obrade odnosno vrsta stroja na kome se posao izvodi, - veličina stroja na kome se posao izvodi, - kompliciranost posla, - broj alata kojima se izradak obrađuje, - vrsta primjenjenih naprava. Kod svrstavanja pomoćnih radova se uvode posebni Listovi snimljenih vremena za pojedine zahvate kao npr: - izmjena komada na stroju, - pomjeranje alata, - izmjena alata na stroju, - kontrola i dr.

Nakon što je prikupljen dovoljan broj podataka o pojedinom elementu rada, a koji zadovoljava uobičajene granice preciznosti izračunavanja ± 5% uz 95% vjerovatnosti, pristupa se određivanju prosječnog vremena trajanja zahvata, odnosno analizi podataka. Ovdje se mora uočiti da postoje dvije vrste podataka, koje zahtijevaju različiti postupak pri analiziranju. Prvu grupu predstavljaju konstantni podaci, odnosno vremena zahvata na koje utječe samo jedan faktor, a to je način na koji se rad izvodi. U ovu grupu radova [redacted] npr. uključivanje stroja u rad i isključivanje - pritezanje i otpuštanje alata sa stroja idr., jer se navedeni elementi rada na određenom tipu stroja vrše uvijek na isti način. Američki autori u ovu grupu zahvata uključuju sve pomoćne ručne zahvate (ovo, jasno, samo u slučaju podataka vremena izrade malih serija). Analiza konstantnih podataka vremena se vrši na taj način, da se sva snimljena vremena jednoga zahvata grupirana u razrede jednakih vrijednosti podataka unesu u formular koji se naziva list za analizu vremena. Ovako svrstani podaci omogućavaju daljnju statističku analizu te izračunavanje prosječnih vrijednosti procjene zalaganja i vremena koja će nakon korekcije sa koeficijentima dodatnog vremena ući u definitivne podloge za normiranje. Drugu grupu podataka sačinjavaju vremena onih zahvata rada koji ovise o nekim varijabilnim faktorima. Tako npr. vrijeme stezanja komada na stroj u određenu steznu napravu ovisi o težini komada i stabilizaciji radnog mjesta. Analiza ovih podataka se vrši pomoću dijagrama u kome su na apscisi vrijednosti jedne varijable (obično nezavisne), u našem primjeru težine komada, a na ordinati vrijednosti druge varijable (obično zavisne), u primjeru vrijeme trajanja stezanja komada u određenu steznu napravu uz definitivnu stabilizaciju radnog mjesta. Pojedina snimljena vremena su u dijagramu prikazana tačkama. U slučaju postojanja veza između varijabli, tačke su u dijagramu raspoređene tako, da se kroz njih može od oka povući pravac ili krivulja. Ovim pravcem, odnosno krivuljom, su predstavljene promjenjive aritmetičke sredine niza vrijednosti. Tačnije rješenje daje analiza regresije određivanjem jednadžbe krivulje izračunavanjem. Na taj način se iz dijagrama mogu odrediti vrijednosti zavisne varijable za svaku željenu vrijednost nezavisne varijable. Ovi podaci korigirani sa koeficijentima dodatnog vremena ulaze u izradu definitivnih podloga za normiranje.

2.3. Izrada tabela ili dijagrama

Sam način izrade pojedinih vrsta pomagala je opsežna materija, pa su ovdje spomenuti samo momenti koji su važni pri izradi podloga za normiranje. Da bi se podaci vremena pojedinih zahvata rada, koji su određeni analizom snimljenih vremena prikazali na način najprikladniji za primjenu, mora se za svaki specifični slučaj najprije odabrati forma prikazivanja. Kao i kod prikazivanja tehnoloških vremena, treba odabrati način prikazivanja, koji je najpovoljniji za jednostavno i brzo odredivanje vremena, a koji će biti svima shvatljiv i pružati najmanju mogućnost grješenja pri upotrebi. Kod odredivanja podloga za normiranje za serijsku proizvodnju, povoljno je prikazati vremena kompleksa zahvata tj. sumirana vremena svih zahvata koji se uvijek zajedno izvode. Prednosti ovakovih podloga jesu:

1. Smanjenje opsega podloga za normiranje - spretnije rukovanje,
2. Otpada potreba očitavanja velikog broja vremena pojedinačnih zahvata rada i sumiranja istih - manja mogućnost grješenja.

Na taj način se podaci pripremno-završnih radova za svaku vrstu obrade mogu prikazati na po dvije tabele. U jednoj tabeli su vremena svih zahvata koji se izvode kod svake pripreme, dok su u drugoj tabeli elementi radova koji se izvode samo kod pripremanja strojeva za neke specijalne poslove. Zahvati pomoćnih vremena mogu se prikazati u vidu nekoliko kompleksa kao npr: - vrijeme izmjene komada na stroju, premještanje alata i podešavanje dimenzije obrade, kontrola komada i dr.

3.0. Uklapanje dobivenih gotovih podataka u podloge za normiranje

Iz navedenog materijala,koji opisuje način izrade podloga za normiranje, se vidi da je taj posao opsežan i zamoran. Moguć je i slučaj, da zainteresirane tvornice dobiju uz novo nabavljeni stroj, uz licencu za izradu nekog stroja, ili od neke druge tvornice gotove podloge za normiranje sa svim ili djelomičnim podacima o vremenima trajanja pojedinih elemenata rada. Ovakovi podaci mogu biti uključeni u vlastite podloge za normiranje tek nakon provjeravanja u vlastitom pogonu. Da bi se dobiveni podaci provjerili u vlastitom pogonu, moraju biti provedena snimanja, čiji se rezultati uspoređuju sa vrijednostima gotovih podloga, no provjeravanje podataka zahtijeva manji broj kontrolnih snimanja, pa je cijeli posao izrade podloga na ovaj način nešto kraći. Konačno odlučivanje o mogućnostima primjene gotovih dobivenih podataka u promjenjenim uslovima druge radionice zasniva se na naučnim postavkama matematske statistike, pa prema tome i ovi podaci kao i podaci snimanjem prikupljeni predstavljaju solidan materijal za izradu podloga za normiranje.

Pri razradi tehnoloških-strojnih vremena je napomenuto, da proizvođači alatnih strojeva u većini slučajeva daju podatke o najpovoljnijim režimima rada, a u nekim slučajevima i o potrebnim tehnološkim vremenima. Oni međutim mogu dati i podatke o vremenima pomoćnih elemenata rada. Ovim vremenima se sve više pažnja posvećuje i sve više napora se ulaže da se modernizacijom i automatizacijom strojeva i vremena izvođenja pomoćnih zahvata što više skrate, jer ona ne postavljaju

direktno iskorištenje stroja, a zajedno sa tehnološkim vremenom utječu na vrijeme potrebno za izradu komada. Postizavanje skraćenja pomoćnih vremena predstavlja uspjeh proizvođača, pa davanje ovih podataka korisnicima stroja služi proizvođaču za reklamu, dok kupcima pruža podatak koji im je neophodan. Vremena pripremno-završnih radova međutim u velikoj mjeri ovise o organizaciji rada radionice, o spretnosti i sposobnosti izvršioca rada, pa je određivanje ovih vremena povoljnije prepustiti samim korisnicima osim davanja podataka o pojedinim zahvatima rada direktno povezanim sa podešavanjem stroja kao npr:

- postavljanje i skidanje steznih naprava sa stroja,
- postavljanje i skidanje alata sa stroja i dr.

Na ovaj način se može svakom kupcu uštediti dugotrajni posao određivanja vremena, koja su proizvođačima strojeva i naprava sigurno već poznata, a pomoć je vrijedna i ako se ne radi o cjelokupnim podlogama za normiranje nego samo o pojedinačnim podacima, jer su podloge sastavljene od podataka vremena potrebnih za pojedine elemente rada, pa se uvijek mogu nadopunjavati i po potrebi korigirati.

V. Milčić

Establishing fundamentals of time standardization and use of data about time needed for work elements obtained from machine manufactures

In the report the importance of knowing exact time needed for completing products is emphasized and making fundamentals for standardization of time is briefly described. The three chapters of the report describe the following three ways of obtaining data: computing technological machining times by means of formulas; compiling data by means of chronometer recording, and using data obtained from others. Compiling data by means of chronometer recording is described more precisely than the other two. Processes of recording, systematizing and analysing data are described, as well as plotting of tables and diagrams. Special attention is paid to the importance and usefulness of time data that should be known by machine manufacturers after testing machines, in order to be able to submit them to their customers.

Z. Smolčić - Žerdik *)

NEKI NOVIJI PLASTIČNI MATERIJALI I NJIHOVA PRIMJENA U STROJARSTVU **)

Može se reći, da se plastični materijali već u znatnoj mjeri upotrebljavaju u strojarstvu zbog mnogih prednosti, koje imaju pred metalima. Pa ipak neka od njihovih svojstava donekle ograničuju mogućnost primjene za mehanički i termički opterećene strojne dijelove i uređaje u trajnoj upotrebi.

Od prednosti, koje imaju pred metalima, ističu se:

1. manja težina strojnih dijelova zbog manjih specifičnih težina plastičnih materijala;
2. jednostavna serijska izradba predmeta u jednoj operaciji bez naknadne obradbe;
3. mogućnost izradbe obojenih predmeta, što im daje lijep izgled;
4. otpornost prema koroziji u klimatskim i kemijski agresivnim sredinama.

S druge strane su mehanička i ostala fizikalna svojstva ovih materijala u daleko većoj mjeri ovisna o trajanju i vrsti opterećenja, te o temperaturi, nego što je to slučaj kod metala, a što je u vezi sa strukturom plastičnih materijala i njihovom sklonosti "puzanju" već kod sobne, a pogotovo kod povišenih temperatura. K tome pridolazi i njihova manja ili veća osjetljivost na vlagu, pa se prema tome fizikalna i mehanička svojstva tih materijala mijenjaju prema uslovima primjene, što je uzrok stanovitim ograničenjima u trajnoj upotrebi.

Zbog toga su već duži niz godina istraživanja na polju plastičnih materijala usmjerena uglavnom na poboljšanja mehaničkih i ostalih fizikalnih svojstava, te toplinske otpornosti i smanjenja puzanja. U tom pogledu postignuti su i znatni uspjesi, što se očituje u pojavi novih tipova plastičnih materijala na tržištu sa znatno poboljšanim svojstvima.

Za lakše razumijevanje svojstava plastičnih materijala i mogućnosti njihovog poboljšavanja i usavršavanja za tehničke svrhe, potrebno je da se potsjetimo, da su plastični materijali visokomolekularne organske supstance, koje se prema svom kemijskom sastavu i strukturi makromolekula dijele u termoplastične i termoreaktivne ili duroplastične, a razlikuju se u svojstvima, te načinu i mogućnostima primjene.

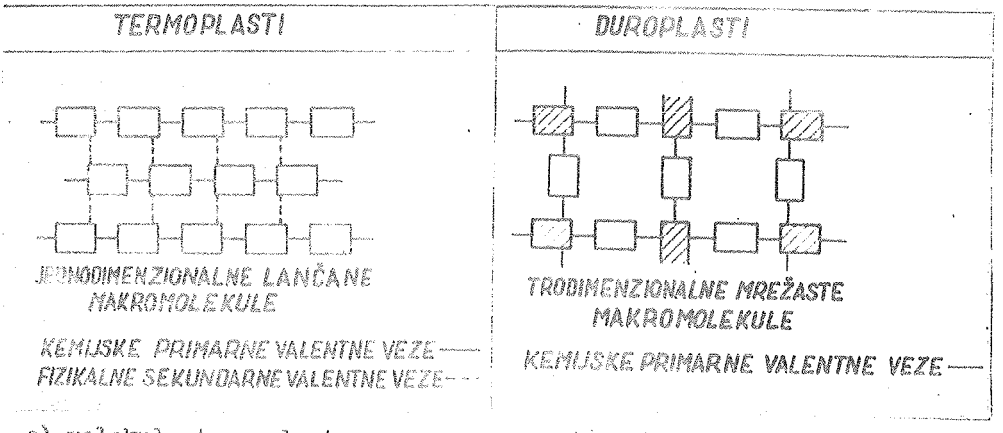
Termoplastični materijali su karakterizirani linearnom strukturom makromolekula, gdje su pojedine jedinice (monomeri) u linearnoj mo-

---

*) Zora Smolčić - Žerdik, dipl.ing., docent Strojarsko-brodograđevnog fakulteta u Zagrebu, Kačićeva 26

**) Saopćenje iz Zavoda za drvo i nemetale

lekuli vezane primarnim, kemijskim vezama, a polimerni lanci međusobno fizikalnim, sekundarnim vezama, dok termoreaktivni materijali imaju mrežastu strukturu molekula, gdje su sve jedinice (monomeri) vezane uzduž i popreko čvrstim, kemijskim, kovalentnim vezama.



a) molekula termoplasta b) molekula duroplasta

Sl. 1a i b

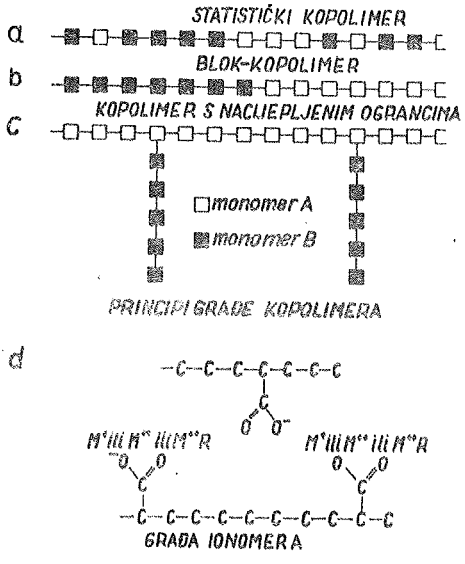
Iz strukture makromolekula rezultiraju i razlike u svojstvima tih materijala, jer su za mijenjanje odnosno razaranje kemijskih veza u duroplastima potrebne razmjerno visoke temperature (veće količine energije), što im daje i razmjerno visoku temperaturu otpornost, dok se fizikalne, međumolekularne veze među lancima termoplasta već dovodom manjih količina energije odnosno manjim povišenjem temperature olabavljuju i popuštaju, pa se termoplasti dadu na toplini formirati, a ohlađivanjem opet očvršćuju.

Poboljšanja i usavršavanja svojstava naročito su važna i interesantna u grupi termoplastičnih materijala zbog navedene slabije temperaturne otpornosti, koja ograničava njihovu primjenu u nekim područjima usprkos drugim vrlo dobrim tehničkim svojstvima.

Usavršavanje svojstava te vrste plastičnih materijala postiže se bilo mijenjanjem kemijske strukture polimernih spojeva bilo mijenjanjem morfološke građe već poznatih termoplastičnih materijala, čija je primjena već rašrena, a također i pronalaženjem novih makromolekularnih spojeva s boljim fizikalnim i termičkim svojstvima.

Prema prvom načinu mogu se svojstva polimernih spojeva mijenjati odnosno poboljšavati kopolimerizacijom raznih monomernih spojeva, kod čega opet svojstva ovise o poretku pojedinih monomera u polimernom lancu. Tako će prema Sl.2 produkti, kod kojih su pojedine monomerne jedinice poredane u slučajnom, statističkom slijedu (a) imati druga svojstva nego produkti s točno određenim brojem i redoslijedom monomernih jedinica, kao što je to slučaj kod blok-polimerizacije (b) i polimerizacije s nacijepljenim ograncima (c).

Posebnu, noviju grupu čine t.zv. ionomerni spojevi, kod kojih osim kovalentnih veza sudjeluju kod nastajanja termoplasta i međumoleku-

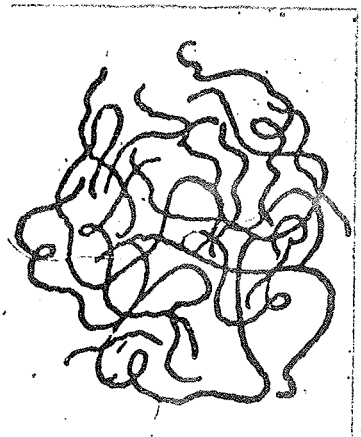


Sl. 2a,b,c,d

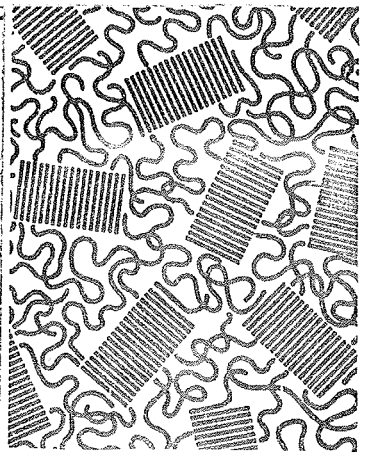
larne ionske veze. Pomoću tih veza negativno nabijene karboksilne grupe (anioni), koje su kovalentnim vezama vezane na lance ugljikovodika linearnih makromolekula, vežu se ionskim vezama sa pozitivno nabijenim metalima na pr. Na, K, Mg i Zn (kationima) (d). Na taj način dolazi do djelomičnog omrežavanja i čvršćeg povezivanja polimernih lanaca. No to je omrežavanje termoreverzibilno, pa se ono kod povišenja temperature gubi, a ohlađivanjem opet vraća, što omogućava normalnu termoplastičnu preradu tih materijala.

Do omrežavanja polimernih lanaca dolazi i zračenjem termoplastičnih materijala, što se očituje također u poboljšanju mehaničkih svojstava, te se kod nekih vrsta termoplasta već i primjenjuje (na pr. polietilen).

Druga je mogućnost poboljšavanja i usavršavanja svojstava termoplastičnih materijala mijenjanjem njihove morfološke građe t.j. povećavanjem ili smanjivanjem kristaliziranog udjela u amorfnom polimeru, što se postizava variranjem uvjeta kod proizvodnje. U amorfnom polimeru su dugačke lančane molekule potpuno nepravilno smještene, a u djelomično kristaliziranim polimerima se one u pojedinim dijelovima redaju u manje ili veće pravilne snopove. Amorfni dio čini polimerni spoj savitljivim, a kristalinični dio mu daje čvrstoću. (Sl. 3a i b)



Sl. 3a



Sl. 3b

Pronalaženje novih polimernih spojeva s boljim svojstvima od do sada poznatih predstavlja treću mogućnost dobivanja visokokvalitetnih polimernih spojeva. Ta se istraživanja baziraju na saznanjima i iskustvu o vezi između kemijske konstitucije i svojstava polimernih spojeva. Tako je na pr. poznato, da poli-

merni lanci plastičnih materijala otpornih prema višim temperaturama, moraju biti aromatskog karaktera i međusobno što jače zbiti. Takovi spojevi sa naročitim svojstvima imaju obično svoja posebna područja primjene (na pr. za termički jako opterećene dijelove ili uređaje).

Nadalje se armiranjem termoplastičnih i duroplastičnih materijala raznim kemijski i termički otpornim punilima u obliku vlakana, traka ili tkanina postižu znatna poboljšanja termičkih i kemijskih svojstava, a naročito su interesantna znatna poboljšanja mehaničkih svojstava kod anizotropnih armiranih ili slojastih materijala u smjeru vlakana.

Pregled novijih dostignuća u pogledu poboljšanja fizikalnih, mehaničkih, termičkih i nekih drugih svojstava unutar obih grupa plastičnih materijala i novih tipova i njihovih svojstava, trebao bi doprinijeti lakšem izboru i pravilnijoj primjeni tih materijala.

Na području termoreaktivnih plastičnih materijala t.zv. duroplasta, koji prema postanku i primjeni u tehničke svrhe predstavljaju stariju grupu od termoplastičnih materijala, postignut je u zadnje vrijeme značajan napredak kako pronalaskom i primjenom nekih novijih vrsta smola kao veziva (epoksidne, poliesterske, butonske, silikonske), tako i pronalaskom mogućnosti armiranja tih smola s kemijski i toplinski otpornim punilima u obliku vlakana, traka ili tkanina.

Odavna su poznata dobra mehanička i ostala svojstva najstarijih slojastih materijala na bazi fenolnih smola s pamučnim ili drugim vlaknima ili tkaninama, no armiranjem tih smola staklenim vlaknima postiže se uz bolja mehanička, električka i termička svojstva i znatno bolja otpornost prema temperaturi kod dugotrajnih opterećenja t.j. do 130° C, a kod nekih vrsta tih smola i do 250°C. Uz dodatak naročite kvalitete staklenih vlakana s visokim talištem može se postići kratkotrajna otpornost od samo nekoliko sekundi odnosno minuta i do 2500°C.

Armirani poliesteri i nihova primjena danas su u tehnici već dobro poznati. Novo na tom području predstavljaju slojasti poliesterski materijali, izrađeni iz nove vrste poliesterskih smola, koje omogućuju izradu poliesterskih prefabrikata za izradu slojastih materijala u hidrauličkim prešama.

Nadalje armirani materijali na bazi epoksidnih smola imaju mnoge prednosti pred fenolnim materijalima, bolja mehanička i električna svojstva naročito kod trajnih opterećenja, te veću stabilnost dimenzija.

Novost na tom području predstavljaju armirani i slojasti materijali na bazi butonske smole, kopolimerizata butadiena i stirola. Prednost ove vrste laminata i armiranih produkata pred fenolnim i poliesterskim produktima iste vrste je u većoj toplinskoj otpornosti, boljim električkim svojstvima i otpornosti prema kemikalijama.

Laminati silikonskih smola sa staklenim tkaninama odlikuju se visokom toplinskom otpornošću i upotrebljavaju se uglavnom u elektroin-

dustriji.
Na području termoplastičnih materijala zapaža se znatno veći razvoj. Tokom zadnjih godina sintetizirani su mnogi novi termoplastični materijali sa vrlo dobrim svojstvima podesnim za primjenu u tehničke svrhe, a mnoge već ranije poznate grupe tih materijala doživjele su razna poboljšanja i usavršavanja, tako da se danas mnogi termoplasti ubrajaju u visokovrijedne konstrukcione materijale u strojarstvu i drugim granama industrije.

Tako se tvrdi PVC (polivinilklorid) zbog razmjerno dobrih mehaničkih svojstava i dobre otpornosti prema kemikalijama, prema starenju, te otpornosti prema gorenju u tehnici mnogo primjenjuje, ali mu s druge strane slaba otpornost prema toplini (60 - 70°C) i razmjerno mala udarna žilavost sa zarezom kod nižih temperatura ograničuju donekle područja primjene. U zadnje vrijeme je uspjelo udarnu žilavost sa zarezom poboljšati kopolimerizacijom s drugim monomerima ili fizikalnim miješanjem s drugim polimerima na pr. kloriranim poliolefinima. Nadalje su postignuti i uspjesi u pogledu povišenja gornje temperaturne granice izradom naknadno kloriranog PVC-a s većim sadržajem klora, odnosno izradom visokokloriranog poliolefina s konstitucijom i mehaničkim svojstvima sličnim PVC-u, a s većom otpornošću prema temperaturi. Iz tab. 1 je vidljivo, koliko je temperaturna granica tog materijala povećana u odnosu na tvrdi PVC:

	Metoda ispitivanja	Dimenzije	Toplinski otporni PVC	Tvrdi PVC
Otpornost prema toplini prema Vicat-u	VDE 0302	°C	100	75
Torzioni modul 80°C	DIN 53 447	kp/cm²	2000	500
Torzioni modul 100°C	"		500	ne može se mjeriti, premekan

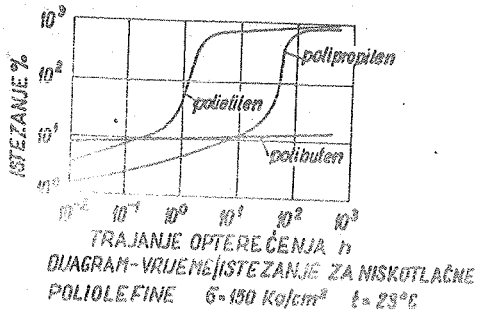
Tabela 1

U grupu poliolefina spadaju razmjerno vrlo mlade odnosno nove vrste plastičnih materijala: polietilen, polipropilen, koje su zbog mnogih svojih dobrih svojstava doživile vrlo brzi razvoj. U toj grupi postignuta su u zadnje vrijeme poboljšanja mehaničkih svojstava kod polietilena povećavanjem molekularne težine na 400.000 - 500.000 i to u području PE s manjom kao i većom specifičnom težinom. Ti se PE upotrebljavaju na pr. u tekstilnoj industriji za jače opterećene strojne dijelove, zatim za izradu posuda i rezervoara, ploča i dr. Daljnji način poboljšavanja mehaničkih svojstava PE je u kopolimerizaciji s vinilnim i akrilnim esterima.

Kod drugog člana te grupe, polipropilena, postignuta je kopolimerizacijom s etilenom bolja otpornost na udar na hladnoći.

Novi član te grupe je polibuten (- 1), s velikim kristaliničnim udjelom, a koji dolazi na tržište pod imenom Vestolen BT (Chem. Werke Hüls). Razni tipovi polibutena po mehaničkim su svojstvima slični visokotlačnom ili niskotlačnom polietilenu, uz bolju žilavost i vrlo

dobru otpornost prema naponskoj koroziji, te manje puzanje od ostalih poliolefina, tj. plastična deformacija pod opterećenjem je kod temperatura ispod tačke omekšavanja vrlo mala. (SL.4)



DIJAGRAM-VRIJEME/ISTEZANJE ZA NISKOTLAČNE POLIOLEFINE 6-150 Kp/cm² t = 23°C

SL. 4

Prvi u tehničkom mjerilu proizvedeni ionomerni termoplast dolazi pod imenom S u r l y n A. Ionomerna struktura se očituje u znatno većoj transparentnosti od ostalih poliolefina zbog izmjena u kristaličnoj strukturi, zatim u žilavosti, koju inače imaju samo polimeri s mrežastom strukturom, i u termoreverzibilnom karakteru ionskih veza, tako da se usprkos mrežastoj strukturi mogu termoplastično prerađivati. U tab. 2. prikazana je relativna udarna žilavost sa zarezom nekih transparentnih termoplasta u odnosu na Surlyn A = 100:

Termoplast	Rel. udarna žilavost se zarezom
Surlyn A	100
Celulozni derivati	22
Akrilne smole	19,5
Polistirol	13
Staklo	2

Tabela 2.

U grupi poliamida, koji su kao termoplastični materijali u strojarstvu danas već dobro poznati, kao Durethan BK i Rilsan za izradu zupčanika i ležajeva, postignuti su također uspjesi u poboljšanju onih svojstava, koja su donekle ograničavala mogućnosti primjene, a to je na pr. ovisnost žilavosti materijala o sadržaju vlage, što se očituje u znatnoj krhkosti materijala ispod stanovitog sadržaja vlage.

Novi produkt Poliamid 12, koji dolazi pod imenom Vestamid, razlikuje se od ostalih poliamida po duljini CH_2 - lanaca i manjoj koncentraciji amidnih grupa, a odlikuje se, uz druga dobra mehanička svojstva, naročito većom žilavošću u suhom stanju.

Nadalje novost na području poliamida predstavljaju ionskom polimerizacijom ili aktiviranom alkaličnom polimerizacijom dobiveni poliamidi. Zbog brzog odvijanja reakcije dobivaju se polimerizirani produkti s velikom molekularnom težinom, pa se iz tog materijala izrađuju bestlačnim lijevanjem direktno u kalupe veliki profili i predmeti, za koje ekstrudiranje više ne bi bilo ekonomično. Mehanička svojstva tih materijala nadmašuju svojstva konvencionalnih poliamida. Primjena im je za velike zupčanike, ležajeve, lopatice brodskih propelera, kotače za kola i dr.

Termoplastični poliuretani-elastomeri predstavljaju nove tipove već prije poznatih i u tehnici upotrebljavanih poliuretana, koji se zbog malih razlika između temperature omekšavanja i temperature raspadanja razmjerno teže prerađuju. Novi tipovi nastali su variranjem omjera osnovnih komponenata kod poliadicije, te nastaju reverzibilno mrežasti produkti s kaučuk-elastičnim svojstvima ispod 100°C, a iznad 100°C se neka mrežasta mjesta otvaraju, što omogućava termoplastično oblikovanje, a ohlađivanjem se opet zatvaraju i nastaje očvršćavanje. Ovi produkti dolaze pod imenom Desmopan (Bayer), Texin, Elastollan, imaju sva dobra svojstva poliuretana uz mogućnost racionalnije prerade. Upotreba: za zupčanike, ležajeve, spojke, elastične mjehove, djonove i dr.

U grupi poliacetala, koji predstavljaju vrlo interesantne konstrukcione materijale, imamo lijep primjer, kako se nekim inače tehnički vrlo vrijednim plastičnim materijalima mogu neka od slabijih svojstava kopolimerizacijom ili drugim kojim načinom poboljšati.

Prvi od poznatih produkata poliacetala, poznat pod imenom Delrin (Du Pont, USA) je homopolimerizat tj. visokomolekularni poliformaldehid. Taj se produkt odlikuje vrlo dobrim mehaničkim svojstvima, ali usljed stanovitog termičkog utjecaja dolazi do potpune depolimerizacije makromolekula. Ta temperaturna otpornost je znatno poboljšana kod novijeg produkta, acetal-kopolimerizata, koji sadrži u polimernim lancima statistički raspoređene C-C-veze. Taj produkt je poznat pod imenom Hostaform C (Farbwerke Höchst i Celanese Corp.). Hostaform C je otporan na temperature do 100°C kod trajne upotrebe zbog malog puzanja i vrlo otporan prema starenju.

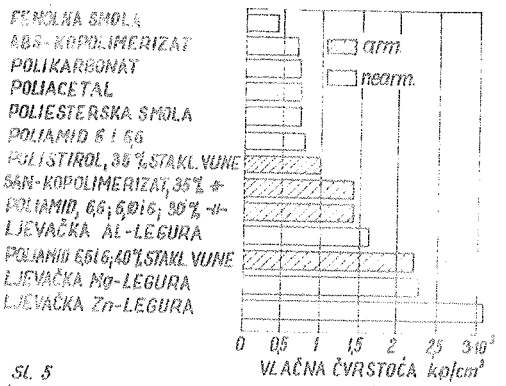
Osim poliacetala danas su poznati i drugi termoplasti, koji zahvaljujući svom kemijskom sastavu imaju visoku temperaturnu otpornost. To su fluorirani ugljikovodici (Teflon, Hostaflon), zatim polimerni spojevi s grupom Si-O (Silikoni) i aromatski poliimidi. Obzirom na visoko područje omekšavanja je i prerada tih produkata otežana. U tab.3 dan je pregled tih materijala i granične temperature za trajno opterećenje:

Kemijska oznaka	Trgovačko ime	Otpornost na trajno temperaturno opterećenje °C
poliamid	Nylon 6,6; Ultramid	80 - 100
poliacetal-kopolimerizat	Hostaform C	100
poliester	Terylen, Diolen, Trevira	130
polikarbonat	Makrolon	135
dimetilpolifenileneter	PPO	130 - 140
polisiloksani	Silicone	180 - 200
poliimid	H-film, Pyre-ML	250
politetrafluoretilen	Teflon, Fluon	260

Tabela 3

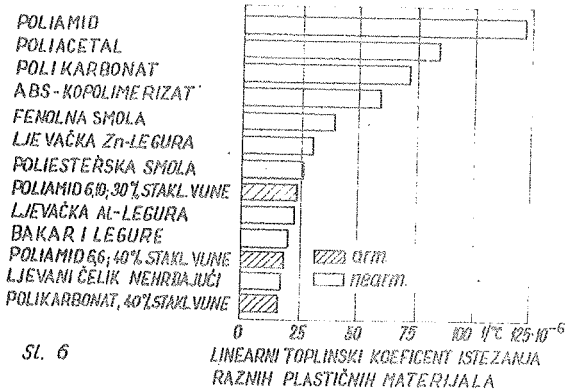
Armirani termoplasti. Sa 35 - 40% staklenih vlakana armirani termo-

plasti imaju znatno bolja mehanička svojstva od odgovarajućih čistih polimera, a isto tako i otpornost prema temperaturi, pa se neke vrste u svojstvima približavaju nekim lakim metalima. Armirani termoplasti su nadalje u usporedbi s nearmiranima tvrdi i kruti, a veći modul elastičnosti, kao mjera za krutost i veća vlačna čvrstoća znače, da takovi materijali manje naginju puzanju. U Sl. 5., i 6. prikazane su vrijednosti za vlačnu čvrstoću, i linearni koeficijent istezanja u usporedbi s nearmiranim čistim poliplastima i nekim lakim metalima.



SL. 5

VLAČNA ČVRSTOĆA RAZNIH PLASTIČNIH MATERIJALA KOD 23°C



SL. 6

LINEARNI TOPLINSKI KOEFICIENT ISTEZANJA RAZNIH PLASTIČNIH MATERIJALA

Iz ovog prikaza novih materijala kao i novih tipova unutar pojedinih grupa materijala je vidljivo, da je učinjen znatan napredak u smislu poboljšanja onih svojstava plastičnih materijala, koja se smatraju nepovoljnima za njihovu primjenu kao konstrukcione materijale u strojarstvu i drugim granama tehnike. Ipak kod primjene tih materijala u konstrukcione svrhe, gdje strojni dijelovi ili izrađeni predmeti moraju za čitavo vrijeme upotrebe u granicama mogućnosti zadržati tražena svojstva, treba voditi računa o specifičnim svojstvima tih visokopolimernih organskih materijala, te oblik konstrukcija i zahtjeve prilagoditi mogućnostima tih materijala. Zato će dublje poznavanje kemijskog sastava i strukture, te fizikalnih i mehaničkih svojstava tih materijala i njihove ovisnosti o temperaturi, vrsti i trajanju opterećenja znatno doprinijeti pravilnom izboru materijala i načinu konstruiranja.

L I T E R A T U R A

1. K.Stange; Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.422/430
2. J.Plenikowski, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.431/437
3. K.Mehnert, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.438/442
4. B.Vollmert, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.446/447
5. K.Kopetz, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.448
6. H.Hirschfeld, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.449/453
7. G.Menges, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.522/526
8. J.Sohde-Miebenau, Kunststoffe,Bd. 55 (1965), str.302/305
9. K.Ellegast, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.306/308
10. H.Streib, K.Oberbach, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.309/314
11. K.Schneider, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.315/316
12. [illegible].Randall, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.316/319
13. R.Rush, Kunststoffe, Bd. 55 (1965), str.319/320
14. [illegible] Schmidt, Kunststoffe, Bd. 53 (1963), str. 684/690

Z. Cholišć - Žerdik

Neue Kunststofftypen und ihre Anwendung im Maschinenbau

Kunststoffe werden wegen ihrer vielen Vorteile, die sie vor den metallischen Werkstoffen besitzen, schon weitgehend im Maschinenbau verwendet, doch begrenzen manche ihrer Eigenschaften noch immer ihren Einsatz für hochbeanspruchte Maschinenteile in Dauerbelastung. Es wurden die Vor - und Nachteile dieser Werkstoffe angeführt und auf Entwicklungstendenzen im Sinne der Verbesserung der wichtigsten Eigenschaften der Kunststoffe für Konstruktionszwecke hingewiesen. Weiter wird ein Überblick über Verbesserungen der Eigenschaften der Werkstoffe in den einzelnen duroplastischen sowie thermoplastischen Kunststoffgruppen gegeben, die auf Neuentwicklungen oder Kopolymerisation, Vernetzungen und Stabilisierung zurückzuführen sind, sowie auch neue Typen der einzelnen Kunststoffgruppen angeführt.

T. Eberhardt *)

NEKE INTERESANTNE POJEDINOSTI U KONSTRUKCIJI ALATA ZA PRERADU PLASTIČNIH MASA**)

Do pred nekoliko desetljeća još jedva poznate plastične mase danas su u mnogim granama tehnike gotovo nezamjenjive. Svakim danom nalaze nova područja primjene i postepeno istiskuju iz upotrebe niz prirodnih materijala. U području nemetalnih materijala vladaju suverene, a postepeno počinju ulaziti u područje upotrebe, koje je do nedavno bilo rezervirano isključivo za metale i u mnogim ih slučajevima zamjenjuju s uspjehom. To imaju zahvaliti svojim izvanrednim svojstvima i tome, što se ta svojstva mogu varirati u širokim granicama. Isto tako je i broj vrsta plastičnih masa velik, pa se iz tog izbora uvijek može odabrati ona, koja u danom trenutku najbolje zadovoljava. Sve brži razvoj tehnike pogoduje povećanju potrošnje proizvoda i detalja iz plastičnih masa. Mogućnost brze i jeftine proizvodnje najkompliciranijih dijelova, kojom se odlikuju plastične mase, svakako je svojstvo, koje im daje prednosti pred ostalim materijalima. Velike serije, u kojima se danas rade mnogi proizvodi, zahtijevaju baš takovu brzu proizvodnju.

Nažalost, to dragocjeno svojstvo plastičnih masa nije uvijek iskorišteno do maksimuma. Naime, ako promatramo preradu plastičnih masa, vidjet ćemo, da se jedan dio vremena utroši na samo oblikovanje otpreska, dakle na prelaz od polufabrikata u obliku praha ili granulata u konačan kruti oblik izrađevine, i na pomoćno vrijeme, koje se sastoji od pripreme alata za prešanje.

Vrijeme potrebno za oblikovanje otpreska danas je svedeno gotovo na minimum i ne da se više mnogo reducirati. Ono je najviše ovisno o vrsti mase, te debljini stijenke izrađevine i uz optimalna svojstva otpreska točno je određeno. U najboljem slučaju može se uz zadržavanje istih kvaliteta otpreska smanjiti upotrebom brzohodnije preše, predgrijavanjem mase (kod duroplasta), projektiranjem tanjih stijenki otpreska, povoljnijim smještajem grijača odnosno rashladnih kanala i sl.

Za razliku od gore spomenutog, pomoćno vrijeme je ono, koje u mnogim slučajevima znatno produžava ukupno vrijeme prerade. To naročito vrijedi u slučaju izrade otpresaka kompliciranih oblika. Jedamput je taj gubitak vezan uz umetanje razne armature u alat, a drugi put uz umetanje jezgara za formiranje rupa i prodora na izrađevini i njihovo naknadno vađenje. Za to vrijeme nam preša i alat stoje neiskorišteni.

---

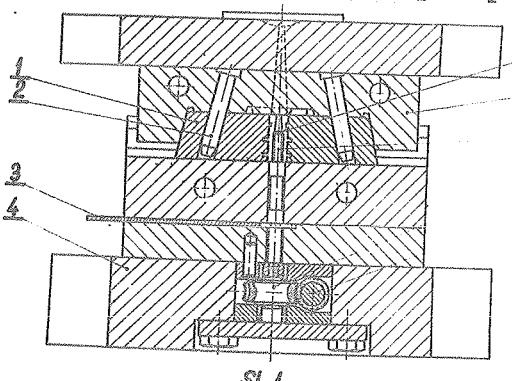
*) Tomislav Eberhardt, dipl.ing., honorarni asistent Strojarsko-brodograđevnog fakulteta, Zagreb - Kačićeva 26

**) Saopćenje iz Zavoda za drvo i nemetale

Prema tome, na tom području imamo široke mogućnosti za smanjivanje vremena prerade i pojeftinjenje proizvoda. U tom pogledu već se mnogo može učiniti prilikom samog projektiranja oblika izrađevine, no često to nije moguće, jer smo vezani funkcionalnošću otpreska. Glavno sredstvo, kojim možemo ubrzati preradu plastičnih masa je konstrukcija alata. Zgodnom konstrukcijom alata moguće je izbaciti mnoge pomoćne radove, ili ih barem svesti na minimum. Najbolji primjer za takovu konstrukciju, kojom je riješen problem pomoćnih radova je alat za izradu otpresaka s navojem. Kod takovih izrađevina uvijek postoji problem vađenja umetaka, koji formiraju narez, i da bi se to izvelo neophodno je njihovo okretanje. Problem je naročito istaknut ako imamo dugačak narez sa malim usponom, kod kojega je nekada potrebno desetak, pa i više okretaja za vađenje umetaka.

Ako promatramo nekoliko tipova takovih alata od onih najjednostavnijih, koji zahtijevaju veliki utrošak vremena za preradu, pa do onih, koji rade potpuno automatski, vidjet ćemo kako se pogodnom konstrukcijom može uštedjeti na vremenu prerade.

Najjednostavniji način proizvodnje izrađevina s navojem je onaj, kada narez formiramo pomoću umetaka, koje prije svakog prešanja ulažemo u alat u za to predviđene otvore. Nakon stavljanja umetaka izvršimo prešanje ili brizganje izrađevine, otvaramo alat i izbacivačima izbacujemo otpresak iz alata. Zajedno sa izrađevinom iz alata izlaze i umeci za formiranje nareza. Ti umeci se sada vade iz izrađevine ručno, odvrtanjem pomoću ključa, ili u slučaju da je narez dulji pomoću elektromotora preko reduktora. Ako otpreske radimo iz duroplasta, možemo odmah nakon vađenja izrađevina iz alata u alat staviti novu garnituru umetaka, nasuti masu i zatvoriti alat. Dok se u alatu masa peče, vadimo iz prethodno otprešane izrađevine umetke. Na taj način je gubitak vremena na pomoćne radove relativno malen. Ako otpreske brizgamo iz termoplasta, pogotovo ako su stijenke tanke, a u alatu je više izrađevina, ne možemo vaditi umetke iz prethodne izrađevine za vrijeme novog radnog ciklusa, jer je to vrijeme kratko. U tom slučaju imamo veliki utrošak vremena na pomoćne radove, a za to vrijeme alat i preša stoje neiskorišteni. Potpuno iskorištenje preše i alata može se postići zapošljavanjem još jednog radnika, koji će vaditi umetke, no to opet poskupljuje proizvodnju.



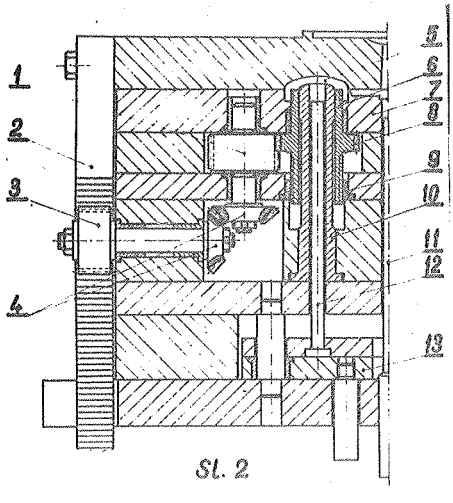
Sl. 1

Znatno brža proizvodnja otpresaka sa navojem ostvaruje se pomoću alata prikazanog na slici 1. Alat je, zbog vanjske konture izrađevine, koja ne dozvoljava direktno izbacivanje iz alata, predviđen sa pomičnim jezgrama (1). Pomicanje jezgara vrši se pomoću kosih trnova (2), a njihovo međusobno pritiskivanje pomoću kosih bokova patrice (6). U sredini izrađevine (5) treba

formirati dugačak navoj s malim usponom. Formiranje nareza vrši se pomoću umetka (7). Nakon izvršenog ubrizgavanja mase i njenog hlađenja alat se otvara uz istodobno rastavljanje pomičnih jezgara. Uljevni sistem se otkida, a izrađevine ostaju vezane uz alat samo preko umetaka za formiranje navoja. Da bi se izvršilo skidanje otpresaka sa umetaka, isti se okreću pomoću elektromotora preko pužnog vijka (9) i pužnog kola (8). Elektromotor je fiksno učvršćen na temeljnu ploču alata (4), a njegova se osovina spojkom direktno spaja sa osovinom pužnog vijka. Da prilikom odvrtanja ne dođe do okretanja izrađevina, one se prihvate pomoću za to predviđene naprave. U tu svrhu se na izrađevini izrađuju odgovarajući izdanci. Umeci za formiranje nareza fiksirani su u alatu osiguračem (3). U slučaju loma umetka osigurač se izvadi, a umetak zamjeni bez skidanja alata s preše. U alatu se brizga više izrađevina, najčešće 4 do 6. Gnijezda su poredana u jednom redu, a pužni vijci smješteni na istoj osovini.

Ovaj način proizvodnje je brz, i pomoćni radovi su svedeni na najmanju moguću mjeru. Pogodan je naročito za izrađevine s dugim narezom. Pužna kola i pužni vijci mogu se izrađivati kao standardni dijelovi, pa takav alat nije mnogo skuplji od običnog.

Najbrža proizvodnja otpresaka s narezom je onda, kada alat radi potpuno automatski. Jedan takav alat prikazan je na slici 2. Služi za izradu niskih izrađevina s unutarnjim narezom. U ovom slučaju problem je još i u tome što je izrađevina izvana potpuno glatka, pa ju je nemoguće prihvatiti prilikom odvrtanja. Zbog toga je prihvaćanje izvedeno s nutarnje strane.



Sl. 2

Nakon ubrizgavanja mase i hlađenja alat se počima otvarati. Na nepomičnom dijelu alata nalazi se zubna letva (2), koja svojim relativnim pomicanjem uzrokuje okretanje zupčanika (3). Okretanje se dalje prenosi preko para koničnih zupčanika (4) i cilindričnog zupčanika (1) na zupčanik (8), koji je učvršćen na umetak za formiranje nareza (6). Kako je izrađevina iz vana glatka sprečavanje njenog okretanja vrši se jezgrom (10), koja prelazi kroz umetak (6). Da ne bi prilikom odvrtanja došlo do izbacivanja otpreska iz matrice (7), umetak ima na svom donjem kraju navoj sa istim usponom kao što je onaj u izrađevini, a uvrće se u čahuru (9). Na taj se način umetak tokom odvrtanja pomiče u smjeru svoje osi, dok izrađevina potpuno miruje. Zupčanik (1) je širi, tako da tokom pomicanja umetka ostaje uvijek u zahvatu sa zupčanikom (8).

Nakon što se alat već dovoljno otvorio, ali prije nego je umetak potpuno odvijen, centralni izbacivač (11) dođe do graničnika, te otrgne

i izbaci uljevni sistem. Daljnim otvaranjem alata dolazi do potpunog odvrtanja umetka, a istom onda započima pomicanje ploče izbacivača (13) i izbacivanje izrađevine pojedinačnim izbacivačem (12), koji prolazi kroz jezgru (10).

Zbog ograničenog broja okretaja umetka ovakav način proizvodnje moguć je samo u slučajevima kada imamo kratak navoj ili veliki uspon. Alat je znatno skuplji od istog sa ručnim vađenjem umetaka.

Na osnovu ovih primjera vidimo da se dobrim konstrukcijama može ubrzati prerada plastičnih masa. No, to još uvijek ne znači da ćemo u svakoj prilici primjeniti meki alat koji radi potpuno automatski. Prije nego se odlučimo za neki tip alata trebamo dobro odvagnuti sve faktore, koji mogu utjecati na taj izbor. U prvom redu postoji niz izrađevina, koje se ne daju prešati u automatskom alatu. Zatim je tu još i problem ekonomičnosti: što je neki alat sposobniji da ubrza proizvodnju, to je i složeniji i skuplji. Cijena alta sa odvrtanjem pomoću elektromotora je za 20 do 35%, a automatskog alata za 70 do 90% veća od cijene alata sa ručnim odvrtanjem. S druge strane, ako nam je serija velika isplati se raditi skuplji alat uz jeftiniju naknadnu proizvodnju.

Na kraju, da vidimo kolika nam je ušteda upotrebom skupljeg alata. Primjer neka su alati sa 6 izrađevina u alatu, a u svakoj izrađevini treba formirati po jedan navoj. Izrađevine se brizgaju iz polistirola.
Za jedan kompletan ciklus potrebno je:

Alat sa ručnim odvrtanjem ..... 98 - 109 sek.
Alat sa odvrtanjem pomoću elektromotora..... 26 - 34 sek
Automatski alat sa zubnom letvom ..... 24 sek

Kao rezultat primjera proizlazi da bi nam se isplatilo raditi poluautomatski alat već i kod relativno malih serija, jer njegova cijena nije mnogo veća od cijene alata sa ručnim odvrtanjem, a ušteda na vremenu je velika. Nasuprot toga automatski alat ćemo raditi samo u slučaju velike serije, jer ušteda u vremenu u odnosu na poluautomatski nije velika, a cijena može biti veća.

T. Eberhardt

Etliche interessante Konstruktionseinzelheiten bei Werkzeugen für die Verarbeitung plastischer Massen

In der Herstellung der Kunstoffteile ist es einer grosser Teil von Zeit für die Hilfsarbeiten notwendig. Mit eine gute Werkzeugkonstruktion ist es möglich vielen von diesen Arbeiten auswerfen. Ein Beispiel für dass sind die Pressformen für die Pressen und Spritzen der Teile mit dem Gewind.
In der Mitteilung werden die Pressformen für die Herstellung solche Presslinge beschrieben. Es wird auch vorgewisen, wieviel ist mit der Pressformen, die automatisch arbeiten, ersparen möglich.

I. Čatić *)

NEKA ZAPAŽANJA O PROBLEMIMA ISPITIVANJA KOEFICIJENTA TRENJA PLASTIČNIH MASA, S POSEBNIM OSVRTOM NA ISPITIVANJE KOEFICIJENTA TRENJA POLITETRAFLUORETILENA MJERENJEM TANGENCIJALNE SILE **)

Uvod

Posljednjih godina pažnju konstruktora raznih mehanizama sve više privlače materijali koji omogućuju racionalnija ili čak potpuno nova rješenja, a koja s klasičnim materijalima, posebno metalima, nije bilo moguće provesti.

Jedan od takvih materijala, koji se veoma često i s velikim uspjehom primijenjuje, su plastične mase. Konstruktora mehanizma osobito privlači jedno svojstvo nekih plastičnih masa, a to je njihov povoljni koeficijent trenja. Zupčanici i ležajevi najčešći su primjeri gdje se plastične mase koriste u konstrukcijama upravo zbog povoljnog koeficijenta trenja.

Nemoguće je ovom prilikom ulaziti u detaljniju analizu svih činilaca koji utječu na trenje, pa će izlaganje biti ograničeno uglavnom na:

- opis provedenog ispitivanja,
- obradu dobivenih rezultata i
- usporedbu s rezultatima ispitivanja drugih autora.

Zatim će se ukazati nužnost standardiziranja metode ispitivanja trenja plastičnih masa i razmotriti osnovne činioce o kojima treba voditi računa prilikom izrade standarda.

1. OPIS PROVEDENOG ISPITIVANJA

1.1 Zadatak

Potrebno je odrediti koeficijent trenja politetrafluoretilena /TFE/ kod slijedećih uslova:

makropritisak: 10 - 40 kp/cm^2
relativna brzina tarnih ploha: 0,05 - 50 cm/sek

Ispitivanje treba provesti s pločicama iz TFE koje miruju, a tare ih rotirajuća čelična ploča.

U drugoj skupini ispitivanja treba ustanoviti koeficijent trenja kada ploča izrađena iz TFE rotira, a čelične tarne pločice miruju.

---

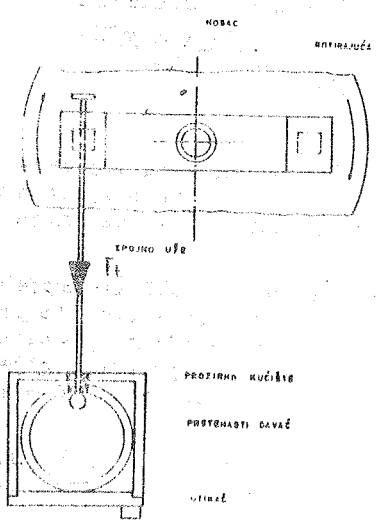
*) Igor Čatić, dipl. inž. asistent pri Katedri za materijale Više tehničke škole, Zagreb - Đure Salaja bb.

**) Ispitivanje izvršeno za vrijeme stručnog usavršavanja u Le Centre d'Etude des Matières Plastiques - Paris

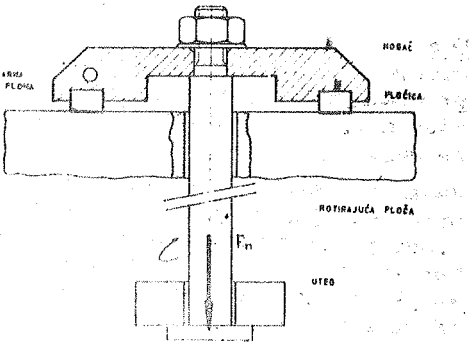
Mjerenja su izvršena na uređaju za ispitivanje trenja, model CEMP /Le Centre d'Etude des Matières Plastiques - Paris/.

Principjelna shema uređaja prikazana je slikom 1.

Na čeličnu ploču koja rotira promjenljivom brzinom vrtnje (upotrebom varijatora) stavi se nosač u kojem su učvršćene dvije pločice iz TFE.



SLIKA 1



SLIKA 2

U sredini nosača djeluje opterećenje koje se može mijenjati dodavanjem utega. Opterećenje proizvodi na tarnim plohama makropritisak od 10 - 40 kp/cm^2. Mjeri se tangencijalna sila pomoću prstenastog davača. Uslijed naprezanja spojnog užeta djelovanjem sile trenja, dolazi do deformacije prstena i promjene otpora što se prenosi na pisač.

1.2 Određivanje koeficijenta trenja

Koeficijent trenja određuje se pomoću jednadžbe:

$$f = \frac{F_t}{F_n}$$

(f = koeficijent trenja, F_t = tangencijalna sila određena pomoću pisača, F_n = veličina opterećenja na pojedinu pločicu).

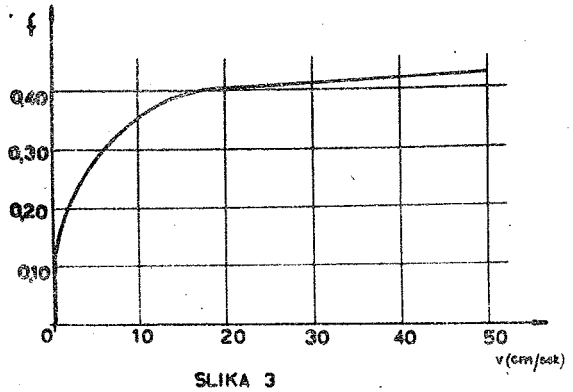
1.3 Opći uslovi ispitivanja

U slučaju određivanja koeficijenta trenja, kada su plastične pločice mirovale, bili su opći uvjeti slijedeći:

- tarna plastična pločica izrađena iz TFE dimenzija 10 x 10 x 6,4 mm (izvorna debljina pločice),
- rotirajuća ploča: meki čelik, brušen, poliran na brusnim papirima 320, 0,00.

Pokusi su trajali najčešće 10 - 15 minuta, ali su vršeni i kraći pokusi od 1 minute kod vrlo malih brzina, te produženi pokusi u trajanju od 2 sata kod srednjih brzina.

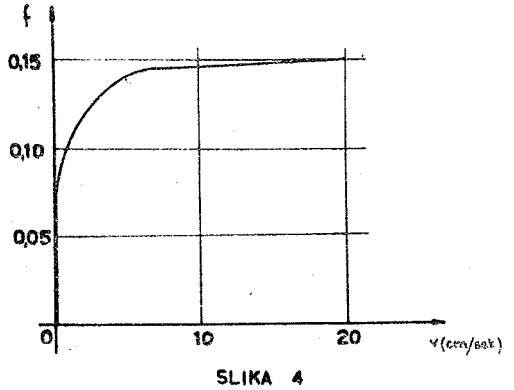
Karakteristična krivulja" "trenje - brzina" za slučaj mirujućih pločica iz TFE, predstavljena je slikom 3.



SLIKA 3

Druga skupina ispitivanja izvršena je s čeličnim pločicama dimenzija 5 x 5 x 6 mm, a rotirala je ploča izrađena iz TFE promjera 140 mm i debljine 6,4 mm. Tipična krivulja za tu skupinu ispitivanja je kao na slici 4.
Ispitivanje je ovdje bilo provedeno samo do brzina od 20 cm/sek.

Vrijednost koeficijenta trajanja bila je gotovo dvostruko niža nego u slučaju mirujućih pločica iz TFE.



SLIKA 4

2. OBRADA DOBIVENIH PODATAKA

Tačke krivulja koeficijenta trenja, dobivene ispitivanjem, predstavljaju aritmetičku sredinu skupa uzoraka. Za svaku brzinu i opterećenje izvršeno je odredivanje $\bar{x}$ i standardne devijacije G.

3. USPOREDBA DOBIVENIH REZULTATA S REZULTATIMA OSTALIH AUTORA

Dobiveni rezultati su uspoređivani s rezultatima koje su dobili drugi autori i na temelju toga bilo je moguće donijeti neke zaključke.

3.1 Utjecaj relativne brzine na vrijednost koeficijenta trenja

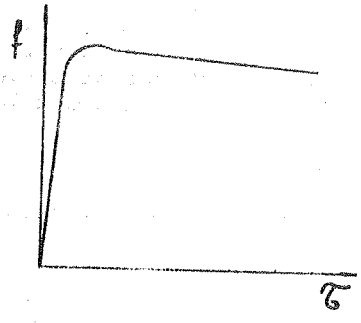
Dobiveni rezultati su pokazali da koeficijent trenja vrlo brzo raste s porastom brzine sve do brzine od oko 20 cm/sek, a zatim je porast znatno sporiji. To se podudara s dosadašnjim zapažanjima.

3.2 Utjecaj makropritiska

Govoreći o pritisku između tarnih ploha treba naglasiti da se radi o makropritisku, tj. pritisku koji djeluje na makroplohu, što je u konkretnom slučaju zadovoljavalo. Radilo se, naime, o ispitivanju koeficijenta trenja za određenu konstrukciju. Rezultati ostalih autora govore o izrazitom utjecaju veličine pritiska pada koeficijenta trenja. Međutim rezultati ovih mjerenja nisu pokazali tako izrazitu ovisnost trenja o pritisku. Uzrok tome može biti i taj, što područje promjene pritiska nije bilo veliko.

3.3 Pojava monomolekularnog filma na tarnoj stazi

Potrebno je upozoriti na pojavu monomolekularnog filma na tarnoj stazi. Već poslije svega nekoliko okretaja na novoj rotirajućoj čeličnoj ploči pojavio se tanki, plastični film i taj film je djelovao na smanjenje vrijednosti koeficijenta trenja. Karakteristični dijagram, snimljen s novom pločom izgleda kao na slici 5.

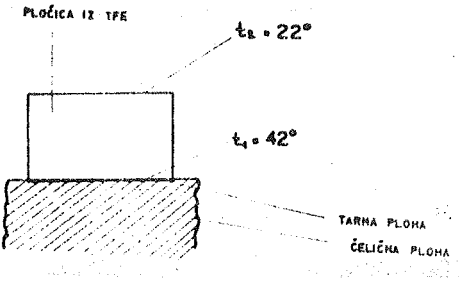


SLIKA 5

Pojavu monomolekularnog filma zapazili su i drugi eksperimentatori, posebno pak posebno pak Bowers /1/. Ta pojava dolazi više do izražaja kada tarna čelična ploča rotira, nego kada rotira TFE ploča.

3.4 Temperatura

Plastici su loši vodiči topline i to se odlično pokazalo tokom ispitivanja. Mjerenja temperature na plastičnoj pločici, mjereno na plohi u dodiru s čeličnom pločom i na suprotnoj plohi, pokazivala su razliku i do 20° C (slika 6). Može se kazati da povećanjem brzine temperatura raste i zapravo je vrlo teško odijeliti istovremeni utjecaj brzine i temperature na trenje.



SLIKA 6

Prilikom ispitivanja nije odvođena toplina.

Za konstruktore mehanizama bit će od interesa podatak, da u slučaju primjene plastičnih ležajeva treba odabrati tanje ležajeve, jer su debiji ležajevi nepovoljniji baš zbog toga što lošije vode toplinu, pa prije dolazi do oštećenja /2/.

3.5 Trajanje pokusa - utjecaj strukture

Pokusi vršeni kroz duže vrijeme (do 2 h) pokazali su da koeficijent trenja lagano pada produženjem pokusa. Fabre /3/ je pokazao da se struktura plastika mijenja od površine prema unutrašnjosti. Habanjem se skida prvi gornji sloj, a kada je on odstranjen dolazi do sniža-vanja vrijednosti koeficijenta trenja. Iz toga se može zaključiti da promjena strukture plastika također utječe na veličinu koeficijenta trenja.

3.6 Utjecaj stanja površina tarnog para

Površina uzorka iz TFE nije bila posebno pripremana za ispitivanje. S rotirajućom čeličnom pločom izvršene su dvije skupine ispitivanja. Brušena čelična ploča koja je zatim polirana na brusnom papiru 320, dala je vrijednost koeficijenta trenja f = 0,30. Koeficijent trenja porastao je na f = 0,50 kada je ploča bila polirana još i na brusnim papirima 0 i 00.

Utjecaj stanja površina tarnog para nije do sada dovoljno proučen. Rezultati nekih drugih autora, koji su vršili mjerenja koeficijenta trenja TFE, nešto se razlikuju od dobivenih tokom ovih ispitivanja. Međutim prema Bowdenu i Taboru /4/ vrijednosti koeficijenta trenja najlona (poliamid) za isti tarni par ali različita stanja površine su slijedeće:

najlon - polirani čelični valjak iz nerđajućeg čelika	f = 0,95
najlon - čelični valjak tokaren	f = 0,47
najlon - čelični valjak pjeskaren	f = 0,38

Ti rezultati pokazuju da postoje značajne razlike za vrijednosti koe-ficijenta trenja ovisno o stanju površine. Boljim poznavanjem stanja površine uopće (novi propisi o označavanju stanja površine obrađenih ploha još uvijek nisu našli najširu primjenu) moći će se stvoriti još bolji zaključci o utjecaju stanja površine na veličinu trenja. Među-tim, već i sada treba voditi računa o stanju površina tarnog para.

3.7 Utjecaj okoline na vrijednost koeficijenta trenja

Ispitivanje je provedeno u kontroliranoj atmosferi. Vlažnost zraka je iznosila 65 ± 5%, a temperatura 20° ± 2°C. Jedna serija ispitivanja izvršena je s uzorcima koji su bili izloženi atmosferskim prilikama kroz 6 tjedana (Pariz, mjesec srpanj i kolovoz). Rezultati se nisu značajnije razlikovali od onih provedenih u kontroliranoj atmosferi, pa se kod TFE može zanemariti utjecaj atmosferskih prilika. Međutim, ne može se zanemariti utjecaj temperature ispitivanja. Ovaj zaklju-čak vrijedi za uzorke iz TFE dok za većinu ostalih plastika vlažnost zraka znatno utiče na veličinu koeficijenta trenja.

4. REPRODUCIBILNOST REZULTATA

Dobiveni rezultati ispitivanja pokazali su značajno razilaženje s

podacima mjerenja ostalih ispitivača. Posebno pak u slučaju mirujućih tarnih pločica iz TFE.

Massot je pokazao u svom izvrsnom preglednom radu o trenju plastičnih masa /5/, da nije moguće usporedivati rezultate ispitivanja raznih autora dobivenih pod raznim uslovima i na razne načine. Samo rezultati dobiveni na isti način pod jednakim uslovima mogu se međusobno uspoređivati.

Na temelju dosadašnjeg izlaganja, nameće se zaključak, koji glasi:

"NUŽNO JE STVORITI INTERNACIONALNI STANDARD ZA MJERENJE KOEFICIJENTA TRENJA PLASTIČNIH MASA"

Time bi se omogućilo uspoređivanje rezultata ispitivanja kao i uspoređivanja koeficijenta trenja raznih tipova plastika.

5. OSNOVNE POSTAVKE ZA STANDARDIZACIJU POSTUPKA ISPITIVANJA KOEFICIJENTA TRENJA PLASTIČNIH MASA

Trenje plastičnih masa ispituje se raznim metodama.

Postojeće metode ispitivanja mogu se različito klasificirati. Čini se da je najpogodnija podjela koja detaljnije govori o obliku ispitivanog plastika, te o obliku dodira tarnih ploha.

Općenito se susreću tri oblika dodira na tarnim plohama (slika 7):

- tačkasti dodir,
- dodir po izvodnici,
- dodir na plohi (metoda CEMP).

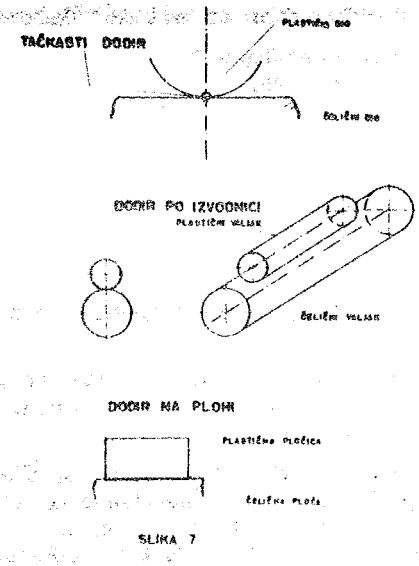
Trenje plastika prvenstveno ovisi o vrsti materijala. Veličina plohe koja je mjerodavna za određivanje trenja ovisi o pritisku.

Oblik uzorka koji se ispituje govori i o njegovim konačnim dimenzijama pa se može smatrati da će one utjecati na promjenu temperature uzorka. Temperatura djeluje na vrijednost koeficijenta trenja između ostalog i zato, jer njenim povišenjem može doći do puzanja. Stoga se mora izvršiti izbor standardnog oblika uzorka, bez obzira da li će biti standardiziran jedan ili više oblika uzorka, a time i oblika dodira tarnih ploha.

Ovisno o izboru standardnog uzorka bit će određena metoda ispitivanja kao i način mjerenja sile. Rezultati, dobiveni mjerenjem sile na različite načine, pokazuju izrazite razlike i stoga se mora odrediti i način mjerenja sile.

Osim oblika uzorka, važan je faktor i stanje površina tarnog para. Tom pitanju treba posvetiti punu pažnju jer su praktična mjerenja pokazala da trenje raste smanjenjem neravnina dijelova tarnog para.

Standard mora tačno propisati i uvjete okoline ispitivanja, posebno pak sadržaj vlage i temperature, te dozvoljena odstupanja od propisanih vrijednosti.



Na trenje plastičnih masa utječu i dodaci u plastiku /5/ pa bi stoga izvještaj o ispitivanju trebalo sadržavati podatke o sastavu plastika.

Zapažen je i utjecaj svojstava materijala drugog člana tarnog para, zbog toga treba propisati svojstva materijala tarne plohe koja je u dodiru s ispitivanom plastikom.

Mjerenja su pokazala utjecaj trajanja ispitivanja: trenje vremenom pada. Stoga je nužno propisati trajanje pokusa.

Također treba propisati način upotrebe sredstava za podmazivanje.

6. ZAKLJUČAK

Ovo saopćenje ima dvostruki zadatak. Prvo, da ukaže na neke osnovne probleme koji se javljaju prilikom ispitivanja trenja plastičnih masa. Zatim, obrazlaže potrebu pokretanja radova na izradi standardnog načina ispitivanja koeficijenta trenja. Standardna metoda je nužnost jer tek ona omogućuje međusobno usporedivanje trenja plastika.

U toku ovog izlaganja nije bilo govora o habanju koje je najtjesnije povezano s trenjem. Metoda ispitivanja CEMP ne omogućava lako praćenje habanja, pa tom problemu nije bila posvećena veća pažnja u toku ispitivanja. Osim toga problemi habanja su također vrlo složeni i nije ih moguće obuhvatiti u okviru vremenski ograničenog saopćenja.

Kao osnovna usporedbena literatura korišten je pregledni rad Massot-a /5/.

L I T E R A T U R A

1. R.C.Bowers, W.C.Clinton i W.A. Zisman: "Frictional properties of plastics" :Modern Plastics, str.131, 225 /Feb.1954/,
2. W.C.Wall: "Nylon in bearings and gears", Product Eng., July 1950,
3. G.Fabre: "Les plastiques comme matériaux de frottement" Ind.Plast. Mod.T. [illegible], No 8, str. 40 - 49, 1959,

4. Bowden i Tabor: "The friction and lubrification of solids"/Oxford/

5. J. Massot: "Le frottement des matières plastiques"
Ind. Plas. Mod. No. 10 - 1961, No. 1 - 4, 1962.

I. Čatić

Some remarks on the friction of plastics

The friction coefficient of polytetrafluoroethylene /TFE/ has been measured.

Measurement of tangential force helps to determine the coefficient. A group of tests were made with still TFE plates and another group with rotating TFE plate, but still steel plates.

The result of tests was compared with results of other authors. The influence of pressure, temperature, speed, ambient, the state of surface, structure, monomolecular film and duration of test, on the friction was comared. It was found that it was impossible to compare the different results obtained by different machines. For this reason the international standards for testing the friction coefficient of plastics must be established. The report suggests the ISO TC/61 to do it.

The influence of different factors on friction is described. These factors must be included in the standards.

Z. Kos *)

ELEKTROLITSKI POSTUPAK BRUŠENJA I NJEGOVA PRIMJENA ZA BRUŠENJE TVRDIH METALA **)

Uvod

Primjena sve tvrdih i otpornijih materijala u konstrukciji i industriji, kao i težnja za sve većom produktivnošću strojeva za obradu skidanjem strugotine, zahtijeva i sve veću primjenu reznog alata od tvrdog metala. Tvrdi metali su doživjeli izvanredno veliki razvoj i primjenu, naročito u toku posljednjih deset godina, zahvaljujući svojoj velikoj tvrdoći, mogućnosti rada na povišenim temperaturama, kao i velikoj otpornosti protiv istrošenja.

Zbog svoje relativno veće nabavne cijene neobično je važno i obnavljanje otupljenih reznih površina tj. oštrenje reznog alata. Oštrenje alata od tvrdog metala je vrlo delikatan postupak. Osim o subjektivnom uplivu (savjesnost i spretnost radnika) kvaliteta brušene površine ovisna je o brzini brušenja, o posmaku, o veličini dodirne površine i dr. Najveća šteta može nastati usljed zagrijavanja metala na površinskom sloju. Posljedica toga su velika naprezanja što dovodi do stvaranja makro i mikro pukotina u tvrdom metalu. Makro pukotine su obično vidljive prostim okom, dok mikro pukotine idu po granicama karbida i teško su vidljive. Mogu se opaziti pomoću mikroskopa specijalnim postupkom najedanja. Ove pukotine su vrlo opasne po alat, jer dovode do loma i razaranja pločice, što je veliki nedostatak mehaničkog načina brušenja.

U zadnje vrijeme razvio se novi postupak brušenja, kod kojega se odnošenje materijala sa alata vrši kombinacijom elektrolitskog i mehaničkog odnašanja, pri čemu je udio mehaničkog odnašanja svega nekoliko posto (cca 3%). Ovaj postupak obrade poznat je u literaturi pod nazivom "elisiranje".

Danas postoji već nekoliko izvedbi strojeva za elektrolitsku obradu, pa se i njihove kinematske sheme razlikuju prema vrsti brušenja. Razlikujemo strojeve za vanjsko i unutrašnje brušenje kao i za čeono brušenje koje je danas najviše rašireno.

Elektrolitske brusilice za brušenje čeonih površina se vrlo malo razlikuju od klasičnih brusilica. One imaju vreteno sa brusnom pločom izolirano od mase stroja, a dovod struje se vrši preko kliznog prstena pomoću četkica. Rezervar i pumpa za elektrolit imaju zadaću da dovode elektrolit na mjesto brušenja, a posebni ventilator ima zadaću da usisava raspršenu maglu elektrolita kao i plinove koji se razvijaju kod kemijskog procesa.

---

*) Zdravko Kos, dipl.ing., suradnik Instituta za alatne strojeve, Zagreb, Đure Salaja b.b.

**) Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve

Kao elektrolit upotrebljava se vodena otopina natrijeva nitrata i nitrita sa pH vrijednosti 8-9. Elektrolit ne smije korozivno djelovati na metalne predmete stroja.

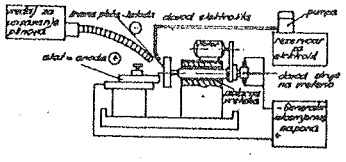
U Institutu za alatne strojeve načinjen je prototip elektrolitske brusilice namijenjene za oštrenje alata sa oštricom od tvrdog metala. Brzina okretanja vretena je 2200 okr/min, pa je brzina brusa tokom svih mjerenja održavana konstantna (cca 20 m/sec). Održavanje konstantnog pritiska kao i njegovo mjerenje, vrši se posebno konstruiranom napravom pomoću utega koji su na užetu preko kolutura pričvršćeni za stol. Upotrebljena brusna ploča je promjera 175 mm sa dijamantnim zrncima, a nabavljena je od firme Wendt.

Kao izvor struje za elektrolizu upotrebljen je selenski ispravljač koji može dati struju do 300 A kod napona 9 V. Regulacija je izvedena pomoću transduktora.

Ispitivanja vršena u IAS-u pokazala su da je naš prototip elektrolitske brusilice po svojem učinu na nivou evropskih izvedbi osim nekih konstrukcijskih nedostataka koji će se rekonstruirati (otsisavanje plinova, zaštita protiv prskanja i sl.).

Princip rada

Osnovni princip rada proizlazi iz I Faradayevog zakona elektrolize. Skidanje materijala se vrši uslijed anodnog otapanja. Naime, materijal koji se obrađuje (oštri) spaja se na pozitivni pol izvora istosmjernog napona kao anoda, a nasuprot njemu nalazi se brusna ploča spojena na negativni pol kao katoda. Između brusne ploče i površine, koja se obrađuje, cirkulira vodena otopina elektrolita, koji mora imati sposobnost anodnog otapanja metala koji se brusi. Principni spoj stroja za elektrolitsko brušenje prikazan je na sl. 1.



SL.1. PRINCIPNA SHEMA ELEKTROLITSKE BRUSILICE

Anodno otapanje metala slijedi po Faradayevom zakonu elektrolize koji glasi:

$$G = a\,I\,t = \frac{A}{n \cdot 96500}\,I\,t \qquad (1)$$

kod toga je:

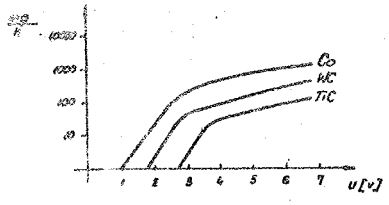
G - količina izlučene tvari (gr)
a - elektrokemijski ekvivalent (gr/As)
A - atomska težina
n - valencija

96500 (As) potreban broj As za izlučivanje 1 gram-atoma nekog jednovaletnog elementa.

Ovaj zakon kaže da je težina tvari koja odlazi u rastvor direktno proporcionalna sa količinom protekle struje. Ispitivanja su pokazala, da ova linearna ovisnost vrijedi samo do jedne određene gustoće struje od cca 100-150 A/cm2. Uz daljnji porast gustoće struje, odnašanje materijala sa anode ide sve sporije što se tumači pasiviziranjem ano-

de uslijed nagomilavanja produkata reakcije. Gustoća struje kod koje nastupa pasivnost anode ovisna je o vrsti i koncentraciji elektrolita kao i o vrsti materijala koji se brusi.

Tvrdi metal se sastoji od veoma tvrdih karbida volframa, tantala, vandija i dr. koji su sinterovani obično su kobaltom kao vezivnim sredstvom. Anodno otapanje sastavnih komponenata tvrdog metala ovisno o naponu elektrolize prikazano je na sl. 2. Iz dijagrama se vidi da je kobalt najneplemenitija komponenta. On se počinje već kod 1 V rastvarati, dok titan treba za rastvaranje 3 V. Kod 4 V omjer rastvaranja, titan karbida i kobalta je 1:200.



SL.2. ANODNO OTAPANJE SASTAVNIH DIJELOVA TVRDOG METALA U OVISNOSTI O NAPONU ELEKTROLIZE

Iz prikazanog dijagrama se vidi da se anodno otapanje kobalta odvija znatno brže od ostalih komponenata u tvrdom metalu. Obzirom da kobalt služi kao vezno sredstvo između tvrdih karbida to ovi karbidi u toku procesa elektrolize ostaju kao potkopani, i kao takovi formiraju na površini jednu krhku skeletnu strukturu. Za pojedine sastavne dijelove tvrdog metala anodno otapanje ide po slijedećim jednadžbama reakcije:

$$Co - 2e = Co^{++}$$

$$WC + 4H_2O - 8e = WO_3 + CO + 4H_2$$

$$TiC + 3H_2O - 6e = TiO_2 + CO + 3H_2$$

Dok kobalt ide u otopinu direktno, karbidi najprije oksidiraju i tek se onda otapaju sa anode. Volframovi i titanovi oksidi, koji nastaju u ovom procesu u vodi su netopivi. Posebnim dodacima u elektrolit oni se mogu rastvarati u vodi, pa tako ostaju kao fini talog suspendirani u elektrolitu.

Kao što je već spomenuto, elisiranje je kombinirani postupak elektrolitskog i mehaničkog brušenja. Brusna ploča iz električki dobro vodljivog materijala, na svojoj brusnoj površini nosi dijamantna zrnca koja su izbočena za 0,01 do 0,04 mm iz površine brusa. Ova zrnca imaju kod ovog procesa višestruku ulogu. Služe za mehaničko odstranjivanje nastale skeletne strukture karbida, kao i za skidanje taloga na anodi koji dovodi do njene pasivacije. Osim toga, dijamantna zrnca sprečavaju direktan kratki spoj između anode i katode, tako da se strujni krug zatvara preko elektrolita koji se dovodi na brusnu ploču.

Utjecajne veličine

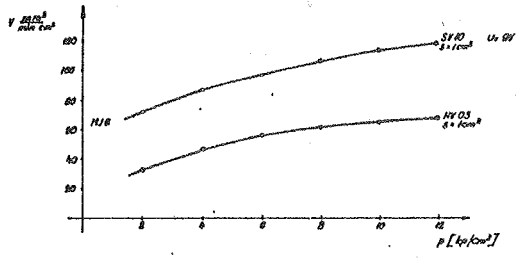
Obzirom da je elisiranje kombinirani postupak od elektrolitskog i me-

haničkog odnošenja, to razlikujemo i utjecajne veličine za svaki od ovih postupaka. Već je rečeno da količina skinutog materijala ovisi o gustoći struje i može se izraziti prema I Faradayevom zakonu, koji vrijedi do gustoća od 100-150 A/cm^2 sa kojima se obično radi u praksi.

Gustoća struje ovisna je o veličini napona i o koncentraciji kao i o vrsti elektrolita. Ispitivanja su pokazala da gustoća struje raste sa porastom napona do jedne maksimalne vrijednosti koja zavisi o pritisku između pločice i brusne ploče.

Gustoća struje raste i sa koncentracijom elektrolita do koncentracije od cca 8%, a dalje ostaje uglavnom konstantna pa je kao najpovoljnija koncentracija uzeta 8%. Kao elektrolit je upotrebljen rastvor natrijevog nitrata i nitrita.

Povećanjem pritiska pločice na brusnu ploču raste i količina skinutog materijala sa pločice. Ovo povećanje je posljedica povećanog mehaničkog udjela odnošenja u odnosu na elektrolitski. Uz održavanje konstantne gustoće struje povećanjem pritiska linearno raste količina skinutog materijala što je prikazano na slici 3. Ova količina je ovisna i o sastavu tvrdog metala kako se to vidi iz prikazanog dijagrama.



SL. 3 BRZINA SKIDANJA V U OVISNOSTI O PRITISKU NA BRUSNU PLOČU

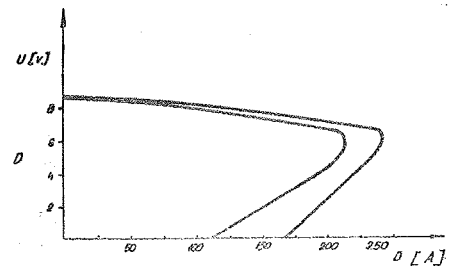
Utjecaj obodne brzine ploče, u granicama od 10 do 30 m/sek. ne pokazuje velike razlike na gustoću struje, odnosno količinu skidanja. Prema podacima iz literature odabrana je vrijednost, od 20 m/sek.

Generator istosmjernog napona

Rad generatora kod postupka elisiranja igra važnu ulogu. O ispravnoj konstrukciji ovisi optimalno odnošenje finoća obrađene površine i trošenje brusne ploče. Izlazni napon odnosno struja moraju se mijenjati prema geometriji elektroda i specifičnom površinskom pritisku.

Generator mora zadovoljiti izvjesnim zahtjevima kao što su:

- Odnos između tjemene i srednje vrijednosti napona mora biti u granicama koje ne dopuštaju prekoračenje kritične vrijednosti električnog polja na brusnoj površini kada dolazi do preskoka iskri i nastanka električnog luka koji može oštetiti pločicu i brusnu površinu.
- Generator mora biti osiguran od prekomjerne struje u slučaju nastanka kratkog spoja. Njegova karakteristika opterećenja mora biti takva da mu se napon samo vrlo malo mijenja sa opterećenjem sve do nominalnog opterećenja, a onda strmo pada na nulu. Struja kratkog spoja mora biti manja od nominalne struje.



SL. 4. OPTEREĆENJA KARAKTERISTIKA ISTOSMJERNOG GENERATORA

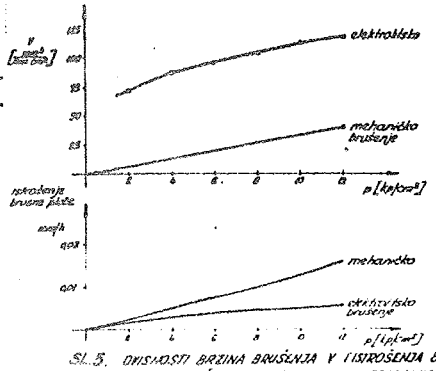
Izbor generatora i njegova konstrukcija vršeni su obzirom na mogućnost nabavke materijala. Za ispravljanje je upotrebljen selenski ispravljač, a regulacija je izvedena pomoću transduktora. Dobivene krivulje opterećenja prikazane su na slici 4.

Usporedba elektrolitske i klasične brusilice

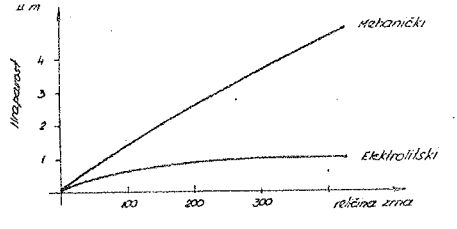
Kao što se i očekivalo, skidanje tvrdog metala je znatno veće kod elektrolitskog brušenja nego kod klasičnog. Ovo skidanje je jednako ili čak veće od onoga kod najgrublje obrade klasičnim načinom, a sa površinom koja odgovara klasičnom finom brušenju. Usporedne odnose za brzine skidanja kao i za trošenje brusnih ploča prikazane su na sl. 5.

Hrapavost obrađivane površine u ovisnosti o veličini zrna brusne ploče prikazane su za oba načina brušenja na sl. 6. Iz dijagrama se vidi da kod mehaničkog brušenja hrapavost raste skoro linearno sa veličinom zrna brusne ploče. Naprotiv kod elektrolitskog postupka veličina zrna ima znatno manji utjecaj na veličinu hrapavosti obrađivane površine.

Iz dosadašnjeg prikazivanja može se zaključiti da su prednosti novog postupka bruše-



SL. 5. OVISNOSTI BRZINA BRUŠENJA V I ISTROŠENJA BRUSA KOD MEHANIČKOG I ELEKTROLITSKOG POSTUPKA



SL. 6. VELIČINA HRAPAVOSTI BRUŠENE POVRŠINE KOD ELEKTROLITSKOG I MEHANIČKOG POSTUPKA

nja prema klasičnom znatne. Kao glavna prednost može se navesti znatno veća ekonomičnost. Na bolju ekonomičnost utječu dva faktora i to: vrijeme obrade i trošenje obično vrlo skupe brusne ploče sa dijamantnim zrncima. Vrijeme obrade je za oko 4-5 puta kraće, a trošenje brusne ploče je oko 6 puta manje.

Osim toga kod elektrolitskog postupka moguće je vršiti oštrenje

noževa zajedno sa metalnim držačem u jednoj jedinoj operaciji. Kod brušenja na klasični način potrebno je da se držač brusi sa korund-brusom, a tvrdi metal sa karborundumom ili dijamantom. Ovo zahtijeva najmanje dvije operacije, a također i dvije brusne ploče.
Obzirom da se kod elektrolitskog postupka radi sa manjim pritiscima to su i manje opasnosti pregrijavanja brušene površine, a time su i manje opasnosti od toplinskih naprezanja.
Ako je odabran elektrolit koji ne djeluje štetno na kožu, i ako otsisni uređaj za odvođenje nastalih plinova i para radi besprijekorno, ne bi se moglo govoriti o nekim nedostacima ovog novog postupka za brušenje.
U svakom slučaju postoji ekonomsko opravdanje za daljnji studij i usavršavanje elektrolitskog načina brušenja.

L I T E R A T U R A

1. J. Molloy: Electrochemical machining, Machinery 2765/65.
2. G.Koschoke: Elektroerosives Schleifen, Industrie-Anzeiger,Heft 63, 1956.
3. H.Kubeth H.Heitmann: Elektrochemisches Senken - ein neues abtragendes Verfahren zur Metallbearbeitung, Industrie-Anzeiger,46/63.
4. F.Grauert: Elysiergeneratoren - Stand der Technik und Entwicklungsperspektiven, Technische Rundschau 41/63.

Z. Kos

Electrolytic Grinding and its Use for Hard Metals

Electrolytic grinding is one of recent metalworking processes. In this process the removal of material is achieved through combined electrolytic and mechanical action. The workpiece is connected to the positive pole of a DC supply as on anode, and the grinding wheel is connected to the negative pole as the cathode. Between the anode and the cathode the electrolyte is circulated, which closes the circuit. With current passing through the circuit the electrolytic action removes the material from the anode. The amount of removed material follows the Faraday's law and, for a given metal it is directly proportional to the amount of current. Current densities in this process usually range from 100-150 A/cm^2.
Electrolytic removal of material is stimulated by the mechanical grinding action. The grinding wheel is made of conductive material, with a diamond abrasive surface. This surface removes the layer which is formed on the anode, which would otherwise impair or stop the electrolytic action. The mechanical amount of work is very small - only several per-cent of the total (about 3%) which considerably decreases the wear of usually very expensive grinding wheels. This wear is about 6 times less than in conventional grinding, and working time is 4-5 times shorter, which indicates the economical advantages of this method. Reseach work, done in the Institute of Machine Tools in Zagreb, is concerned with hard metals only, for this is the field where this new method can show all its advantages in comparison with conventional methods.

J. Stanić *)

UTICAJ SREDSTAVA ZA HLAĐENJE I PODMAZIVANJE NA PROCES REZANJA METALA PRI BUŠENJU **)

1. Uvod

Sredstva za hlađenje i podmazivanje (SHP) predstavljaju u modernoj tehnologiji mašinske obrade metala rezanjem veoma važna i neophodna pomoćna sredstva proizvodnje. U poslednje vreme njima se u svetu poklanja posebna pažnja koja je usmerena u dva pravca: ispitivanje i poboljšanje performansi postojećih i proizvodnja novih efikasnijih sredstava za hlađenje i podmazivanje.

Upotrebom SHP, naročito u operacijama bušenja, postižu se brojni efekti među kojima su svakako najznačajniji: povećanje postojanosti (T) alata, odnosno brzine rezanja (v), zatim smanjenje otpora (F) i momenta otpora rezanja (M) i poboljšanje kvaliteta obrade u odnosu na rezanje bez SHP. Zbog toga se u velikoj meri smanjuje i mašinsko vreme (t_g) po operaciji, odnosno povećava proizvodnost operacija bušenja pa se time u krajnjoj liniji smanjuju troškovi proizvodnje po jedinici proizvoda.

Kroz radove [1] i [2] Instituta izvršeno je sistematsko ispitivanje širokog kruga problema iz domena racionalne eksploatacije i kvaliteta više vrsta emulzionih ulja za bušenje. U ovom se napisu iznose samo delimični rezultati iz ovih ispitivanja s ciljem da se istakne uloga koja pripada SHP u neposrednom procesu rezanja metala i tehnologiji obrade bušenjem.

Valja na ovome mestu podvući da razlike koje su ispoljila pojedina ispitivana ulja u pogledu postojanosti alata, kvaliteta obrađene površine, tačnosti obrade i td. rezultiraju, svakako, iz razlika u njihovom kvalitetu i efektima dejstva podmazivanja i hlađenja u procesu rezanja metala. Ovde se u prvom redu misli na razlike u adsorbcionom, mehaničkom i difuzionom dejstvu SHP, zatim dejstvu hlađenja i sposobnosti formiranja povoljnih oblika strugotine u procesu bušenja [1].

---

*) Joko Stanić, dipl.maš.ing., asistent Mašinskog fakulteta i samostalni saradnik Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, 27 marta br. 80

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd. Informacija predstavlja deo projekta "Sistematsko ispitivanje obradljivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima" u čijem finansiranju učestvuju Savezni i Republički fond za naučni rad, i niz industrijskih i ostalih organizacija.

2. Uslovi i režim ispitivanja

U komparativnim ispitivanjima obuhvaćena su četiri emulziona ulja za bušenje, tri domaća i jedno strane proizvodnje (ulja su obeležena sa A, B, C i D). Ispitivanje je izvršeno na materijalu radnog predmeta Č.1730. Opitne operacije su izvedene pod sledećim uslovima i režimima:

1. Geometrija vrha burgija: ugao vrha burgije $2\varkappa = 118^{\circ}$, leđni ugao $\alpha = 12^{\circ}$, ugao poprečnog sečiva $\psi = 52^{\circ}$ i prečnik burgija $d = 8$ mm proizvodnje IAT, Trebinje (ove vrednosti elemenata $\varkappa$, α i ψ predstavljaju optimalne vrednosti prema ispitivanjima [3]).
2. Kinematika rezanja: brzina rezanja $v = 31,4$ m/min, korak $s = 0,10$ mm/o i dubina bušenja $l = 42$ mm (u nekim fazama ispitivanja varirana je brzina i korak u granicama $v = 20 - 40$ m/min i $s = 0,05 - 0,18$ mm/o).
3. Parametri položaja mlaznika: $H_1 = 25$ mm, $K = 9$ mm i $\varphi = 35^{\circ}$ (sl.1)
4. Karakteristike strujnog kola SHP: srednja brzina isticanja emulzije iz mlaznika $w = 4,32$ m/sec, protok emulzije $Q = 2,36$ l/min i prečnik izlaznog otvora mlaznika $d = 3,4$ mm, pri čemu je u izvesnim etapama w menjana u intervalu $w = 3 - 5$ m/sec.
5. Koncentracija ulja u emulziji: $k = 5\%$ (za ulja A, C i D) i $k = 3\%$ (za ulje B). Pri ispitivanju uticaja veličine k na postojanost alata T veličina k je menjana u granicama $k = 2,5\% - 10\%$.

U svim opitnim operacijama kao osnovni metod ispitivanja primenjen je metod habanja alata (4), a kontrola i merenje parametara procesa ispitivanja izvedeno je sa originalnom institutskom instrumentacijom (1) koja obezbeđuje visok stepen tačnosti i objektivnosti dobijenih eksperimentalnih rezultata.

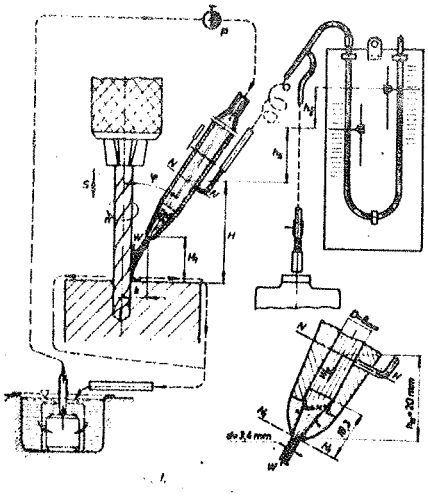
Pri postavljanju režima ispitivanja, kroz preliminarne opitne operacije, konstatovano je: sposobnost određenog SHP da se njima postigne viša postojanost alata a time i proizvodnost operacija bušenja (u odnosu na rezanje bez SHP), zavisi ne samo od kvaliteta samoga ulja (njegove emulzije) nego skoro u istoj meri i od: (1) položaja mlaznika prema burgiji i otvoru koji se buši u radnom predmetu, tj. od veličina H_1, K i φ (sl. 1) i (2) karakteristika strujnog kola SHP - brzine isticanja w i protoka Q. Menjanjem karakteristika strujnog kola, a naročito pritiska odnosno brzine cirkulacije, kao i položaja mlaznika višestruko se menja i postojanost alata u procesu rezanja pri upotrebi jednog istog SHP. Zbog toga su veličine H_1 i K, φ, w i Q mogle u glavnim opitima, ako se ne kontrolišu i njihova brzina ne svede u uske granice, da dovedu do grubih grešaka u rezultatima opita. Iz ovih činjenica proizašla je i konstrukcija cirkulacionog kola SHP prikazana na sl. 1. Elementi položaja mlaznika (H_1, K i φ) kontrolišu se posebnim graničnicima i šablonima. Radi kontrole i merenja veličina w i Q montirana je pijezometrijska cev u cirkulaciono kolo, odnosno u ravni N-N mlaznika i povezana sa živinim manometrom. Iz jednačine kontinuiteta i primenom Bernulijeve jednačine na preseke N-N i N_1-N_1 dobija se konačan izraz za srednju izlaznu brzinu w emulzije iz mlaznika u obliku

$$w = \frac{14}{\sqrt{1 + \zeta - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \sqrt{\frac{p'_N}{\gamma_s}} \quad [m/sec]$$

odnosno za protok

$$Q = \frac{0{,}84\, A_d}{\sqrt{1 + \zeta - \left(\frac{d}{D}\right)^4}} \sqrt{\frac{p'_N}{\gamma_s}} \quad [l/min]$$

gde je γ_s kp/dm^3 specifična težina emulzije, $p'_N = h_z \gamma_z + (h_g + h_N)\gamma_s$ [kp/cm^2], A_d [mm^2] površina izlaznog otvora mlaznika i ζ koeficijent lokalnog otpora koji prema [1] iznosi $\zeta = 0{,}137$ za $2\alpha = 14^0$. Ovako određen protok Q dovoljno se tačno slaže sa direktnim merenjem protoka pomoću menzure i hronometra.

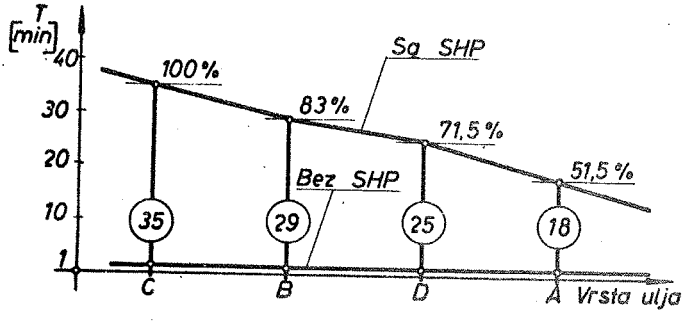


Sl. 1. Položaj mlaznika i šema cirkulacionog kola SHP pri ispitivanju uticaja SHP na proces rezanja metala bušenjem

Prema tome, šematski prikazana instalacija cirkulacionog kola omogućuje da se, u toku ispitivanja uticaja SHP na proces rezanja pri bušenju, kontrolišu karakteristike kola i položaj mlaznika, zadržavaju konstantnim na željenim vrednostima, ili variraju u planiranim područjima (visine h_z i h_g mogu se, za željeno w i Q, brzo odrediti iz grafika veličina w i Q i uzeti na manometru ručnim dejstvom na slavinu P kola).

3. Uticaj vrste SHP na postojanost burgija

Pri navedenim uslovima i režimima ispitivanja opiti su potvrdili relativno velike razlike u postojanosti burgija pri upotrebi pojedinih emulzionih ulja za bušenje, odnosno emulzije pojedinih ulja znatno su efikasnije od drugih s obzirom na usporenje procesa habanja burgija pri istovetnim ostalim uslovima i režimima rezanja. Rezultati ovih ispitivanja na čeliku Č.1730 sažeto su prikazani na sl. 2.



Sl.2. Zavisnost postojanosti burgija od vrste emulzionog ulja pri bušenju Č.1730 brzinom rezanja v = 31,4 m/min, s = 0,10 mm/0,1 = = 42 mm, w = 4,32 m/sec, Q = 2,36 l/min i d = 3,4 mm.

Odnos postojanosti alata pri upotrebi emulzija ispitivanih ulja iznosi: $T_C : T_B : T_D : T_A = 35 : 29 : 25 : 18$. Kao što se vidi, razlika između prvog i poslednjeg ulja u pogledu postojanosti burgija iznosi skoro 50%. Pošto su emulzije svih ulja ispitivane pod kontrolisanim i identičnim uslovima, to su ove razlike u ispoljenim efektima (postojanosti alata) posledica razlika u kvalitetu pojedinih ulja, pre svega razlika u adsorbcionom, difuzionom i mehaničkom dejstvu, dejstvo hlađenja i sposobnosti formiranja povoljnijih oblika strugotine u procesu rezanja bušenjem.

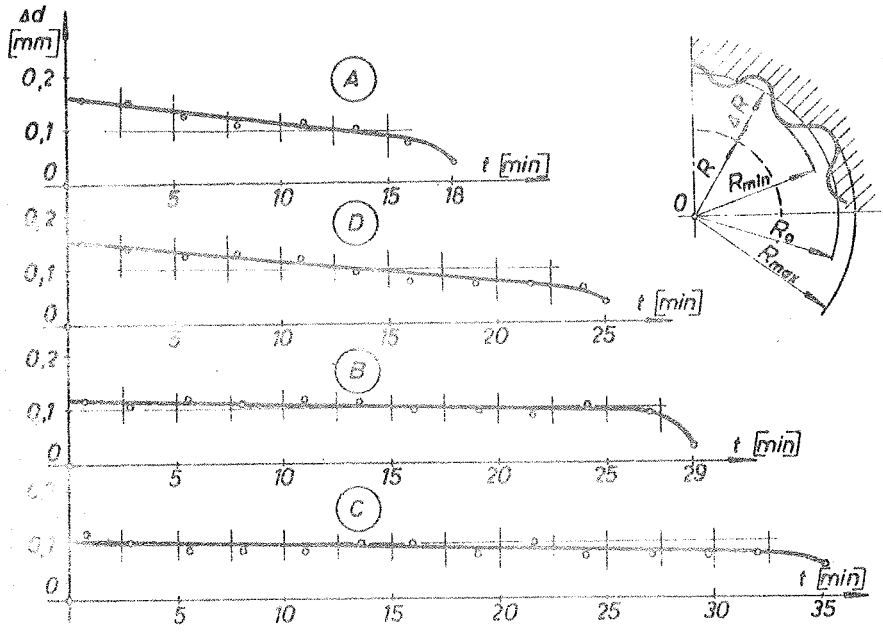
Sa dijagrama se dalje vidi da je bušenje materijala Č.1730 bez SHP pod navedenim režimima praktično neizvodljivo. Zapaženo je pri bušenju drugih materijala da sa porastom tvrdoće materijala raste i razlika između postojanosti alata pri i bez upotrebe SHP. U slučaju teže obradljivih materijala potpuno je neophodna upotreba SHP. Međutim kod lakše obradljivih materijala radnog predmeta moguće je izvesti čak i produktivnije vidove operacija bušenja bez upotrebe SHP, naročito pri manjim dubinama bušenja.

4. Uticaj vrste SHP na tačnost obrade

Kroz ove serije eksperimenata ispitan je uticaj emulzija pojedinih ulja za bušenje na važnije karakteristike tačnosti obrade. Pri bušenju čelika Č.1730 nije zapaženo ovalnost preseka rupe pri upotrebi navedenih SHP. Kontura preseka rupe "osciluje" oko kružne linije poluprečnika $R_0 = R + \Delta R$ odnosno prečnika $d_0 = d + \Delta d$ (sl.3), gde je d nazivni prečnik burgije, a Δd srednja vrednost povećanja prečnika rupe u odnosu na prečnik burgije. Ustanovljeno je prilikom merenja prečnika izbušenih rupa u čeliku Č.1730 pri upotrebi svih SHP da razlika maksimalnog i minimalnog prečnika rupe, nastala zbog makro i mikrohrapavosti na obrađenoj površini, ne prelazi granice $d_{max} - d_{min} = 0,05$ mm. Karakteristična je i zajednička za sva ispitivana SHP neznatna varijacija veličine d_0 odnosno vrlo malo smanjenje prečnika na dnu u odnosu na ulaz rupe duž ose rupa. Ova promena prečnika po dubini pojedinih rupa objašnjava se vođenjem burgije pošto prvi deo rupe služi kao vodica pri bušenju preostalog, donjeg dela rupe u materijalu. Kada se izvode prethodne grupe operacije bušenja, može se, praktično, ova promena prečnika duž ose rupe zanemariti.

Na slici 3 prikazani su matematički obrađeni rezultati promene prečnika d u zavisnosti od vrste SHP i vremena rezanja t pri bušenju čelika Č.1730. Veličina Δd odnosno d_0 merena je u radijalnoj ravni na dubini rupe L = 34 mm. Pre svega zapaža se da kod svih emulzija ispitivanih ulja opada veličina Δd, smanjuje se prečnik rupe sa vremenom rezanja približno po pravoj liniji. Opadanje prečnika, po gotovu kada je relativno oštro kao kod ulja A, nepovoljno se odražava na tačnost obrade, naročito pri izvođenju tačnijih završnih operacija bušenja gde se zahtevaju strožije tolerancije u pogledu promene prečnika rupa i otvora u toku bušenja između dva oštrenja burgije. Pri kraju bušenja, na nekoliko rupa pred zatupljenje burgija nastupa oštriji pad prečnika zbog naglog habanja, razaranja i zatupljenja reznih elemenata burgije, naročito ćoškova. Pri tačnijem bušenju

ovakvo razaranje sečiva burgije nesme se dozvoliti.



Sl. 3

Promena veličine Δd u zavisnosti od vremena rezanja (t) i vrste emulzionog ulja za bušenje pri bušenju čelika Č.1730 sa v = 31,4 m/min, s = 0,10 mm/o, l = 42 mm, w = 4,32 m/sec, Q = 2,36 l/min i d = 3,4 mm

I ova grupa opita, kao što se vidi na sl. 3, potvrdila je da postoje određene i dosta znatne razlike između pojedinih SHP u pogledu tačnosti obrade. To jasno pokazuju i jednačine dobijene pomoću metoda najmanjih kvadrata

(A) $\Delta d = 163 - 5 t$,
(D) $\Delta d = 154 - 3,85t$,
(B) $\Delta d = 120 - 1,2 t$,
(C) $\Delta d = 105 - 0,73t$,

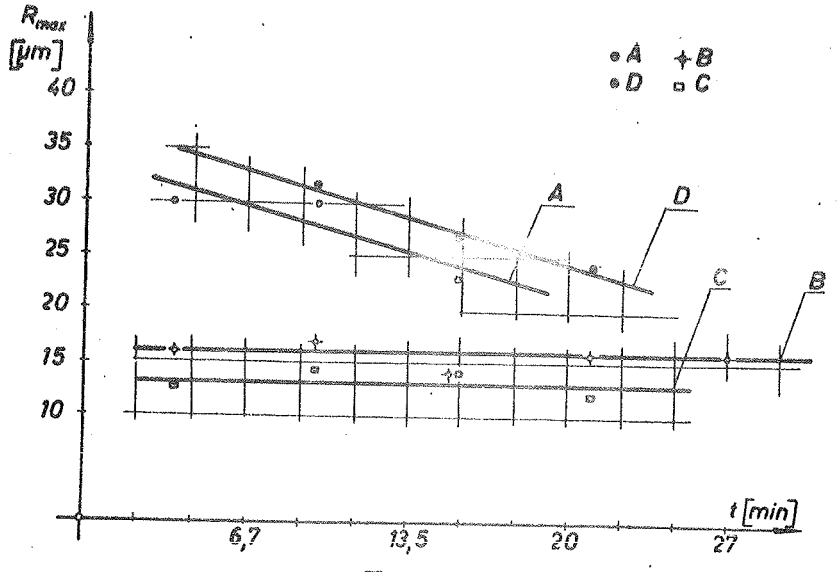
gde je Δd u [μm] a vreme rezanja t u [min]. Dakle, pri upotrebi emulzije ulja A veličina Δd se smanjuje sa početne vrednosti Δd_p = = 0,163 mm na krajnju Δd_K = 0,08 mm, odnosno prečnik početnih rupa koji iznosi d_{op} = 8,163 mm opada na vrednost d_{ok} = 8,08 mm na krajnjim rupama. Međutim, ove varijacije u prečniku rupa pri upotrebi ulja C su praktično neznatne, te je ovo ulje, ne samo u pogledu tačnosti obrade, nego i u postojanosti alata kvalitetnije od ulja A. Razlozi ovih relativno velikih razlika u prečnicima rupa pri upotrebi pojedinih ulja leže u kvalitetu samih ulja odnosno njihovoj sposobnosti da, pored hlađenja, stvaraju granični sloj ulja odgovarajuće jačine i moći nošenja između površina koje se međusobno dodiruju

i kreću, u ovom slučaju između obrađene površine i površine alata (rubova, ćoškova, leđne površine), s jedne, i između obrađene površine i sabijene strugotine (kad se pojavi zagušivanje i njeno prelivanje preko rubova), s druge strane. Upotrebom ulja, koja poseduju gornje osobine usporava se proces habanja alata (naročito habanje ćoškova i rubova), pa se time indirektno utiče na tendenciju smanjenja prečnika rupa u toku bušenja, što je od osobite važnosti za tačnost obrade bušenjem.

I kontrolni opiti na drugim materijalima potvrdili su izloženi karakter uticaja emulzija pojedinih ulja na tačnost obrade u toku vremena rezanja.

5. Uticaj vrste SHP na kvalitet obrađene površine

Kvalitet obrađene površine radnog predmeta, pored postojanosti alata i tačnosti obrade, predstavlja u tehnologiji mašinske obrade rezanjem veoma značajan faktor. On je, kao što je poznato, zavisan od mnoštva uticaja i pojava. Svakako da i vrsti SHP pripada određen udeo u tome. Kroz ovu grupu opita ispitan je karakter i stepen tog uticaja pod navedenim uslovima i režimima. Od karakteristika kvaliteta izabrana je maksimalna hrapavost obrađene površine R_{max} i kroz ispitivanje utvrđena zavisnost ove veličine od vrste SHP u toku vremena rezanja t. Rezultati su prikazani na sl. 4 i oni nedvosmisleno pokazuju da se mora ozbiljno računati sa činiocem kvaliteta i vrste SHP ako se želi postići određena kakvoća obrađene površine bušenjem.



Sl. 4

Eksperimentalna zavisnost maksimalne hrapavosti (R_{max}) od vremena rezanja (t) i vrste emulzionog ulja pri bušenju čelika Č.1730 sa v = 31,4 m/min, s 0,10 mm/o, l = 42 mm, w=4,32 m/sec i Q=2,36 l/min

Pri upotrebi nekih ulja (C i B) postiže se znatno finiji kvalitet obrađene površine dok je kod drugih ulja taj kvalitet relativno grub (D i A). Kod druge grupe se kvalitet obrade menja sa vremenom rezanja a kod prve ne. Tako pri upotrebi ulja D i A početne vrednosti hrapovosti R_{max} (na početnim rupama) koje se kreću oko $R_{max} = 30\,\mu m$, opadaju s vremenom rezanja na $R_{max} = 20\,\mu m$ na krajnjim rupama neposredno pred zatupljenje burgija. Opadanje r_{max} s vremenom rezanja u uskoj vezi je sa veličinom i brzinom procesa habanja burgija pri korišćenju ovih ulja, naročito spoljašnjih ćoškova alata koji se postepeno habaju, zaobljavaju i dobijaju od ugaonog lučni oblik koji u daljem procesu bušenja daje nešto viši kvalitet obrađene površine.

6. Uticaj SHP na oblik Tejlorovog zakona i ekonomičnu brzinu rezanja

Eksperimenti su pokazali da od kakvoće emulzionog ulja zavisi ne samo postojanost burgija, tačnost obrade i kvalitet obrađene površine nego i oblik Tejlorova zakona, konstanta C i eksponent postojanosti m, a time i vrednosti ekonomičnih brzina rezanja i proizvodnost operacija bušenja. Ovaj uticaj se, u isto tolikoj meri, prostire i na poznate proširene izraze koji povezuju brzinu rezanja, korak, postojanost alata, prečnik burgija i td. Otuda faktor kvalitet SHP predstavlja jedan od značajnih činilaca racionalne i produktivne proizvodnje.

Radi ilustracije ovih konstatacija navode se delimični rezultati jedne od opitnih faza istraživačkog projekta[1] u kojoj su izvedeni opiti na materijalu Č.1730 sa upotrebom ulja A i D pri različitim brzinama rezanja v = 20 - 40 m/min. Matematički obrađeni rezultati ispitivanja dovode pri navedenim uslovima do sledećih konačnih oblika Tejlorovog zakona

$$T = \frac{222 \cdot 10^6}{v^{4,83}}$$

pri upotrebi ulja A, i

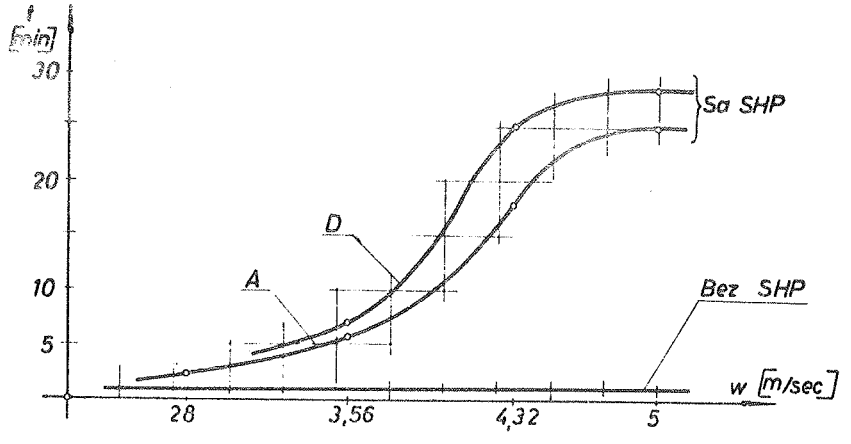
$$T = \frac{2115 \cdot 10^6}{v^{5,4}}$$

korišćenjem ulja tipa D (gde je T u [min], a v u [m/min]), iz kojih se vidi da su relativne razlike u eksponentima postojanosti 1/m = = 4,83 za prvo i 1/m = 5,4 za drugo ulje s tehnološkog stanovišta znatne. Ove su razlike još veće pri upotrebi emulzionih ulja koja se po rangu nalaze na prvom i poslednjem mestu s obzirom na postignute efekte u pogledu postojanosti alata.

7. Uticaj karakteristika strujnog kola SHP na postojanost alata

U preliminarnim opitnim operacijama zapažena je činjenica da u ispitivanju kompleksa uticaja sredstava za hlađenje i podmazivanje na proces rezanja metala pri bušenju dominiraju u osnovi tri glavna faktora: (1) kvalitet emulzionog ulja, (2) karakteristike strujnog (cirkulacionog) kola SHP (brzina isticanja emulzije v i protoka Q) i (3) položaj mlaznika prema alatu i otvoru koji se buši u radnom predmetu (H_1, K i γ, sl. 1). Otuda se način eksploatacije određenog SHP

(karakteristike strujnog kola i položaj mlaznika) ne može odvojiti od kvaliteta emulzionog ulja, i bitan je, skoro u istoj meri, kao i sam kvalitet ulja pri racionalnoj eksploataciji ovih pomoćnih sredstava proizvodnje. Ostavljajući zasad na stranu parametre položaja mlaznika, glavne opitne operacije su pokazale da se pri izvesnim nepovoljnim vrednostima ovih karakteristika, čak i pri upotrebi vrlo kvalitetnih emulzionih ulja za bušenje, postižu praktično mali efekti u pravcu poboljšanja postojanosti burgija u odnosu na rezanje bez upotrebe SHP. Zbog toga je dalje sistematsko ispitivanje vrednosti optimalnih područja karakteristika strujnog kole od prvorazredne važnosti za pravilnu primenu i korišćenje određene vrste ulja za bušenje čiji kvalitet i uticaj na proces rezanja dolazi do izražaja tek pri pravilnom izboru strujnog režima.



Sl. 5

Eksperimentalna zavisnost postojanosti (T) burgija od brzine mlaza (w) i vrste SHP pri bušenju čelika Č.1730 sa v = 31,4 m/min, s = = 0,10 mm/o i l = 42 mm

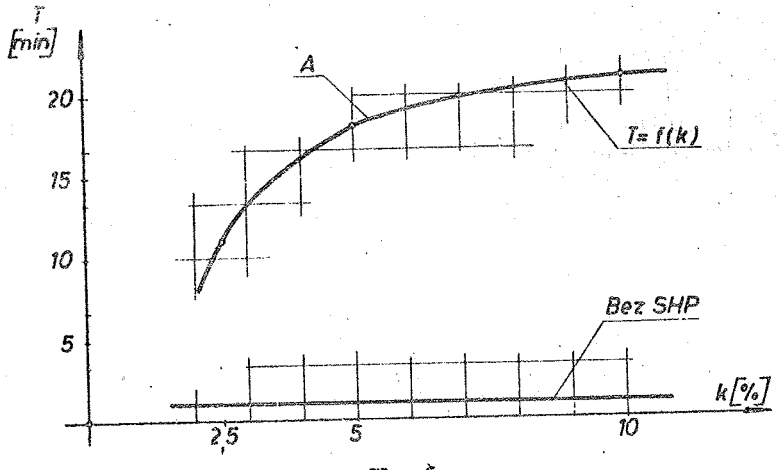
Na sl. 5 prikazani su rezultati ispitivanja samo jedne od ovih karakteristika - brzine mlaza w na izlazu iz mlaznika. Ispitivanja su izvršena uz upotrebu ulja tipa A i D, pri čemu je brzina mlaza varirana u intervalu w = 2,8 - 5 m/sec.

Odmah se može zapaziti činjenica da brzina mlaza pri konstantnim i jednakim ostalim uslovima i režimima ispitivanja, i kod jednog i kod drugog tipa ulja, snažno utiče na postojanost alata u intervalu w = 3,2 - 4,8 m/sec. Tako sa porastom brzine mlaza u ovom intervalu oštro raste i postojanost zavojnih burgija, na primer, za ulje A od T ≈4 min na T = 24 min.

Upotrebom ovih ulja ispod ovog intervala tj. pri w<3 m/sec (pri navedenim uslovima i režimima, naročito pri l = 42 mm) ne postižu se praktično bolji efekti u pogledu postojanosti alata od rezanja bez upotrebe SHP. Razlog ovome je relativno mala kinetička energija i udarna snaga mlaza, nedovoljna da savlada otpore na koje SHP nailazi

na putu do zone rezanja (smer kretanja SHP i strugotine su suprotni). S druge strane, takođe je neefikasna upotreba SHP pri velikim brzinama w, jer snažan pritisak SHP ometa normalni odvod strugotine, potpomaže njenom "zagušivanju" između površina žljebova i cilindrične površine rupe čime se sprečava prodiranje SHP u zonu rezanja.

U izloženim ispitivanjima koncentracija ulja A u emulziji bila je konstantna i iznosila je k = 5%. Međutim, variranjem koncentracije ulja A u emulziji u granicama K = 2,5% - 10%, pri uslovima i režimima istovetnim prethodnim ispitivanjima, znatno se menja slika postignutih efekata u pogledu postojanosti alata pri upotrebi ovog emulzionog ulja. To pokazuju i rezultati prikazani na sl. 6 na kojoj je data zavisnost postojanosti burgija od koncentracije ulja A u emulziji pri bušenju čelika Č.1730.



Sl. 6

Zavisnost postojanosti alata (T) od procentualnog učešća (k) ulja A u emulziji pri bušenju čelika Č.1730 sa v = 31,4 m/min, s = 0,10 mm/o, l = 42 mm, w = 4,32 m/sec i Q = 2,36 l/min

Ovi rezultati pokazuju, da sa porastom koncentracije ulja u emulziji od k = 2,5% do k = 5%, pri navedenim uslovima ispitivanja, relativno brzo raste i postojanost alata od T = 11 min na T = 18 min. Pri daljem povećavanju koncentracije (k > 5%) ulja u emulziji porast postojanosti se znatno usporava, tako da je razlika u postojanostima alata pri upotrebi 5% i 10%-ne emulzije svega T = 3 min. Prema tome, povećanjem procentualnog učešća (k) ulja u emulziji iznad k > 10% bitno se ne utiče na kvalitet ulja A u pogledu povećanja postojanosti alata u procesu bušenja pri navedenim uslovima i režimima ispitivanja.

Valja istaći, da se ovi rezultati uticaja koncentracije ulja u emulziji ne mogu uopštavati i posmatrati jednostrano, samo sa stanovišta postojanosti alata, jer, kao što je poznato koncentracija jednog određenog ulja za bušenje u emulziji zavisi od niza drugih činioca kao

što su kvalitet obrađene površine koji se želi postići, režim obrade, materijal radnog predmeta i td. i da koncentracija raste sa težim uslovima rada alata i većim zahtevima podmazivanja površina između alata, strugotine i predmeta, gde su veće brzine i otpori rezanja i gde se zahteva viši kvalitet i preciznost obrade. Rezultati samo ukazuju na činjenicu da u pojedinim zahtevima i uslovima obrade bušenjem, uz predhodno ispitivanje ekonomskih faktora primene SHP i koncentracije ulja u emulziji, postoji optimalno područje koncentracije jednog određenog ulja u emulziji sa vodom s obzirom na cenu ulja i ekonomsko-tehničke efekte koji se postižu u konkretnim slučajevima tehnologije mašinske obrade.

L I T E R A T U R A

1. Stanić J., Uporedno ispitivanje performansi ulja za bušenje domaće i strane proizvodnje, Institut za alatne mašine i alate, Elaborat 18/65, Beograd.
2. Stanić J., Andrejić Nj., Verčon J., Ispitivanje performansi tri vrste ulja za bušenje, Institut za alatne mašine i alate, Elaborat 33/66, Beograd.
3. Šolaja V., Stanić J., Jovičić M., Uporedno ispitivanje karakteristika domaćih i stranih burgija, Institut za alatne mašine i alate, Elaborat 10/64, Beograd.
4. Grupa autora, Sistematsko ispitivanje obradljivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima, Godišnji izveštaj 1.I - 31.XII 1965., Institut za alatne mašine i alate, Beograd i Inštitut za strojništvo, Ljubljana, Elaborat 31/65.

E. Станич

Влияние смазочно-охлаждающих жидкостей на процесс резания металлов

В статье, на основе систематических исследований сделанных в Институте для станков и инструментов в Белграде, излагаются некоторые результати сравнительных исследований отечественных и зарубежных смазочно-охлаждающих жидкостей. Определены экспериментальние зависимости стойкости сверл, точности обработки и чистоты поверхностей от сортов смазочно-охлаждающих жидкостей; исследовано влияние выходной скорости эмульсии из насадки и концентрации эмульсии на стойкость инструмента и показано что величина коэфициента и показателя стойкости в уравнении Тэйлора зависит в большой мере от сорта, качества смазочно-охлаждающих жидкостей.

F. Kovačiček *)

REZNI ALATI NA BAZI Al_2O_3 **)

Uvod

Već niz godina radi se u mnogim zemljama na osvajanju novih alatnih materijala na bazi aluminijskog oksida (Al_2O_3), koji bi trebali u izvjesnim slučajevima uspješno zamijeniti ili nadopuniti dosad upotrebljavane tvrde metale. Pokazalo se, naime, da je prelazom na spomenute nove rezne alatne materijale moguće postići izvjesne ekonomske uštede kao i bolje tehnološke efekte, zbog jeftinijih sirovina te većih brzina rezanja, koje dozvoljavaju ovi materijali.

Iako se na ovom području radi na više strana dosta intenzivno već niz godina, ipak se može reći da dosadašnji uspjesi, premda su vrlo interesantni, još uvijek nisu sasvim potpuni. Niz zemalja Evrope, USA, a u posljednje vrijeme i Japan, sve više koristi rezne alatne materijale na bazi Al_2O_3 u širem opsegu za obradu metala skidanjem strugotine. Razlike u kvaliteti i među reznim pločicama pojedinih proizvođača još su znatne, tako da se i dalje vrše intenzivna istraživanja u svrhu poboljšanja njihovih reznih i mehaničkih svojstava. Novi rezni materijal se po svom sastavu i svojstvima više približava keramici nego li metalima, te mu otuda i ime "Rezna keramika"

Podjela i svojstva rezne keramike

Obzirom na sastav može se rezna keramika podijeliti u tri osnovne grupe:

1. rezna keramika na bazi čistog aluminijskog oksida sa ili bez veziva, koja u literaturi dolazi pod imenom oksidkeramika,
2. rezna keramika na bazi mješavine aluminijskog oksida i čistog metala (Mo,Cr) ili "Cermet" i
3. rezna keramika na bazi mješavine aluminijskog oksida i metalnih karbida ili oksidkarbid keramika.

Ovaj redosljed odgovara i razvojnom toku keramičkih materijala. Uspoređujući reznu keramiku i njezina fizikalna svojstva (tablica 1) sa svojstvima čelika, tvrdih metala i porcelana mogu se konstatirati primjetljivo veće razlike.

Pregledom danih svojstava rezne keramike u usporedbi sa tvrdim metalima može se ustanoviti slijedeće:

1. Rezna keramika je tvrđa i otpornija na habanje,
2. Rezna keramika gubi tvrdoću na višim temperaturama. S porastom temperature raste i razlika u tvrdoći, što je od osnovne važnosti

---

*) Franjo Kovačiček, dipl.ing., asistent Strojarsko-brodograđevnog fakulteta, Zagreb, Kačićeva 26

**) Saopćenje iz Zavoda za plastičnu obradu i zavarivanje

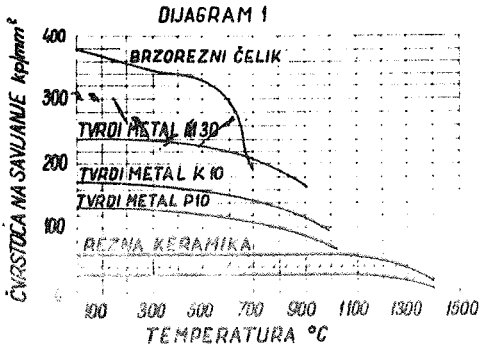
TABLICA 1.

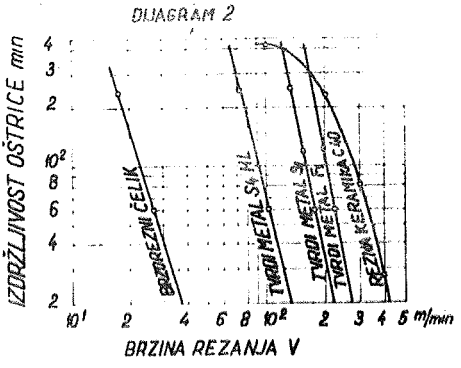
Svojstvo	Čelik	Tvrdi metal	Oksid. keram.	Porcelan
Spec. težina g/cm³	7,85	8-15	3,85-3,98	2,3-2,5
Čvrstoća na tlak kp/mm²	ovisno o legiranju i toplin. obradi	400-550	300	45
Čvrstoća na savijanje kp/mm²		80-240	60	7
Tvrdoća po Knoopu		1400-1800	2000-2300	500
Početak stvaranja okujine °C	900	800	1850	1400
Toplinska vodljivost cal/cm sek. °C	0,08	0,05-0,18	0,07	0,003
Toplinsko istezanje $\alpha \cdot 10^6$	11-15	5-7	8,5*) *)0-1000 °C	

za ponašanje rezne keramike kod obrade rezanjem. Njezna tvrdoća opada na polovinu svoje vrijednosti kod 1200° C, a kod tvrdih metala zbiva se to već kod 800°C.

3. Primjećuju se također veće razlike u mehaničkim svojstvima, posebno u žilavosti, čvrstoći na savijanje, te u čvrstoći na tlak. Te su vrijednosti svakako povoljnije kod tvrdih metala. Ovakova svojstva će naročito utjecati na područje primjene rezne keramike tj. ograničavanje upotrebe iste za određenu obradu i odabiranje odgovarajućih uvjeta rezanja, imajući pri tom u vidu dosta nisku žilavost.
4. Opadanje čvrstoće na savijanje nastupa kod rezne keramike na mnogo višim temperaturama u usporedbi sa tvrdim metalima. To znači, da se vrijednosti za čvrstoću na savijanje rezne keramike približuju vrijednostima za tvrde metale kod viših temperatura. Približan tok opadanja čvrstoće na savijanje sa porastom temperature prikazuje dijagram 1.
5. Specifična težina rezne keramike znatno je niža od specifične težine tvrdih metala. Ona je, ovisno o sastavu, 3 - 5 puta manja. Što je veći udio metalne komponente ili karbida to je i taj omjer manji, i obrnuto.
6. Primjetljiva razlika u koeficijentu toplinskog istezanja dovodi do potrebe da se pređe na mehaničko pričvršćenje pločica na držač umjesto dosadašnjeg spajanja lemljenjem, kako je to uobičajeno kod tvrdih metala.
7. Brzina rezanja sa reznom keramikom znatno su veće u usporedbi sa brzinama rezanja za tvrde metale i prvoklasne brzorezne čelike. Tačnije rečeno, rezna keramika traži visoke brzine rezanja, jer je uz taj uvjet, i trajnost oštrice veća, a kvaliteta obrađene površine bolja. Pregledno to pokazuje dijagram 2.

Na osnovu naprijed izloženog može se zaključiti da će i ovi novi materijali kad-tad naći u praksi svoje značajnije područje primjene, a prema posljednjim podacima sve ga više i pronalaze. Prema dosad obja-





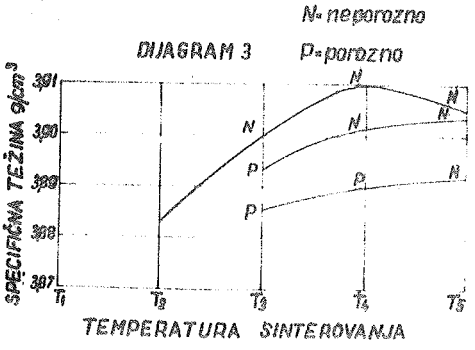
vljenim rezultatima prvenstveno će to biti područje fine obrade metalnih materijala, gdje se radi o skidanju strugotine vrlo sitnih presjeka i gdje se traži relativno visoka glatkoća obrađene površine.

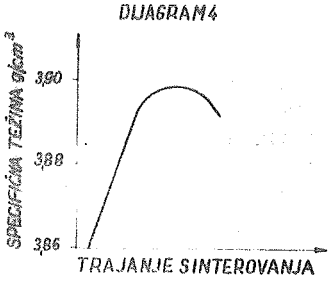
Poznato je, da na kvalitet rezne pločice utječe čitav niz faktora od kojih se slijedeći navode kao glavni: kemijski sastav glinice (Al_2O_3) vrsta i količina upotrebljenog veziva, homogenizacija glinice sa vezivom, veličina zrna, te postupak oblikovanja i sinterovanja pločica obzirom na pritisak, temperaturu i trajanje sinterovanja. Čistoća glinice za ovu svrhu kreće se u granicama od 98,5 - 99,5 %. Od nečistoća su prisutni SiO_2, Fe_2O_3, CaO i MgO kao stalni pratioci glinice. U tim granicama čistoće ni jedna od spomenutih primjesa ne može biti od većeg utjecaja. Veličina zrna treba se kretati, kako izgleda, u granicama čistoće ni jedna od spomenutih primjesa ne može biti od većeg utjecaja. Veličina zrna treba se kretati, kako izgleda, u granicama od 1-10 m. Tendencija je da se ide na što sitnije zrno, koje omogućuje dobivanje kompaktnijih pločica. Veličina ispod 1 m se ne preporučuje jer uzrokuje povećanje krtosti. Određivanje veličine zrna predstavlja dosta velik problem obzirom na dimenzije i jedino se uspjeva točno odrediti sedimentacionom analizom. Što se tiče veziva, njegove vrste i količine, može se reći da se mijenja od slučaja do slučaja. Za različite vrste rezne keramike ne može se primjeniti isto vezivo. Osnovna sirovina (glinica) i dodaci (metali ili karbidi) diktiraju koje će se vezivo koristiti u pojedinom slučaju. Nažalost, još uvijek nije dovoljno razjašnjeno na koji način djeluje vezivo. Jedino je sigurno utvrđeno da magnezijev fluorid djeluje povoljno u manjim količinama (ispod 1%)na taj način što sprečava porast kristaliteta tokom procesa sinterovanja. To ima za posljedicu veću gustoću, a time i manji porozitet pločica. Do danas je isproban čitav niz veziva, ali se ne može ustvrditi da je pronađeno univerzalno vezivo, koje bi omogućilo proizvodnju reznih pločica najboljih svojstava. Vrst veziva, količina i oblik u kojem je vezivo dodano, uglavnom su tajne proizvađača keramičkih materijala, što je uzrok da se o njima malo znade.

Slijedeći utjecajni faktor je svakako homogenizacija glinice sa vezivom. To znači da se glinica mora što bolje izmiješati sa vezivom,

a isto tako i veličinu zrna veziva treba približiti veličini zrna glinice, što se postiže istovremenim mljevenjem u mlinovima s kuglama. Velika razlika u veličini zrna, a to znači loša homogenizacija, ne može dati kompaktne pločice, već naprotiv daje porozne produkte.

Od posebnog značenja za kvalitetu pločica je tok oblikovanja i sinterovanja. Gustoća pločica ovisna je o primjenjenom pritisku kod oblikovanja. Veći pritisak dati će kompaktnije pločice sa manje poroznosti i obrnuto. Ništa manje značajni faktori su temperatura i vrijeme trajanja sinterovanja. Postoji određena ovisnost gustoće pločica o primijenjenom pritisku oblikovanja, temperaturi i vremenu trajanja sinterovanja. Za svaki pojedini slučaj potrebno je eksperimentalno pronaći optimalne uvjete. Utjecaj pritiska kod oblikovanja, temperature i trajanja sinterovanja na gustoću pločica pokazuju dijagrami 3 i 4.





Izrada pokusnih pločica

Naša zemlja ima sirovina za proizvodnju rezne keramike, a nema sirovina, ili ne barem svih i u dovoljnoj količini, za proizvodnju tvrdih metala. Zbog toga je i za domaću proizvodnju tvrdih metala interesantna mogućnost domaće proizvodnje rezne keramike kao izvjesne zamjene ili nadopune za tvrde metale i uštede na uvozu. Premda bi sve ranije navedene grupe bilo interesantno ispitati u pogledu mogućnosti usvajanja proizvodnje i kod nas, ograničena su istraživanja na materijale prve grupe, tj. na grupu reznih alata od čistog aluminijskog oksida. Pretpostavljalo se je, u koliko se u tome uspije da će prelaz na druge dvije grupe biti samo stvar vremena. Osnovna namjera bila je, naime, da se ispita mogućnost korištenja domaćeg aluminijskog oksida, a to će se najbolje postići upotrebi li se on sam.

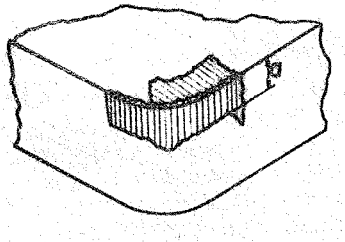
Za izradu pokusnih pločica korištena je glinica iz Kidričeva, sastava 98,40% Al_2O_3, 0,20% MgO, 0,28% CaO, 0,54% Fe_2O_3, i 0,04% SiO_2. Od čitavog niza ispitivanih veziva konačno su izdvojena tri, koja su dala zadovoljavajuće rezultate u pogledu poroznosti odnosno gustoće. Završni pokusi izvršeni su variranjem količine veziva. Slično se postupilo sa temperaturama i vremenom trajanja sinterovanja. Nakon što je nađena povoljna temperatura varirano je trajanje sinterovanja te vrsta i količina veziva. Dobivene pločice označene slovima A, B, C i D

slijedećih su karakteristika.

Pločica	Spec.tež. g/cm	Mikrotvrdoće kp/mm
A	3,85	2300 - 2900
B	3,20	1500 - 1900
C	3,81	1800 - 2000
D	3,83	1800 - 2200

Pokusi rezanja

Da se ispita kvaliteta izrađenih pločica, izvršeni su pokusi rezanja na brzohodnom tokarskom stroju UT 250 proizvedenom u tvornici alatnih strojeva "Prvomajska" u Zagrebu. Radi usporedbe vršeni su pokusi rezanja sa pločicom "Degussit" SL 1 tvornice Degussa, koja već 30 godina s uspjehom radi na usvajanju i proizvodnji oksidkeramičkih pločica. Pokusi rezanja vršeni su u Institutu za alatne strojeve u Zagrebu. Pokusne pločice bile su četvrtastog oblika dimenzija 12 x 12 x x 5 mm. Pričvršćenje pločica u posebnom držaču izvedeno je mehanički, te su kao rezni alat imale slijedeće karakteristične kuteve. Prednji kut $\gamma = -6^0$, stražnji kut $\alpha = 6^0$, kut rezanja $\delta = 96^0$, kut postave $\varkappa = 80^0$, i kut nagiba $\lambda = -3^0$. Radi se dakle o relativno tupom reznom alatu s negativnim prednjim kutem γ, što donekle otežava proces rezanja, povisujući silu rezanja, ali povisuje i mehaničku otpornost reznog klina, a time i izdržljivost oštrice. Negativni prednji kut ima izvjesnog utjecaja i na formiranje kao i lakši odvod strugotine.



Vrh pločice imao je malo zaobljenje s radiusom 0,8 - 1 mm. i nije bio isti za sve uglove pločice. Zbog pomanjkanja neophodnog dijamantnog brusnog alata oštrice pokusnih pločica i njihove radne površine nisu dotjerane na onaj stupanj glatkoće kao što je to uobičajeno kod pločica inozemne proizvodnje, a što se pokazalo kao vrlo korisno i utjecajno na trajnost oštrice u radu (2).

Karakteristike tokarskog stroja bile su slijedeće: broj okretaja od 9 - 1800 okr/min, posmaci suporta s 0,014 - 7,0 mm/okr i snaga elektromotora n = 15 kW. Zbog pomanjkanja mogućnosti kontinuirane promjene broja okretaja stroj je za ovu vrstu pokusa manje podesan. Osim toga kod povišenog broja okretaja pojavile su se vibracije, te su stoga pokusi rezanja ostali ograničeni na brzine rezanja između 300 i 400 m/min. Pokusno skidanje strugotine izvršeno je na strojogradevnom čeliku Č.0645, čvrstoće $\sigma_m = 60$ kp/mm^2, uz slijedeće uvjete rada: a) presjek strugotine s .t = 0,07 .0,5 mm i brzina rezanja v = = 360 m/min, b) presjek strugotine = s . t = 0,12 . 1,5 mm i brzina rezanja v = 350 m/min.

Da se dobije što potpuniji uvid u kvalitet i upotrebivost pločica,

izvršena su slijedeća ispitivanja:

a) Praćenje procesa zatupljivanja oštrice, te na osnovu toga ocjenjivanje njezinog trajanja za određene uvjete rezanja.
b) Praćenje i kontrola kvalitete obrađene površine tokom rezanja odnosno procesa zatupljivanja oštrice.
c) Mjerenje sile rezanja.

Napredovanje procesa zatupljivanja oštrice prati se mjerenjem širine izlizane zone "a" na stražnjoj površini pločice, sl. 1, odnosno ispod vrha oštrice. Uobičajeno je, prvenstveno kod tvrdih metala, da se uzima kao kriterij zatupljenosti radne oštrice širina a u granicama od 0,6 - 1 mm za grubu i 0,2 - 0,3 mm za finu obradu bez potrebe prebrušavanja. Kod toga se istovremeno promatra i promjena u glatkoći same oštrice i prednje radne površine. Prvobitno glatka oštrica postaje tokom rada sve više nazubljena, a mijenja se prvobitni profil klina zbog trošenja prednje površine. Ovo se mjerenje provodi bilo nakon određenog trajanja rada, ili nakon određenog broja metara prevaljenog puta oštrice po periferiji obrađene površine, ili što je isto nakon određenog broja metara dužine skinute strugotine.

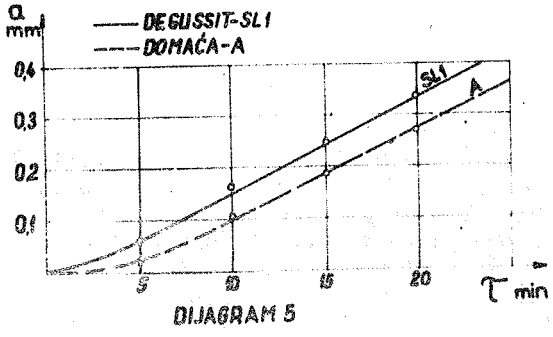
Napredovanje procesa zatupljivanja oštrice očituje se i na kvaliteti obrađene površine predmeta, na promjeni u promjeru kovrčice strugotine, u promjeni boje strugotine, a također i u promjeni promjera obrađenog cilindra. S porastom zatupljenja raste općenito i hrapavost obrađene površine, strugotina se sve više kovrča tj. radius zakrivljenosti kovrčice postaje sve manji i kovrčice se sve češće kidaju. Prvobitno metalno čista površina strugotine postaje plavkasta odnosno tamnija.

Glatkoća, odnosno hrapavost površine mjerena je s jednostavnim aparatom za mjerenje hrapavosti, mjereći samo neke srednje dubine brazda u mikronima, bez približeg profiliranja spomenutih brazda. Za ovu svrhu bila je tačnost aparata dovoljna, jer je trebalo ustanoviti samo povećanje hrapavosti površine usporedo s napredovanjem zatupljivanja oštrice.

Mjerenje sila vršeno je trokomponentnim dinamometrom domaće konstrukcije i izvedbe (IAS) na principu mjernih traka s mjernim mostovima i pisačem firme Hottinger. Zatupljenje oštrice prouzrokovalo je promjenu veličine glavne sile, a ta promjena očitovala se na pisaču i u većim ili manjim oscilacijama.

Rezultati ispitivanja

Dijagram 5 pokazuje porast širine a istrošene zone u ovisnosti o trajanju rezanja i to za presjek strugotine $f = s.t = 0{,}12 \cdot 1{,}5$ mm kod brzine v = 350 m/min. U istom dijagramu naneseni su i rezultati ispitivanja uz iste uvjete sa pločicom Desgussit 3L 1 . Vidi se da neke bitne razlike u veličini istrošene zone ne postoje. Međutim po izgledu vrha oštrice i po dubini brazda moglo bi se zaključiti da su Desgussit pločice žilavije i zbog toga izdržljivije u radu unatoč široj zoni a. Nazubljenost istrošene oštrice je na Degussit pločici znatno manja. To se može protumačiti kao posljedica boljeg brušenja



DIJAGRAM 5

i poliranja te formiranja rezne oštrice, stranica i bridova, što je kod naših pločica izostalo.

Pokazalo se da će se od ispitanih vrsta pločica samo kvaliteta pokusne pločice s oznakom A moći usporediti sa kvalitetom pločica inozemnih proizvađača. Kod ostalih vrsta pločica su rezultati nepovoljniji a to je posljedica manje specifične težine tj. većeg poroziteta, koji je uzrokovan najvjerojatnije preniskim pritiskom kod oblikovanja.

Što se tiče hrapavosti obrađene površine u času jače zatupljenosti oštrice razlike su gotovo minimalne. Hrapavost površine kretala se u granicama od 10 - 12 μm.

Zaključak

Na osnovu rezultata pokusnog rezanja sa oksidkeramičkim pločicama proizvodnim od aluminijskog oksida domaće proizvodnje može se pretpostaviti da je kvaliteta sirovine zadovoljavajuća i da se može koristiti za ovu novu vrstu reznih materijala. Kako se radi o većem broju utjecajnih faktora potrebno je izvjesno vrijeme i sredstva uložiti u daljnja istraživanja da se temeljitije ispita njihov utjecaj i pronađu optimalni uvjeti. Kod toga treba nastojati da se dobije aluminijski oksid što veće čistoće, jer će u tom slučaju i proizvodi biti boljih svojstava. Daljnju pažnju potrebno je posvetiti postizavanju što sitnijeg zrna glinice, pronalaženju novih vrsta veziva, homogenizaciji veziva sa glinicom, te pravilnom izboru pritisaka kod oblikovanja, temperaturi i vremenu trajanja sinterovanja. Daljnja ulaganja u istraživanja opravdava bogata sirovinska baza, kojom raspolaže naša zemlja, postojanje proizvađača tvrdih metala, kojima će to biti nadopuna proizvodnog programa i zadovoljavanje zahtjeva tržišta, koje će prije ili kasnije u značajnijem opsegu tražiti materijale na bazi aluminijskog oksida.

L I T E R A T U R A

1. Curt Agte-Schneidkeramik, Akademie Verlag Berlin 1959.

2. Degussit Technische Information, Degussa, Frankfurt am Main.

F. Kovačiček

Cutting tools on Al_2O_3 basis

The report includes a short review of mechanical as well as physical properties of cutting ceramics compared to hard metals. The results of first cutting experiments using tool tips made of raw material from Jugoslavia are shown and compared to results obtained with Degussit SL 1. tool tips. The influence of some factors on the quality of tool tips is also considered.

A. Povrzanović *)

PRILOG METODI FOTOGRAFSKE REGISTRACIJE KRATKOTRAJNIH PROCESA **)

Studije kratkotrajnih zbivanja mogu se u mnogim slučajevima uspješno izvesti pomoću filmske registracije specijalnim kamerama. Snimljeni materijal se može prikazati kao filmska projekcija ili kao slijed fotografija jednog vremenskog razmaka.

Na Zavodu za plastičnu obradu i zavarivanje Strojarsko-brodograđevnog fakulteta u Zagrebu vršeni su pokusi s kamerom "Pentazet 16", koju nazivaju i vremenskom lupom, sa svrhom da se usvoje specifičnosti ove tehnike, izvrše potrebna mjerenja i dobije vizuelni uvid u neke kratkotrajne procese.

Raspoloživa kamera predstavlja relativno najjednostavniju konstrukciju među sličnim kamerama. Ova daje mogućnost "povećanja vremenske skale" na red veličine 10^2 u odnosu na projekciju snimljenog materijala standardnim projekcionim aparatom uz uobičajenu frekvenciju od 24 sličice u sekundi. To znači da će se kod projekcije snimljeno zbivanje promatrati oko 100 puta duže nego što je ovo stvarno trajalo. Povećanje vremenske skale na red veličine 10^3 i 10^4 moguće je samo s daleko skupocjenijim kamerama snabdjevenim posebnim sinhronizacionim uređajima. Kod toliko brzih zbivanja, koja zahtijevaju povećanje vremenske skale na red veličine 10^3 i više susrećemo se, pored problema osvjetljavanja objekta, s poteškoćama sinhronizacije početka snimanja i veoma kratkog trajanja zbivanja. Kod kamere "Pentazet 16" ova sinhronizacija ne čini poteškoće. Uključivanje kamere moguće je redovno izvršiti i rukom, premda postoji i mogućnost sinhronizacije pomoću jednostavnog elektromagnetskog releja.

Kamera može snimati s frekvencijama od 3000, 2000, 1000, 600 i 300 sličica u sekundi, pri čemu frekvenciji od 3000 sl/sek odgovara brzina kontinuiranog toka filmske trake kroz kameru od 22 m/sek. Ova brzina predstavlja gotovo gornju granicu brzine sigurnog transporta trake kroz kameru te obavezuje na veoma pažljivo ulaganje i napinjanje trake prije početka snimanja. Frekvencija postignuta za vrijeme snimanja označava se svjetlosnom zrakom, koja se pomoću posebnog optičkog sistema projicira na rub filmske trake. Svjetlosni signal emitira frekvencijom od 50 ili 1000 Hz posebni generator električki spojen s kamerom. Na taj način moguće je očitavanjem udaljenosti među markacijama na rubu trake odrediti vrijeme, odnosno frekvenciju sni-

*) Aleksandar Povrzanović, dipl.ing.strojarstva, predavač Strojarsko-brodograđevnog fakulteta u Zagrebu, Zagreb, Veslačka 9

**) Saopćenje iz Zavoda za plastičnu obradu i zavarivanje Strojarsko-brodograđevnog fakulteta u Zagrebu, Kačićeva 26

manja. Upravo ova mogućnost određivanja vremena i čini kameru "Pentazet 16" vremenskom lupom i mjernim instrumentom. Neophodnost ovakvog sistema opravdava iskustvo da se frekvencija snimanja od 3000 sl/sek postiže tek na desetom metru filmske trake /od ukupno 30 metara, koliko je moguće uložiti u kameru/ i to zbog inercije masa prigona i elektromotora koji pokreće kameru.

Optičke mogućnosti kamere su vrlo velike. Pored normalnog objektiva žarišne dužine 35 mm i otvora zaslona 1:2, kamera ima i izmjenljivi teleobjektiv žarišne dužine 125 mm otvora zaslona 1:2,8. Ovaj daje raspon snimanja na udaljenosti od jednog metra do beskonačnosti, pri čemu je horizontalni kut slike 5^{0} a vertikalni 3^{0}. Teleobjektiv je najčešće korišten s razloga što su snimani objekti bili relativno maleni ili što je pristup s kamerom na veće blizine bio nemoguć. Postoje i predleće za teleobjektiv s kojima je moguće snimanje iz velike blizine: sa udaljenosti 65, 125 i 250 mm od objekta. U takovim slučajevima objekt se projicira na film u mjerilu 2:1, 1:1 odnosno 1:2.

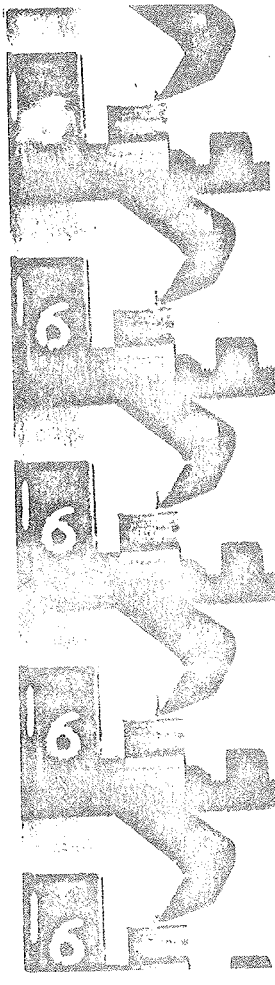
Koristi se filmska traka širine 16 mm, koja se u pozitiv kopiji može projicirati odgovarajućim projekcionim aparatom. Efektivna dimenzija pojedine sličice je svega 10,41 x 7,47 mm. Unatoč ove skromne dimenzije sličice primjena trake širine 16 mm je opravdana u slučaju vremenske lupe. Normalna filmska traka širine 35 mm ima dimenzije sličice 24,87 x 16,03 mm. Međutim, kod iste brzine toka trake kroz kameru na traci širine 16 mm snimano zbivanje prikazat će se na većem broju sličica, većom upravo za omjer 16,03/7,47, tj. za 2,145 puta. Nesumnjiva je bolja čitkost slike trake širine 35 mm jer je odnos površina sličica 100 : 19,5. Ipak, zbog postizavanja maksimalnih frekvencija snimanja, uz ograničenje brzine kontinuiranog toka filmske trake kroz kameru, primjena trake širine 16 mm je opravdana i to tim više, što je čitkost slike još dobra a ekonomičnost nesumnjiva.

U svim slučajevima snimanja kratkotrajnih procesa izrađene su pozitiv kopije na fotografskom papiru. To je omogućilo detaljno promatranje promjena i obavljanje potrebnih mjerenja. Na slikama 1.a i 1.b dan je takav primjer.

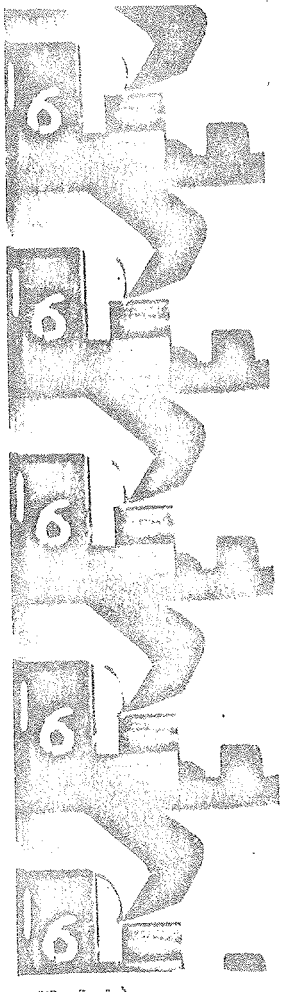
Primjer je uzet iz serije filmova snimljenih radi studije uslova rezanja kod obrade drva. Na specijalnoj aparaturi, koja simulira rezanje kod blanjanja drva, snimana je epruveta iz vlažne bukovine. Nož je rezao u pravcu vlakanaca drva na dužini koja u naravnoj veličini iznosi 14,4 mm. Prikazanih 10 ekspozicija, snimljenih frekvencijom od 3000 sl/sek, pokazuju da je na putu od 12,17 mm brzina vrha noža iznosila 3,65 m/sek. Ovih 10 ekspozicija daju dakle prikaz formiranja i odvajanja strugotine kod brzine rezanja od 219 m/min u trenutku koji traje samo tristoti dio sekunde.

Čitkost i oštrina fotografija, koja je potrebna za obavljanje direktnih mjerenja, ovisit će o:

- optičkim kvalitetama kamere i aparata za reprodukciju;
- povećanju fotografije u odnosu na dimenzije negativa;
- osjetljivosti filmskog materijala;
- brzini zbivanja ili promjena na snimanom objektu.



Sl.1.a)



Sl.1.b)

Upotreba filmskog materijala visoke osjetljivosti neminovna je zbog poteškoća oko osvjetljavanja snimnog objekta dovoljnim intenzitetom svjetla. Na temelju izvršenih pokusa ustanovljeno je da je moguće dobiti dobru fotografiju sa negativa osjetljivosti 25/10° DIN uz linearno povećanje do najviše deset puta, uz uslov pažljive laboratorijske obrade negativa.

Brzina promjena na snimanom objektu određuje frekvenciju snimanja s obzirom na potrebnu oštrinu fotografije. Međutim, pri tom treba uzeti u obzir i mjerilo smanjenja snimanog objekta u odnosu na njegovu prirodnu veličinu.

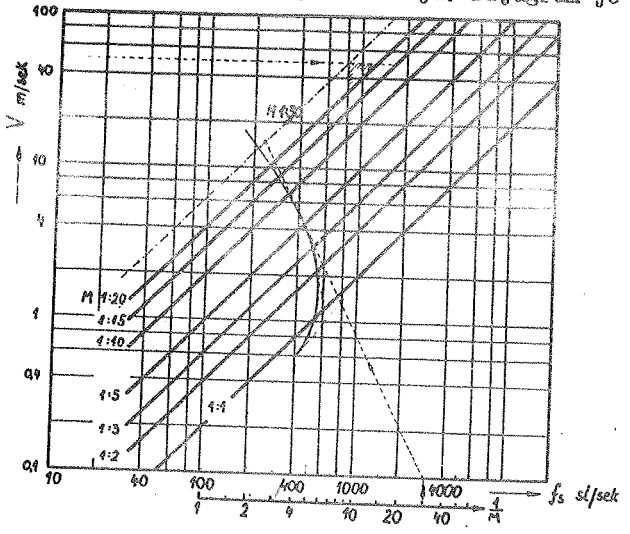
Određivanju međuovisnosti ovih triju važnih parametara (brzina, frekvencija i mjerilo smanjenja) pristupilo se eksperimentalnim putem, tražeći najveći dozvoljeni pomak snimanog objekta u toku jedne ekspozicije, s tim da fotografija bude dovoljno oštra uz linearno povećanje do 10 puta. Utvrđeno je, da je pod tim uslovom dozvoljen pomak snimanog objekta od 0,2 mm po svakoj ekspoziciji, ako je odnos prirodne veličine objekta i njegove projekcije na sličici filmske vrpce 1:1. Prema podacima iz literature (W.D. Chesterman, "The Photographic Study of Rapid Events", Oxford, 1955.) ustanovljeni kriterij je za osam puta blaži od onoga koji se preporuča u slučajevima kada se mjerenja vrše direktno s filmske trake, a takav način mjerenja je neminovan kada se snimanja obavljaju kamerama koje povećavaju vremensku skalu na red veličine 10^3 i više, pri čemu se upotrebljava i daleko osjetljiviji filmski materijal. Uostalom, u konkretnim slučajevima utvrđeni kriterij od 0,2 mm/sl uz dane uslove treba shvatiti kao gornju granicu.

Na temelju utvrđenog kriterija, uzevši u obzir mjerilo smanjenja ob-

jekta na sličici filmske trake, moguće je za određene brzine gibanja objekta tablicom prikazati donje granice frekvencija snimanja uz koje se može dobiti još dovoljno oštra fotografija.

Brzina gibanja objekta m/sek	Frekvencija snimanja /sl/sek/				
	M 1 : 1	M 1 : 2	M 1 : 5	M 1 : 8	M 1 : 10
1	500	250	100	62	50
3	1500	750	300	187	150
5	2500	1250	500	312	250
50	25000	12500	5000	3125	2500

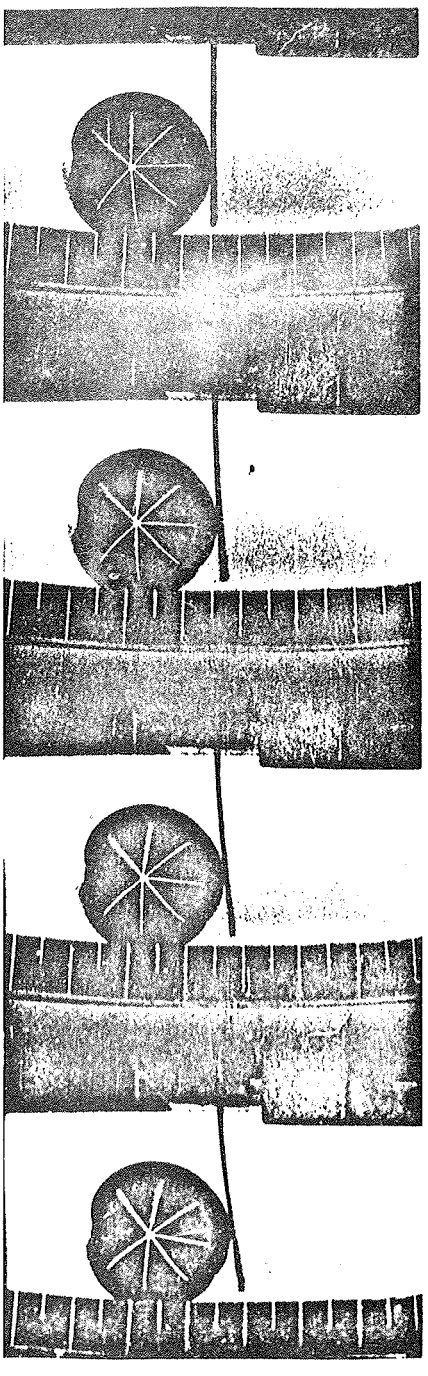
Za praktične svrhe načinjen je univerzalniji dijagramski prikaz donjih granica frekvencije snimanja. Dijagram je prikazan na slici 2.



Sl. 2

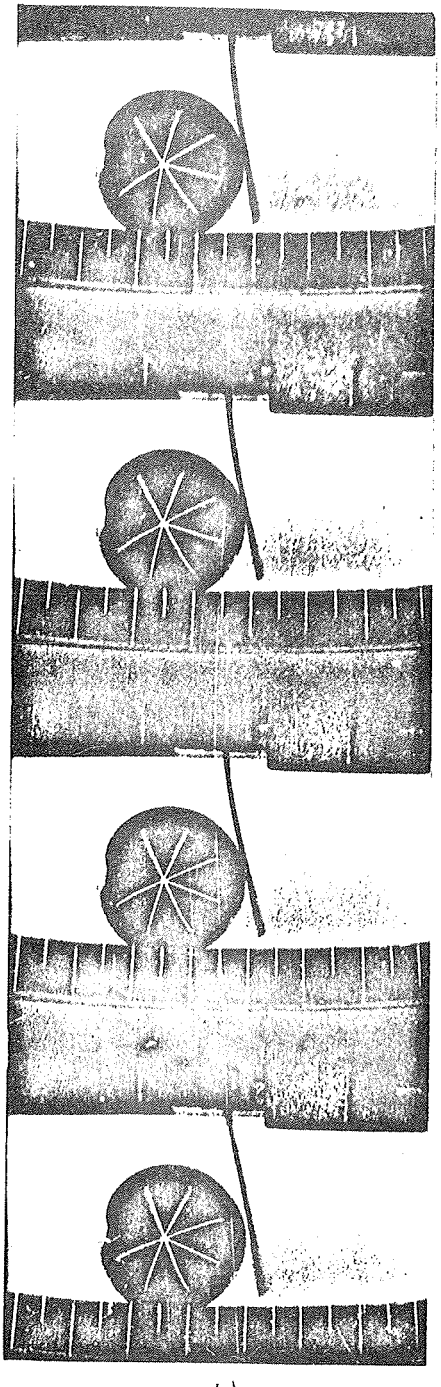
U mreži log-log skale dani su pravci M koji označavaju funkcionalnu vezu za odgovarajuće mjerilo smanjenja objekta na filmu. Traženi pravac nekog zadanog M_1, koji u konkretnom slučaju određujemo iz poznatih geometrijskih odnosa, dobiva se povlačenjem tangente s pomoćne skale vrijednosti $1/M_1$ na upisanu krivulju. Sjecištem tangente s pomoćnom osi, koja je okomita na pravce M , dobiva se jedna tačka traženog pravca M_1. Povlačenjem paralele kroz ovu tačku s ostalim pravcima M dobiva se potpuna funkcionalna veza za zadano mjerilo M_1. Na dijagramu je prikazan primjer za $M_1 = 1 : 30$. Za taj slučaj treba odabrati frekvenciju snimanja najmanje 800 sl/sek uz hipotetičku brzinu snimanog objekta 50 m/sek.

Prikazani dijagram treba shvatiti kao operativnu pomoć kod odabiranja frekvencije snimanja. Stvarno odabrana frekvencija snimanja bit će uvijek viša od one dobivene iz dijagrama. Razlog za to može biti zbog želje za kvalitetnijom reprodukcijom ili zbog očekivanih manjkavosti obrade filmskog materijala. Često je razlog želja da se zbivanje raščlani u najveći mogući broj pojedinačnih slika istog vremenskog intervala zbog preciznijih mjerenja ili potrebe da se dobije uvid u zbivanje koje traje samo 1/3000 sek. Upravo takav primjer daju slike 3.a i 3.b.



a)

Sl.3



b)

Slike prikazuju insert iz filma snimljenog u povodu istraživanja nove metode određivanja udarne žilavosti tankih i krhkih epruveta. Impaktor u obliku kugle udara u epruvetu. Prikaz obuhvaća na osam ekspozicija ukupno vrijeme od 1/375 sek. Snimanje je obavljeno s frekvencijom od 3000 sl/sek, premda bi se, uz prije postavljeni kriterij, kvalitetna fotografija mogla postići i s frekvencijom od 600 sl/sek. Međutim postignuto povećanje vremenske skale na nešto više od 10^2 omogućilo je dobivanje uvida u vrijeme trajanja kontakta impaktora i epruvete, što evidentno iznosi 0,00233 sek. Na temelju serije ovakvih filmova izvršena je provjera hipoteze energetske bilance uređaja a dobiveni su i zanimljivi podaci o vlastitoj frekvenciji titraja slomljene epruvete.

Osvjetljavanje snimanog objekta predstavlja svojevrstan problem zbog poteškoća dovoljno intenzivnog osvjetljavanja malih površina. U slučajevima kada nije bilo moguće upotrebiti kondenzorske leće za koncentraciju svjetla na objekt, osvjetljavanje je uspijevalo s tri grupe izvora ukupne snage 4,5 kW. Svaka grupa svjetlosnih izvora bila je priključena na svoju fazu električne mreže jer je u toku rada ustanovljeno da monofazno priključivanje, kada se snima frekvencijom od 3000 sl/sek, daje periodičku nejednolikost intenziteta svjetla proporcionalnu frekvenciji mreže. Posebno zanimljiv problem predstavlja snimanje objekata koji emitiraju intenzivne svjetlosne ili ultraljubičaste zrake. Kod snimanja električnog luka obložene elektrode, sa svrhom da se prati prelaz taline s elektrode na osnovni materijal, postignuti su izvjesni rezultati pomoću veoma jakog protusvjetla proizvedenog lučnom svjetiljkom i koncentriranog u područje električnog luka kroz vodom hlađenu kondenzorsku leću. Konturu kapljice rastaljenog metala bilo je moguće odijeliti pomoću pogodne kombinacije filtera. Zbog nedovoljno intenzivnog protusvjetla uspješno su obavljena snimanja električnog luka male jakosti struje.

Kod svih snimanja bilo je potrebno izvršiti pokusna snimanja jer su mjerenja svjetlosti bila neizvediva zbog malih dimenzija snimanih objekata. Pri traženju optimalnih zacrnjenja negativa ustanovljeno je, uz upotrebu materijala osjetljivosti 25/10° DIN, da za veoma kratke ekspozicije ne vrijedi opće poznata konstantnost odnosa ekspozicije i veličine otvora zaslona. Naime, zacrnjenje negativa, na pr. kod ekspozicije 1/1000 sek i otvora zaslona 5,6 bit će jednako kao kod ekspozicije 1/500 sek i otvora zaslona 8. Međutim, kod ekspozicija 1/3000 sek treba povećati otvor zaslona za još jednu vrijednost više od one koja bi se dobila dosljednom primjenom konstantnosti zacrnjenja kako je navedeno.

Za planiranje praktične primjene snimanja s vremenskom lupom bit će zanimljiv podatak utroška radnog vremena. Dok samo snimanje traje nešto više od jedne sekunde, pripremni radovi i pokusna snimanja redovito zahtijevaju 20 do 40 radnih sati. Svaki daljnji snimljeni film istog objekta može se načiniti za neuporedivo manje vremena. Materijalni troškovi iznose, ako se izrađuje samo jedna pozitiv kopija, širine 16 mm, oko 100 N Din.

Iznešeni primjeri ukazuju na raznolike mogućnosti primjene vremenske

lupe, koja može postati vrijedna pomoć u istraživanju problema strojarstva, tehnologije i ponašanja materijala u veoma kratkim vremenskim intervalima. Rezultati, ove do sad još skromno korištene metode fotografske registracije, opravdavaju takav zaključak.

A. Povrzanović

A Contribution to the Method of Photographic Registration of Rapid Events

The photographic study of events which occur in a very short duration of time has been developed by the Institute of Plastic Working and Welding, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture in Zagreb. This communication deals with various experiences of the techniques used. In addition to describing the method of photographic registration of rapid events the author also gives an account of some of the problems to which it can be applied.

A. Đurašević *)

NEKA ZAPAŽANJA O PROJEKTIRANJU PROIZVODNOG PROCESA**)

1. Osnovne postavke

Proizvodni proces je najvažniji dio složenog procesa, koji se odvija u poduzeću. Proizvodnim procesom se realiziraju zamisli o proizvodu; on daje proizvode za tržište, a time se podmiruju potrebe društva i njegovih članova. U tome se slažu svi, kojima nisu strani problemi proizvodnih poduzeća.

Proizvodni proces se odvija u prostoru i vremenu. Materijal se prerađuje pomoću energije i proizvodne opreme, pri čemu mu se mijenjaju svojstva i oblik, počevši od sirovine sve do gotovog proizvoda. Na tom putu prerade materijal prolazi kroz različite tehnološke operacije, krećući se od jednog radnog mjesta do drugoga. O dobroti i uspješnosti realiziranog tehnološkog procesa u velikoj mjeri zavisi kvaliteta proizvoda. Glavni troškovi proizvodnje stvaraju se također baš na tom tehnološkom toku materijala.

Kretanje materijala od jednog radnog mjesta do drugoga je prisilno, a osigurava ga unutrašnji transport. Materijal se povremeno zaustavlja na radnim mjestima, čekajući na operaciju. Pri svemu tome, u toku tehnoloških operacija i pri čekanju protječe dragocjeno vrijeme. O njemu zavisi ciklus proizvodnje i brzina obrtanja sredstava poduzeća koja su uložena u materijal.

Ljudi neposredno učestvuju u proizvodnom procesu i njegovim sastavnim dijelovima ili pojedinim fazama rada, počevši od široko shvaćene pripreme za proizvodnju, pa sve do prodaje vlastitih proizvoda ili čak do njihovog održavanja u eksploataciji kod potrošača.

Zadatak je organizacije, da međusobno uskladi sve spomenute momente i važne činioce u proizvodnom procesu, da bi ukupni efekt proizvodnog procesa i cjelokupnog poslovanja poduzeća bio optimalan ili barem što bolji.

Baš u tome susrećemo cijeli niz poteškoća, nedovoljno objašnjenih pojava i zbivanja, nepoznatih, ali važnih utjecajnih faktora, neprotumačenih veza između uzroka i posljedica. Zato su shvatljiva iznenađenja u pogledu kvalitete proizvoda i njezine jednoličnosti, visokih troškova proizvodnje i poslovanja, dugih ciklusa proizvodnje i sporog obrtanja uloženih sredstava, neispunjenih planova i neodržanih rokova itd.

---

*) Dr Aleksandar Đurašević, dipl.ing., izvanredni profesor Visoke tehničke škole, Zagreb - Đure Salaja b.b.

**) Saopćenje iz Visoke tehničke škole - Zagreb

Smatramo da vrijedi posvetiti ozbiljnu pažnju spomenutim i mnogim drugim pojavama i faktorima, prisutnim u proizvodnom procesu. Kad ih pravilno objasnimo, bit će manje iznenađenja, pa će se moći zaista smišljeno upravljati proizvodnim procesom, što danas mnogo puta ne uspjeva. Na ovom mjestu ukazat ćemo samo na cjelovitost proizvodnog procesa i na česte greške, koje nastaju kao posljedica parcijalnog pristupa problemima i pojedinačnog rješavanja izoliranih zadataka, premda svi oni čine sastavne dijelove jedne složene cjeline.

2. Prethodno projektiranje proizvodnog procesa

Dosta su rijetki slučajevi kada se projektira potpuni i cjeloviti proizvodni proces, kad se prema njemu konstruira, dimenzionira i nabavlja oprema, izgrađuju cijelo postrojenje i zgrade, izobražavaju ljudi i privikavaju pojedinim operacijama ili složenim poslovima. Još rjeđe se prema projektiranom proizvodnom procesu predviđa i postavlja organizacija poslovanja, koja će osigurati uspješni rad izgrađenog postrojenja, na opću korist i zadovoljstvo. Što nije tako u praksi, ne treba biti smetnjom da ne težimo k boljem projektiranju proizvodnog procesa!

Prethodno i posebno projektiranje je češće u procesnoj, kemijskoj i sličnoj industriji, specijaliziranoj za jedinstveni tehnološki proces, obično s masovnom proizvodnjom. U strojarstvu, zahvaljujući njegovim specifičnostima, takvi su primjeri projektiranja rjeđi. Ipak u masovnoj i velikoserijskoj proizvodnji, kao što je u vojnoj industriji i kod proizvoda široke potrošnje, susrećemo također u strojarstvu prethodno projektirane cjelovite proizvodne procese.

Usprkos tome, ako postavimo pitanja: da li su svi ti procesi zaista optimalno projektirani, te da li se može dokazati da njihov efekt odgovara uloženom trudu i sredstvima, morat ćemo odgovoriti odrečno. Još uvijek nedostaju mnoge teoretske podloge za optimalno projektiranje proizvodnog procesa. A zatim, samo projektiranje, koje bi trebalo predstavljati najbolju sintezu različitih znanja, trpi od krupnih nedostataka, počevši od izobrazbe projektanata pa sve do načina njihovog rada i organizacije projektiranja.

Glavna primjedba na projektiranje proizvodnog procesa morala bi se odnositi na previše pojednostavljenu upotrebu osnovnih podataka i različitih pokazatelja na kojima počiva projekt, te na nedovoljnu i neefikasnu organizaciju grupnog rada različitih stručnjaka. Ove stavove ćemo potkrijeptiti nekim konstatacijama.

Proizvodni proces počiva na tehnološkom procesu, koji mu je kostur ili okosnica. Zato prve nevolje počinju već ovdje. Tehnološki je proces uglavnom koncipiran na općem iskustvu u tehnologiji, razbijenoj na pojedine specijalnosti, pa čak sve do izoliranih operacija za neke sastavne dijelove proizvoda. Pri tome se tehnologija redovito oslanja na postojeću opremu i postupke, što predstavlja osnovno ograničenje za tehnologiju i konstrukciju proizvoda. Ta greška je očita: ono što je općenito može zadovoljiti, ali ne može dati maksimalni ili optimalni učinak u svakom konkretnom slučaju!

Zatim, vrteći se u vječnom krugu, iz usvojene i propisane tehnologije proizlazi potrebna oprema, vrlo malo promijenjena i prilagođena specifičnim potrebama. Tako se nesvjesno i nehotice dovodimo u situaciju, koja sama po sebi ne može osigurati brzi napredak i usavršavanje, koje bi inače bilo moguće na temelju općeg stanja u tehnici, nauci i svim ostalim ljudskim znanjima.

Premda je prema tehnologiji usmjerena glavna pažnja projektanta proizvodnog procesa, ipak se čine spomenute odlučujuće pogreške, koje same po sebi ograničavaju efekt budućeg proizvodnog procesa. Zatim slijede ostale greške, koje se ne smatraju toliko važnima, ali čiji je ekonomski efekt značajan, a često čak veći nego u pogledu projektiranja tehnološkog procesa. Ovamo spadaju redom:

- izbor optimalnog broja radnih mjesta i njihovog kapaciteta, što se ne može učiniti samo na temelju normativa vremena za izvođenje pojedinih operacija;
- optimalni razmještaj opreme i radnih mjesta u proizvodnom procesu, zajedno s dodatnim površinama, prolazima i vezama između radnih mjesta;
- optimalna lokacija, broj i kapacitet pomoćnih pogona i službi, te ostalih pomoćnih površina i prostorija;
- optimalni tok proizvodnog procesa, stupanj mehanizacije i automatizacije, te odgovarajuće organizacije proizvodnje.

U cjelovitom proizvodnom procesu, samo se po sebi razumije, da su obuhvaćeni podjednako ozbiljno i važno: tok materijala od sirovine do gotovog proizvoda i paralelni tok otpadaka, pokvarenih dijelova, uništenog materijala i dr.

Projektiranje svih instalacija i građevina trebalo bi tek da slijedi poslije projektiranja proizvodnog procesa u užem smislu. To ne znači da se prilikom rada na tom dijelu zadatka ne uočavaju neki prethodni nedostaci, koje treba ispraviti. Bilo bi najbolje kad bi se poslije završenog projektiranja proizvodnog procesa izradio novi projekt, usavršen na temelju stečenog iskustva i pojedinačnih primjedbi, te provjeren u pogledu efekta i funkcioniranja.

Od završenog projekta do njegov izvedbe i pokusne proizvodnje s ostvarenim postrojenjem, protjece dovoljno vremena, koje se ne koristi racionalno za pripremu kadrova i organizacije proizvodnje. Ovi propusti se skupo plaćaju greškama koje dolaze do izražaja na početku nove proizvodnje.

Veliki je nedostatak što se iz sveg ovog posla ne izvlači potrebno iskustvo, pa je zato mala brzina usavršavanja projektanata i njihovih projekata. Razlog leži u preranom napuštanju projekta, te prepuštanju realizacije i pokusne proizvodnje drugim osobama, koje nisu učestvovale u projektiranju.

Analize događaja u ovom razdoblju bi pomogle projektantima da bolje izrade svoj slijedeći projekt. Povremeno praćenje i kontrola projektiranog procesa, donijeli bi nove spoznaje i dodatne koristi s dragocjenim iskustvom, jer se mnogi nedostaci projekta ispoljuju tek u radu postrojenja i ne mogu se drugim načinom otkriti ili predvidjeti.

Namjerno izostavljamo osvrt na projektiranje proizvodnog procesa u odnosu na druga slična, srodna ili povezana postrojenja, jer bi nas to zavelo u druga također važna i zanimljiva proučavanja. Dovoljno će biti da utvrdimo, da svako projektiranje proizvodnog procesa, ma kako bilo dobro izvedeno, ima velike izglede da bude suboptimalno, ako nije proizašlo iz šireg razmatranja problema izvan granica jednog izoliranog poduzeća.

Sasvim sažeto i pregledno možemi istaći osnovne nedostatke i zapažene greške u projektiranju proizvodnog procesa, koje znatno umanjuju konačni efekt projektiranja, a zajednici smanjuju korist i usporavaju razvitak. To su:

1. neprilagođenost usvojene opće tehnologije za specifične uvjete projektiranog proizvodnog procesa;
2. suboptimalni izbor tehnološke i ostale proizvodne opreme, bez dovoljnog povratnog djelovanja na tehnologiju i opremu, poslije cjelovito sagledanog i proučenog projekta;
3. neusklađena vrijednost predviđene opreme s efektom koji treba postrojenje dati, naročito kod naglašene automatizacije;
4. nepoznati optimalni vijek upotrebe postrojenja, količina proizvoda, gubitaka i koristi koji će u tom razdoblju nastati;
5. suboptimalno projektiranje postrojenja kao cjeline, zajedno s instalacijama i građevinama;
6. neprovjerena rješenja, premalo i nesistematski stečeno iskustvo na projektiranju proizvodnog procesa;
7. izolirano projektiranje za jedno poduzeće, s nedovoljno osvrta i obzira prema široj zajednici ili cjelini.

Smatramo da se može pomoći na svakom od spomenutih mjesta i problema prilikom projektiranja proizvodnog procesa, već na današnjem stanju nauke i teorije. Izgledi za budućnost su još bolji, čim poradimo na cjelovitom projektiranju, kao vrijednom i stvaralačkom radu na visokom nivou i grupnom poslu visokokvalificiranih stručnjaka različitih struktura.

3. Tekuće projektiranje proizvodnog procesa u poduzeću

U poduzeću koje već postoji i proizvodi, problem projektiranja proizvodnog procesa i dalje postoji, ali je u svojoj biti drugačiji. Ovdje je neminovna orjentacija prema poduzeću samome i promatranom iznutra. Još je veća potreba za tekućim projektiranjem proizvodnog procesa u onim poduzećima koja su nastala bez pravog prethodnog projektiranja proizvodnog procesa. Takvih primjera u strojarstvu ima neobično mnogo.

Kad promatramo proizvodni proces u poduzeću, čija je oprema davno nabavljena, a može biti da nikad nije ni bila projektirana ni nabavljena za jedan proizvod i jedinstveni proizvodni proces, onda sve ranije primjedbe i nedostaci naročito upadaju u oči. Tipično poduzeće u strojarstvu, kao što je kod nas, nije projektirano za jedan poseban proizvodni proces, nema jednovrsne i nepromjenljive proizvode ni cjelovito postrojenje. Poduzeće se tokom vremena povremeno i dje-

lomično obnavlja i modernizira, kupujući neke dijelove postrojenja, mijenjajući razmještaj radnih mjesta, dograđujući instalacije i zgrade i sl.

Razumljive su i opravdane težnje svakog poduzeća da se razvija i usavršava, ali to ono čini samo za sebe. Nas, međutim, ipak zanima kako se to zbiva, da bismo mogli pomoći u tim korisnim nastojanjima.

Asortiman i količina proizvoda mijenjaju se od godine do godine. Postrojenje i oprema ne prate u stopu ove neprestane promjene proizvoda. Zato je nužno da proizvodna oprema bude dovoljno univerzalna, da zadovolji promjene u asortimanu i količini proizvoda. Ova prednost predstavlja u isti mah najveći nedostatak sa stajališta optimalnog poslovanja poduzeća. Projektirani tehnološki proces mora se oslanjati na postojeću opremu, premda se projektira za novi proizvod i nove sastavne dijelove proizvoda. Tako se ustaljena tehnologija i oprema provlače kroz dugi niz godina, bez osjetnih promjena. To znači da objekte zaostaju za onom, koja je projetirana za jedan cjeloviti proces u novom poduzeću.

Na ustaljenu tehnologiju i opremu nadovezuju se ostali, također skoro nepromjenljivi uvjeti: razmještaj radnih mjesta, ugrađene instalacije, proizvodne površine i zgrade, organizacija proizvodnje itd. Sve to ukazuje da se svakodnevni proizvodni proces odvija uz mnogo ograničenja, koja ne bi bila sva nužna sa stajališta nauke i tehnike, ali koja smanjuju mogući efekt proizvodnog procesa. Dodamo li još k tome da se u takvim slučajevima obično zadovoljavamo samo s projektiranjem tehnološkog procesa ili samo projektiranjem pojedinih operacija u tehnološkom procesu, onda je vrlo prihvatljiva pomisao da proizvodni proces u tipičnom strojarskom poduzeću znatno zaostaje za optimalno mogućim.

Povremeni investicioni elaborati, kao povremene akcije radi poboljšanja uvjeta proizvodnje, ne mogu osjetno promijeniti ni poboljšati postojeće stanje. Njima nedostaje kompleksni karakter dobrog projektiranja proizvodnog procesa. Veći efekt bi se postigao redovitom i neprestanom brigom za projektiranje proizvodnog procesa, iz čega bi proizlazila investiciona politika poduzeća, koja bi usmjeravala njegov razvitak.

Širenje ideja o grupnoj tehnologiji također pomaže u istom smislu: problemima se pristupa cjelovitije i pripremaju se uvjeti za prijelaz na proizvodnju s povećanim količinama i brojnijim ponavljanjem istovrsnih operacija na jednom radnom mjestu. To su preduvjeti za specijalizaciju, za napuštanje univerzalne i neprilagođene opreme. Ako tome dodamo još nekoliko novih pogleda i pristupa, koji će svi računati sa cjelovitim proizvodnim procesom za sav proizvodni program poduzeća, imat ćemo bolje izglede za uspješnije poslovanje. Pri tome mislimo na sve primjedbe u prethodnom poglavlju. Ako uspijemo svakodnevno projektirati proizvodni proces i što više ga približiti onome, koji je projektiran za posebne svrhe, onda će se i njihovi efekti manje razlikovati.

Zato smo mišljenja da projektiranje proizvodnog procesa treba posta-

ti redovni zadatak i stalna briga najboljih stručnjaka u poduzeću. Stalno treba obnavljati projekte i graditi nove, jer se neprestano mijenjaju osnovni uvjeti i podloge na kojima se gradi rješenje. Takav grupni rad stručnjaka donio bi jednu dodatnu prednost u odnosu na prethodno projektiranje i projektiranje izvan poduzeća: mogućnost da se neprestano prate rezultati rada, da se kontrolira i usavršava postojeći proizvodni proces, koji se odvija pred očima projektanta i u njegovoj prisutnosti. To bi bio jedan od vrijednih i korisnih puteva za unapređenje proizvodnje, usavršavanje proizvodnog procesa, za dostojni sadržaj rada razvojnih službi i naučno-istraživačkih instituta u poduzeću.

Da se sve to ostvari, predlažemo promjene i nadopune u nastavnim planovima i programima kod izobrazbe diplomiranih inženjera i na postdiplomskim studijama. To je usko povezano s pojačanim naučno-istraživačkim radom na ovom području strojarstva, od kojeg očekujemo:

1. da pruži potrebne naučne i teoretske podloge za projektiranje proizvodnog procesa;
2. da stvori teoriju na kojoj će počivati projektiranje proizvodnog procesa, koja će proučiti i objasniti proizvodni proces kao nedjeljivu cjelinu;
3. da osigura metode za optimalno projektiranje proizvodnog procesa u skladu s teorijom, a istovremeno da osigura metode za provjeru dobrote projekta i njegovog efekta, pružajući ispravne kriterije i mjerila za ocjenu;
4. da izgradi organizaciju projektiranja proizvodnog procesa, koja će osigurati dobro, brzo i racionalno projektiranje, s optimalnim efektom u proizvodnom procesu i u poslovanju poduzeća; pri tome da uzme u obzir sve troškove i koristi, od prve zamisli o budućem proizvodnom procesu sve do posljednjeg časa upotrebe postrojenja, pa čak do njegovog uništenja.

L I T E R A T U R A

A. Đurašević, Razvijanje proizvoda i unapređenje proizvodnje-važni dijelovi općeg procesa usavršavanja, Proizvodnja, 7-8 (1965), Zagreb

A. Durašević

Some Remarks on Projecting of Production Process

Production process is the most important thing in any production company, but, as a whole, it has not been discussed sufficiently, and there are no experts in projecting production process. This constitutes a major problem in mechanical engineering.

Preliminary projects of production process have been made only for mass and large batch production, and in other places they have been omitted. Even those existing projects are far from being optimum. First troubles start with technological process which is the essence of production process. Accepted technology brings standardized production equipment and process. Thus the rate of development is decreased.

If projects of production process are made for one isolated factory, there is a great possibility that it will not be optimum.

Continuous projecting of producting of production process is necessary in every company, no matter if it is done according to a previonsly set project or not. Continuous projecting should precede periodical investments meant to modernize the factory. Such projecting has an advantage: possibility of constant checking and following of the production process, which brings experience.

Continuous programming is a useful way to improve production. It is necessary that experts become interested in rescarch work on this field, in order to establish fundamentals, theories, methods and organization of projecting production process.

V. Bulat *)

OPTIMALNO PRILAGOĐAVANJE ALATNIH MAŠINA ČOVEKU**)
- uporedna studija -

Uvod

Nastojanja da se podigne nivo produktivnosti zahvatila su sva područja ljudske aktivnosti. Istražuju se mogućnosti za racionalniji rad. Napredak nauke i tehnike pruža nova rešenja koja omogućavaju da se čovek postupno oslobađa fizičkog rada. Prilagođavanje rada čoveku postaje potpunije zahvaljujući primeni tekovina nauke i tehnike.

Karakteristična je okolnost da alatne mašine nisu dosada bile predmet proučavanja u smislu kompletne prilagođenosti čoveku. Bar ne u onoj meri koliko bi trebalo s obzirom na ulogu i brojnu zastupljenost u strukturi proizvodne opreme. Iako nema odgovarajućih studija, savremene konstrukcije alatnih mašina pretstavljaju znatno bolja rešenja sa stanovišta prilagođenosti čoveku u poređenju sa ranijim izvođenjima. Međutim, stoji se na stanovištu da nisu iskorišćene raspoložive mogućnosti da se u tome korakne napred, naročito kada su u pitanju domaće konstrukcije alatne mašine.

U okviru Instituta za alatne mašine i alate iz Beograda pristupilo se realizaciji istraživačkog projekta: "Optimalno prilagođavanje domaćih konstrukcija alatnih mašina". Ispitivanjima je obuhvaćeno pet mašina:

1. Univerzalni strug US-22
2. Univerzalna horizontalna glodalica UHG
3. Univerzalna alatna glodalica ALG-1oo
4. Radijalne bušilice RB-4
5. Alatna brusilica UOZA-5

Odabrane mašine omogućile su zahvatanje različitih aspekata problematike prilagođenosti alatnih mašina čoveku.

Težište proučavanja bilo je na konstruktivnom rešenju komandnih organa (ručice, točkovi, dugmeta i tsl.), njihovoj dispoziciji i načinu korišćenja (što je nazvano elementom rukovanja).

Polazi se od toga da čovek rukuje mašinom posredstvom komandnih organa, i da tom prilikom troši izvesu količinu energije. Količina utrošene energije zavisi od postojeće koncepcije konstrukcije komandnih organa. Da bi se ostvarila što manja potrošnja energije čoveka, koji rukuje mašinom, treba težiti ka takvim konstruktivnim rešenjima koja će biti u najvećoj meri prilagođena čoveku.

Između različitih aspekata prilagođenosti mašine koji su proučavani u pomenutom projektu dalje izlaganje biće usretsređeno na najkarakterističnije.

---

*) Dr Vuksan Bulat, dipl.ing., vanredni profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu, 27 Marta 8o.

**) Saopćenje iz Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

Funkcionalni aspekt prilagođavanja alatnih mašina čoveku

Većinu mašina karakteriše mogućnost obavljanja jedne ili više operacija u nizu, jedna za drugom. Specifičnost je alatnih mašina, kao i nekih drugih, da se za svaki niz istovetnih operacija obavlja zajednička priprema. Isto tako, pri završetku niza operacija obavlja se nekoliko završnih elemenata rukovanja.

U uslovima seriske proizvodnje javlja se potreba diferenciranja elemenata rukovanja na:

- pripremne i završne
- obradne

Podvajanje na ove dve grupe omogućava izdvajanje onih elemenata rukovanja - obradnih, koji svojom frekvencijom znatno nadmašuju ostale. Veća frekvencija nekih elemenata rukovanja uslovljava veću frekvenciju komandnih organa za izvođenje tih elemenata rukovanja. Kvalitet tehničkog rešenja komandnih organa u smislu prilagođenosti čoveku prouzrokuje odgovarajuću potrošnju energije.

Znači, veća frekvencija upotrebe pojedinih komandnih organa pri istom konstruktivnom rešenju ima za efekat veću potrošnju energije čoveka u jednom zaokruženom proizvodnom ciklusu.

Ispitivanja grupe alatnih mašina pokazuju da postoji različita frekvencija upotrebe komandnih organa u toku jedne operacije.

Na osnovu izloženog treba zaključiti o dva aspekta kvantifikacije korišćenja komandnih organa u toku rukovanja:

- frekvencija s obzirom na karakter uloge komandnog organa u pripremnim, završnim, odnosno obradnim elementima rukovanja,
- frekvencija upotrebe komandnih organa u toku jedne operacije.

Na osnovu opisa funkcionisanja ispitivanih alatnih mašina ustanovljena je frekvencija upotrebe pojedinih komandnih organa. Iz snimljenih i sređenih podataka izdvojeni su karakteristični slučajevi u tabeli T-1.

Prikazani podaci omogućavaju celishodnu selekciju onih komandnih organa koji se najviše koriste, kako bi se istraživanje mogućnosti prilagođavanja čoveku usredsredilo na težišne komandne organe. Prvi je zaključak, da takvi komandni organi predstavljaju 10 - 20% od ukupnog broja komandnih organa, što znači znatno sužavanje problematike.

Dalje, apsolutna veličina frekvencije korišćenja je izrazito veća kod 4 komandna organa (frekvencija = 5) i to u pripremno-završnim elementima rukovanja skupa sa obradom prvog komada.

U pogledu frekvencije korišćenja tokom seriskog rada karakteristična je ista frekvencija za sve prikazane komandne organe (frekvencija = = 2) koja je ujedno i najveća u poređenju sa ostalima. Tolika frekvencija je posledica simetrije korišćenja u toku rada, tj. pre i posle samog rada mašine.

Radi upotpunjavanja zaključaka na bazi frekvencije korišćenja komand-

TABELA - 1

MAŠINA	Oznaka komandnog organa	Opis komandnog organa	Frekvencija upotrebe: Priprema prvi komad završen	Frekvencija upotrebe: Serijska obrada
	1	2	3	4
US-22	19	Ručica automatskog pomaka	2	2
	20	Točak za ručni pomak	5	2
	21	Ručica lamelaste spojke	3	2
	22	Ručica poprečnog suporta	5	2
	29	Slavina rashladnog sistema	3	2
RB-4	1	Ručica za oslobađanje konzole	3	2
	9	Ručica za promenu smera i broja obrta i uključivanje radnog vretena	3	2
	15	Dvokraka ručica za pomeranje alata i uključivanje alata u rad	3	2
	18	Dovod za sapunicu	2	2
UHG	22	Ručica za ručno uzdužno pomeranje	5	2
	24	Ručica za uključivanje radnog vretena	3	2
	27	Ručica za uključivanje uzdužnog kretanja radnog stola i smera tog kretanja	2	2
ALG-100	9	Ručica za pomeranje radnog stola u horizontalnom pravcu	3	2
	11	Ručica za uključivanje pomaka u vertikalnom i horizontalnom pravcu	2	2
UOZA-5	8	Ručica za ~~podizanje~~ poprečno kretanje radnog stola	5	4
	9	Ručica za podizanje radnog stola	3	2

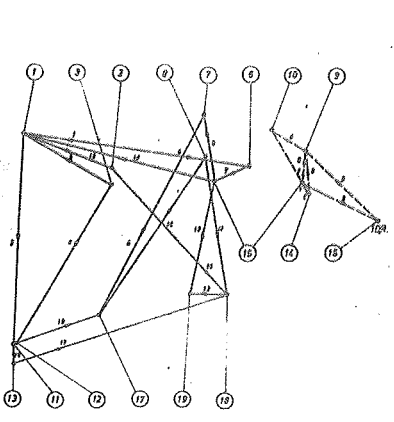
nih organa treba uzeti u obzir frekvenciju korišćenja kod operacija s više prolaza. Raspoloživi podaci pokazuju da se za svaki prolaz ponavlja korišćenje upravo onih komandnih organa koji se koriste u serijskoj obradi. To potvrđuje osnovanost usvojene metodologije kvantifikacije uloge pojedinih komandnih organa u odnosu na istraživanje prilagođenosti alatnih mašina čoveku.

U cilju upotpunjavanja analize funkcionalnog aspekta proučavanja prilagođenosti obuhvaćenih mašina prišlo se interpretaciji trajektorija ruku (leve i desne posebno) za vreme rukovanja. Ocenjujući foto-tehniku kao nedovoljno prikladnu prihvaćeno je grafičko prikazivanje. Na priloženim šemama Sl. br 1 i 2 prikazane su trajektorije leve i desne ruke tokom rukovanja sa radijalnom bušilicom RB-4 i za ovu mašinu date su posebno trajektorije za:

1. Pripremne elemente rukovanja
   Obrada prvog komada
   Završne elemente rukovanja (sl.1)

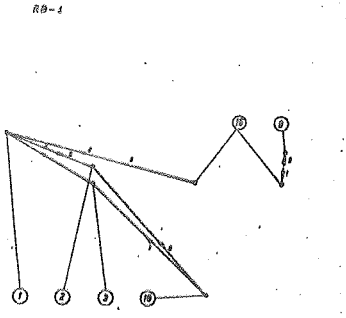
2. Seriski rad (sl.2)

RB-4



Sl. 1 Priprema, Prvi komad, Završni elementi

RB-4



Sl. 2 Rad u seriji

Podvajanje ima za svrhu da se oceni adekvatnost postojećeg konstruktivnog rešenja:

1. Kod radijalne bušilice (RB-4) znatno je više opterećena leva ruka u poređenju sa desnom. U tom pogledu naročito je karakteristična ova mašina, mada slične osobine ima i univerzalni strug i univerzalna horizontalna glodalica.

   Radijalna bušilica ima 2 pokreta desne ruke a 6 pokreta leve ruke u seriskom radu (sl. 2). A kod pripreme, obrada prvog komada i završnih elemenata rukovanja (sl.1) prema 8 pokreta desne ruke

ima 19 pokreta leve ruke.

2. Aproksimacija trajektorija leve i desne ruke prikazane na sl. 1 i 2 pokazuje da međusobni položaj pojedinih komandnih organa nije u skladu sa redosledom aktiviranja. Oblik trajektorija su izlomljene linije sa vrlo čestim povratnim kretanjima, što ne odgovara principima ekonomije pokreta.

Sprovedena posmatranja još nekih drugih mašina (univerzalna horizontalna glodalica kao i niza univerzalnih strugova) omogućavaju izvođenje zaključka da je konstrukciona koncepcija dispozicije komandnih organa orijentisana na rukovanje pretežno levom rukom. Činjenica je da je leva ruka inferiorna kod normalnog čoveka. Prema tome, postojeća koncepcija je u oštrom neskladu sa zahtevima prilagođenosti čoveku.

Analiza sile za pokretanje komandnih organa

Rukovanje alatnim mašinama prouzrokuje potrošnju energije usled vršenja pokreta i savladavanja otpora prilikom pokretanja komandnih organa. Prethodna razmatranja delimično su osvetlila neprilagođenosti alatnih mašina sa stanovišta vršenja pokreta. Preostaje da se prouče zahtevi u pogledu sila koje rukovalac ostvaruje prilikom pokretanja komandnih organa.

Između različitih mogućnosti da se izmeri veličina sila za pokretanje komandnih organa usvojeno je merenje pomoću dinamometra sa mernom trakom. U tu svrhu konstruisan je specijalni instrumenat sa posebnim priključcima. Na sl. 3 prikazan je dinamometar korišćen za merenje. Sl. 4 i 5 prikazuju merenja sila pomoću dinamometra i odgovarajućim priključcima.

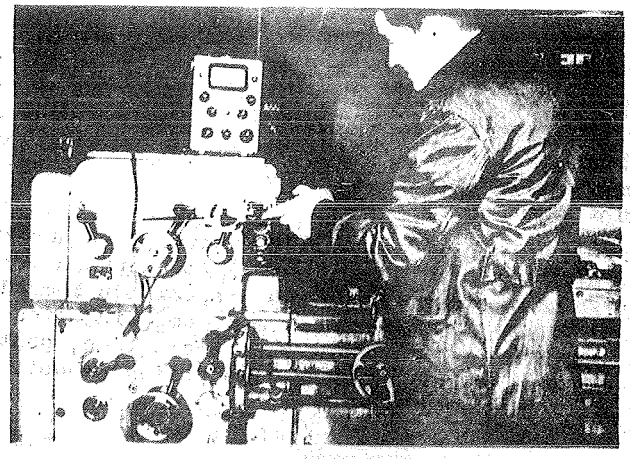
Sl. 3

Sprovedena merenja u najvećoj meri aproksimiraju stvarne uslove rukovanja. Na taj način dobiveni rezultati verno održavaju stvarno potrebne sile za pokretanje pojedinih komandnih organa. Utoliko pre jer je vršeno višestruko merenje te usvojena prosečna vrednost.

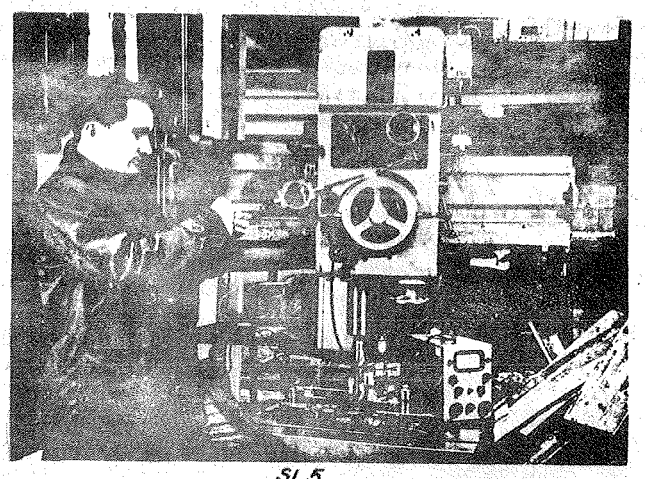
Tabela T-2 sadrži podatke o rezultatima merenja sila za pokretanje pojedinih komandnih organa ispitivanih mašina. Prikazani su samo karakteristični slučajevi.

Iz prikazanih podataka može se zaključiti sledeće:

-kod alatne glodalice ALG-1oo i alatne brusilice UOZA - 5 nema komandnih organa za čije pokretanje su potrebne sile, veće od



Sl.4



Sl.5

dozvoljenih, najizrazitije preopterećenje se javlja u slučaju komandnih organa 24 i 13 univerzalnog struga, zatim 1 i 5 kod radijalne bušilice RB-4 i komandnog organa 4 kod univerzalne horizontalne glodalice UHG.

Ako se uzme u obzir da se kao normalno opterećenje toleriše sila 14 - 18 kp, onda su stvarne sile na citiranim komandnim organima znatno iznad dopuštenih granica.

Posebno treba istaći slučaj ručice za oslobađanje konzole na radijalnoj bušilici RB-4 gde je potrebna srednja sila od 46,8 kp iznad maksimalne dinamometriske sile[x]) koju ljudska ruka može da razvije.

Ručica za oslobađanje konzole spada među komandne organe sa najvećom frekvencijom korišćenja kako u pripremno-završnim elementima rukovanja, tako i seriskoj obradi (vidi T-1). Ta okolnost potencira potrebu rekonstrukcije u najvećoj mogućoj meri.

x) Prema W.E. Woodsonu: "L'adaptation de la machine à l'homme" str. 4-27 iznosi za desnu ruku 38 kp a za levu 34 kp.

TABELA 2

Vrsta mašina	Oznaka komandnih organa	Opis komandnog organa	F_{sr} (kp)	Primedba
1	2	3	4	5
US-22	9	Doboš za promenu broja obrtaja glavnog vretena	13,9	
	13	Doboš za određivanje veličine pomoćnog kretanja	31,8	
	24	Ručica držača noža	37,5 33,3	zatezanje otpuštanje
RB-4	1	Ručica za oslobađanje konzole	46,8	
	5	Ručica za podešavanje ugla konzole	20	
	17	Ručica za oslobađanje vertikalnog stuba-nosača konzole	16,8 8,79	zatezanje otpuštanje
UH6	4	Točak za povlačenje konzole	23,8	
	19	Ručica za regulisanje pomaka	11,8	

Predlozi za prilagođavanje konstrukcije alatnih mašina čoveku

Prikazani rezultati ispitivanja predstavljaju deo opsežnog programa proučavanja u okviru istraživačkog projekta, koji je u uvodu citiran. Stoga će u nastavku biti izloženi samo neki od učinjenih predloga za rekonstrukciju ispitivanih mašina za koje postoji podloga u izloženim rezultatima merenja i ispitivanja.

Jedan od kapitalnih zaključaka odnosi se na potrebu svestranog preispitivanja već tradicionalne koncepcije konstrukcije strugova, radijalnih bušilica i nekih glodalica da većina komandnih organa bude lociranа tako da uslovljava znatno veće angažovanje leve ruke u poređenju sa desnom. S obzirom na inferiornost leve ruke ovakvo rešenje nema nikakvog opravdanja iz aspekta prilagođavanja alatnih mašina čoveku.

Konstruktivno rešenje komandnih organa kod ispitivanih mašina okarakterisana su:

- prostornom dislokacijom
- i brojnošću

U takvim uslovima celishodna je orijentacija na zbijeniju dispoziciju komandnih organa za šta je u toku ispitivanja oformljena potrebna argumentacija. Slike 1 i 2 ilustruju ovaj stav, a isto tako i slike 4 i 5.

Pored toga na Univerzalnom strugu, radijalnoj bušilici i univerzalnoj horizontalnoj glodalici konstatovano je postojanje 2,3 pa i 4 posebna komandna organa,koji bi se daleko efikasnije konstruisali u obliku preselektivne kutije. Ovaj predlog mera za rekonstrukciju odnosi se na komandne organe za izbor broja ili pomaka.

Prilikom konstruktivnog oblikovanja komandnih organa koji su prikazani u T-2 sa znatno većim silama za pokretanje iznad dozvoljene zapaženo je otsustvo korišćenja bilo kakvog prenosa koji bi olakšao rukovanje. Stoga se nužno nameće potreba rekonstrukcija svih komandnih organa za čije je pokretanje potrebna veća sila od dozvoljene.

U celini posmatrano, ispitivane alatne mašine nisu dale zadovoljavajuće rezultate u pogledu prilagođenosti čoveku. Ovaj aspekt u procesu projektovanja i konstruisanja alatnih mašina je zapostavljen. Dominiraju tradicionalna rešenja. Bez kritičke analize usvajaju se postojeća rešenja.

Pojednostavljenje i prilagodav[illegible]je konstruktivnih rešenja komandnih organa omogućava skraćenje vremena rukovanja što neposredno uslovljava veću produktivnost rada i u isto vreme smanjenje potrošnje energije.

Modernizacija konstrukcija alatnih mašina domaće konstrukcije mora bezuslovno obuhvatiti i ovaj aspekt kao zalogu postizanja višeg nivoa produktivnosti.

L I T E R A T U R A

1. Wesley E. Woodson: L'adaptation de la machine à l'homme, Paris, 1959.

2. J.M.Faverge, J.Leplat, B.Guignet: L'adaptation de la machine à l'homme, Paris, 1958.

3. Ralph M. Barnes: Studij pokreta i vremena", Zagreb 1964.

4. Alain Bercowitz: Mesures antropométriques nécessaires à l'adaptation du travail à l'homme Inventaire et comparaison de donnéés françaises récentes, Paris, 1963.

5. Simon Bouisset: Problème posé par l'amènagement des postes de travails. Le travail numain NOS 3-4 1962.

6. K.H.E. Kroemer: "Bedient" der Mensch die Maschine? Werkstatttstechnik, H. 9, 1964.

7. K.H.E. Kroemer: Maschinen für den Menschen VDI-Zeitschrift Bd. 107 (1965).

8. R.Th. Kellermann, P.A.Welly, P.J.Wilhems: Vademecum d'ergonomie destinée à lindustrie, Paris 1964.

V. Bulat

Optimum Adaptation of Machine Tools to Man

The function of machine tools in the reproduction process is very important for the production of goods as well as for building up industry. The great number of machine tools emphasizes the importance of production increase. One of the insufficiently studied possibilities of increasing production is optimum adaptition of the machine tool design to man.

The nature of handling machine tools in conditions of batch production emphasizes the need of separating the preparatory and final elements from working elements. Working elements of handling certain types of machine tools are specified by a greater number of transfers.

The differentiation of the above mentioned elements deepens the problem of adapting the design of control organs.

The amount of force needed to move a control element determines the load imposed on the operator. Measuring of forces by means of a dynamometer based on the principle of measuring tape has enabled us to get some idea of the amount of forces. Comparison of actual forces with those that do not overload the operator showed in a number of cases that the actual forces were much higher than the allowed values.

The results of the analyses showed that:

- the position of control elements was suited to left-handed operators
- the functional order of control elements was inadequate
- some of the control elements required much greater force for moving than allowed.

D. Taboršak *)

STUDIJ RADA U PROJEKTIRANJU TEHNOLOŠKOG PROCESA I ORGANIZACIJI PROIZVODNJE **)

Znatna sredstva uložena u industrijska postrojenja, zalihe materijala, alate i uređaje zahtjevaju njihovo optimalno iskorištavanje, dok nagli razvoj industrije a naročito novih i modernijih načina i metoda rada u proizvodnji, kao i moderniji strojevi te postepeni prelaz u mehanizaciju i automatizaciju, postavljaju niz problema koje treba riješiti.

Posve je sigurno, da problematika razrade i projektiranja tehnološkog procesa u osiguranju kvalitetne i kvantitetne proizvodnje, smanjivanju troškova i povećanju proizvodnosti igra jednu od najvažnijih uloga. Sve će se to moći postići jedino pravilnim projektiranjem tehnološkog procesa koji će biti optimalan uzimajući u obzir sve faktore koji na njega utiču, među kojima i slučaj igra značajnu ulogu.

Šuhgaljter u svojoj knjizi "Ekonomika dolgovečnosti i nadežnosti mašin" navodi" "Materijalno tehnička baza jednog ekonomskog sistema je snažan i savršen proizvodni aparat koji se razvija i djeluje na osnovu najnovijih dostignuća nauke i tehnike. Izgradnji takvog aparata pripadaju (da ne nabrajamo ostale faktore) još i - usavršavanje tehnologije i organizacije društvene proizvodnje metala te sveopći razvoj strojogradnje, kao ključne grane koja izrađuje sredstva za proizvodnju".

Uočavajući niz faktora koji utječu na razradu optimalnog tehnološkog procesa veoma često zaboravljamo, da rješavanje tog problema jednostrano samo sa strane tehnologa, a ne uzimajući u obzir i pomoć i druga područja (prvenstveno studij rada i kontrolu kvalitete), može dovesti do suboptimizacije baš zato, jer će upravo ta područja biti ona, koja će omogućiti optimalnu razradu a time i odvijanje tehnološkog procesa.

Kad Šuljman u svojoj knjizi "Potočnoe proizvodstvo v mašinostroenii i priborostroenii" govori o progresivnoj tehnologiji, mehanizaciji i automatizaciji i protočnim metodama proizvodnje, kao o elementima na kojima se u današnje vrijeme zasniva napredna organizacija industrijske proizvodnje, onda pod pojmom progresivne tehnologije podrazumjeva: "..... iskorištavanje posljednjih dostignuća nauke i tehnike, koje osigurava primjenu najmanje količine najjeftinijeg i visokokvalitetnog materijala uz najmanje vrijeme obrade, uz najmanju količinu pokreta, uz najmanji utrošak energije i uz optimalan kvalitet proizvedenih proizvoda".

---

*) Drago Taboršak, dipl.ing. strojarstva, izvanredni profesor Visoke tehničke škole Sveučilišta u Zagrebu

**) Saopćenje iz Visoke tehničke škole, Zagreb

Zadržavajući se na toj misli uočavamo usku povezanost projektiranja i razrade tehnološkog procesa s područjem kontrole kvalitete u jednom dijelu, te u velikom dijelu saznavanja tačnog vremena, optimalnih pokreta i racionalnog odvijanja tehnološkog procesa i metoda rada sa studijem rada, kao područjem koje daje rješenja upravo za te probleme.

Tehnolozi u toj povezanosti neće trebati gledati neko osporavanje njihovog značaja kao tehnologa i umanjivanje njihove vrijednosti, jer je još Taylor rekao da je staro gledanje na organizaciju rada povezano s mišljenjem da svatko znade najbolje sam kako se njegov posao obavlja, a da je novo gledanje upravo suprotno. Time je već i on ukazao na pojavu suboptimizacije samo misleći onda na direktnog izvršioca rada uz stroj, a danas, ako gledamo poslove za koje se traži visoka sprema, onda nailazimo često na iste stavove, koji evidentno dovode do suboptimizacije. Nećemo smjeti, dakle, dozvoliti da se u današnje vrijeme tehnološki proces rješava jednostrano, tj. ne koristeći podatke i saznanja ostalih područja. Zadržali bismo se ovdje samo na studiju rada i na mogućnosti korištenja tog područja prilikom razrade tehnološkog procesa.

Polazimo li od pretpostavke da bi tehnolog trebao pronaći i odrediti najekonomičniji tehnološki proces onda nam se i nužno nameće potreba mijenjanja čak i do sada čestog odnosa i podjele rada tehnologa i normirca, gdje je tehnolog samo razradivao tehnološki proces, a normirac normirac. Potrebno je biti pristupiti novoj koncepciji odnosa tehnologa i analitičara vremena, a gdje je ona već provedena njenom usavršavanju, jer i u tim slučajevima nemamo još dosljedno provedene koncepcije. Tehnolog koji bi bio zadužen za cjelokupno određivanje najekonomičnijeg tehnološkog procesa trebao bi uz svoj stručni dio određivanja tehnološkog procesa određivati i vrijeme izrade. Analitičar se prema tome ne bi bavio neposrednim upisivanjem vremena odnosno normi u operacioni ili radni list, kao što je to prije radio normirac, već bi bio zadužen za prikupljanje, pripremanje i sređivanje svih podataka o vremenima koja su zato potrebna.

Tu dakle nailazimo na koncepciju organizacionog smještaja odjela studija rada u paralelnom i ravnopravnom odnosu s tehnološkom pripremom. To će biti potrebno s toga, što će služba studija rada morati obuhvaćati i rješavati ne samo probleme vremena izrade i normi već i analizu svih gubitaka u radu, kao i pojednostavljanja rada što će davati racionalnije oblikovana radna mjesta, metode rada i racionalnije odvijanje tehnološkog procesa.

Nažalost čak i tamo, gdje već u poduzećima postoji takva koncepcija, nailazimo na nepriznavanje odnosno nekorištenje podataka odjela studija rada, pa i nepostojanje suradnje između tehnologa i analitičara vremena ili rada, čak i u onim slučajevima gdje već postoje podaci o vremenima sređeni od odjela studija rada. Veoma često to proizlazi iz mišljenja da su norme sredstvo zarade i to onda dovodi do toga da se radije daju još uvijek iskustveni podaci o vremenima, nego oni proučeni od studija rada, jer se tehnolog boji da radnik neće dovoljno zaraditi.

Shvaćanja, da su norme jedino sredstvo stimulacije i da prema tome trebaju biti tako postavljene da radnicima osiguravaju određenu zaradu, možemo okarakterizirati kao zastarjela i odbaciti ih, te ćemo morati poći od činjenice da vremena izrade i norme u projektiranom i razrađenom tehnološkom procesu moraju biti samo organizaciono mjerilo za ono što se može u normalnim uvjetima i postići, bez obzira da li će sistem stimulacije biti građen na normama ili na bilo kojem drugom elementu. Možemo odmah napomenuti da bilo kako dobar bio sam sistem stimulacije, ako nema realnu i tačnu bazu, a to su jedino vremena promatrana kao organizaciono mjerilo rada, on neće niti ne može dati dobre rezultate.

Morat ćemo dakle biti na čisto, da prilikom razrade tehnološkog procesa moramo znati tačne vremenske normative,koji će nam ukazivati na naše mogućnosti, jer promatramo li norme kao sredstvo zarade, onda nažalost veoma često stimuliramo radnika ne na kvalitetnu, već na nekvalitetnu proizvodnju, i to zato jer zaboravljamo da je izvršenje normi jedino realno onda, ako su ispunjeni uvjeti: količina, kvaliteta, te pridržavanje i poštivanje metoda rada.

Iz ove postavke nam odmah i izlazi da norma u nekom tehnološkom procesu ne može biti briga analitičara vremena već samo tehnologa, jer je on ta osoba koja određuje metode i režime rada, a ne analitičar vremena. Nažalost često smo govorili o nerealno izvršenim normama, a da kod toga uopće nismo kontrolirali da li se neki rad zaista odvijao po propisanim metodama i režimima rada, a možda te metode i režimi rada nisu bili ni dani, a mi smo ipak stvarali neke zaključke bez da smo poznavali sve elemente koji su za te zaključke potrebni.

Da bismo postigli da tehnolog može određivati vrijeme izrade te izračunavati normu, morat će mu analitičar vremena te podatke prikupiti, srediti i dati ih u obliku nekih pomagala za normiranje, tj. u obliku dijagrama ili tabela. To će biti glavni zadatak analitičara vremena i osnovna veza tehnologa s njim.

Ne ulazeći u samu tehniku utvrđivanja vremena izrade, njegovog analiziranja i izračunavanja te razrade i svrstavanja u tabele i dijagrame, moramo ipak napomenuti da će tehnolog morati reći analitičaru vremena, koje zahvate ili operacije, a možda čak i pokrete treba snimati da bi ih se sredilo u podatke kakvima će tehnolog služiti, jer je tehnolog onaj koji znade kako i kojim zahvatima će sastavljati tehnološki proces.

Nažalost, danas veoma često nailazimo na posve obrnutu situaciju, tj. da se tehnolog buni i nije zadovoljan s podacima koje mu je sredio i pripremio analitičar vremena, iako nije uopće rekao što želi. Jasno je, da analitičar ne treba vremena radi svog rada, već za rad tehnologa. Tehnolozima mora biti jasno, da oni razrađuju tehnološki proces, i da oni prema tome moraju reći za koje zahvate ili operacije trebaju vremena. Analitičar vremena može tehnologu pri odabiranju takvih standardnih zahvata pomoći i ukazati na poteškoće prilikom utvrđivanja vremena, ili na prednosti neke druge podjele, ali je ipak odlučujući zahtjev tehnologa.

Moramo se, naime, podsjetiti da je zastarjelo gledanje na utvrđivanje vremena izrade vezano uz pojam utvrđivanja vremena izrade za neki posao koji se upravo radi, i za kojeg želimo znati mjerilo stimulacije. U takvom slučaju i princip podjele toga rada, odnosno operacije na zahvate nije više bitan, jer se želi utvrditi vrijeme za jedan komad, pa je i tako nastala zastarjela koncepcija odvojenosti tehnologije od vremena. Novo gledanje na utvrđivanje vremena izrade je upravo obrnuto, tj. ne snima se kompletno izvođenje neke operacije, a ako se i snima, onda se ona bezuvjetno mora podijeliti na takve zahvate koje možemo koristiti i kod ostalih operacija. Snima se, naime, vrijeme po srodnim zahvatima i operacijama koje predstavljaju takvu cjelinu, da ih nailazimo na mnogim poslovima koji se rade ili će se obavljati u toku tehnološkog procesa. Promotrimo li naime bilo koji rad, onda ćemo primjetiti da se on sastoji uvijek iz nekih istih grupa operacija, zahvata ili pokreta, te iako vršimo različite poslove i izrađujemo različite dijelove uvijek se prilikom izrade služimo istim ili sličnim grupama operacija ili zahvata. Prema tome je i potrebno snimati takve pojedine srodne standardne grupacije operacija, zahvata ili pokreta, analizirati ih i izračunavati njihova vremena te ih zatim srediti u pomagala, kako bi poslužili tehnologu za normiranje. To će se odnositi kako na pripremno završna, tako i na tehnološka i pomoćna vremena, dok ćemo dodatna vremena znati preko koeficijenta zamora, djelovanja okoline i dopunskog. Govorimo li o grupnoj tehnologiji onda ćemo vidjeti da je to tamo osnovni princip i da je tehnolog kod toga onaj, koji određuje za koje i kakve zahvate treba znati vremena.

Morat ćemo samo napomenuti, da se tačno izračunavanje vremena izrade i norme ne može ni zamisliti bez dovoljnog broja podataka, koji se tek nakon detaljne analize mogu koristiti kao temelj za izračunavanja. Ako pak promotrimo samo snimanje vremena pomoću kronometra, a ono je još uvijek najrašireniji metoda utvrđivanja vremena, onda moramo reći da snimanje nije ništa drugo do uzimanje uzoraka iz nekog osnovnog skupa, dakle primjena teorije uzoraka iz matematske statistike. Jasno je onda da je i novo gledanje na čitavo područje studija i analize vremena vezano usko uz teoriju vjerojatnosti i matematsku statistiku, te da je ona temelj utvrđivanja i izračunavanja vremena izrade i norme. Primjenjujući dakle tu naučnu disciplinu u svome radu, analitičari vremena moći će bez straha i oklijevanja dokazati, da je vrijeme izrade koje su snimili, a na temelju toga i izračunana norma zaista realna slika onog vremena koje radnik treba za izvršenje nekog rada. Upravo na ovoj činjenici temelji se potreba, da tehnolozi ne sumnjaju u vremena koja im daju analitičari vremena.

Osvrnemo li se samo još na trenutak na takozvane tehničke norme, u koje smo do sada vjerovali, onda ćemo vidjeti da smo zvali tehničkim samo one norme, koje su dobivene izračunavanjem na temelju formula, i to samo za strojne radove. No kako je rijetko koja operacija samo strojna (onda mi ne možemo postavljati norme za čovjeka što smo nažalost radili, a često radimo još i sada), već uz nju ima i zahvata koji su ručni ili barem strojno-ručni, to se za te radove nismo mogli poslužiti formulom, već smo ih određivali po iskustvu. Normi,

koja je na taj način bila postavljena, ipak smo pridavali atribut tehnička. Jasno je da je ona bila tehnička samo u svom dijelu strojnog vremena, a u ostalom dijelu je davana po iskustvu. Nelogično i u najmanju ruku nepravedno smo postupili ako smo takve norme smatrali tehničkim i dobrim, a isto tako postavljene norme za ručne radove smo smatrali lošim i netehnički postavljenim.

Želimo li dalje vidjeti, gdje će još studij rada biti od koristi tehnologu pri razradi tehnološkog procesa, onda se odmah susrećemo i sa stabilizacijom radnog mjesta, koja bi trebala proizići iz optimalno oblikovanog rada, tj. metoda rada i razmještaja alata, materijala i svega onoga čime se izvađač radova služi pri radu. Napomenimo odmah, da se tehnolog za ručnu obradu i montažu uopće ne razlikuje od analitičara rada ili bolje rečeno, to bi morala biti jedna te ista osoba, jer dok se pod režimom rada na strojevima podrazumjeva posmak, broj okretaja, broj udara i td. dotle se kod ručnog izvođenja rada režimom rada podrazum[illegible] upravo [illegible] rada, tj. tačan sljed svih zahvata i pokreta, [illegible]n razmještaj na radnom mjestu, kao i pravilna upotreba ljudskog [illegible], što će [illegible] iz principa [illegible] realizacije pokreta. Sug[illegible] o korištenju tih principa, kao i [illegible] njima, čat će a[illegible]tičar rada tehnologu, a njihova će primjena onda dovesti do optima[illegible] razrade tehnološkog procesa ne samo u čisto stručnom (tehnološkom) pogledu, već i u pogledu optimalnog oblikovanja radnih metoda i radnog mjesta, kao i u pogledu optimalne organizacije odvijanja tehnološkog procesa uzimajući u obzir i transport od radnog mjesta do radnog mjesta te sve potrebne zastoje.

Bez realnog planiranja koje će osigurati normalno ostvarivanje rokova isporuke, kao i redovito odvijanje proizvodnje, ne možemo danas ni zamisliti dobru organizaciju proizvodnje. No nažalost, podaci koje uzima planiranje često se temelje samo na podacima vremena operacije tj. radnih postupaka obrade i prerade, koji se uzimaju iz tehnološkog procesa. To neće biti za realno planiranje dovoljno, jer znamo da osim vremena za radne postupke obrade i prerade u tehnološkom smislu, postoje još i radni postupci kontrole, transporta i opravdanih zastoja. Ne uzmemõ li u obzir vremena za takve radne postupke, neće ni samo planiranje biti realno. Spomenimo, da ih, nažalost, niti nismo u stanju uzeti u obzir, jer tehnolog ne vodi o tome računa, te ih u razradi tehnološkog procesa veoma često i nema.

Zato se u operativnoj pripremi planeri služe podatkom koji nazivamo koeficijent prolaza, da bi koliko-toliko realno planirali. No oni ne istražuju što sve ulazi u taj podatak, odnosno koliko vremena otpada na opravdane zastoje, kontrolu i transport, što je sve uključeno u taj podatak. Služba studija rada istražujući i analizirajući gubitke u proizvodnji analizirat će i te podatke te tako najprije saznati za svaki elemenat koliki je, a zatim predložiti mogućnost bolje organizacije poslovanja, odnosno dati realne podatke o mogućim vremenima tih elemenata. Time će i opet doprinijeti racionalnijem odvijanju tehnološkog procesa i omogućiti tehnologu bolji uvid u mogućnosti organizacije proizvodnje.

U daljnjem osvrtu na organizaciju proizvodnje i na mogućnost korištenja službe studija rada u njoj, moramo se osvrnuti ukratko i na područje analize vremena nerada, dakle svih gubitaka za koje znademo da mogu biti kako opravdani a isto tako i neopravdani. Tu će nam i opet primjena matematsko statističke metode prematranja pojava pomoću njihove učestalosti pod nazivom "Metoda trenutačnih zapažanja", čije provođenje ulazi u područje rada službe studija rada, omogućiti saznavanje i analiziranje podataka, koji će služiti za analizu sadanje organizacije proizvodnje i za stvaranje bolje i racionalnije organizacije. Navodimo samo nekoliko primjera. Jedno metaloprerađivačko poduzeće počelo je već 1958. godine snimati metodom trenutačnih zapažanja i ustanovilo je da ima 46% organizacionih gubitaka. Snimanje je provođeno čitave godine 1959, te su nekim zahvatima ti gubici smanjeni na 43%. U slijedećoj su godini, zahvaljujući stalnim naporima za smanjivanje organizacionih gubitaka, a to je značilo samo racionalnije poslovanje, gubici pali na 27%, a 1961. na 26%.

Metoda trenutačnih zapažanja poslužit će nam nadalje veoma dobro kao baza za grupnu tehnologiju, odnosno za saznavanje podataka, iz kojih će biti lako zaključiti, kako su pojedini strojevi iskorišteni za neke grupe operacija i koliko, te iz tih podataka i tehnološke analize moći će se utvrditi koji su strojevi najsposobniji za obrađivanje istih ili srodnih grupacija dijelova.

U samom rukovođenju proizvodnjom metoda trenutačnih zapažanja pomoći će nam da saznamo podatke vremenskog iskorišćenja kapaciteta kako za čitavu smjenu, tako i u pojedinim njenim satovima i time prikazati realne mogućnosti. Pomoći će nam nadalje i u otkrivanju onih gubitaka koji su vezani direktno uz samog izvodioca posla, a i u analizi i uspoređivanju rezultata analitičke procjene radnih mjesta, time što ćemo otkriti ne samo koje vrste radova se izvode na nekom radnom mjestu, već i njihova učestalost, što je neophodan podatak.

Ne ulazeći dalje u ona područja gdje još može pomoći studij rada kod stvaranja optimalne organizacije, napomenut ćemo samo, specijalno u proizvodnji alatnih strojeva, njegovo korištenja za razrađivanje podataka tehnoloških i pomoćnih, a i nekih pripremno završnih vremena te stabilizacije rada, uzimajući u obzir sve mogućnosti rada nekog alatnog stroja. Takve podatke danas već daje, u sklopu potrebnih podataka o nekom stroju, niz vanjskih proizvođača alatnih strojeva. U našim uvjetima kad imademo dosta proizvođača alatnih strojeva, a saznavanje potrebnog vremena čak i za strojne radove zadaje nam dosta poteškoća, takvi podaci razrađeni od proizvođača alatnih strojeva veoma bi dobro došli poduzećima, a i stvorili bi bazu za mogućnost uspoređivanja normativa vremena za pojedine iste ili srodne proizvodnje.

Mogli bi na kraju završiti mislima Mitrofanova: "Rad tehnologa ne može se svoditi samo na sastavljanje tehnoloških karata i projektiranje tehnološke opreme. Traži se riješavanje cijelog kompleksa tehničko-ekonomskih problema povezanih kako s tehnološkim procesima tako i s problemima organizacije proizvodnje".

D. Taboršak

Work Study in Projecting Technological Process and Organization of Production

The basic condition for solving problems in production is a technological process which is suited both to working operations and to product control, transport and storage, i. e. organization of work.

If we want an optimum technological process, it should not be isolated from other fields, specially product control and work study. If maximum economy of a technological process is to be achieved, data obtained from the work study should be utilized from the very beginning. By systematic work studies we shall be able to obtain all the necessary data of working times, losses, optimum placing of machines, etc, which are essential to a technological process. It is the duty of work study department to give us scientifically based criteria for the system of stimulation.

As one can see, the field of work study can find wide use in projecting technological process as well as in organization of production and competition on the market, which means that important data can be given to customers together with machines.

A. Mora *)

TEHNIČKA KONTROLA U SKLOPU RACIONALIZACIJE TEHNOLOŠKIH POSTUPAKA **)

1. Uloga kontrole u savremenoj proizvodnji

Delatnost tehničke kontrole u preduzećima u najvećem broju slučajeva svodi se na odvajanje lošijih radnih predmeta od dobrih. Ovakav rad tehničke kontrole, međutim, u savremenoj proizvodnji više ne zadovoljava, zato u cilju očuvanja kvaliteta, pa čak i preventivnog smanjenja škarta, delokrug rada tehničke kontrole proširen je na celokupni proizvodni proces počev od pripreme proizvodnje do završne kontrole i ekspedicije gotovih proizvoda.

Karakteristike savremene proizvodnje su automatizovani proizvodni ciklusi, serijska i masovna proizvodnja. Ako smo u organizaciji ovakve proizvodnje dostigli određeni stepen razvoja, problematiku tehničke kontrole ne smemo zanemariti, naročito u proizvodnji alatnih mašina i alata. Današnja industrijska proizvodnja postavlja pooštrene kriterijume u odnosu na sredstva rada, a u samoj proizvodnji sredstava za rad ubrzano se radi na daljem povećanju produktivnosti rada, samim tim obezbeđenje potrebnog kvaliteta sa zastarelim metodama rada tehničke kontrole postaje jako skupo i ne garantuje konstantnost kvaliteta i dugotrajnost uspeha. Troškovi kontrole prema tome osetno rastu, ali bez obzira na porast troškova, rezultati ipak ne zadovoljavaju, jer metode i postupci rada kontrole - koje su odgovarale pojedinačnoj, zanatskoj proizvodnji - u današnjim uslovima niti daju sigurnost kvaliteta, niti su dovoljno produktivne.

U cilju povećanja produktivnosti rada i istovremenog obezbeđenja kvaliteta želimo koristiti sve prednosti serijske odnosno protočne proizvodnje. Uspešna organizacija protočne proizvodnje - sa unapred utvrđenim taktovima odvijanja obrade preko operativnog planiranja po terminskim jedinicama - postavlja uslov za rešenje dva osnovna preduslova protočne proizvodnje:

- delovi moraju biti gotovi ili obezbeđeni na vreme kako ne bi zbog nedostatka delova bilo zastoja u procesu montaže,
- delovi moraju biti izrađeni tako kvalitetno da mogu biti ugrađeni bez naknadne dorade.

Obezbeđenje delova na vreme je zadatak terminiranja, a obezbeđenje kvalitetnih delova je zajednički zadatak tehnologa, radnika i kontrolora.

---

*) Andraš Mora, dipl.ing., tehnički direktor Fabrike alatnih mašina i zupčanika POTISJE, Ada

**) Saopštenje iz Fabrike alatnih mašina i zupčanika POTISJE, Ada

U sklopu racionalizacije tehnoloških postupaka, gde spadaju: grupna obrada delova na principima grupne tehnologije, primena savremenih i visokoproduktivnih metoda obrade, primena novih alata itd., tehnička kontrola treba da zauzme svoje mesto i da postane sastavni deo proizvodnog procesa.

Pored klasične uloge odvajanja loših delova od dobrih, danas se od tehničke kontrole traži:

- siguran i konstantan nivo potrebnog kvaliteta
- produktivnost u radu tehničke kontrole

Poznato je da u procesu merenja i kontrole postoje sledeće faze rada:

1. dovođenje i prihvatanje radnog predmeta
2. postavljanje radnog predmeta u položaj merenja
3. merenje, odnosno kontrolisanje
4. ocenjivanje rezultata merenja
5. premeštanje radnog predmeta

Ocenjivanje rezultata merenja - kao četvrta faza rada kontrolisanja - povezano je sa donošenjem konačne odluke o kvalitetu radnog predmeta. U proizvodnji alatnih mašina kod nas ovu fazu kontrole kao i ostale faze, vrši sam kontrolor, zbog čega je pitanje sigurnosti i konstantnosti kvaliteta povezano sa objektivnom i subjektivnom ocenom kontrolora. Upravo zbog toga je i potrebno tačno propisati postupke i merila za sve faze rada.

Uvećana produktivnost rada u obradi i montaži traži od tehničke kontrole da poveća propusnu moć pri preuzimanju delova, inače ona postaje usko grlo proizvodnje. Ovo se rešava ili povećanjem broja kontrolora, što povećava cenu koštanja proizvoda, ili boljom organizacijom i povećanjem produktivnosti rada kontrole. Svakako, nema nikakve svrhe da se pitanje kvaliteta shvati idealistički, jer suviše visok i nepotreban nivo kvaliteta osetno poskupljuje proizvodnju, što tržište ne mora da priznaje.

2. Tehnologija tehničke kontrole

Porast obima i razvoj protočne proizvodnje strugova u konkretnoj fabrici uslovljavaju organizovani rad na tome, da tehnička kontrola ne bude tretirana kao sporedna operacija sa opisom "kontrolisati" ili "meriti", što je na operacionim listovima i navedeno. Plansko obezbeđenje i regulisanje potrebnog nivoa kvaliteta proizvoda moguće je samo posredstvom takve organizacije tehničke kontrole, koja pored dimenzionalnih odstupanja na radnim predmetima, uspešno ukazuje i na greške u konstrukciji i pripremi proizvodnje, kao i na greške funkcionalnosti, samim tim što na vreme otkriva iste i daje mogućnost za blagovremeno smanjenje i otklanjanje istih grešaka.

Ovo se postiže razvojem i uvođenjem tehnologije tehničke kontrole. Tehnologija tehničke kontrole treba da bude sastavni i ravnopravni deo tehnologije obrade radnih predmeta. Ona treba da definiše sledeće:

1. Što treba kontrolisati?

U zavisnosti od funkcije radnog predmeta treba odrediti koje parametre (dimenzije, osobine, estetski izgled i slično) treba kontrolisati. Kontrolisanje se ograničava samo na one parametre koji obezbeđuju ispravno funkcionisanje, estetske ili slične zahvate, dok ostali parametri ili se kontrolišu u manjem obimu ili se uopšte ne kontrolišu.

2. gde treba kontrolisati?

Kontrolisanje može da se izvede ili za vreme obrade na samoj mašini ili po završenoj obradi na proizvodnoj liniji ili u prostorijama tehničke kontrole. Prilikom određivanja lokacije kontrolisanja, uzimaju se u obzir prednosti centralizovane ili decentralizovane tehničke kontrole, dimenzije radnih predmeta, veličine serije, obezbeđenost sa kontrolnim instrumentima itd.

3. čime treba kontrolisati?

Treba odrediti odgovarajući merni instrument koji s obzirom na određeni parametar (dimenzija radnog predmeta, tolerancija izrade veličina serije itd.) obezbeđuje i kvalitet i ekonomičnost u kontroli.

4. kada i u kom obimu treba kontrolisati?

Potrebno je odrediti, da li treba izvršiti kontrolu svih radnih predmeta u seriji, ili samo kontrolu uzoraka, zatim treba analizirati da li je potrebno kontrolisati posle svake operacije ili samo posle određenih operacija obrade. Do ove odluke se dolazi na osnovu proučavanja broja komada u seriji, funkcije radnog predmeta, kvaliteta obrade, troškova kontrole, troškova škarta itd.

Postavljanje tehnologije tehničke kontrole u principu moguće je za svaki radni predmet. Međutim opravdano se postavlja pitanje nije li ovakav način razrade tehnološkog postupka tehničke kontrole preskup, i da li otežava rad, odugovlači proizvodni ciklus i stvara usko grlo u odelenju tehničke kontrole?

U proizvodnji alatnih mašina javlja se veliki broj veoma različitih delova, po geometrijskom obliku, po težini, po potrebnom vremenu obrade, po broju radnih operacija, po kvalitetu obrade. U ovakvom šarenilu različitih delova upravo savremeni principi tehnologije obrade stvaraju mogućnost uvođenja tehnologije kontrole. Racionalizacijom tehnologije obrade - postepenim uvođenjem grupne tehnologije, u konkretnoj fabrici strugova sa jedne strane pokazala se potreba, a sa druge strane stvorene su realne mogućnosti za razvoj tehnologije kontrole.

Prvi koraci racionalizacije tehnologije obrade su stvaranje "klasifikatora delova" i klasificiranje delova. U koliko su pri klasificiranju uzeti i oni faktori, koji daju mogućnost za postavljanje tehnologije tehničke kontrole, onda se u sklopu racionalizacije tehnologije obrade uspešno može rešiti i ovaj problem.

Tehnologija kontrole može da bude razrađena na tehnološkim listovima obrade, tako da tehnologija obrade i kontrola čine jednu celinu, ali mogu postojati odvojeni tehnološki listovi obrade i kontrole. Da bi se mogli opredeliti za jedno od mogućih rešenja, treba analizirati prednosti i nedostatke oba načina razrade tehnologije.

a. Tehnologija obrade i tehnologija kontrole na zajedničkom tehnološkom listu

- prednosti: radnik i kontrolor su uzajamno upoznati sa svim pojedinostima obrade i kontrole;
- nedostaci: tehnološki listovi su jako obimni, detaljni, naročito kod delova sa mnogo radnih operacija,

b. Odvojeni tehnološki listovi obrade i kontrole

- prednosti: mogućnost detaljisanja tehnologije kontrole do sitnih detalja, kod već razrađene tehnologije obrade tj. usvojene i tekuće proizvodnje postoji mogućnost naknadne razrade tehnologije kontrole,
- nedostaci: postoji opasnost preskakanja odnosno neizvršenja određenih operacija.

Na bazi takve analize može se odlučiti za tehniku razrade tehnologije kontrole, u zavisnosti od toga da li se radi o već usvojenoj proizvodnji ili se tehnologija obrade i kontrole razrađuje za neki novi proizvod. U svakom slučaju možemo zaključiti sledeće:

- zajednički tehnološki list odgovara za delove sa malo kontrolnih operacija i novo osvajanje proizvodnje, dok su posebni tehnološki listovi preporučljivi za slučajeve naknadne razrade tehnologije kontrole kao i kod komplikovanih delova sa mnogo kontrolnih operacija. Tako smo se za postojeću proizvodnju, gde se tehnologija kontrole naknadno razrađuje, odlučili za posebne tehnološke listove kontrole.

Međutim pošto su klasificiranjem delova stvorene takve grupe delova, za koje možemo primeniti iste tehnologije pri obradi ili koje mogu da budu grupno obrađene, moguće je razraditi i stvoriti i karakteristične, tipske tehnologije kontrole, koje se razrađuju na posebnim listovima i imaju svoju oznaku, šifru i na taj način postoji mogućnost naknadnog upisivanja ovih šifara u postojeće listove tehnologije obrade.

3. Metoda razrade tehnologije kontrole

Tehnolog kontrolor, koji razrađuje tehnologiju kontrole, mora da bude upoznat sa svim uzrocima grešaka, sa funkcijom radnog predmeta i sa zahtevanim kvalitetom, da bi na bazi toga pristupio radu.

Prikazaćemo način razrade tehnologije tehničke kontrole za zupčanike. Zupčanik je jedan od najkomplikovanijih i najskupljih delova alatne mašine, čije kontrolisanje zahteva najviše vremena uz primenu skupih mernih instrumenata. U procesu proizvodnje radnog predmeta tj. u obradi zupčanika učestvuju:

- mašine
- stezni i rezni alati
- radnik sa mernim alatima

Svaki od učesnika proizvodnje ima svoje greške, koje u manjoj ili većoj meri utiču na tačnost gotovih zupčanika.

U našoj fabrici izvršeno je klasificiranje svih delova koji se javljaju u proizvodnji, po tako dobijenim grupama izrađeni su postupci obrade, a sada se radi na postupcima kontrole.

Na slici 1 prikazan je redosled obrade zupčanika. Zupčanici ove grupe su cilindrični, od legiranog čelika za cementiranje, cementirani i kaljeni sa necementiranim površinama. kvaliteta obrade. 7. i 8 po DIN 3962 i 3967 sa cilindričnim otvorom. Interna oznaka ove grupe je 134212, gde ovi brojevi definišu grupu zupčanika prema gornjim podacima. U ovoj grupi ima 73 zupčanika.

UPOREĐENJE TOTALNE I PARCIJALNE KONTROLE CILINDRIČNOG ZUPČANIKA

CEMENTIRANI I KALJENI ZUPČANIK SA NECEMENTIRANIM POVRŠINAMA SA CILINDRIČNIM OTVOROM
KVALITET OBRADE: 7 i 8 PO DIN 3962 i 3967
MATERIJAL: LEGIRANI ČELIK ZA CEMENTIRANJE
INTERNA OZNAKA GRUPE: 134212
BROJ DELOVA U GRUPI: 73

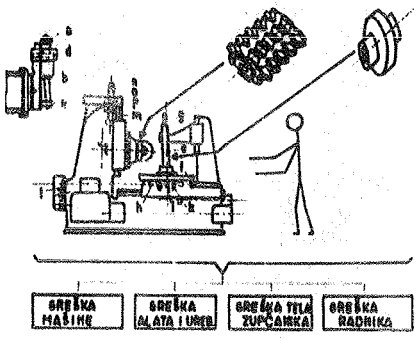
RED BR	REDOSLED OBRADE	OPERACIJA KONTROLE	
		TOTALNA K.	PARCIJALNA K.
1	SVRDLANJE	Kontrolisati	KONTROLISATI DIMENZIJE I TVRDOĆU
2	GRUBO STRUGANJE TELA ZUPČANIKA	Kontrolisati	
3	NORMALIZOVANJE SA POBOLJŠ.	Kontrolisati	
4	FINO STRUGANJE SA DODATKOM ZA BRUŠENJE I ZAŠTITU CEMENTACIJE	Kontrolisati	KONTROLISATI DIMENZIJE I ČEONI UDAR
5	OZUBLJENJE SA DODATKOM ZA BRUŠENJE	Kontrolisati	KONTROLISATI MERU PREKO VIŠE ZUBACA EKSCENTRIČNOST I ČEONI UDAR
6	OBARANJE I ZAOBLJENJE ZUBACA	Kontrolisati	
7	CEMENTIRANJE, OTPUŠTANJE	Kontrolisati	KONTROLISATI TVRDOĆU
8	STRUGANJE DODATAKA NA ZAŠTIĆENIM POVRŠINAMA	Kontrolisati	
9	KALJENJE	Kontrolisati	
10	PESKIRANJE		FINALNA KONTROLA DIMENZIJA I GREŠAKA OZUBLJENJA
11	BRUŠENJE OTVORA I ČEONIH STRAHA	Kontrolisati	
12	BRUŠENJE ZUBACA	Kontrolisati	
UKUPAN BROJ KONTROLNIH OPERACIJE		11	6

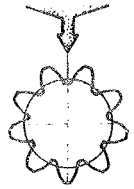
Po prikazanom redosledu obrade, posle 12 operacija obrade, trebalo bi izvršiti kontrolu u slučaju potpune odnosno "totalne" kontrole ili kontrolnih operacija, pri čemu isti parametri mogu biti više puta nepotrebno kontrolisani. Ako smo za izvršenje jedne operacije obrade odnosno kontrole, usvojili u proseku po jednu terminsku jedinicu (na pr. 3 radna dana) tada je ciklus proizvodnje ovakvog radnog predmeta 23 terminskih jedinica tj. 69 radnih dana. Ovo bi odgovaralo klasičnom načinu kontrolisanja.

Savremene metode kontrole treba da obezbeđuju i preventivnu ulogu u procesu proizvodnje kvalitetnih delova. U grupu preventivnih mera planskog obezbeđenja kvaliteta spadaju:

- razrada tehničkih uslova preuzimanja,
- izrada odnosno nabavka merila i mernih uređaja
- obučavanje kontrolora
- kontrola mašina, uređaja i alata u okviru odelenja održavanja
- održavanje merila i mernih uredaja

Ovakva organizacija rada kontrole obuhvata dakle i kontrolu mašine, pribora i alata, prema tome može se smanjiti broj uzročnika škarta, pa, pošto su ovde obezbeđeni potrebni uslovi kvalitetnog rada, težište delovanja kontrole može da bude koncentrisano na radni predmet i na rad radnika.





GREŠKE OZUBLJENJA

f_f	f_ϑ	f_{to}	f_{tb} (F_b, f_u)	f_r	f_s

Potpuna tehnička kontrola deluje planski na svim poljima proizvodnje, a s druge strane preduzete su određene mere za obučavanje radnika i raščišćeno je pitanje lične odgovornosti radnika za kvalitetan rad, moguće je preskočiti neke kontrolne operacije, s tim da iste ili izvrši sam radnik u toku redovne kontrole sopstvenog rada, ili da ih uopšte ne vršimo. Tako za navedenu grupu zupčanika po sl. 1 uvodimo tzv. parcijalnu kontrolu odnosno zadržavamo sledeće kontrolne operacije:

- posle grube obrade i normalizacije
- posle finog struganja
- posle ozubljenja
- posle cementiranja i kaljenja
- finalnu kontrolu po završetku poslednje operacije

Na taj način uz obezbeđenje sigurnosti u kvalitetu smanjen je ciklus obrade sa gore navedenih 23 terminskih jedinica na 17, tj. za 26% što je praktično i dokazano.

Kako izgleda tehnološki list u ovom slučaju, prikazano je na slici 3.

Za petu operaciju sa sl. 1 "ozubljenje sa dodatkom za brušenje" dat je sadržaj tehnološkog lista kontrole prikazane grupe zupčanika. Isti obuhvata kontrolu mašine kontrolu pribora i alata i kontrolu radnog predmeta. Tehnološki postupak je razrađen tako da sadrži podatke: šta treba kontrolisati, gde, čime i kada?

Na prikazanoj tabeli na slici 1 vidi se da umesto 11 kontrolnih operacija pri totalnoj kontroli, uvedena su 5 kontrolnih operacija kod parcijalne kontrole. Osnovna razlika je dakle između totalnog i parcijalnog kontrolisanja upravo smanjeni broj kontrolnih operacija, međutim to nikako ne znači degradiranje uloge tehničke kontrole, baš naprotiv, ovde deo odgovornosti za kvalitet preuzimaju radnici na mašinama, a kontrolisanje se vrši posle izvršenih 2 - 3 operacije. Tehnička kontrola može konstatovati škart nekih delova i sa prethodne operacije, tako da je zadnja operacija bila izvršena na lošem komadu. Ovako nastali gubitci, međutim, neuporedivo su manji od troškova kontrole posle svake operacije samim tim što je svest i odgovor-

TEHNOLOGIJA TEHNIČKE KONTROLE ZUPČANIKA

INTERNA OZNAKA GRUPE : 134212 OZNAKA OPERACIJE: GZ, RZ

		ŠTA SE PROVERAVA	KO PROVERAVA	ČIME PROVERAVA	NA OSNOVU ČEGA SE PROV.
KONTROLA OBRADJENIH ZUBACA (sa dohvatom za brušenje)	KONTROLA MAŠINE	a) ODVALNA GLODALICA			
		I. Radijalni udar pomoćnog pribora	G K S P	KOMPARATOR	Po TU
		II. Aksijalni udar pomoćnog pribora	" " "	" " "	" " "
		b) RENDISALJKA ZUPČANIKA			
		I. Radijalni udar vretena	G K S P	KOMPARATOR	Po TU
		II. Aks. udar osione površine alata	" " "	" " "	" " "
		III. Paralelnost vert. kretanja vretena sa ozom obrtanja stola	" " "	" " "	" " "
		IV. Tačnost lanca sprezanja	" " "	KOMPARATOR I FRIKC. DISKOVI	" " "
	KONTROLA PRIBORA I ALATA	I. Udar bočnih površina i površina za centriranje pomoćnih alata u odnosu na osu obrtanja stola mašine.	REGLER	KOMPARATOR	Po TU
		II. Udar nosača glodača	" " "	" " "	" " "
		III. Istrošenost alata	G K S P	—	Po grafikonu
KONTROLA OBRADJENIH ZUPČANIKA	KONTROLA ZUPČANIKA	I. Greška preko više zuba	Kontr. OTK	Tanj. mikrometar	Po DIN 3967
		II. Radijalni udar	" " "	Uređaj	Po DIN 3962

nost stručnog radnika na takvom nivou, da je ovakva organizacija rada ostvarljiva. Jedno je pak sigurno: jedino od radnika - kao bitnog faktora proizvodnog procesa - zavisi mogućnost primene parcijalne kontrole - da li se kontrola može vršiti posle svake operacije ili će se izvesne kontrolne operacije preskočiti. Upravo zato u okviru proizvodne jedinice postoji mogućnost opredelenja za totalnu ili parcijalnu kontrolu.

4. Kontrola sklopova i gotove mašine

Na radnim predmetima, sklopovima i gotovim mašinama do sada su kontrolisani oni parametri, čija je kontrola bila najjednostavnija i vezana za najmanje poteškoća. Tako na pr., kontroli dužina se i danas posvećuje veća pažnja nego što se to radi sa kontrolom funkcionisanja, mada težište treba da bude na kontroli ispravnosti funkcionisanja, dok preterana tačnost nekih detalja nije toliko bitna.

Statička tačnost - tj. tačnost delova pre ugradnje u mašinu i eksploatacije - ne mora da bude garancija da će sklopljena mašina imati željenu tačnost rada i propisani vek trajanja. Upravo zato je pored statičke kontrole i uvedeno funkcionalno ispitivanje sklopova. Izrađene su ispitne stanice za sledeće sklopove strugova:

- uljna pumpa
- kompletno vreteništa
- norton

Dok se ispitivanje ostalih sklopova sada razvija, ovo ispitivanje je povezano sa uhodavanjem i čišćenjem. Na sklopu vreteništa kontrolišu se sledeće osobine:

- kriva porasta temperature vreteništa u periodu zagrejavanja
- pomeranje ose glavnog vretena od položaja u hladnom stanju do položaja na radnoj temperaturi struga. Saznanje o veličini ovog pomeranja je bitno iz tog razloga, što se delovi struga obrađuju na 20° C dok je geometrijska tačnost rada struga zahteva na "radnoj temperaturi" struga (vidi JUS M.GO.120, tačka 4, redni broj 3 i 4)

što praktično znači da treba poznavati veličinu i smer pomeranja ose glavnog vretena pri zagrevanju na radnu temperaturu, da bi u statičkom, hladnom stanju obezbedili suprotan položaj ose.

Pored gornjih karakteristika vreteništa kontrolišu se još: snaga praznog hoda, šum, promena pritiska ulja u cevovodima za podmazivanje itd. Statičko sređivanje i proučavanje dobijenih podataka je u toku.

Kompletan program ispitivanja strugova posle sređivanja dobijenih rezultata pored ispitivanja po JUS.M.GO.12c obuhvata ili će obuhvatati još i sledeće:

- uticaj težine radnog predmeta na tačnost rada (dozvoljena maksimalna težina radnog predmeta u strugovima tipa PA je: 2000 kg pri obradi između šiljaka, ili 2500 kg pri obradi u linetama)
- uticaj pomeranja suporta i ključne ploče na tačnost rada
- jednolikost veličine pomaka
- temperaturske deformacije
- funkcionisanje graničnika i sigurnosnih elemenata
- ispitivanje kliznih vodica

Naš je osnovni cilj da korisnici ovih strugova pored konvencionalnih tehničkih karakteristika - navedenih u prospektima i knjizi uputstva dobiju u ruke i takve podatke, koji su bitni za eksploataciju ovih mašina jer samo tako mogu biti najracionalnije korišćene.

L I T E R A T U R A

1 Leinweber P: Taschebuch der Längemesstechnik, Springer Verlag, Berlin - Göttingen - Heidelberg 1955.

2 Keller K: Zu Problemen der technologischen Vorbereitung der Kontrollarbeiten im Maschinenbau, Der Maschinenbau, 2 (1965.) strana 75.

3 Mora Andraš: Tehnička kontrola (skripta VTŠ) Subotica 1964.

4 Schmoll F-Krámer U: Kontrolltechnologie - eine technologische Disziplin und wichtige Arbeitsunterlage des Kontroll eurs. Fertigungstechnik und Betrieb 11 (1965.) strana 692.

A. Mora

Product Control Included in Rationalization of Technological Processes

In the course of few years the extent of production, the productivity of machines and batch production have been subject to constant and rapid development. The technology of parts production, assembling technology, etc, had been developing too, but on the field of technical control old conceptions have been maintained, which can cause a certain decrease in quality of products and increase the percentage of waste. Maintaining the original quality is connected with great costs.

We have been working for a long time on this problem trying to convince others to stop treating the technical control as a less important operation usualy simply described as "Check-up" and "Measurements". Keeping in mind the importance of control in prevention of quality decrease, the technology of product control should be worked out.

As the static accuracy of individual parts does not necessarily mean that the machine will exhibit the required working accuracy and life, the methodology of control of subassemblies and assemblies was introduced.

Modern, up-to-date organization of work and systematic technology of control can successfully provide the required quality of products, even in conditions of increased production.

A. Vila *)

PLANIRANJE ROKOVA U MAŠINOGRADNJI **)

Planiranje proizvodnje je vrlo značajan problem savremene industrije; veći nego što se misli, a daleko veći nego što mu se pridaje značaj. Planiranje proizvodnje, t.j. problemi koje rješava priprema rada industrijskog poduzeća, to je živčani sistem industrije.

Svjedoci smo činjenica koje nas okružuju, da se nizovi planova izrađuju u našim industrijskim poduzećima, da su međutim financijski planovi vrlo često detaljnije razrađivani i pridaje im se veći značaj nego planovima proizvodnje. Slično je i s komercijalnim planovima. Inženjeri, nenaviknuti na planiranje, orjentirani isključivo na konstruktivne odnosno tehnološke probleme, zanemaruju ovaj aspekt rada u industrijskom poduzeću, i plan se proizvodnje olako izvede, prihvati i izglasa na organima upravljanja.

Međutim, svi dobro znamo, koliko upravo u mašinogradnji informacija dnevno odlazi u proizvodna odjeljenja. Podsjetimo se da se u nekim tvornicama godišnje izdaje po nekoliko tisuća radnih naloga, pa čak i nekoliko desetaka tisuća; da izvadnica materijala ima i na stotine tisuća, kao i radnih listova koji kruže po radionicama, a da se broj operacija u nekim tvornicama tokom jedne godine penje na milione.

Osnovni problem je sinhronizirati sve operacije, montaže, dijelove sklopove, kapacitete, skladišta materijala, dobavu, isporuku itd. Nemoguće je pogonu dati samo nalog da se izradi jedan reduktor, a kamoli jedna lokomotiva. Da se to kaže, pa i provede u djelo stavlja se u pokret cijeli aparat specijalista i službenika i obavljaju se mnogi pripremni radovi, kako bi se sama proizvodnja odvila što brže i efikasnije.

Odjel za planiranje proizvodnje, a zovemo ga obično operativna priprema rada, izdaje mase direktiva u pogone, i sinhronizira vrlo kompliciran tok proizvodnje nekog proizvoda. Kada govorimo o ovom problemu, svi su primjeri obično uzeti iz metalne struke, dapače najčešće iz mašinogradnje. Iz raznih grana industrije istovremeno stižu primjedbe, zašto se tretirana materija uvjek promatra iz nekog "metalnog" aspekta. Čini se da je odgovor već unaprijed dat: zato jer upravo ta vrsta proizvodnje ima najteže i najveće probleme u vezi planiranja, iznad bilo koje druge grane proizvodnje. Problemi planiranja proizvodnje ostalih grana industrije su jednostavniji, a kod mnogih grana industrije čak i beznačajni prema problemima koji se javljaju u mašinogradnji. Prema tome, jasno je, ako se ova problematika tretira na težim primjerima, i provađa u praksi na težim slučajevima, da ju je lakše adaptirati na jednostavnije praktične slučajeve i probleme.

---

*) Doc. Antun Vila, dipl.inž.honorarni profesor Visoke tehničke škole Zagreb

**) Saopćenje iz Visoke tehničke škole - Zagreb

Ciljevi planiranja proizvodnje

Osnovni cilj službe za planiranje proizvodnje jest da se željeni proizvod dobije ekonomično i na vrijeme. Međutim, odmah na početku treba naglasiti, da uz najsavršenije planiranje, uvijek dolazi do vanplanskih problema, i uvijek nešto "izmakne" pažnji planera. Prema tome postavlja se pitanje, koliko jaka i široka mora biti služba planiranja proizvodnje.

Možda će netko reći: treba biti tako jaka da sve može obuhvatiti. Međutim, tu i jeste jedan od problema, jer prijašnja definicija o dobivanju proizvoda "ekonomično" uključuje u sebi i ekonomičnost same službe planiranja. Osim toga, postavlja se pitanje, da li i uz jako dimenzioniranu službu planiranja proizvodnje, neće nešto izmaknuti.

Činjenica je da u kompliciranoj proizvodnji kao što je mašinogradnja nije nikakovo čudo da dolazi do povremenih propusta. To ne znači da se isti ozakonjuju; to samo znači da nas isti ne začuđuju ako se sporadično dogode.

Čak i u američkoj literaturi naglašavaju se mišljenja da neko apsolutno planiranje proizvodnje nema smisla niti zahtijevati, jer ga nikada nećemo postići. I troškove službe za planiranje proizvodnje treba staviti u ravnotežu sa predностima koje služba daje, pa se također može konstatirati, da investicije u ovakovu službu imaju svoj optimum. Predimenzionirana služba neće dati apsolutnu točnost u predviđanjima i planovima.

Opći ciljevi planiranja proizvodnje mogu se sažeti u slijedećem:

- izbalansirati radioničke kapacitete sa potrebnom količinom proizvoda, zahtjevanom od prodaje,
- smanjiti na minimum zastoje u proizvodnji iz bilo kojih razloga,
- osigurati isporuku na određene rokove,
- držati niske zalihe sirovina i poluproizvoda,
- osigurati efikasnu suradnju sa službama prodaje i nabave.

U osnovi svi do sada spomenuti ciljevi, svode se na rokove. I to je u stvari najglavniji dio planiranja proizvodnje. Sve ostalo treba pomoći efikasnosti proizvodnje na rok, uz ekonomično poslovanje kako je već spomenuto.

Ima još jedno sporno pitanje koje se vrlo često javlja kod onih koji postavljaju ili žele unaprediti službu planiranja proizvodnje t.j. operativnu pripremu rada. Pitaju, koliko će uštediti time što uvedu ovakovu službu, ili koliko će porasti dohodak poduzeća nakon poboljšanja organizacije radova ove službe i popunjenja službe kvalificiranijim kadrom.

Odgovor na to se ne može dati. Uštede ovaj odjel ne stvara, t.j. ne uštede koje se izražavaju u financijskim pokazateljima. Ovakove zadatke ima služba pojednostavnjenja rada, sastavni dio studije rada, u zajednici sa tehnološkom pripremom. Rad ove službe može se indirektno pokazati i financijskim uspjehom, zbog povećanog obujma proizvodnje, ali to je indirektno sazanje i to nakon određenog vremenskog perioda.

Ono što rukovodstvo može očekivati od službe planiranja proizvodnje je "isporuka na vrijeme", i poduzimanje svih akcija, kako bi se isporuka održala, pripremanje svega potrebnog i hitne intervencije u koliko se pokažu nepredviđene smetnje u procesu proizvodnje.

Praćenje planova

Kada se govori o planiranju, kod nas se katkada gubi iz vida da u tu riječ treba uključiti i kontrolu izvršavanja planova. Zapravo samo planiranje bez praćenja izvršenja nema nikakvog smisla. Kad se sagledava nivo planiranja u našoj industriji, onda nam je tu zapravo jedna od najbolnijih tačaka. Vrlo se slabo prati izvršenje planova. Nažalost čuju se vrlo često u tvornici mišljenja, i to od odgovornih rukovodilaca, da je "plan i tako samo formalno izveden, ali da će u praksi sve biti drugačije, jer tko može predvidjeti što će se dogoditi za par mjeseci". Ovakove unaprijed postojeće sumnje u plan, proglašavaju ga već unaprijed propalim i neozbiljno izvedenim, pa se postavlja pitanje, zašto se uopće izvodi.

Neophodno je pratiti plan, konstantno - svakog dana, tjedna, mjeseca, ili dužih vremenskih perioda. Komparirati planirano sa izvršenim i analizirati uzroke. Rezultate koristiti kod razrade slijedećih planova, i tako unaprijediti vrijednost plana, koji nažalost ima nizak autoritet u našim industrijskim poduzećima. To je nažalost toliko uočljiva činjenica, da je jedan od američkih stručnjaka, konzultanata na području organizacije rada izjavio u Zavodu za unapređivanje produktivnosti rada u Zagrebu, o našem planiranju slijedeće: "U nekoliko mjeseci koje smo proveli u Vašoj zemlji ustanovili smo da vrlo mnogo planirate, ali kad ste jednom nešto planirali, vrlo se malo trudite da taj plan pratite kako se provodi u praksi". Izgleda da na ovom području pred nama stoje veliki zadaci.

Tehnike planiranja proizvodnje

Samo područje obiluje nizom vrlo prikladnih tehnika za različite probleme. Brojne su knjige napisane na ovom području, na svim jezicima. Tretirani su problemi rokova, terminiranja, opterećenja kapaciteta, optimuma asortimana i količina, dispečiranja, ekonomičnih zaliha materijala, ekonomičnih serija, dokumentacije itd. Problem je rokova već sam za sebe toliko složen da bi se o njemu mogla napisati knjiga. Međutim, u našoj situaciji čini se da su dva dominirajuća problema na ovom području mometalno vrlo aktuelna.

Prvi problem je iz pojedinačne proizvodnje. Radi se o planu realizacije pojedinačnog proizvoda, kao što je na pr. lokomotiva, ili parna turbina, most ili sl., od početka radova na izradi projekta do puštanja u pogon na licu mjesta. Nažalost, ni ovakovi veliki i skupi objekti u mnogim našim poduzećima nisu zaslužili izradu niti najgrubljeg plana realizacije, makar nose vrijednost od stotine milijuna dinara.

Drugi je problem iz serijske proizvodnje. Serije dijelova lansiraju se u proizvodne radionice i trebaju biti završene tačno do određenog vremena, jer tada ili počinje montaža određene serije finalnih proiz-

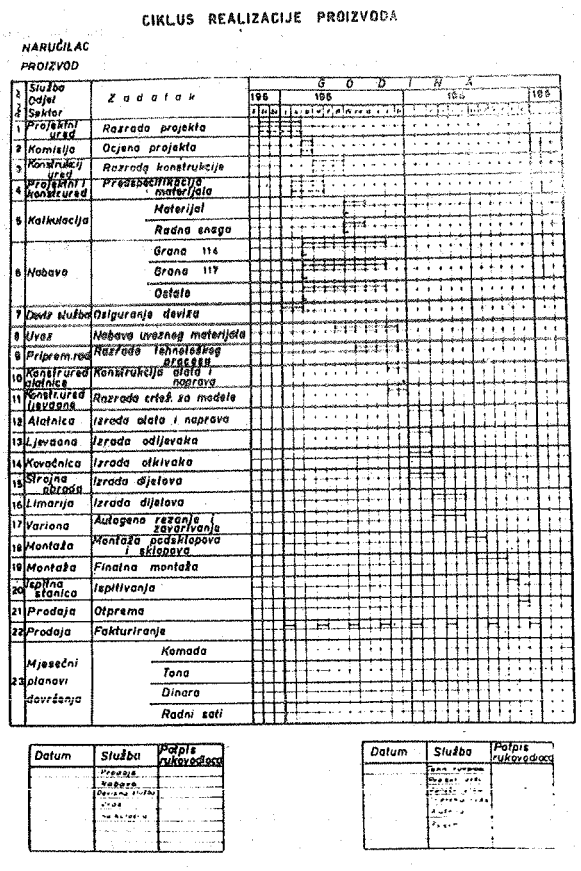
voda, ili će stanje na skladištu poluproizvoda pasti na nulu, a zalihama se "hrani" montažna vrpca dotičnog proizvoda. Pitanje je kako će dugo trajati ciklus proizvodnje dotične serije.

Ta će dva problema biti ukratko tretirana u ovom referatu.

Plan ciklusa realizacije proizvoda

Kod velikih pojedinačnih proizvoda, čija proizvodnja počinje na osnovu specijalne narudžbe od strane naručioca, i čija proizvodnja traje često vrlo dugi period vremena (godinu, dvije), potrebno je izvesti posebni plan svakog objekta, svake narudžbe.

Cijeli ciklus realizacije proizvoda, t.j. period vremena od početka projektiranja objekta do njegove isporuke i puštanja u pogon, potrebno je podijeliti u niz faza rada. Što se više faza rada postavi u planu, to će biti moguće tačnije vršiti procjene vremena potrebnog za izvođenje svake faze.



SL. 1

Na sl. 1 prikazan je ovakav mogući plan, a omogućeno je planiranje kroz dvije godine, uz dodatak od po 3 mjeseca prije početka prve godine, i isto toliko na kraju druge godine. Prema principima gantograma, vrijeme potrebno za određenu fazu označi se dužinom linije, koja označava i dužinu trajanja, kao i početak i završetak radova na dotičnoj fazi.

Svaka faza rada imade dvije horizontale u dijelu formulara gdje se gantogramski planira. Planiranje se vrši u gornjem dijelu, dok se u donjem dijelu vrši praćenje na osnovu povlačenja druge linije, koja označava izvršenje plana. Na sl.1 prikazan je gantogram plana nekog proizvoda, a također je prikazano crtkanim linijama da su neki radovi već i završeni. Tako na pr. možemo konstatirati da su radovi prema fazama 1, 2, 3 i 4 već dovršeni, dok posebne oznake ispod za-

crtanog plana na fazama 5.(kalkulacija) i 6.(nabava) prikazuju da su ovi radovi započeti, prema tome su u toku. Svakako da se stalno kompariramo sa proteklim vremenom, sa datumom u kome se nalazimo, da bi mogli reći da li smo u rokovima ili smo već pali van njih.

U koliko su rokovi već pređeni, sam ovaj papir nam neće pomoći. Sada je važna akcija rukovodioca da poduzme mjere kako bi se slijedeće faze ubrzale, da se cijeli objekat na vrijeme završi.

Plan prema sl. 1 samo je rezime detaljnih planova, koji međutim neće biti razrađeni u ovom referatu. Prilozi ovog plana trebali bi biti brojni, jer bi svaka faza trebala dobiti svoj detaljni rokovnik akcija, vrlo sličan ovome.

Poznavajući objekat, isti bi trebalo unaprijed rastaviti na pojedine veće sklopove, a zatim dalje, te prema njima razraditi plan. Na taj bi se način tačno znalo kada što treba biti učinjeno već u projektnom uredu, te bi se već tu počelo sa kontrolom izvršenja, koja bi sada mogla kontinuirano pratiti napredovanje radova.

Upravo na ovim problemima može se vrlo dobro primijeniti metoda PERT, koja je stvarana upravo u svrhu određivanja rokova pojedinim fazama rada, kod velikih i kompliciranih objekata, čija proizvodnja traje kroz dugi vremenski period. Elektronski računari primjenjeni metodom PERT, olakšavaju ovakovo planiranje kod najvećeg broja faza, koji se sada može penjati i na tisuće. Tako je savremena nauka pojednostavnila i ubrzala još jedan značajan problem savremene organizacije rada.

Ciklus proizvodnje serija dijelova

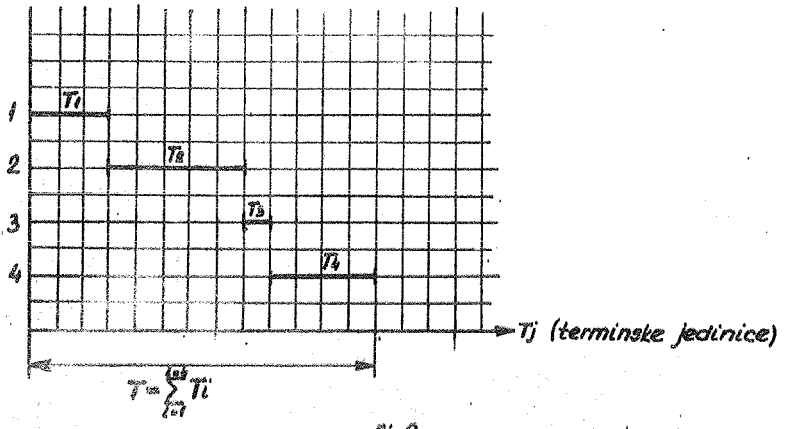
Bilo da se radi montaža finalnih proizvoda na vrpci, bilo da se proizvodi serija dijelova za potrebe tačno određene serije finalnih proizvoda, problem lansiranja serije dijelova, koja mora biti završena do određenog roka prilično muči serijsku proizvodnju. Postavlja se, naime, pitanje,kada treba lansirati seriju u proizvodnju,te kada treba započeti rad na prvoj operaciji, da bi cijela serija ušla u skladište poluproizvoda u određeno vrijeme.

Predpostavimo da se određena pozicija proizvodi u četiri operacije, te da se proizvodi serija od "n" komada, dijelova u dotičnoj seriji. Vrijeme potrebno za izradu svih n komada na prvoj operaciji iznosi T_1, na drugoj operaciji T_2 itd. kako je to prikazano na sl.2. Ukupno vrijeme rada, što ujedno može biti i kompletan ciklus proizvodnje, ako se operacije nastavljaju jedna na drugu iznosi

$$T = \sum_{i=1}^{i=n} T_i$$

kako je to prikazano na sl.2. Terminske jedinice uzimaju proizvoljno bilo koju jedinicu vremena: sat, dan, tjedan itd, kao mjeru ovog prikaza.

Na žalost, niti u serijskoj proizvodnji ne može se očekivati završetak serije dijelova u vremenu T prema sl. 2. Između operacija nastaju za-

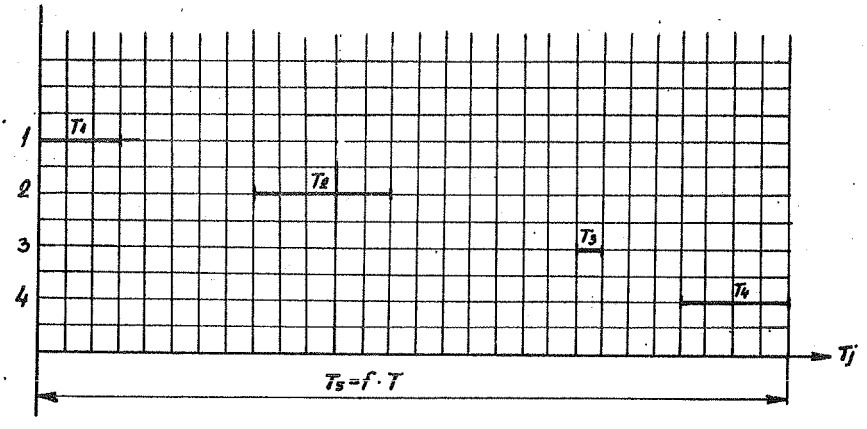


Sl. 2

stoji iz raznoraznih razloga, od koji su neki objektivne, a neki subjektivne prirode. Evo nekoliko primjera:

- transport između operacija
- kontrola kvalitete izrade
- preuzimanje u međufazna skladišta
- slijedeći stroj na koji pozicija treba da ode okupiran je nekim zadatkom, drugom pozicijom koju već izrađuje
- slaba planska briga oko rokova: serija nakon jedne operacije je zaboravljena, i leži na nekoj polici dok ne postane superhitna
- druge pozicije su vrlo hitne i imaju prioritet itd.

Iz tih razloga stvarni ciklus proizvodnje izgleda kako je prikazano u sl. 3.



Sl. 3

Ciklus proizvodnje T uvećan je u stvarnosti za nekoliko puta. Veličina tog uvećanja definirana je koeficijentom f, t.zv. koeficijentom prolaza, ili koeficijentom protoka. Taj se koeficijent kreće normalno u granicama 2 - 3, što znači da je stvarni ciklus proizvodnje dvostruk

odnosno trostruk, od postepenog načina kretanja proizvodnje, koji se dobiva kada se operacije nastavljaju jedna na drugu (sl. 2).

U našoj industriji mi ne možemo postići, međutim, ovako niske vrijednosti koeficijenata prolaza. Naše su vrijednosti nažalost daleko veće, što znači da imamo vrlo dugačke cikluse proizvodnje. tj. da su rokovi izrade vrlo dugački, i da su obrtna sredstva vezana duže vremena u nedovršenoj proizvodnji.

Svakako je zanimljivo za svako industrijsko poduzeće, da sazna koliki su koeficijenti prolaza za pojedine grupe dijelova, jer jedino tako se može definirati rok početka radova, ako se znade kada treba biti dovršena serija dijelova.

U ovom pogledu u praksi se mnogo griješi, i nepoznavanje ovog problema dovodi do velikih zakašnjenja u rokovima. Mnogi se planer proizvodnje zavarava kada smatra da će na pr. neka serija dijelova kojoj je potrebno za izradu na pr. 2 radna dana u jednoj smjeni, biti gotova za 4 ili 5 dana, jer da se više neće izgubiti. Kada bi međutim znao da je koeficijent prolaza u njegovoj radionici recimo 10, zaprepastio bi se i on sam, kao i rukovodstvo, saznavši da će normalno trebati čekati 20 dana dok se ta pozicija izradi, ako se ništa specijalno ne požuruje.

Analiza koeficijenta prolaza u stvarnosti se provodi i vrlo je jednostavna. Potrebno je samo znati datum početka prve operacije i datum predaje serije dijelova u skladište dijelova, i na osnovu ovih dvaju podataka kao i norma sati za izradu serije, lako je međusobnim odnosom konstatirati koliki je f. U koliko se ne unapredi organizacija pogona, analizirani f iz prošlosti nastaviti će se u budućnosti, te prema tome takav podatak uzimamo za naredne kalkulacije rokova.

Da se ti zastoji između operacija nekako svedu na razumnu mjeru, neka su poduzeća propisala koliko smije biti najveći zastoj između dviju operacija. Tako na pr. jedna belgijska tvornica strojeva propisuje svojim terminerima da je takt proizvodnje 4 dana, i da svaka serija dijelova mora napredovati za jednu operaciju u jednom taktu. To znači da u roku 4 dana, najkasnije, mora svaka serija pozicija da bude na slijedećoj operaciji. Revizija kartoteke dijelova, kao i svih radnih dokumenata vrši se svaka 4 dana, te se konstatira što mora ići na slijedeće i na koje operacije, a također se konstatira koje pozicije zapinju. One koje iz bilo kojih razloga imaju zastoj, u koliko su zapele za jedan takt dobivaju jedan jahač, za zaostatak od 2 takta 2 jahača itd. Kada se zapreka odkloni, zbog koje pozicija nije mogla na slijedeću operaciju, pozicija mora biti toliko puta ubrzana kroz proizvodnju koliko ima jahača, t.j. mora toliko operacija da bude izvršeno u jednom taktu, da stigne na isti rok za koji je predviđena. Jasno je, da prednost imaju one pozicije koje imaju više jahača.

Kod nas su vršene neke analize koeficijenata prolaza, koje su sve pokazale vrlo velike brojke.

Neki rezultati provedenih analiza prikazani su u nekoliko slijedećih primjera iz naše prakse.

Slučaj 1. Poduzeće mašinogradnje velikoserijske proizvodnje
Analiza provedena u strojnoj obradi
Analiza koeficijenta prolaza provedena je na 258 radnih naloga za izradu raznih strojnih dijelova. Prosječni koeficijent prolaza iznosi

$$f = 5,12$$

Cijeli skup od 258 analiziranih koeficijenta prolaza kreće se u granicama od

$$1,6 - 14$$

Slučaj 2. Izrada čeličnih otpresaka
Analiza izvršena na 37 serija. Prosječni koeficijent prolaza iznosi

$$f = 5,4$$

Kod malih serija dotičnih proizvoda kreće se između

$$8 - 12$$

Slučaj 3. Poduzeće elektro-industrije strojna obrada lijevanih kućišta
Izvršena je analiza iste pozicije, na osnovu ponavljajućih serija kroz period od 1,5 godine. Serije su bile različite veličine, te je analiza vršena u odnosu i na veličinu serije. Tabelarno su dati podaci za dvije važne pozicije, te se može konstatirati prilična neujednačenost i veličina serija, a i trajanja protoka dijelova kroz radionicu strojne obrade, od slučaja do slučaja.

P o z i c i j a A			P o z i c i j a B	
Veličina serije kom	Koeficijent prolaza f		Veličina serije kom	Koeficijent prolaza f
5	32		56	26
55	14,5		58	6
15	35		120	12
15	2,3		230	5
152	3,4		199	1
125	6,7		320	2
105	1,0			
101	3,9			
100	3,9			
94	2,7			

Slučaj 4. Alatnica poduzeća za izradu sitnih metalnih proizvoda

Analiza koeficijenta prolaza u ovom slučaju vršena je na osnovu potrebnih norma sati za izradu pojedinih alata, te broja dana potrebnih za njihovu izradu od početka do kraja, pretvoreno u sate rada.
Za dvije karakteristične grupe alata dobiveni su slijedeći podaci, i to za grupe

a) alati za tlačno lijevanje
b) štance

Konstatirano je da koeficijenat prolaza ovisi i o veličini alata, t.j. o potrebnim norma satima za izradu istog.

Podaci za grupu alata za tlačno lijevanje

a) alati do 14o norma sati potrebnih za izradu:

$$f = 6$$

b) alati iznad 14o norma sati potrebnih za izradu:

$$f = 4$$

Podaci za grupu alata štance

a) alati do 8o norma sati potrebnih za izradu

$$f = 9$$

b) alati od 8o-14o norma sati potrebnih za izradu:

$$f = 5,5$$

c) alati iznad 14o norma sati potrebnih za izradu:

$$f = 4$$

Zaključak

Problemu protoka kroz proizvodnju posvećuje se vrlo mala pažnja. Osim što protok definira rokove, te je potrebno znati koliko to iznosi, veličina protoka ima i važan ekonomski značaj, jer se povećanjem trajanja protoka materijala kroz proizvodnju stvara i veća nedovršena proizvodnja. Međutim, to je vrlo neistraženo područje u našoj industriji, čemu treba posvetiti veću pažnju, što bi svakako moralo imati odraza i na uspješnost poslovanja poduzeća.

A. Vila

Planning of Terms in Machine Production

Two problems have been treated roughly in the article. Both of them are simple, their solution requiring no special scientific method. But finding the essence of problems and using some simple techniques can help us to obtain more real terms.

In individual production, where some large object is being produced for more than a year or even two years, it is necessary to "break up" the object into several rough stages first, the number of these stages reaching sometimes several tens, and then plan a term for each stage. Each stage should also have detailed plans.

In batch production the problem is a little different. Objects which are going to be produced are known in advance, as well as series of necessary parts. The problem is how to plan terms for parts series, so that all parts are finished by the time assembling starts. As production of parts consists of many operations, it is necessary to know time losses between operations. The essence of the problem is in planning the flow of batches through production.

Z. Fijan *)

PRIMJENA METODE "MONTE CARLO" U SIMULIRANJU PROCESA PROIZVODNJE **)

Uvod

Svrha je ovog izlaganja, da pokuša pronaći način kojim bi se mogao proučiti proces proizvodnje, te utvrditi zakonitosti koje u njemu vladaju, kao i djelovanje tih zakonitosti na proces proizvodnje. Proces proizvodnje je po vremenskom trajanju vrlo dug, moglo bi se reći beskonačan, a prostorno vrlo obiman, naročito u strojarstvu. Iz toga razloga nije moguće u njemu vršiti eksperimente i pratiti djelovanje nekih zakona, pogotovo kod promjene tih zakona. Sve bi to predugo trajalo, a da i ne govorimo o troškovima istraživanja. Ovdje će se promatrati odvijanje jednog malog i za ovu priliku pojednostavljenog procesa proizvodnje, na papiru, to jest van samog procesa proizvodnje. To promatranje ne izaziva nikakve troškove osim uloženog truda, a vremenski je neusporedivo kraće. Promatrajući na taj način odvijanje, moguće je izvesti razne varijante procesa proizvodnje uz primjenu različitih zakona i posebnih vrsta organizacije procesa. Na osnovu toga može se donijeti pravilna odluka o primjeni optimalne varijante u praksi. Odvijanje procesa proizvodnje pratit će se na osnovu oponašanja ili simuliranja procesa metodom "Monte Carlo".

Prikaz metode "Monte Carlo"

Metoda "Monte Carlo" je jedna od metoda operativnog istraživanja. Prvi puta je primjenjena 1949. godine. Služi za oponašanje (simuliranje) raznih zbivanja. Za oponašanje je potrebno poznavati historijat zbivanja koje želimo oponašati ili pak neke teoretske podloge o tom zbivanju. U oponašanju se najčešće koristi tabela slučajnih brojeva. Do danas je ova metoda korištena u mnogim slučajevima, od rješavanja integrala (koji su matematski nerješivi) preko mnogih drugih problema do rješavanja kretanja elementarnih čestica u prostoru.

Primjena ove metode omogućila je da se riješe neki problemi, koji su dotada izgledali nerješivi.

Rješenja dobivena na osnovu ove metode nisu apsolutno tačna. Veća ili manja tačnost ovisi o tome, kako dugo vršimo oponašanje. Za rad na oponašanju treba za svaki problem stvoriti odgovarajući model. Najčešće kao model služi prikladna tabela u kojoj se mogu pratiti promjene veličina koje se promatraju.

---

*) Fijan Zvonko, dipl.ing., asistent Visoke tehničke škole, Zagreb

**) Saopćenje iz Visoke tehničke škole, Zagreb

Primjer procesa proizvodnje

Uzet je jednostavan primjer od tri proizvoda, koji prolaze određene operacije u procesu proizvodnje. Ti proizvodi prolaze određene operacije, a neke operacije odvijaju se na istom radnom mjestu. Znači, da na neka radna mjesta dolazi više proizvoda. Evo podataka o redoslijedu operacija, kao i normativa za ta tri proizvoda.

Proizvod 1

1. 1	Tokarenje	100 komada/dan
1. 2	Kontrola	500 "
1. 3	Termička obrada	200 "
1. 4	Kontrola	1000 "
1. 5	Brušenje	50 "
1. 6	Kontrola	500 "

Lansira se u serijama po 2000 komada

Proizvod 2

2. 1	Tokarenje	200 kom/dan
2. 2	Kontrola	1000 "
2. 3	Glodanje	500 "
2. 4	Bušenje	500 "
2. 5	Kontrola	500 "

Lansira se u serijama po 4000 komada

Proizvod 3

3. 1	Glodanje	200 kom/dan
3. 2	Bušenje	400 "
3. 3	Kontrola	200 "
3. 4	Brušenje	500 "
3. 5	Kontrola	1000 "

Lansira se u serijama po 1000 komada.

Za ovu proizvodnju potrebno je najmanje šest radnih mjesta, i to će se uzeti kao osnov. Za tri proizvoda ima ukupno 16 različitih operacija. Prema tome, na jednom radnom mjestu obavlja se 1 - 7 operacija. U ovom je primjeru transport zanemaren, odnosno pretpostavlja se, da se komadi dodaju s jednog radnog mjesta na drugo radno mjesto, ili da ima toliko transportnih radnika, da se on odvija bez zastoja.

Izvođenje oponašanja (simuliranja)

Prije početka oponašanja mora se raspolagati sa potrebnim zakonima kao i tabelom slučajnih brojeva. Pretpostavlja se da radna mjesta rade 78% vremena, a 22% vremena da ne rade. Ovo je moguće ustanoviti nekom od metoda studija vremena. Rad će predstavljati slučajni brojevi 00 do 77, a nerad slučajni brojevi od 78 do 99, što je u pretpostavljenom odnosu.

Potrebno je vršiti oponašanje koja će se operacija najprije izvoditi, ako ih ima više na istom radnom mjestu. Ako na radno mjesto stigne

samo jedna operacija, jasno je da će se ona izvoditi, ako radno mjesto radi. Na isto radno mjesto može stići istovremeno od nijedne do sedam operacija. U slučaju da ne stigne ni jedna operacija ili da stigne samo jedna operacija, nemamo šta oponašati. Ako na radno mjesto stignu dvije ili više operacija, izvodi se najprije ona operacija u čiju je grupu pao očitani slučajni broj za taj slučaj, a prema tabeli 1.

Operacije, redom iz tabele 2	Slučajni brojevi za broj operacija koje su stigle na radno mjesto					
	2	3	4	5	6	7
1.	00-49	00-32	00-24	00-19	00-16	00-13
2.	50-99	33-65	25-49	20-39	17-32	14-27
3.		66-99	50-74	40-59	33-49	28-41
4.			75-99	60-79	50-66	42-55
5.				80-99	67-82	56-69
6.					83-99	70-84
7.						85-99

Tabela 1

Brojevi u tabeli 1. postavljeni su tako, da je pojavljivanje svakog događaja jednako vjerojatno.

Lansiranje proizvoda provodi se na taj način, da lansiramo odmah cijelu seriju proizvoda na radna mjesta prve operacije. Kad je prva operacija na cijeloj seriji provedena, odmah se lansira slijedeća serija. Prijelaz iz jedne operacije na drugu obavlja se svakodnevno, čim je prethodna operacija završena.

Ovi uvjeti bi se mogli postaviti i drugačije, pa bi se prema tome i rezultati razlikovali. No to bi ujedno značilo i postavljenje druge varijante organizacije procesa proizvodnje, pa bi svaku posebno trebalo oponašati.

Model za ovaj proces proizvodnje je tabela 2. Ona je tako složena da se u toku oponašanja mogu pratiti promjene svake interesantne veličine, a očitani i konstatirani podaci upisivati, kako se ne bi trebali pamtiti. U glavi tabele 2 dat je redni broj radnog dana te sva radna mjesta u ovom procesu proizvodnje. Kod svakog radnog mjesta ima stupac u koji se unose slučajni brojevi redoslijeda proizvoda ili operacije, zatim stupac za radna mjesta na koja dolazi više proizvoda ili operacija, te stupac za tu konstataciju. Slijedi stupac za svako radno mjesto za slučajne brojeve koji označavaju rad ili nerad, te stupac za konstataciju rada ili nerada. Kod svakog radnog mjesta navedene

TABELA 2.

Redni broj radnog dana	Tokarenje														Glodanje							
	Broj radnih sati	Broj operacija u toku dana	Broj komada u toku dana	Broj radnika u toku dana	Proizvod 1				Proizvod 2				Broj radnih sati	Broj operacija u toku dana	Broj komada u toku dana	Broj radnika u toku dana	Proizvod 3				
					Stigło	Čeka	Obr. 100 kg 25 kg	Σ obrad.	Stigło	Čeka	Obr. 200 kg 25 kg	Σ obrad.					Stigło	Čeka	Obr. 500 kg 60 kg	Σ obrad.	Σ 21+23
					komada				komada								komada				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
1	65	2	74	+	2000	2000	–	–	2000	4000	3800	200	200	4000	54	–	90	–	–	–	–	–	–
2	46	1	76	+	–	1900	100	100	"	–	3800	–	"	"	62	3	78	+	–	–	–	–	–
3	49	1	89	+	–	1800	100	200	"	–	3600	–	"	"	66	3	80	+	200	200	–	–	200
4	78	2	97	+	–	1800	–	"	"	–	3600	200	400	"	60	3	82	+	–	200	–	–	"
5	43	1	45	+	–	1700	100	300	"	–	3600	–	"	"	57	–	78	–	–	200	–	–	"
6	69	–	87	–	–	1700	–	"	"	–	3600	–	"	"	60	3	85	+	–	200	–	–	"
7	83	–	87	–	–	1700	–	"	"	–	3600	–	"	"	89	–	94	–	–	200	–	–	"
8	55	–	81	–	–	1700	–	"	"	–	3600	–	"	"	21	–	64	–	200	400	–	–	400
9	65	2	81	+	–	1700	–	"	"	–	3400	200	600	"	87	–	60	–	–	400	–	–	"
10	87	2	35	+	–	1700	–	"	"	–	3200	200	800	"	53	3	60	+	–	400	–	–	"
95	48	1	48	+	–	400	100	3800	4000	–	1200	–	6800	8000	46	–	81	–	200	200	–	6400	6600
96	60	2	89	+	–	400	–	"	"	–	1000	200	7000	"	30	2	58	+	200	–	400	6800	6800
97	38	2	46	+	–	400	–	"	"	–	800	200	7200	"	65	3	12	+	–	–	–	"	"
98	67	–	88	–	–	400	–	"	"	–	600	–	"	"	73	3	10	+	200	200	–	"	7000
99.	66	2	31	+	–	400	–	"	"	–	600	200	7400	"	17	2	23	+	200	–	400	7200	7200
100.	81	2	42	+	–	400	–	"	"	–	400	200	7600	"	46	3	20	+	–	–	–	"	"

Glodanje					Bušenje																
Proizvod 3					Broj radnih sati	Broj operacija u toku dana	Broj komada u toku dana	Broj radnika u toku dana	Proizvod 2					Proizvod 3							
Stigło	Čeka	Obr. 100 kg 25 kg 40 kg	Σ obra.	Σ 22+24					Stigło	Čeka	Obr. 200 kg 25 kg	Σ obra.	Σ 25+27	Stigło	Čeka	Obr. 400 kg 40 kg	Σ obra.	Σ 40+42			
komada									komada					komada							
25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42	43			
1000	1000	–	–	1000	40	–	69	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–			
–	800	200	200	"	27	–	09	–	"	"	"	"	"	–	–	–	–	–			
–	600	200	400	"	32	–	01	–	"	"	"	"	"	200	200	–	–	200			
–	400	200	600	"	95	3	72	+	"	"	"	"	"	200	–	400	400	400			
–	400	–	"	"	15	3	08	+	"	"	"	"	"	200	–	200	600	600			
–	200	200	800	"	00	–	26	–	"	"	"	"	"	–	–	–	"	"			
–	200	–	"	"	01	3	03	+	"	"	"	"	"	200	–	200	800	800			
–	200	–	"	"	07	–	83	–	"	"	"	"	"	–	–	–	"	"			
–	200	–	"	"	15	–	72	–	"	"	"	"	"	–	–	–	"	"			
–	–	200	1000	"	98	–	28	–	"	"	"	"	"	–	–	–	"	"			
–	1085	–	11065	12000	85	–	52	–	–	–	–	6400	6400	–	–	–	11.065	11.065			
–	995	40	11.105	"	95	–	85	–	–	–	–	"	"	–	–	–	"	"			
–	705	200	11.305	"	86	–	80	–	400	400	–	"	6800	40	40	–	"	11.105			
–	595	200	11.505	"	80	–	90	–	–	400	–	"	"	200	240	–	"	11.305			
–	655	40	11.545	"	68	3	25	+	–	400	–	"	"	200	40	400	11.465	11.505			
–	655	200	11.745	"	59	3	12	+	400	500	300	6700	7200	40	–	80	11.545	11.545			

TABELA 2. (nastavak)

Kontrola																				
Sluč. broj za op.	oper. iz proiz.	Sluč. broj za rad	rad iz nereal	Proiz. 1 izo tokar.					Proiz. 1 izo ter. obr.					Proiz 1 izo bruš.				
				Strojo	Čeka	Obr. 600 k/s 63,5 k/s	Σ obra.	Σ 48 i 51	Strojo	Čeka	Obr. 900 k/s 38 k/s	Σ obra.	Σ 54 i 56	Strojo	Čeka	Obr. 600 k/s 63,5 k/s	Σ obra.	Σ 59 i 61
				komada					komada					komada				
44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62
61	-	63	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
47	4	32	+	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
02	1	58	+	100	-	100	100	100	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
04	1	18	+	100	-	100	200	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
94	6	66	+	-	-	-	"	"	100	100	-	-	100	-	-	-	-	-
80	-	83	-	100	100	-	"	300	100	200	-	-	200	-	-	-	-	-
37	1	05	+	-	100	100	300	"	-	-	200	200	"	-	-	-	-	-
81	7	60	+	-	-	-	"	"	-	-	-	"	"	-	-	-	-	-
14	3	00	+	-	-	-	"	"	-	-	-	"	"	38	-	38	38	38
56	3	53	+	-	-	-	"	"	100	-	100	300	300	42	-	42	80	80
30	2	81	+	-	200	-	3300	3500	-	-	100	3300	3300	-	-	150	2588	2588
91	3	10	+	100	500	-	"	5.600	-	-	-	"	"	13	-	13	2601	2601
10	1	48	+	-	-	300	3600	"	-	-	-	"	"	-	-	-	"	"
54	4	31	+	-	-	-	"	"	200	200	-	"	3500	-	-	-	"	"
40	6	07	+	-	-	-	"	"	400	300	-	"	3600	-	-	-	"	"
67	8	66	+	-	-	-	"	"	-	300	-	"	"	50	50	-	"	2651

Kontrola																				
Proiz. 2 izo tokar.					Proiz. 2 izo buš.					Proiz. 3 izo buš.					Proiz. 3 izo bruš.				
Strojo	Čeka	Obr. 1100 k/s 135 k/s	Σ obra	Σ 64 i 66	Strojo	Čeka	Obr. 800 k/s 63,5 k/s	Σ obra.	Σ 69 i 71	Strojo	Čeka	Obr. 200 k/s 38 k/s	Σ obra	Σ 74 i 76	Strojo	Čeka	Obr. 600 k/s 135 k/s	Σ obra.	Σ 78 i 81
komada					komada					komada					komada				
63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	-	200	200	200	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	"	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
-	-	-	"	"	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
200	200	-	"	400	-	-	-	-	-	400	200	200	200	400	-	-	-	-	-
-	200	-	"	"	-	-	-	-	-	200	200	200	400	600	-	-	-	-	-
-	-	200	400	"	-	-	-	-	-	-	80	120	520	"	200	200	-	-	200
-	-	-	"	"	-	-	-	-	-	200	200	80	600	800	200	-	400	400	400
-	-	-	"	"	-	-	-	-	-	-	15	185	785	"	120	120	-	"	520
200	-	200	600	600	-	-	-	-	-	-	-	15	800	"	80	-	200	600	600
200	-	200	6800	6800	-	-	-	6400	6400	200	4356	80	6.707	11.065	-	3662	-	2400	6.062
-	-	-	"	"	-	-	-	"	"	-	4.163	195	6.902	"	365	4027	-	"	6.427
200	-	200	7000	7000	-	-	-	"	"	-	4.123	40	6.942	"	-	4027	-	"	"
200	-	200	7200	7200	-	-	-	"	"	-	3.963	160	7.102	"	475	4502	-	"	6.902
-	-	-	"	"	-	-	-	"	"	-	3.763	200	7.302	"	-	4502	-	"	"
200	200	-	"	7400	-	-	-	"	"	400	3.963	200	7.502	11.485	-	4502	-	"	"

TABELA 2. (nastavak)

Term. obrada							Brušenje														Izrađeno proizvoda		
Slučajni broj za rad	rad ili neradni	Proizvod 1					Slučajni broj za operaciju	operacija ili proizvod	Slučajni broj za rad	rad ili neradni	Proizvod 1					Proizvod 3							
		Stiglo	Čeka	Obr. 900 kom/8 sati	Σ obra.	Σ 86:88					Stiglo	Čeka	Obr. 50 kom/8 sati	Σ obra.	Σ 95:97	Stiglo	Čeka	Obr. 500 kom/8 sati	Σ obra.	Σ 100:102			
		komada									komada					komada							
83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
12	-	-	-	-	-	-	12	-	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
87	-	-	-	-	-	-	03	-	01	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
12	-	-	-	-	-	-	94	-	30	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
47	+	100	-	100	100	100	12	-	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
18	+	100	-	100	200	200	70	-	12	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
80	-	-	-	-	"	"	71	3	21	+	-	-	-	-	-	200	-	200	200	200			
68	-	-	-	-	"	"	42	3	52	+	-	-	-	-	-	200	-	200	400	400			
18	-	-	-	-	"	"	59	3	17	+	200	162	36	38	200	120	-	120	520	520			
12	+	100	-	100	300	300	65	3	29	+	-	120	42	80	"	80	-	80	600	600			400
83	-	-	-	-	"	"	36	-	93	-	-	120	-	"	"	185	195	-	"	785	38		
32	-	-	-	-	3300	3300	86	3	18	+	-	649	13	2531	3200	150	200	365	6427	6627	2588	6400	2400
90	-	-	-	-	"	"	07	-	89	-	100	749	-	"	3.300	60	260	-	"	6707	2601	6400	2400
47	+	300	100	200	3500	3600	57	3	07	+	-	749	-	"	"	195	-	475	6902	6902	2601	6400	2400
43	+	-	-	100	3600	"	35	-	94	-	-	749	-	"	"	40	40	-	"	6942	2601	6400	2400
69	-	-	-	-	"	"	41	1	48	+	-	699	50	2601	"	160	200	-	"	7102	2601	6400	2400
15	-	-	-	-	"	"	61	3	61	+	-	689	10	2611	"	200	-	400	7302	7302	2601	6400	2400

NAPOMENA: Zbog ograničenog prostora tabela je data u skraćenom obliku. Originalni primjerak nalazi se kod autora.

su sve operacije koje se izvode na tom radnom mjestu. Za svaku operaciju prate se slijedeći podaci: Količina proizvoda koja je stigla na operaciju, zatim količina koja čeka na izvođenje operacije, količina koja je toga dana obrađena, količina koja predstavlja kumulativni zbroj obrađenih proizvoda, konačno količina koja služi kao kontrola pri radu, a predstavlja sumu količine koja čeka i kumulativnog zbroja obrađenih komada. U glavi tabele u stupac obrađene količine upisan je kapacitet tog radnog mjesta u radnom danu i radnom satu. Pri tome se pretpostavlja, da radni dan ima 8 radnih sati, to jest da se radi u jednoj smjeni. Na kraju tabele postoje stupci u koje se upisuje dovršena količina pojedinih proizvoda.

U pripremljenu tabelu upisuju se slučajni brojevi za sva radna mjesta za nekoliko dana, i to svaki iz posebnog stupca odabrane tabele slučajnih brojeva (upotrebljena je tabela slučajnih brojeva iz knjige: Pavlić "Statička teorija i praksa" izdanje "Panorama" Zagreb 1965. strana 392). Na radno mjesto "tokarenje" stigla su dva proizvoda, koja su netom lansirana. U stupac "stiglo" upisuje se 2000 komada proizvoda i 4000 komada proizvoda 2. Znači lansirane prve serije tih pro-

izvoda slučajni broj u prvom retku za to radno mjesto je 85. Iz tabele 1. u stupcu pod "2" broj 85 je u grupi brojeva drugog retka, što znači, da prvo ide u rad operacija na drugom proizvodu, odnosno druga operacija po redu u tabeli na tom radnom mjestu. Ta konstatacija se upiše u odgovarajući stupac. Slučajni broj za rad i nerad je 74, koji spada u grupu brojeva od 00 do 77^a, oni znače da radno mjesto radi. U odgovarajući stupac upiše se ta konstatacija sa znakom "+" (plus). Prva operacija se ne izvodi, pa se u stupac "čeka" upisuje cijela prispjela količina od 2000 komada. U stupac "obrađeno" nula odnosno crtica. U slijedeći stupac također dolazi nula, jer prije toga nije ništa obrađeno. Zadnji stupac te operacije se popunjava sa 2000 + 0 = 2000. Druga operacija se izvodi, prema tome upisuje se u stupac "obrađeno" 200 komada koliki je kapacitet tog radnog mjesta za tu operaciju na dan. U stupcu "čeka" upisuje se za 200 komada manje to jest 3800 komada. U slijedeći stupac upisuje se 200, a u zadnji stupac za tu operaciju 3800 + 200 = 4000. Izrađenih 200 komada upisuje se u stupac "stiglo", na radnom mjestu kontrole, pod operaciju "kontrola proizvoda 2 poslije tokarenja", ali u drugi redak, to jest za slijedeći radni dan. Nastavlja se na radnom mjestu "glodanje" na kojem se izvode dvije operacije. Jedna operacija je glodanje proizvoda 3 i ona je prva za taj proizvod. Lansira se prva serija od 1000 kom. Na drugu operaciju još ništa nije stiglo, pa ne treba uzimati u obzir slučajni broj za operaciju. Nastavak oponašanja isti je kao i kod prvog radnog mjesta. Na ostala radna mjesta nije ništa stiglo, jer su ona iza nekih drugih operacija, pa nema više šta raditi u prvom retku.

Ovakav proces oponašanja nastavlja se za željeni broj dana. Ovaj proces je simuliran za 100 dana i svi rezultati se odnose na taj period. Za kvalitetnije rezultate oponašanje bi trebalo produžiti.

Analiza rezultata

Iako je oponašanje izvršeno za svega 100 radnih dana, ipak je u tom periodu završena po jedna serija proizvoda 1 i 2 i dvije serije proizvoda 3. Zaključci koji se mogu donijeti o ciklusu proizvodnje neće biti dobri, jer su te serije prolazile kroz proces proizvodnje koji nije bio stabiliziran. Za ovakav proces može se vidjeti dužina ciklusa za seriju, ona za proizvod 1 iznosi 79 dana, za proizvod 2-72 dana i za proizvod 3-25 dana za prvu seriju i 36 dana za drugu seriju. Moguće je ustanoviti za svaki proizvod najkraći i najduži ciklus, te prosječni ciklus po proizvodu. No ti rezultati trenutno nisu interesantni. Važna je činjenica da je na ovakovom modelu moguće vršiti daljnja istraživanja o faktorima koji utječu na ciklus i o načinu njihovog utjecaja. Vjerojatno će to biti nastavak ovog saopćenja na slijedećem savjetovanju.

Interesantno je još vidjeti kakva je situacija sa čekanjem. Ovdje će se samo konstatirati neki interesantni rezultati. Vrijednosti po radnim mjestima ne bi mnogo govorile. Činjenica je, da na svakom radnom mjestu i kod svake operacije, bez obzira na faktor iskorištenja radnog mjesta, ima čekanja. Čekanja su različita na raznim operacijama,

ali je već u ovih 100 oponašanih dana uočeno da čekanje ispred nekih operacija stalno raste. Jasno je da na tim mjestima imamo pojavu beskonačnih repova, a oni se mogu u ovakvim uslovima procesa proizvodnje otkloniti ili smanjenjem normativa (bolja tehnologija, studij rada) ili povećanjem kapaciteta (uvođenje smjena).

Iskorištenje radnih mjesta, na kojima je početak procesa za neke proizvode, iznosi oko 74%. Prema zakonu rada i nerada trebalo bi biti 78%. Rezultat se dosta dobro poklapa sa zakonom za ovako mali broj oponašanih dana. Jedino još kod radnog mjesta na kojem se javlja beskonačni rep imamo tako veliko iskorištenje radnog mjesta, što je i razumljivo. Iskorištenja ostalih radnih mjesta su manja, a najmanje iskorištenje radnog mjesta je 18%. Tako malo iskorištenje ima radno mjesto termičke obrade, na kojem se ipak javlja čekanje.

Problem čekanja i iskorištenja radnog mjesta su usko povezani, što slijedi iz "teorije repova" (teorija čekanja). Što je iskorištenje radnog mjesta veće, veće je i čekanje. Za koliko je veće, odlučuju zakoni dolaženja na radno i zakon posluživanja. Sa porastom čekanja raste i ciklus. Ova zaključivanja su opće poznata, ali su teoretski riješena samo za vrlo jednostavne probleme i za slučajne zakone. Upravo ovaj model daje mogućnost daljnjeg teoretskog sagledavanja "teorije repova".

Zaključak

Daljnja upotreba ovakovog modela procesa proizvodnje, naročito za stvarne procese većim brojem radnih mjesta i proizvoda, skoro je nemoguća bez upotrebe elektronskih računskih strojeva. Prema tome, predstoji rad i na tom području.

Z. Fijan

Application of "Monte Carlo" Method in Simulating Production Process

In improving production process the problem is how to chose the right variation of production process, which will give satisfactory results. If we use intuition, it can be very misleading and in such cases often only practice shows the mistake.
The aim of this report shows the way of presenting the model of production process. On this model, by means of "Monte Carlo" method we simulated the production process. This simulating helps us to see some factors and rules which affect the process itself. This enables us to foresee the necessary actions in the process, as well as their effects. Of course, all this is done on paper first, and the most satisfactory variation should be put to practice. To be able to accomplish all this satisfactorily we must know the rules of the production process in question, which can be found by following and studying the process in practice.

B. Antunović *)

AUTOMATSKO KOČENJE ASINHRONIH ELEKTRIČNIH MOTORA **)

Razvitak alatnih strojeva donosi sve jače i brže strojeve. S druge strane poduzimaju se naperi da se mrtva vremena, ne samo kod automatskih, već i ručno upravljanih strojeva smanje na minimum. Jedan od načina da se postigne ova osobina bez sumnje je efikasno kočenje elektromotora u stroju. U koliko se radi o motorima koji ne služe za pozicioniranje, glavni cilj kočenja je da se motor zaustavi u optimalnom vremenu. Optimalno vrijeme je rezultat tehničkih i ekonomskih faktora. U tehničkom pogledu što je kočenje naglije, veće je usporenje, pa je i djelovanje inercionih sila veće. I remenski prijenosi i zupčanici su jako opterećeni, pa se treba osigurati da ovo opterećenje ne pređe dozvoljenu granicu. Opterećen je i elektromotor, pogotovo ako se moment kočenja razvija u njemu samome. S ekonomskog gledišta veće usporenje zahtijeva i jače kočenje, što rezultira u skupljem uređaju.

Izbor načina kočenja zavisi s jedne strane od osobina raznih sistema a s druge strane od njihove cijene. Postoji mnogo raznih sistema od kojih ćemo ukratko nabrojiti najvažnije:

1. Mehanička kočnica

Mehanička kočnica je obično izvedena s ručnim pogonom i pojasnim ili diskastim frikcionim površinama. Momenat kočenja zavisi od pritiska ruke i stanja frikcionih površina. Vrijeme kočenja produžuje se za vrijeme reakcije radnika za strojem.

2. Elektromehanička kočnica

Slična je mehaničkoj. Djelovanje je automatsko pa otpada zakašnjenje zbog subjektivnih faktora. Djelovanje spoljnih faktora, kao što su voda i ulje, na tarne površine može u mnogome promjeniti moment kočenja, pa će se promijeniti i put kočenja. Dodatna joj je mana da drži stroj zakočen i u mirnom stanju, što može otežati mijenjanje brzina, ili mijenjanje izradaka, na pr. kod tokarilica. Ukoliko se želi izbjeći ovaj efekat neophodno je upotrijebiti vremenski relej, koji poslije nekog vremena otpusti kočnicu. Primjer za ovaj način kočenja je kočnica glavnog motora glodalice PGH-3 "Prvomajska".

3. Kočenje elektromotora izmjeničnom strujom

Elektromotor se može zakočiti tako da mu se u namotaje uključi trofazna struja suprotnog smjera od prvobitne. Tačno u trenutku kada se motor zaustavi struja mora biti isključena. Ako isključenje izostane ili zakasni, motor će se početi obrtati u suprotnom smjeru, što

---

*) Bojan Antunović, suradnik Instituta za alatne strojeve - Zagreb

**) Saopćenje iz Instituta za alatne strojeve, Zagreb, Đ. Salaja bb.

je nepogodno, a u nekim slučajevima, kao kod tokarilica može biti katastrofalno. Da bi se ostvarilo tačno isključivanje struje na osovinu motora priključi se specijalna vrst tahometra, s jako nelinearnom karakteristikom i kontaktima kao izlaznim elementom. U početku kočenja je klizanje jednako 2, pa je struja kočenja velika, a moment kočenja relativno mali. Posljedica je zagrijavanje motora. Po završetku kočenja rotor je slobodan.

4. Kočenje asinhronog elektromotora istosmjernom strujom

Kavezni indukcioni motor se može zaustaviti iskopčavanjem izmjenične pogonske struje i dovođenjem istosmjerne struje na njegove statorske namotaje. U rotoru se inducira struja i razvija moment kočenja. Pošto klizanje nije nikad veće od 1, moment kočenja je veći za istu struju, pa je i efikasnost kočenja veća nego kod kočenje trofaznom strujom obrnutog smjera. Pošto istosmjerna struja razvija moment kočenja samo dok se rotor okreće, može se upotrijebiti vremenski relej za isključenje istosmjerne struje. Najprostiji način uključivanja i isključivanja istosmjerne struje svakako je pomoću tipkala, tj. ručno. Ovaj način i pored svoje jednostavnosti predstavlja opasnost za sam motor. Naime, kako je struja kočenja obično veća od radne struje elektromotora, a za vrijeme stajanja motora ventilator za hlađenje ne radi, svako prekoračenje neophodnog vremena kočenja ima za posljedicu povećanje temperature namotaja motora. Ustvari, desilo se, da je u jednoj našoj velikoj tvornici elektromotor, kočen na ovaj način, pregorio.

Kad se isključenje struje vrši pomoću vremenskog releja, vrijeme kočenja je konstantno, ali glavni nedostatak baš i jeste u tome. Kod alatnih strojeva reflektirani moment inercije na osovinu motora mijenja se u velikim granicama, jer je proporcionalan kvadratu prijenosnog odnosa. Kod nekih strojeva, na pr. tokarilica, veliku ulogu igra i masa izratka.

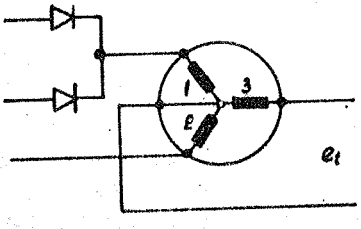
Vremenski relej treba podesiti na najveće moguće potrebno vrijeme, dodajući još i toleranciju samog vremenskog releja i uzimajući u obzir varijacije mrežnog napona kod kočenja istosmjernom strujom. Kao i kod kočenja izmjeničnom protustrujom, kada se jednom završi kočenje rotor je slobodan, te otpadaju štetne posljedice stalno zakočenog motora.

Opisat ćemo jedan sistem kočenja asinhronih trofaznih motora istosmjernom strujom, razrađen i ispitan u našem Institutu, koji nema navedene nedostatke, a pri tome je jeftiniji. Iz kratkog pregleda načina kočenja vidljivo je da bi najbolja kombinacija bila kočenje istosmjernom strujom i automatskim isključenjem u trenutku zaustavljanja. Na ovaj način bi se vrijeme kočenja mijenjalo u zavisnosti od naprijed nabrojenih uvjeta kočenja. Drugim riječima, struja kočenja ne bi nikada tekla duže nego što bi to bilo neophodno, te bi i zagrijavanje namotaja bilo minimalno. Naravno, za ovu svrhu bi se mogao koristiti elektromehanički tahometar s kontaktnim izlazom istog tipa kao što se koristi i kod kočenja izmjeničnom trofaznom protustrujom. Nedostatak elektromehaničkog tahometra je relativno vrlo

visoka cijena, potrebna izlazna osovina na obje strane elektromotora i uvoz, pošto se on prema podacima kojima raspolažemo, kod nas ne proizvodi.

Razmatrajući osobine elektromotora u procesu kočenja istosmjernom strujom zapaženo je, da sam elektromotor može raditi kao svoj vlastiti tahometar. Razumije se, da su pri tome isključene bilo kakve prepreke ili adaptacije na elektromotoru.

Najprije ćemo razmotriti kočenje motora spojenog u zvijezdu, pošto je u ovom slučaju momenat kočenja veći oko 30%, nego kada je motor spojen u trokut.

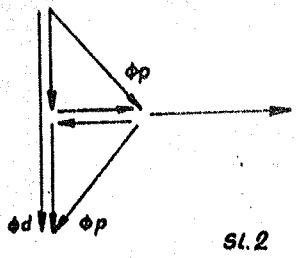


Sl.1

Istosmjerna struja dovodi se na dva namotaja statora, kao na sl. 1. Iz slike se vidi da je galvanska veza između izvora istosmjerne struje i izlaza e_t samo u jednoj tački, te da, prema tome, na njemu nema istosmjernog napona zbog te veze.

Struja kočenja nije čisto istosmjerna već pulsirajuća, kako se dobije iz ispravljača bez ikakvog filtriranja, što znači da ima i izmjeničku komponentu. Fazorski dijagram na slici 2 pokazuje da se komponente u smjeru trećeg namotaja poništavaju, tako da, kada se motor ne okreće, u tom namotaju ne inducira se nikakav napon.

Uzimajući u obzir samo djelujuće komponente mogu se, u ovom slučaju, namotaji statora motora prikazati kao dva namotaja pod 90 stupnjeva, sl. 3.



Sl.2

Pošto je naša analiza više kvalitativna nego kvantitativna zanemariti ćemo efekte demagnetizacije i zasićenja pa se može pisati

$$\hat{\phi}_d = k_1 i_d \qquad (1)$$

gdje je i_d - izmjenična komponenta kočne struje
$\hat{\phi}_d$ - magnetski fluks
k_1 - konstanta proporcionalnosti

Ako se motor okreće, u rotoru se generira struja, koja teče kroz one vodiče kaveznog namotaja rotora, koji sijeku fluks ϕd. Pošto je i_d izmjenična struja bit će i fluks ϕd izmjeničan, pa će i generirana struja, u kratko spojenom zavoju (označenom na sl. 3 s dvije tačke) biti izmjenična. Struja kroz ovaj namotaj ima za posljedicu fluks ϕ_s, u kvadraturi s fluksom ϕd, koji je također izmjeničan. Izmjenični fluks ϕ s inducirat će u namotajus izmjenični napon, tj. postoji transformatorsko djelovanje između pomenutog kratkospojenog zavoja rotora i namotaja s. Struja u kratkospojenom zavoju proporcionalna je fluksu ϕd i brzini vrtnje ω_n tj.

$$\hat{\phi}_s = k_2 \omega_n \hat{\phi d} \qquad (2)$$

$$\hat{u}_s = k_3 \omega \hat{\phi}_s \qquad (3)$$

gdje je

ωn - brzina vrtnje u rad/sek
u_s - napon na krajevima namotaja n_s
ω - $2\pi f$
f - frekvencija izmjenične komponente struje kočenja
$k_2 k_3$ - konstante proporcionalnosti

Prema tome ima se

$$\hat{u}_s = k_1 k_2 k_3 \omega_n \omega \hat{id} \qquad (4)$$

ili

$$U = k \omega_n \omega Id \qquad (5)$$

gdje je $k = k_1 \cdot k_2 \cdot k_3$

Strogo uzevši, k nije konstanta zbog pojava zasićenja. Za svrhe ovog razmatranja, međutim, može se smatrati da k jeste konstanta.

Ova vrst netom opisanih generatora, zovu se tahometarski generatori. Za njih je karakteristična veličina:

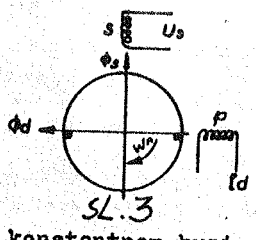
$$K = \frac{U_s}{\omega_n} = k \omega \hat{id} \left[V \cdot sek. \cdot rad^{-1} \right] \qquad (6)$$

I istosmjerna komponenta struje kočenja može generirati napon na krajevima namotaja s, ako brzina vrtnje rotora nije konstantna već se mijenja. Pošto se to dešava pri kočenju razmotrit ćemo i taj slučaj. Za razmatranje može poslužiti sl. 3, samo što u ovom slučaju struja id nije izmjenična, već istosmjerna komponenta struje kočenja. Može se, prema tome, pisati

$$\phi d = k_1 \, I \, d \qquad (7)$$

$$\phi_s = k_2 \omega_n \phi d \qquad (8)$$

$$\phi_s = k_1 k_2 \omega n I \, d \qquad (9)$$



Sl. 3

Stalna struja Id daje i stalni fluks ϕd, pa se, zbog toga, neće u sekundarnom namotaju s inducirati nikakav napon ako motor stoji, ili se okreće konstantnom brzinom. Međutim, ako je brzina promjenljiva, imamo

$$\frac{d\phi_s}{dt} = k_1 k_2 \, Id \, \frac{d\,\omega n}{dt} \qquad (10)$$

gdje je

$$E_s = k_3 \frac{d\phi_s}{dt} = k \, Id \, \frac{d\,\omega_n}{dt} \qquad (11)$$

E_s - istosmjerni napon na namotaju s
k_3 - konstanta proporcionalnosti

Ako se uvrsti izraz (6) u izraz (11) dobiva se

$$E_s = \frac{K}{\omega} \cdot \frac{d\omega_n}{dt} \qquad (12)$$

gdje je $\frac{K}{\omega}$ - konstanta proporcionalnosti dobivena iz konstante proporcionalnosti tahometra

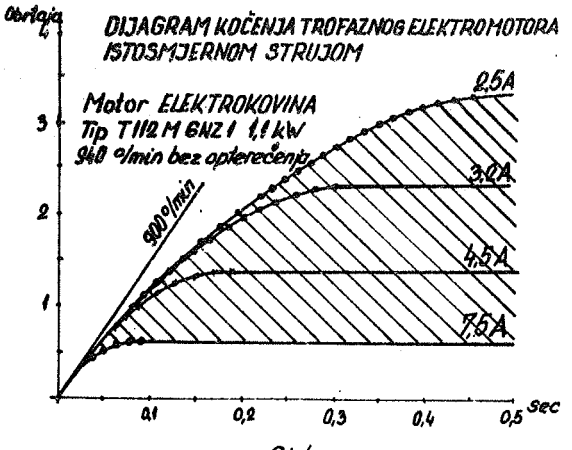
Karakteristična veličina za akcelometar je napon na izlazu za jediničnu ubrzanje, tj.

$$\frac{E_s}{\frac{d\omega_n}{dt}} = \frac{K}{\omega} \left[V\ sek^2\ rad^{-1}\right] \qquad (13)$$

Uspoređujući izraz (5) i (12) za jedan isti elektromotor može se primjetiti da u procesu kočenja, kod velikih brzina motor radi više kao tahometar, a kod manjih više kao akcelometer.

Da bi se sklopnik za struju kočenja držao u uključenom stanju što bliže nultoj brzini motora koristi se veliki inherentni histerezis sklopnika. Taj se histerezis još više povećava tako, što se ovaj sklopnik spoji na namotaj preko mosnog ispravljača, te na taj način struja kroz njegov namotaj je istosmjerna. Kondenzator paralelno s namotajem sklopnika služi za filtriranje izmjenične komponente.

Ukoliko je elektromotor spojen u trokutu, srednja tačka se dobiva pomoću dva jednaka otpornika. U ovom slučaju otpornici se spoje na motor tek po isključenju iz mreže. Za manje motore se potrebna struja kočenja određuje empirijski dok se za veće može koristiti postupak opisan u literaturi.



Sl.4

Praktično su izvedena i ispitana oba načina. Na slici 4 pokazana je karakteristika kočenja jednog elektromotora poduzeća Elektrokovina snage 1,1 kW. Apcisa je vrijeme, a ordinata je broj okretaja koje rotor elektromotora napravi od početka kočenja, pa dok se ne zaustavi. Snimljene su krivulje za razne struje kočenja. Može se uočiti da se pravilnim odmjeravanjem struje kočenja može postići željena karakteristika kočenja, te kočenje može varirati od vrlo naglog do vrlo postepenog. Ovdje treba napomenuti da je postepeno kočenje teško postići kod mehaničkog kočenja, ako je uslov, kao što najčešće jeste, da karakteristika kočenja bude konstan-

tna. Razumije se da ulje i voda nemaju nikakvog utjecaja na kočenje istosmjernom strujom.

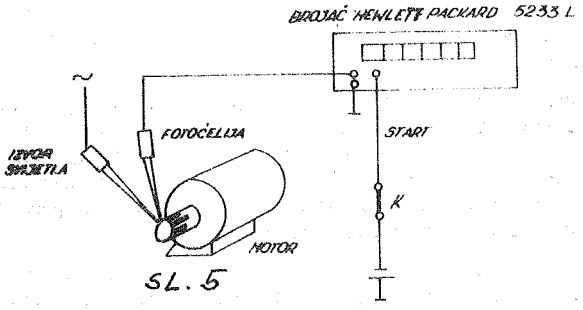
Nakon povoljnih rezultata ispitivanja pristupilo se je ugradnji na razne strojeve. Uređaj je ugrađen na jednu glodalicu i jedan tekstilni razboj, a predviđa se ugradnja na čitav niz alatnih strojeva od univerzalnih do specijalnih.

Sistem je prijavljen Uredu za patente.

Dodatak.

Mjerenje puta kočenja.

Broj okretaja koje napravi motor poslije početka kočenja, pa do svog zaustavljanja mjeri se uređajem na slici 5. Na osovini motora je na podjednakom razmaku zalijepljeno nekoliko crnih traka. Svjetlost se reflektira na fotoćeliju samo kod ovo reflektiranje ne sprečava crna traka. Na taj način će broj obrtaja koje napravi motor u procesu kočenja biti



SL. 5

$$n = \frac{M}{r}$$

gdje je

M - broj impulsa na ulazu u brojač
n - broj obrtaja motora
r - broj crnih traka na osovini motora

Brojač počne brojati kada se zatvori prekidač K. Kako je ovaj prekidač isklopni kontakt sklopnika koji daje pogonsku struju motora, brojanje će početi u trenutku kada se motor iskopča iz mreže, a uključi struja kočenja. Broj učinjenih obrtaja se može naći očitavanjem brojača i primjenom gornje formule.

L I T E R A T U R A

1 C.V.Cristie: Electrical Engineering Mc Graw-Hill 1952.

2 R.C.Moore: How Much Torque from DC Dynamic Braking, Control Engineering, April 1961.

3 W.S.Wood: Induction Generator as an Angular Accelerometer, Muirhead Technique, Oktober 1963.

B. Antunović

Automatic DC Braking of Three Phase Motors

The use of DC braking implies the use of a time relay, and often also auxiliary relays. In the case of the unit which is discussed in the article the electric motor also acts as a tachometer, so that the current is off the moment the motor stops. Apart from being more simple (no time relay) and cheaper, this unit is also more reliable, and heating up of the motor is minimum. The unit was tried in shop conditions, and the results have been satisfactory.

V. Šolaja *)

NEKI DOMAĆI RADOVI NA TEMU OBRADLJIVOSTI **)

1. Uvod

U nizu pojedinačnih pokušaja u nas da se na određenoj distanci prate napori koje industrijski razvijene zemlje ulažu poslednje dve decenije u naučno ovladavanje kompleksom oblikovanja - a misli se pritom na metode, sredstava i organizaciju rada - komponente koje se ugrađuju u mašine, postrojenja i ostale industrijske proizvode, svakako da ambiciozno postavljeni i nedavno započeti jugoslovenski istraživački program obradljivosti predstavlja značajnu pionirsku akciju[1]. Pritom se razmatranje zasada ograničava na konvencionalne vrste obrade rezanjem, te iako današnji glavni naučni interes mogu da predstavljaju novi, mahom revulucionarni i perspektivni postupci kao što su, samo kao primer, nove metode precizne obrade livenjem, deformacijom i sinterovanjem, ultrazvučna, elektroerozivna ili hemijska obrada, hidroabrazivne metode ili primena plazme i lasera, i uprkos tendencija za relativnim opadanjem udela obrade rezanjem u metaloobradi, izbor se pravda današnjim, za nas aktuelnim stanjem i verovatnim značajem i u doglednoj budućnosti, pri čemu valja sa krajnjom ozbiljnošću uvažiti daleko nedovoljnu efikasnost s kojom se još uvek mašinska obrada sprovodi u našoj praksi. Polazeći od poznate postavke Prof. Schlesinger-a od pre više od 30 godina da dohodak jedne metaloprerađivačke fabrike zavisi od efikasnosti sečiva njenih alata, jasno je da u periodu značajnih intervencija za smanjenje troškova proizvodnje uz povišenje proizvodnosti rada i kvaliteta proizvoda rešenja leže u krajnjoj intenzifikaciji svih tehnoloških operacija, uključujući tu i sve procese rezanja. U nizu mogućnih intervencija za povećanje proizvodnosti i sniženje troškova proizvodnje određeno mesto zauzimaju i mere za skraćenje glavnog vremena t_g, odnosno za postizanje optimalnog komprimisa pri razrešavanju činioca često nasuprotnog dejstva koji u datim okolnostima određuju period rezanja T.

Usvajajući habanje radnih površina alata kao osnovni kriterij za utvrđivanje postojanosti i uz karakteristične reperkusije na osnovne zahteve koji mogu varirati u različitim vrstama i uslovima obrade,

---

*) Vladimir B. Šolaja, dipl.ing., vanredni profesor Mašinskog fakulteta, direktor Instituta za alatne mašine i alate, Beograd

**) Saopštenje iz Instituta za alatne mašine i alate

1) Reč je o dugoročnom naučnoistraživačkom projektu 025 - SISTEMATSKO ISPITIVANJE OBRADLJIVOSTI PRI OBRADI REZANJEM DOMAĆIH KONSTRUKCIJSKIH MATERIJALA DOMAĆIM ALATIMA, koji se izvodi u Institutu za alatne mašine i alate, Beograd, uz saradnju Inštituta za strojništvo, Ljubljana, u čijem finansiranju učestvuju Savezni i Republički fond za naučni rad i niz privrednih i vanprivrednih organizacija i ustanova.

a uvažavajući pritom niz uticajnih faktora na procese koji se odvijaju u zoni rezanja i u sistemu mašina-alat-radni predmet (prema ranijim analizama njihov se broj penje na gotovo 60), mogućno je da se proučavanja orjentišu na uticaje koji su vezani za obrade, materijal radnog predmeta, rezni alat, alatnu mašinu ili neke dodatne uticaje (na primer tečnost za rezanje i hlađenje). Osnovni značaj svake od ovih grupa faktora dovodi i do određenih kriterija obradljivosti, te ima i svoje teorijsko i praktično opravdanje, dok se ističe da jedan kompleksni parametar koji bi jednoznačno obuhvatio sve uticaje nije do sada bilo mogućno razviti i predložiti.

Uz oslon na neke ranije višegodišnje radove koji su se izvodili u specijalizovanim zavodima mašinskih fakulteta u zemlji, pripreme za rad na uvodnoj fusnoti istaknutom zadatku započele su paralelno u Institutu za alatne mašine i alate, Beograd, i u Inštitutu za strojništvo, Ljubljana, još u toku 1963. godine, da bi do kraja 1964. godine, uz široke kontakte sa nizom značajnih metalopreradivačkih kapaciteta u zemlji, uključujući tu i proizvođače konstrukcijskih materijala i reznih alata, bio utvrđen program prve dvo-, odnosno trogodišnje etape radova [1]. Posredstvom Saveznog fonda za naučni rad došlo je decembra 1964. godine do objedinjavanja sredstava koja su kroz bilateralne sporazume sa nizom industrijskih i vanindustrijskih partnera obezbedila oba instituta i do čvrste saradnje na izvođenju radova. Rezultate prve jednogodišnje faze radova izneli su instituti u obimnom zajedničkom elaboratu koji je stavljen na raspoloženje svim partnerima [1]. Pored toga su instituti saopštili neke dosadašnje rezultate, koji mahom predstavljaju metodološki pristup ključnoj problematici, na I i na II Savetovanju proizvodnog mašinstva, a takođe je objavljen i niz članaka u stručnonaučnim publikacijama (Mašinstvo, Saopštenja IAMA).

Uvažavajući činjenicu da sistematska ispitivanja kompleksa obradljivosti zadiru i u (i) neka fundamentalna pitanja fizike i mehanike rezanja u kojima se je za uspešan rad potrebno uključiti u okviru mogućnosti u odgovarajuće svetsko kretanje i na taj način stećі neophodnu svežinu pogleda i sopstveno iskustvo, (ii) probleme povezane sa mehaničkim, fizičko-hemijskim, geometrijskim i ostalim specifičnim karakteristikama učesnika u procesu rezanja, (iii) pitanje oštrenja alata i (iv) problem geometrijske i dimenzijske tačnosti i kvalitet obradjene površine u okviru interakcije alata, alatne mašine, radnog predmeta i eventualno pomoćnog pribora, programira se i postupno uvidi čitav niz paralelnih linija istraživanja uz posebne aranžmane sa zainteresovanim partnerima.

---

[1] S obzirom na izvesne objektivne poteškoće u obezbedi standardnog, istovremeno povišenog kvaliteta nekih domaćih vrsta alata, ostvarenju potrebne saradnje sa minimalno neophodnim brojem zainteresovanih partnera i u razvoju eksperimentalnih mogućnosti i kapaciteta, originalno postavljeni 2-godišnji program I etape biće mogućno izvesti do kraja 1967. godine, s time da će te godine započeti i radovi na proširenom programu II etape.

Sa željom da se, bez dublje analize pojedinih pitanja obrade rezanjem-iznošenja kompletnih istraživačkih programa i kvantitativnih rezultata iz dosada izvedenih radova, stručnonaučna javnost okupljena na II Savetovanju okvirno upozna sa glavnim problemima koji se svrstavaju oko kompleksa obradljivosti, značajem i generalnim linijama postavljenog zadatka, i uz osvrt na dosadašnje rezultate postignute u Institutu za alatne mašine i alate u Beogradu, iznosi se ova informacija, uz očekivanje da ona može da doprinese širenju interesa za ovaj važan pravac istraživanja za praksu naše metaloobrade.

2. Neki aspekti obradljivosti

Čini se da je mogućno samo dogovorno uvodjenje termina "obradljivost" kao univerzalnog iskaza za sve aspekte veoma složenih odnosa koji se u obradi rezanjem sreću, pošto je na primer prema nekim danas usvojenim gledištima reč o četirikomponente ovog pojma definisane sa (i) postojanošću alata, (ii) otporima rezanja, (iii) kvalitetom obrade i (iv) vrstom strugotine. Mogućno je takođe govoriti i o (i) obradljivosti (machinability) kao karakteristici radnog predmeta u pogledu mogućnosti pretvaranja materijala u strugotinu, (ii) reznoj sposobnosti (cutability) kao karakteristici alata u pogledu njegove vremenske izdržljivosti pri rezanju i (iii) mogućnosti završne obrade (finishability) kao karakteristici koja proističe iz združenog dejstva niza uticaja na ostvarenu mikro- i makrogeometriju. Mnoštvo prisutnih faktora rezanja omogućuje i druge klasifikacije, no do danas nije, uprkos odgovarajućih pokušaja, predložen zbirni indeks obradljivosti koji bi na jednoznačan i zadovoljavajući način predstavljao kompleksnu karakteristiku.

Čini se, međutim, da to moguće i nije neophodno, s obzirom da na primer pri gruboj obradi mogu od najvećeg značaja biti podaci o postojanosti alata ili o otporima rezanja, pri finoj kvaliteti obradjene površine, dok pri obradi materijala čija strugotina predstavlja opasnost za radnika ili kod alata komplikovanog oblika i rasporeda radnih površina režim strugotine može da bude ograničavajući faktor obradljivosti. Stoga, iako bi etimološki termin "obradljivost" trebalo moguće vezati za karakteristiku materijala u pogledu mogućnosti obrade, čini se da se ona privremeno može generalno primenjivati, imajući pritom uvek u vidu sklop izabranih dominantnih komponenti.

Valja, nadalje, istaći da uprkos tome što bi se, posmatrajući za sebe glavno vreme t_g kao bitno za postavljanje tehničkih normi, mogla intervencija u smeru njegovog maksimalnog skraćenja činiti najvažnijom, to nije nužno slučaj, pošto se sa povećanjem zapremine strugotine u jedinici vremena naglo smanjuje vek trajanja alata, a sem toga porast otpora rezanja i/ili potrebne snage može da predstavlja limit mogućnom skraćenju vremena. Sem toga na postojanost alata nemaju isti uticaj sve elementi koji predstavljaju zapreminu strugotine u jedinici vremena (dubina rezanja i brzina glavnog i pomoćnog kretanja), dok se, polazeći od habanja radnih površina alata kao osnovnog kriterija postojanosti može optimalna dopuštena vrednost habanja utvrditi sa osnovom na nekoliko različitih uslova: uslova maksimalne zapremine strugotine odnosno obradjene površine do zatupljenja ili u jedini-

ci vremena, minimalnog vremena rezanja ili maksimalnog veka trajanja alata, minimalnih troškova alata ili proizvodnje i slično.

U planiranoj modernoj proizvodnji nije prema tome dovoljno da se za određeni sistem alat/mašina/radni predmet poznaju i koriste samo neke preporučene vrednosti režima rezanja, već su za ostvarenje optimalnih rezultata potrebne zakonitosti koje regulišu odnose između glavnih faktora rezanja. Pored poznatog Taylor-ovog obrasca, $T=C/v^z$ (T = vreme do zatupljenja alata, C i z = konstante zavisne od materijala radnog predmeta i alata i ostalih faktora) ove se zakonitosti često iskazuju i takozvanim proširenim izrazima u obliku $v = C_v / T^m \delta^x s^y$ (v = brzina rezanja, δ = dubina rezanja, s = korak noža, C_v, x i y = konstante zavisne od materijala radnog predmeta i alata i ostalih faktora). Valja ovde istaći da uprkos razvoja teorije plastičnosti aplicirane na mehaniku rezanja i aktuelna naučna saznanja o trenju i habanju zasada nije mogućan isključivo analitički pristup problemu obradljivosti u kome bi eksperiment služio samo za verifikaciju uspostavljenih teorija, već je neophodno da se za praktično primenljive interpretacije prikupi i adekvatno statistički obradi veoma velik broj eksperimentalnih podataka i da se, zatim, u svetlu novih činjenica zakonitosti ustanovljene na primer u vidu proširenih obrazaca stalno preispituju i koriguju.

Kompleks obradljivosti postaje još zamršeniji i nepristupačniji za jednoznačna rešenja usled združenog dejstva niza sistematskih i slučajnih faktora. Od poslednjih su tu pre svega sastav, građa i ostale karakteristike alatnog materijala i materijala radnog predmeta. Pokazuje se na primer da varijacija mikrostrukture i ostalih karakteristika konstrukcijskog materijala unutar granica specifikacije po nacionalnim standardima imaju vrlo velik uticaj na obradljivost. Slično važi i za alatni materijal, a zapaža se da isti alat posle preoštravanja može na sistematski ili slučajan način da bitno menja svoju reznu sposobnost. Pored toga je od važnosti režim glađenja pri rezanju, način pripreme radnih površina alata, tačnost pri oštrenju (naročito je važan oblik i simetričnost kod višesečnih alata), stanje mašine, a vitkost radnog predmeta, sa nizom dopunskih faktora. Ovo ukazuje na neophodnost solidnog poznavanja prirode različitih uticajnih faktora, a istovremeno ukazuje i na izvore poteškoća pri pokušaju da se na primer podaci o optimalnim režimima iz stranih ispitivanja direktno primene u domaćim uslovima.

3. Postavljeni zadatak sa pregledom dosadašnjih rezultata

Uvažavajući pokušaje nekih tehnološki najnaprednijih preduzeća mašinogradnje da se na domaće uslove, uključujući domaće alate i konstrukcijske materijale, direktno primene strani podaci koji, međutim, nisu urodili pozitivnim rezultatima, nego su u najboljem slučaju doveli do nedovoljno sigurnih popravnih koeficijenata, i uvidjajući neophodnost koncentracije sredstava i napora ukoliko se ne žele na dohvat već na sistematičan način obezbediti pouzdani podaci za praksu metaloprerade, postavljen je u uvodnoj fusnoti najavljeni kapitalni naučnoistraživački projekt. Pritom je za prvu etapu istraživanja predviđena osnovna obrada na strugu, bušilici, glodalici i brusilici,

sa zasada ograničenim brojem vrsta materijala i alata i utvrđenim varijacijama primenjenih režima. Pritom se u cilju svođenja izvanredno obimnih i skupih eksperimenata na minimum primenjuju sva pristupačna strana iskustava i informacije i koriste se najefikasnije statističke metode planiranja i sprovođenja eksperimenata i obrade rezultata.

U želji da se na najefikasniji način rad na ovoj važnoj problematici nastavi, vlada uverenje da su konstantno ostvarivani rezultati od veoma velikog značaja i za proizvođače alata i za proizvođače konstrukcijskih materijala i za celokupnu metaloprerađivačku industriju - uglavnom grane mašinogradnje, brodogradnje i elektroindustrije. Čini se da se kroz postavljeni program i adekvatnu koncentraciju ulaganja, koja, međutim, još nije na optimalan način ostvarena s obzirom na još neosigurano učešće u projektu niza značajnih metaloprerađivačkih kapaciteta, prišlo pravim putem. Veruje se, naime, da se on sastoji u postavljanju čvrstog programa sa utvrđenim repertoarom faktora koji se variraju (oblik i geometrija alata, režimi rezanja i ostali uslovi obrade), uz razvoj bočnih linija istraživanja koje omogućuju ozbiljni zahvat u važne propratne fenomene (trenje na kliznim površinama alata, toplotni efekti, dinamički uslovi uključujući režim otpora i stabilnost sistema itd), sa pojedinačnim zahvatima u neke neophodne intervencije (učešće u radu na poboljšanju performansi domaćih alata, uvođenje parametra obradljivosti u domaće konstrukcijske materijale, unapređenje sredstava za hlađenje i podmazivanje itd.), s time da se na taj način formira skup informacija koje će u daljim etapama, koristeći ih kao skelet, biti popunjavane daljim podacima. Pretpostavlja se, naime, da će ovako široko postavljeni zadatak trebati nastaviti kroz bar dalje dve-tri dvogodišnje etape uz ustanovljavanje permanentne službe koja će, s obzirom na buran razvoj u konstrukcijskim i alatnim materijalima, sredstvima za proizvodnju i tehnološkim metodama pratiti taj razvoj i obezbeđivati stalno verifikovanje i popravku prevaziđenih informacija.

Ograničavajući se samo na kratak pregled radova izvedenih u Institutu za alatne mašine i alate, Beograd, moguće je da se pored rezultata iznetih u ranije pomenutom Elaboratu [1] okvirno ukaže na rezultate koji su dovedeni do nivoa koji je omogućio njihovo objavljivanje.

S obzirom na neophodnost da se u pristupnom periodu razviju potrebne metode i instrumentacija, znatno je napora bilo uloženo u određivanje kriterija postojanosti, na primer u pogledu problema optimalnog habanja i broja oštrenja glodala [2] , uslova minimuma troškova proizvodnje [3] , uticaja dodatka za oštrenje na ukupnu postojanost [4] i odgovarajućih veza koje postoje kod valjkastih i kolutastih glodala [5].

Radovi u oblasti specifične instrumentacije doveli su na primer do konstrukcije originalnog mernog uređaja za merenje geometrije i habanja burgija [6], zatim do metoda za ova merenja kod valjkastih, kolutastih i vretenastih glodala [7], glodačkih glava [8], i strugarskih noževa [9], [10]. Razvijena je takođe i familija potrebnih dinamometara za merenje otpora rezanja u osnovnim operacijama [11].

Detaljnije izučavanje geometrijskih parametara alata, posebno složenijih, važan je zadatak s obzirom na uslovljenost reznih karakteristika i njihovo oštrenje, te su, između ostalog, bila razmatrana pitanja uticaja geometrijskih elemenata na postojanost burgija [12], [13] ili uticaja na odstupanje glavnog sečiva burgije od prave [14].

U oblasti oštrenja alata ispitivan je uticaj broja oštrenja na habanje burgija [15] i strugarskih noževa sa pločicama od tvrdog metala [10], dok su početni rezultati iz posebnog programa sistematskog ispitivanja oštrenja alata bili izneti u [16].

U ispitivanju se posvećuje znatna pažnja kvalitetu obrađene površine, i dok u specifičnim primenjenim uslovima pri ispitivanju glođanja [8] i bušenja [13] nije bio ustanovljen znatniji uticaj habanja alata na hrapavost, zapažena i detaljno proučena pojava takozvanog koncentrisanog habanja pri završnoj obradi čelika na strugu karbidnim i keramičkim alatima u znatnoj meri utiče na višestruko pogoršanje kvaliteta obrađene površine pri produženom rezanju [9].

Ozbiljna pristupna istraživanja izvršena su i u oblasti temperatura pri obradi rezanjem, i to kako pokušaj unapređenja analitičkog tretmana problema, tako i izvođenje odgovarajućih eksperimentalnih verifikacija [17 - 19].

Uvažavajući značaj koji kratki postupci mogu imati u oblasti ispitivanja obradljivosti, u okviru predviđenih linija istraživanja izvršeno je i verifikovanje inače poznatog kratkog postupka poprečnom obradom [10].

Iz niza izvedenih posebnih ispitivanja uticaja tečnosti za hlađenje i podmazivanje izneti su neki rezultati ostvareni u Institutu i na ovom Savetovanju [20].

Kao primeri rezultata koji dovode već u ovoj ranoj fazi do informacija koje se uz neophodne naknadne verifikacije kroz kontrolne eksperimente i praktične provere mogu koristiti navode se neka sistematski izvedena ispitivanja glođanja [21 - 23]. Pritom se na kraju ističe da su sistematska ispitivanja glođanjem dve vrste konstrukcijskih čelika valjkastim glodalima iz volframovog brzoreznog čelika Č-6880 (BRW), pri čemu je bilo primenjeno 29 alata sa skoro 200 kompletnh serija eksperimenata da zatupljenja, i uz odgovarajuću statističku obradu rezultata dovelo do odgovarajućih proširenih obrazaca u obliku [23]

$$v = 295 \,/\, T^{0,5}\, \delta^{0,32}\, s_z^{0,17} \quad \text{(za čelik Č-1730) i}$$

$$v = 418 \,/\, T^{0,47}\, \delta^{0,11}\, s_z^{0,16} \quad \text{(za čelik Č-5421),}$$

gde je s_z = korak po zupcu glodala.

4. Zaključak

Na osnovu iznete okvirne informacije može se zaključiti da je rad na sistematskom ispitivanju obradljivosti, kao aktuelnoj temi za celu metaloprerađivačku industriju i proizvođače alata i konstrukcijskih

materijala, uspešno započeo, i dao već početne ohrabrujuće rezultate od kojih neki već i u ovoj sasma ranoj fazi imaju i svoju praktičnu upotrebnu vrednost. S obzirom na činjenicu da su istraživački radovi još vrlo daleko od zaključenja i da predstoji potreba višegodišnjeg intenzivnog rada u više etapa na liniji proširenog programa radova, uz uvođenje novih operacija (na primer, primena keramičkih alata, operacije razvrtanja i provlačenja, izrada unutražnje i spoljne zavojnice, operacije glačanja i superfiniša itd) i proširenje primenjenih režima, oblika i geometrije alata i uslova rezanja, valja očekivati da će još čitav niz preduzeća da se odluči za učešće u finansiranju kapitalnog naučnoistraživačkog projekta obradljivosti od opštejugoslovenskog značaja i da time omogući da se uveća krug direktnih korisnika rezultata i da se prošire mogućnosti za izvođenje potrebnih istražnih radova.

L I T E R A T U R A

1. Kolektiv autora, Sistematsko ispitivanje obradljivosti pri obradi rezanjem domaćih konstrukcijskih materijala domaćim alatima, I jednogodišnji izveštaj, Elaborat br. 31/65., Institut za alatne mašine i alate, Beograd, Inštitut za strojništvo, Ljubljana (1965)
2. J. Stanić, Kriterijum optimalnog habanja i broj oštrenja glodača, Mašinstvo, 14 (1965.) M 149
3. J. Stanić, Metod odredjivanja postojanosti reznog alata na osnovu minimuma troškova proizvodnje, Mašinstvo, 14 (1965.) M 265
4. J. Stanić, Uticaj dodataka za oštrenje na ukupnu postojanost i broj oštrenja reznog alata, Saopštenje IAMA, 1 (1966.) 53
5. B. Ivković, Veza između kriterija habanja, brzine rezanja i geometrije alata pri glodanju valjkastim i kolutastim glodalima, Saopštenja IAMA, 2 (1966.) - u štampi
6. J. Stanić, Novyj metod izmerenija geometričeskih parametrov sverla, Publikacije Mašinskog fakulteta, Beograd, No 14 (1962.)
7. J. Stanić, M. Jovičić, Studija merenja geometrijskih elemenata i parametara habanja glodača i kvaliteta obrađene površine, Elaborat br. 14/64., Institut za alatne mašine i alate (1964.)
8. M. Jovičić, Studija problema pri glodanju glavama za glodanje sa tvrdim metalom, Elaborat br. 22/65., Institut za alatne mašine i alate (1965.)
9. V. Šolaja, Neki problemi kvaliteta obrade i habanja reznih alata, Zbornik saopštenja I Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd - Zagreb (1965.) 20.1
10. V. Milačić, V. Šolaja, Ekspresna metoda za određivanje postojanosti strugarskih noževa sa pločicama od tvrdog metala, Saopštenja IAMA, 1 (1966.) 65.
11. M. Kalajdžić, Jedna konstrukcija dinamometara za merenje otpora rezanja, Saopštenja IAMA, 1 (1966.)81

12. J. Stanić, Uticaj geometrijskih elemenata i kinematike rezanja na postojanost burgija pri bušenju čelika sa osvrtom na burgije IAT, Savetovanje "Rezna sposobnost spiralnih burgija", IAT, Trebinje (1965.) str.23

13. M. Jovičić, Uticaj geometrijskih elemenata burgije i kinematike rezanja na kvalitet obrade, sa osvrtom na burgije IAT, Savetovanje "Rezna sposobnost spiralnih burgija", IAT, Trebinje (1965.) str.35.

14. M. Kalajdžić, Analitičko određivanje odstupanja glavnog sečiva zavojne burgije od prve linije u zavisnosti od oblika glodala i kinematskih grešaka, Zbornik saopštenja I Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd-Zagreb (1965.) 14.1

15. S. Alijagić, N. Andrejić, Uporedno ispitivanje uticaja broja oštrenja na habanje domaćih i stranih zavojnih burgija, Elaborat br.12/64., Institut za alatne mašine i alate (1965.)

16. M. Jovičić, Neka pitanja oštrenja alata, Zbornik saopštenja I Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd-Zagreb (1965.) 16.1

17. D. Vukelja, Temperatura rezanja pri obradi na strugu, Zbornik saopštenja I Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd-Zagreb (1965.) 16.1

18. D. Vukelja, Temperaturno polje u strugotini pri rezanju metala, Saopštenja IAMA, 1 (1966.) 95

19. D. Vukelja, Neke napomene u vezi sa temperaturom rezanja, Mašinstvo, 15 (1966.) M 57

20. J. Stanić, Uticaj sredstava za hlađenje i podmazivanje na proces rezanja metala pri bušenju, saopštenje na II Savetovanju proizvodnog mašinstva, Zagreb (1966.)

21. B. Ivković, S. Zahar, Studija eksploatacije kolutastih glodača JUS KD-2 040 u jugoslovenskim proizvodnim uslovima, Elaborat br. 30/65., Institut za alatne mašine i alate (1965.)

22. J. Stanić, B. Ivković, Neki rezultati sistematskog ispitivanja obrade glodanjem, Zbornik saopštenja I Savetovanja proizvodnog mašinstva, Beograd-Zagreb (1965.) 18.1

23. B. Ivković, S. Zahar, Studija eksploatacije valjkastih glodala JUS KD2 020 u jugoslovenskim proizvodnim uslovima, Institut za alatne mašine i alate, Elaborat br.37/66., april (1966.)

V. Šolaja

Some Yugoslav Investigations in the Field of Machinability

An urgent need for a systematic scientific approach to the problem of the optimization of numerous variables encountered in various cutting operations caused a far-reaching and complex research programme to be devised in the period 1963/64 by the Institute for Machine Tools and Tooling, Beograd, and the Institute for Mechanical Engineering, Ljubljana. With a number of sponsors comming from engineering industries circles as well as some state authorities, the research activities were started in December 1964. on the lines of operations in turning steel and cast iron with highspeed-steel and carbide tools, milling steel with four standard types of milling tools, drilling steel and cast iron with high-speed-steel drills, gear-grinding and machining aluminium alloys. The results obtained so far have shown good progress and are mostly along the lines of preparatory work dealing with adoption and development of working methodology and research techniques. Topics such as tool-life criteria, heat in cutting, development of dynamometers, devising a new approach to geometry of complex shaped tools, influence of asymmetry and other errors of tool form upon cutting performance, etc.,as well as part of systematic tests in drilling and milling. The article has the intention to give a general picture of the research activity in the field of machinability to a number of prospective industrial partners in this project.

P.Leskovar, J.Grebenc, B.Justin, Z.Seljak *)

PRESKUŠANJE OBDELOVALNOSTI DOMAČIH MATERIALOV**)

Pri prevzemnih preskusih kakor tudi pri splošnem ocenjevanju določenega kovinskega materiala dobivamo navadno podatke le o njegovih mehanskih in kemičnih lastnostih. Nikjer pa ni mogoče priti do podatkov o obdelovalnosti takih materialov, čeprav je znano, da na ceno določenega industrijskega izdelka v znatni meri vplivajo tudi obdelovalni postopki. Zaradi tega je razumljivo, da so zahteve do obdelovalne tehnologije vedno večje. Velik del tehnologije obdelave pa sestavlja oblikovanje z odrezavanjem.

Za znanstveno raziskovalna dela s področja tehnologije odrezavanja je potrebna vrsta priprav in študija, ki pogosto zavzemajo daljšo dobo. Pri preskusih spremljamo lahko različne vplive, ki učinkujejo na kvaliteto obdelovanca, obliko odrezkov, obrabo in obstojnost orodja ipd. razen tega gre pri takih raziskavah marsikdaj tudi za kemične vplive obdelovanca in orodja, za medsebojne difuzijske vplive, lepljenje materiala obdelovanca na rezalni rob orodja, ki ima lahko zelo negativne posledice bodisi za obrabo orodja ali kvaliteto površine ipd. Pogostoma iščemo pri takih raziskavah tudi krajše postopke za ugotavljanje določenih kriterijev, s kakršnimi je mogoče določati najvažnejše parametre, ki vplivajo na obdelovalnost določenega materiala.

Poznani so zgodovinski razvoji odrezavanja in napori mnogih znanstvenikov in raziskovalcev, ki so delali za izboljšanje te veje strojništva. Znano je tudi najosnovnejše načelo proizvodnje: čim bolje, čim hitreje in čim ceneje. Pot k temu cilju ni preprosta niti lahka. Spričo ogromne množine najrazličnejših kovinskih materialov, ki jih dandanes uporabljamo v tehniki, je ostvarljiva samo s pomočjo sistematičnega znanstveno-raziskovalnega dela. Na zdajšnji stopnji razvoja si ne moremo in ne smemo dovoliti rezultatov in postopkov, ki bi slonели le na izkušenosti ali izurjenosti posmeznih delavcev. Šele s poskusi in raziskavami, ki temeljijo na široki znanstveni strokovni ravni, je mogoče dosegati rezultate, ki so lahko trajne vrednosti.

V inštitutu za strojništvo pri fakulteti za strojništvo v Ljubljani smo formirali skupino mlajših raziskovalcev, ki preskuša obdelovalnost domačih kovinskih materialov. Rezultati dosedanjih raziskav, o katerih razpravljamo na tem posvetovanju, so delo te skupine in obsegajo področje oblikovalnosti z odrezavanjem cementacijskih jekel in sferoidalne litine. To poročilo je razdeljeno na tri poglavja. V prvem si bomo ogledali nekaj najpomembnejših značilnosti pri izdelavi posebne registrirane naprave za preiskave pri obrabi noža in otipavanje površine, v drugem in tretjem pa rezultate dosedanjega raziskovalnega dela pri preskusih o struženju sferoidalne (nodularne) litini in cementacijskih jekel.

---

*)Polde Leskovar, dipl.ing., Janez Grebenc, dipl.ing., Borut Justin, dipl.ing in Zoran Seljak, dipl.ing., sodelavci Inštituta za strojništvo pri Fakulteti za strojništvo v Ljubljani, Aškerčeva 16

**)Poročilo Inštituta za strojništvo v Ljubljani

1. MERJENJE OBRABE NA REZALNIH ORODJIH IN HRAPAVOSTI NA POVRŠINI Z OTIPAVANJEM

1.1 Splošno

Že v uvodu smo zapisali, da sta za uspešno znanstveno raziskovalno delo potrebna vrsta priprav in študij. Mednje spadajo seveda tudi najrazličnejši precizni instrumenti, ki omogočajo vrednotenje rezultatov pri raziskavah. Ena takih merilnih naprav je naprava za reproduciranje profila obrabljenega orodja in s tem odstopanja od njegove prvotne oblike, ki je bila izdelana v našem inštitutu. S to napravo je mogoče meriti vrednosti obrabe na cepilni ploskvi stružnih nožev, z nekaterimi dodatki in spremembami pa tudi hrapavosti obdelanih površin.

Obraba orodja in kvaliteta dobljene površine sta v tehnologiji odrezavanja dva zelo pomembna činitelja. Kontrola obeh je za raziskovalna dela neogibno potrebna. Oglejmo si na kratko najvažnejše oblike obrabe, ki se pojavljajo pri odrezavanju na orodju.

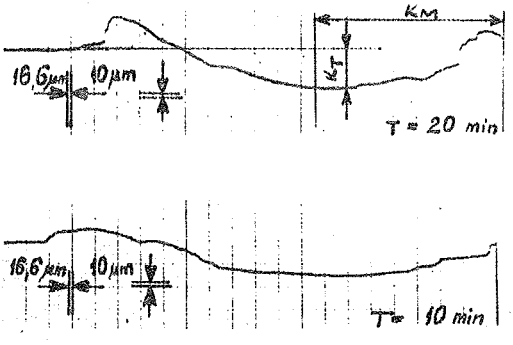
1. Obraba na prosti ploskvi se pojavlja v obliki pasu vzdolž rezalnega roba. Značilna veličina te obrabe je širina nastalega pasu, ki jo označujemo z B. To vrednost lahko merimo najpreprosteje z orodjarskim mikroskopom.
2. Obraba na cepilni ploskvi postaja v obliki kotanje. Na oslabitev noža vplivata predvsem globina kotanje K_T in razdalja sredine kotanje od rezalnega roba, ki jo označujemo s K_M. Oba podatka dobimo tako, da kotanjo otipamo s posebno tipalno napravo, narišemo njen profil in razberemo značilni veličini.
3. Nastavek na konici noža, navarki in oksidna obloga sicer ne pomenijo neposredne obrabe na nožu, vendar pa nastopajo pogostoma in imajo velik vpliv. Razen na obrabo orodja vplivajo nastavki in navarki tudi na obstojnost orodja in kvaliteto površine obdelovanca. Merjenje teh oblik je težavno, vendar neogibno potrebno. Na cepilni ploskvi jih prav tako lahko merimo z otipavanjem.

Pri vrednotenju obrabe je pomemben tudi kriterij, po katerem jo ugotovljamo. Od tega kriterija je namreč odvisno, katere oblike obrabe upoštevamo in katere veličine merimo. Na našem inštitutu so pri ugotavljanju obrabe v rabi naslednji kriteriji:

1. Kriterij z dopustno širino obrabnega roba. V tem primeru merimo samo določeno širino obrabnega pasu B. Ko doseže obraba na prosti ploskvi dopustno vrednost, menimo, da je nož obrabljen. Tako lahko pri različnih hitrostih rezanja dobivamo različne obstojne dobe noža T. Rezultate raziskav vnašamo v posebne diagrame T-v. To so karakteristični diagrami za določen material orodja in obdelovanca ter odvisni od geometrije orodja, podajanja ter dopustne širine obrabnega roba. Ta kriterij uporabljamo predvsem takrat, ko je obraba na cepilni ploskvi noža tako majhna, da jo lahko zanemarjamo.

2. Kriterij z upoštevanjem širine obrabnega roba B in razmerja globine ter oddaljenosti kotanje K_T/K_M. Obstojnost orodja je omejena v tem

primeru z dopustno vrednostjo za B. Tako je treba meriti pri vsakem nožu po tri vrednosti. Obraba na cepilni ploskvi ni enaka obrabi na prosti ploskvi in se niti ne ravna po enakih zakonitostih. Zaradi tega dobivamo v diagramu po dve premici. Prva pomeni vrednosti pri B = konst. in druga pri K_T/K_M = konst. Z drugim kriterijem lahko spremljamo realno obrabo na obeh ploskvah stružnega noža. Zaradi tega je ta kriterij tudi največkrat v rabi. Slika 1.1 ponazarja otipani profil cepilne ploskve stružnega noža, ki je bil določen z doma izdelano napravo za otipavanje.



Sl. 1.1 Profil cepilne ploskve na obrabljenem stružnem nožu

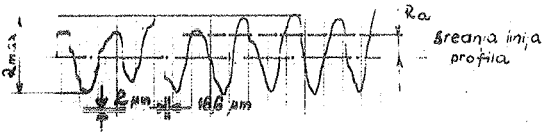
Drug pomemben činitelj je kvaliteta površine. Postopki za obdelovao kakor tudi stroji za odrezavanje, npr. struženje, frezanje ipd. so sedaj izpopolnjeni do tolikšne mere, da omogočajo zelo natančno izdelavo. To je prav gotovo vzrok, da nas čedalje bolj zanima tudi tako imenovana mikro slika površine na obdelovancu. Površina obdelovanca se lahko razlikuje od idealne geometrijske oblike na več načinov: tako da je neravna in neenakomerna - valovita ter glede geometrijske oblike celo popačena ali pa je hrapava samo površina obdelovanca. Neenakomernosti ploskve na obdelovancu niso posledice neposrednih činiteljev odrezavanja, temveč jih najpogosteje povzročajo nenatačnosti stroja, izrabljenost, deformacije zaradi preobremenitev ipd. Hrapavost površine pa je lahko različna tudi pri enakem postopku za obdelavo in odvisna od raznih drugih vplivov kakor npr. materiala obdelovanca, kvalitete orodja, hitrosti odrezavanja, podajanja ipd.

Za vrednotenje hrapavosti pa razlikujemo prav tako različna postopka:

1. Sistem M. Pri tem sistemu uporabljamo za izhodišče srednjo črto profila. Srednja črta profila je črta, ki teče vzporedno z geometrijskim profilom in leži tako, da je vsota kvadratov razdalj med njo in dejanskim profilom hrapavosti enaka 0. Slika 1.2 prikazuje hrapavost površine na stružni palici iz aluminija. V ta profil sta vrisani črta srednjih vrednosti in vrednost za srednje odstopanje R_a.

Vrednost za srednje odstopanje dobimo po enačbi:

$$R_a = (|y_1| + |y_2| + |x_3| + ... + |y_n|) \frac{1}{n} \quad [\mu m]$$



Sl. 1.2 Profil stružene palice iz aluminija

Pri tem pomenijo:

R_a - karakteristično vrednost za hrapavost površine
$y_1, y_2 \ldots\ldots y_n$ - vrednosti razdalj
n - število vrednosti razdalj

Razen vrednosti za R_a so po JUS definirane še naslednje vrednosti:

R_z - srednja višina hrapavosti
R_{max} -največja višina hrapavosti
p_n - odstotek nošenja profila

Sistem M uporabljajo v večini evropskih držav kakor tudi v ZDA. Tudi jugoslovanski standardi predpisujejo za merjenje hrapavosti sistem M.

2. Sistem E. Pri tem sistemu uporabljajo za izhodiščno črto ovojni profil dejanskega profila (envelopping profile). Ovojni profil dobimo tako, da po dejanskem profilu kotalimo krog z določenim polmernom. Tako opisuje središče kroga pri kotaljenju določeno črto. Če to črto premaknemo za vrednost krogovega polmera, poteka tako, da se dotika vseh vrhov dejanskega profila. Črta po vrhovih je ovojnih profil.

Tudi po sistemu E lahko izražamo merjeno hrapavost s srednjo vrednostjo ER_a in njeno največjo vrednostjo ER_{max}. Pri tem izhajamo od neke srednje črte, ki je po obliki enaka ovojni črti, vendar premaknjena za določeno vrednost G in leži tako, da je vsota vseh ploskev med dejanskim profilom in srednjo črto na obeh straneh enaka.

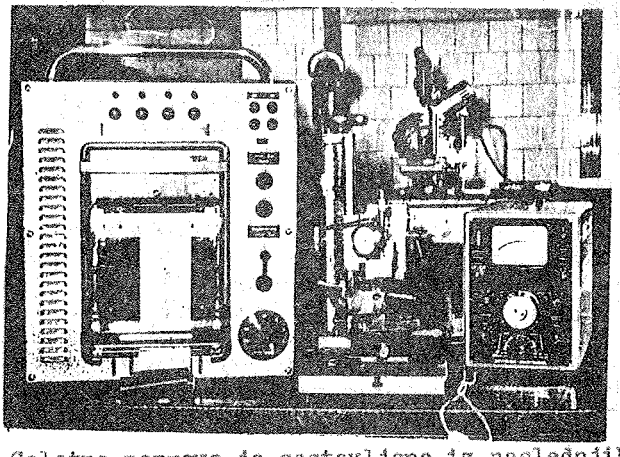
Sistem E ima pred sistemom M določene prednosti. Pri sistemu M je namreč težko določati natančno lego črte srednjih vrednosti, kar pa ne povzroča težav pri sistemu E. Vendar so dandanes že znani taki merilniki hrapavosti, ki izračunavajo lego srednje črte sami ter kažejo tudi odstopke od te črte kot značilne vrednosti hrapavosti.

Tako se je pojavila v novejši dobi vrsta naprav, s kakršnimi lahko ugotavljamo hrapavosti površin. Ti merilniki so lahko optični, pnevmatični ali pa taki z otipavanjem. Instrumenti lahko kažejo srednje vrednosti hrapavosti R_a ali pa kako drugo veličino, s kakršno je mogoče sklepati na dejansko hrapavost. Razviti so tudi merilniki, ki ponazarjajo otipani profil na registrirni trak.

1.2 Naprava za otipavanje

Za ugotavljanje profila na obrabljenem orodju ali hrapavosti na dobljeni površini obdelovanca je potrebna merilna priprava, ki sledi profilu s tipalom. Pri tem posnema profil v obliki krivulje na registrirnem traku ali pa z odklonom kazalca na merilnem instrumentu.

Merilno napravo, ki jo uporabljamo v tehnološkem laboratoriju inštituta za strojništvo v Ljubljani, prikazuje slika 1.3.



Sl.1.3 Naprava za otipavanje

Celotna naprava je sestavljena iz naslednjih instrumentov:

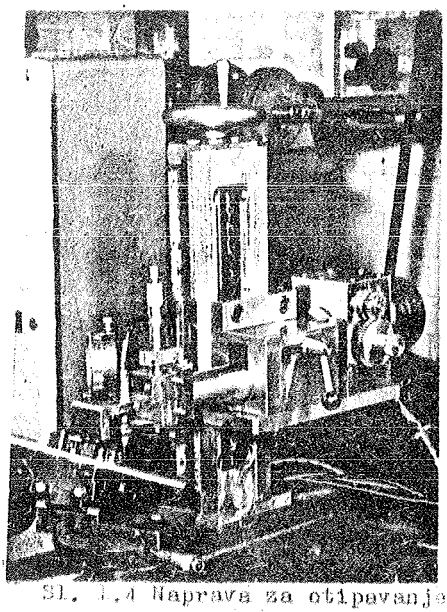
1. tipalne glave z vodili in pogonom
2. induktivnega dajalnika
3. ojačevalnika nosilne frekvence
4. registrirnega aparata

Elektronski del celotne naprave je izdelek tvrdke Hottinger Messtechnik, tipalna glava z vodili in pogonom pa je bila izdelana v laboratoriju inštituta.

Delovanje naprave je relativno enostavno. Tipalna igla drsi z določenim radijem konice po površini preskušanca. Za otipavanje sta na voljo dve hitrosti v = 2 mm/min in v = 8 mm/min, ki se dasta nastavljati s posebnimi menjalnimi zobniki. Igla je vpeta tako, da tiči z neko minimalno silo na hrapavi ploskvi in se lahko premika samo v vertikalni smeri. Izmikanje igle v obeh vodoravnih smereh je onemogočeno. Vertikalni premiki igle, ki jih povzroča hrapovost, spreminjajo zračno rego med tipalom in induktivnim dajalnikom. Ta sprememba zračne rege vpliva na induktivnost in tako se impulz tipala spreminja v električno veličino, ki jo dalje oblikujejo elektronske naprave.

Premikanje tipalne igle v vodoravni smeri je možno z majhnim elektromotorjem prek dvojnega polžastega prenosa in vijačnega vretena. Celotni pogon s tipalno glavo je na posebnem nosilnem stebru in se lahko premika v vertikalni smeri. Fino vertikalno premikanje tipalne igle po površini obdelovanca pa je možno z mikrometrskim vijakom. Celotno tipalno glavo s pogonom, nosilnim stebrom in podložno ploščo kaže slika 1.4.

Vodenje tipalne igle v vodoravni smeri mora biti zelo natančno, ker ta nima nobenega drugega vodenja. Za otipavanje površine uporabljamo drsne cokle, ki so lahko nameščene pred ali za tipalno iglo. Tako jo vodimo s samo površino preskušanca. Za merjenje obrabe na nožih pa take rešitve ni moguče uporabljati. V tem primeru je tipalna igla

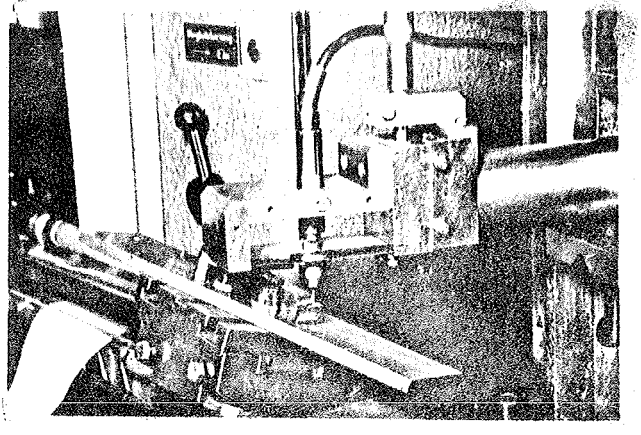


Sl. 1.4 Naprava za otipavanje - mehanični del

izdelana tako, da je vodena centralno - skupaj s celotno tipalno glavo s posebno natančno izdelano pinolo.

Za merjenje obrabe na cepilni ploskvi stružnih nožev uporabljamo lahko za tipalne igle gramofonske igle z zaokrožitvijo konice 60 m. Pritrditev igle je preprosta, hkrati pa je možna hitra zamenjava. Pritrjena je na dveh vzporednih vzmeth, ki v zadostni meri preprečujeta izmikanje igle v smeri vodoravnih osi. Slaba stran vzmeti je samo ta, da pri večjih odklonih v vertikalni smeri lahko prihaja do razmeroma velike dodatne sile. Odkloni pri merjenju kotanje lahko znašajo tudi do 300 m.

Postopek pri merjenju profila na cepilni ploskvi noža je razmeroma preprost. Nož je potrebno nameščati v vodoravno lego tako, da je cepilna plosev vzporedna s premikanjem igle. To je mogoče dosegati pri znani geometriji noža s tako imenovano dvojno zibko. Na tipalno glavo lahko pritrdimo še mikrokator, s katerim kontroliramo tudi vodoravnost noža. Ko je cepilna ploskev vodoravna, pritisnemo tipalno igio na neobrabljeni del ploskve in otipamo kotanjo. Slika s.5 prikazuje pritrditev tipalne igle.



Sl. 1.5 Pritrditev tipalne igle

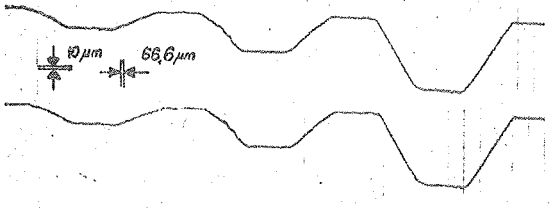
Postopek za določenje hrapavosti na obdelovancu je podoben. Pri tem je treba paziti samo, da delamo brez dodatne sile vzmeti. Za ugotavljanje hrapavosti mora biti tudi polmer tipalne igle manjši, npr. 10 m. S tem pomanjšamo dotikalno ploskev med preskušancem in iglo. Zaradi tega bi se zaradi dodatne sile lahko pojavljali zelo veliki ploščinski pritiski, ki bi povzročali plastične - trajne deformacije. S tem bi napako še povečali. Zato mora biti tipalna igla v takih primerih trša npr. safirna. Razlika med vrednostmi pri merjenju kotanje stružnega noža, ki znaša do 300 m, in hrapavostjo površine na obdelovancu, ki znaša od 1 do 2 m, je zelo velika. Zato bi bilo umestno izdelati za merjenje hrapavosti posebno tipalno glavo, ki bi ustrezala strožjim zahtevam.

Pogon pa bi lahko ostal skupen.

1.3 Umerjanje naprave

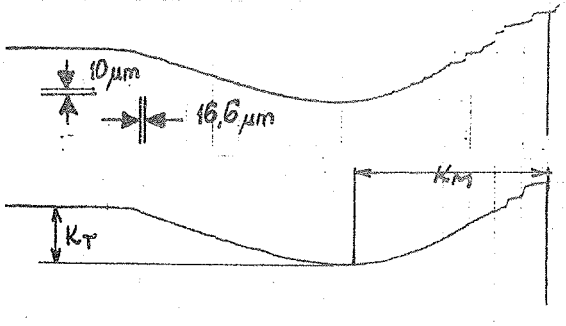
Ko je bila naprava za otipavanje profilov izdelana, je bilo potrebno induktivni dajalnik in tipalo tudi umeriti. Rezultat umerjanja, ki je bilo opravljeno na merilnem stroju SIP v merilnem laboratoriju inštituta, je karakteristika, ki povezuje odklon kazalca na ojačevalniku in spremembo zračne rege. Pri tem sta bili izdelani dve karakteristiki: karakteristika za izhodno zračno rego 2 mm in 1,5 mm. Karakteristika ni premočrtna, temveč rahlo ukrivljena. Pri majhnem območju odstopanja jo lahko poenostavljamo kot linearno karakteristiko. Napaka pri tem ne presega 2%. Pri večjih odklonih pa je napaka tudi večja. Po določeni karakteristiki smo izračunali tudi tabelo, ki podaja za posamezne lege potenciometra na ojačevalniku neposredno vrednost v m. Tabela velja tako za vsako enoto pri odklonu kazalca na ojačevalniku kakor tudi za ustrezajoče vrednosti pri razdelbi na registrirnem traku.

Za občasno kontrolo naprave smo izdelali tudi posebno umerjalno šablono. Ta šablona je zbrušena in ima po obliki in merah popolnoma znan profil. Šablono smo izmerili z orthotestom, nato pa še otipali na napravi za ugotavljanje profilov. Primerjava rezultatov je pokazala popolno enakost.
Slika 1.6 prikazuje narisani profil umerjalne šablone.



Sl.1.6 Profil umerjalne šablone - ponovljivost naprave

Preskus o ponovljivosti naprave je prikazan na slikah 1.6 in 1.7. V prvem primeru gre za ponovljivost na umerjalni šabloni, v drugem pa je potovala igla dvakrat po istem mestu kotanje stružnega noža. S slike je razvidno, da je ponovljivost naprave tudi v tem primeru zadovoljiva.



Sl. 1.7 Ponovljivost naprave za otipavanje - obraba na stružnem nožu po 3-minutnem delu

2. OBSTOJNOST NOŽEV IZ KARBIDNIH TRDIN PRI STRUŽENJU SREDNJE TRDE SFEROIDALNE LITINE

2.1 Splošno o sferoidalni litini

Siva litina je prav gotovo najcenejši konstrukcijski material v strojništvu. Velika pomanjkljivost sive litine so njene slabe mehanske lastnosti, ki jih povzročajo lamele grafita. Grafitni lističi ali lamele prerežejo namreč osnovno strukturo sive litine in zmanjšajo tako njene mehanske lastnosti. Zaradi slabih mehanskih lastnosti zamenjujemo sivo litino z jekleno litino. Jeklena litina pa je znatno dražja in njena livnost tudi neprimerno slabša. To povzroča dodatne težave, saj je izdelava ulitkov iz jeklene litine dražja, livarsko tehnološke zahteve pa znatno večje. To so poglavitni vzroki za iskanje novega livarskega materiala, ki bi imel sposobnosti za litje sive litine, mehanske lastnosti pa take, kakršne ima jeklena litina. Te pogoje v največji meri izpolnjuje sferoidalna litina. Sferoidalna ali nodularna litina ima dobre lastnosti za litje, dosega pa natezne trdnosti tudi do 70 kp/mm^2 in več. Je žilava in plastična kakor jeklena litina. Grafit se pri sferoidalni litini ne izloča v obliki lamel oziroma lističev, temveč v obliki kroglic, ki mnogo manj režejo njeno osnovno strukturo. Zaradi tega lahko sferoidalno litino tudi kujemo in celo toplotno obdelujemo. V železarni Štore uporabljajo za izdelavo srednje trdih valjev za valjarne sferoidalno litino. Železarna Štore je naš največji proizvajalec te litine in namerava v bližnji bodočnosti proizvodnjo še znatno povečati (na okrog 10.000 ton letno). Zaradi tega je razumljivo njeno izredno zanimanje za tehnološke postopke oblikovanja z odrezavanjem.

Sferoidalna litina, ki jo uporabljajo v železarni Štore za izdelavo srednje trdih valjev, dosega trdoto do 450 kp/mm^2 po Brinellu. Pri tej trdoti pa se stikajo področja siva, sferoidalne in trde - bele litine. Trda - bela litina pa ima izločen večji del ogljika v obliki cementita, ki je za obdelavo z odrezavanjem zelo neprimeren. Na cementitu se noži hitro obrabljajo in radi krhajo oziroma lomijo. Zaradi tega je obdelovalnost sferoidalne litine za proizvajalca zelo pomembna in so sistematične raziskave s tega področja tudi ekonomsko utemeljene.

2.2 Naprave, orodja, preskušanci in karakteristične veličine preskušanja

Vse preskuse sferoidalne litine smo opravljali na stružnici KERN tvrdke Hahn u. Kolb iz Stuttgarta. Stružnica je prirejena tako, da je možna brezstopenjska regulacija hitrosti rezanja. Pri preskušanju smo uporabljali tri različne hitrosti rezanja v = 30, 45 in 60 m/min. Za take hitrosti smo se odločili po poprejšnjih uvodnih preskusih, ki so bili opravljeni prav tako v našem inštitutu leta 1965.

Zaradi omejene moči stružnice in manjše uporabe materiala smo uporabljali tudi razmeroma majhne prereze odrezka: globina rezanja je znašala a = 2 mm, podajanje s = 0,216 mm/vrt. Tako je znašal prerez od-

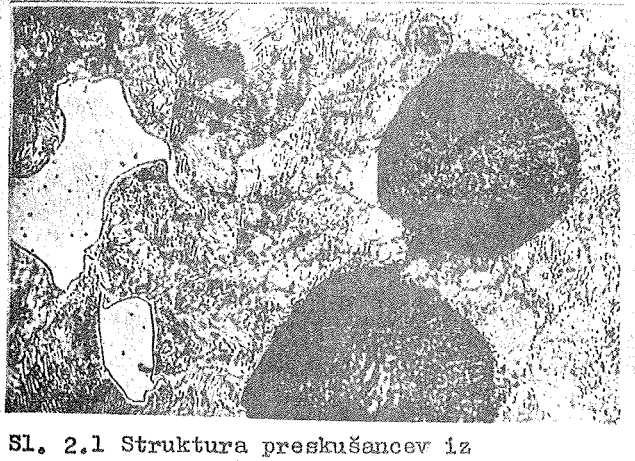
rezka 0,432 mm^2. Za preskuse smo uporabljali serijo 2 x 10 nožev oziroma ploščic iz karbidnih trdin, tj. po dve ploščici od vsake izmed desetih karbidnih trdin. Označbe posameznih karbidnih trdin so naslednje: K 01, K 05, K10, (A,B,C), K20 (A,B,C), M 10, M 20. Vse ploščice so imele obliko A 16 razen ploščic K 10 B in K 20 B, ki sta imeli obliko A 20. Ploščice K 10 in K 20 smo uporabljali od treh različnih proizvajalcev. Vse ploščice smo lotali na držaje nožev po postopku električno uporovnega lotanja. Držaji nožev so bili iz konstrukcijskega jekla z natezno trdnostjo 70 kp/mm^2 in prerezom 20 x 20 mm. Pri lotanju smo strogo pazili na enake pogoje in uporabljali elektrolitski baker ter mrežico iz niklja.

Geometrija nožev je bila naslednja:

prosti kot $\alpha = 12^0$
cepilni kot $\gamma = 0^0$
nagibni kot $\lambda = -4^0$ po JUS (konica noža visi navzdol)
nastavni kot $\chi = 75^0$
kot konice $\varepsilon = 90^0$
polmer zaokrožitve $r = 0,5$ mm

Vse nože smo brusili v dveh stopnjah; najprej grobo s hitrostjo brušenja 11,7 m/sek, nato pa fino s hitrostjo 19 m/s. Za grobo brušenje smo porabljali brusne kolute iz silicijevega karbida tovarne Swaty iz Maribora, za fino brušenje pa diamantno lončasti brus tvrdke Fritz Wendt.

Preskušanci so imeli obliko valjev s premerom 190 mm in dolžino 500 mm. Trdota valjev ni bila enaka po celotnem prerezu - v splošnem je pojemala proti sredini. Pojemanje trdote je znašalo navadno od 30 do 60 kp/mm^2 po Brinellu. Struktura preskušancev je bila perlitno cementitna, kakor prikazuje slika 2.1.



Sl. 2.1 Struktura preskušancev iz sferoidalne litine

Iz strukture je razvidno da kažejo grafitne kroglice v nekaterih primerih težnjo po razpadanju, iz česar lahko sklepamo, da sarža, iz katere so bili uliti preskusni valji, ni uspela povsem oziroma so bili valji uliti prepozno. V povprečju je bilo v perlitni osnovi okoli 10% cementita. Trdota preskušancev pa je znašala od 280 do 330 kp/mm^2 po Brinellu.

Za kriterij obstojnosti smo uporabljali širino obrabe na prosti ploskvi B = 0,4 mm. Kotanjaste obrabe na cepilni plo-

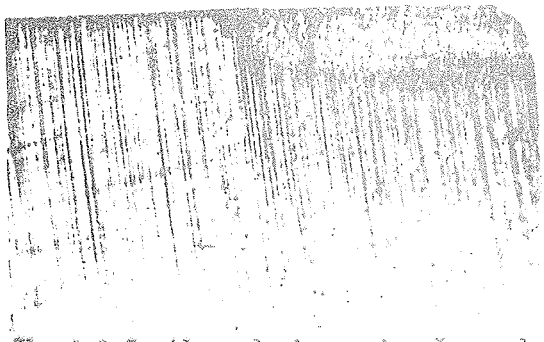
skvi niemo ugotavljali. Iz uvodnih preskusov kakor tudi iz literature nam je bilo znano, da je kotanja pri hitrostih rezanja, ki smo jih uporabljali v našem primeru, majhna in za kvalitetnejšo obstojnost orodja neprimerna.

2.3. Potek preskusov in sklepi

Pri preskušanju smo opravili za vsako hitrost in vsako karbidno trdino po tri ponovitve. Pri tem smo uporabljali nože tako dolgo, da je dosegla obraba na prosti ploskvi 0,4 mm. Pri hitrosti v = 30 m/min smo prekinjali struženje vsake štiri minute in merili obrabo, pri hitrostih v = 45 m/min in v = 60 m/min pa vsaki dve oziroma eno minuto. Da smo preprečili vpliv nehomogenosti v preskušancu, smo nože ciklično menjsavali; tako je rezal npr. prvi nož prvi interval 1, 2 ali 4 minute, za njim drugi nož drugi interval prav tako 1, 2 ali 4 minute in tako naprej vseh 20 nožev. Ko je rezala serija vseh 20 nožev, smo postopek ponovili. Brž ko je dosegel kateri izmed nožev obrabo 0,4 mm ali več, smo ga izločili iz poskusov. Pri tem smo dobili naslednje rezultate.

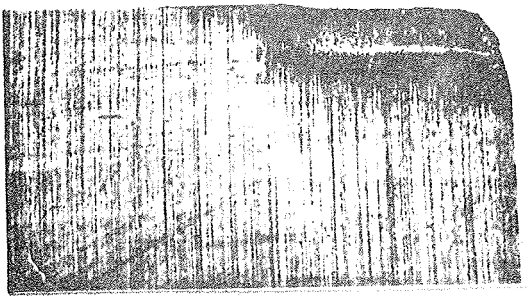
Pri hitrosti rezanja v = 30 m/min je nastajal na nožu močan nastavek, ki je prehajal na cepilni ploskvi v navarek. Pri tem je bila obraba cepilne ploskve le neznatna, tudi obraba na prosti ploskvi je napredovala zelo počasi. Slika 2.2 predstavlja cepilno ploskev noža s ploščico iz karbidne trdine z oznaočbo K 20 C. S slike je razločno vidno, da na cepilni ploskvi ni opaziti kotanjaste obrabe, vidijo pa se deli nastavka na koncu obrabne ploskve.

Pri hitrosti v = 45m/min smo dobili znatno krajše dobe obstojnosti. Pri tej hitrosti zadevamo na nastajanje nastavka le redkoma. Pojavlja pa se že kotanjasta obraba na cepilni ploskvi, kar prikazuje tudi slika 2.3.

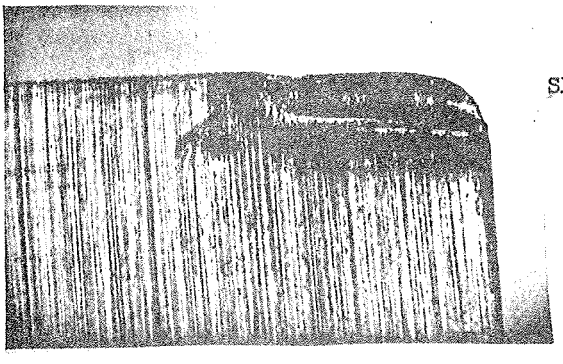


Sl. 2.2 Cepilna ploskev pri nožu s ploščico iz karbidne trdine K 20 C hitrost rezanja v = 30 m/min

Pri hitrostih rezanja v = 60 m/min pa opažamo že močno kotanjasto obrabo na cepilni ploskvi (sl.2.4). Pri tej hitrosti je izredno hitro napredovala tudi obraba na prosti ploskvi in dosegla vrednost B=0,4 mm že po devetih minutah rezanja. Površina obrabne ploskve je bila groba. Iz tega lahko sklepamo, da je hitrost rezanja v = 60 m/min za struženje sferoidalne litine neprimerna. To je potrdil tudi dodatni

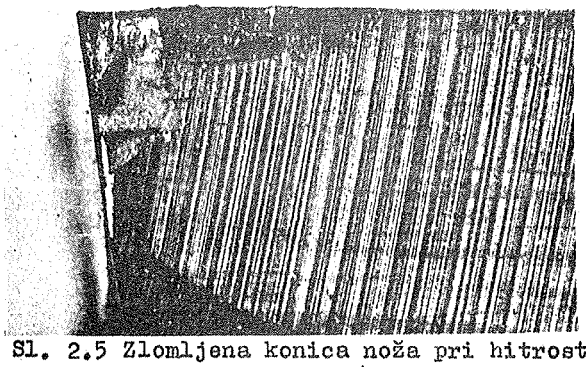


Sl. 2.3 Čepilna ploskev pri nožu s karbidno trdino K 1o hitrost rezanja v = 45 m/min



Sl. 2.4. Čepilna ploskev pri nožu s ploščico iz karbidne trdine K 05 hitrost rezanja v = 6o m/min

preskus, pri katerem smo obremenjevali nož pri hitrosti v = 6o m/min kratek čas pospešeno. Posledico take preobremenitve posreduje slika 2.5. Iz nje je razvidno, da se je zlomila konica noža, ko obrabni pas še ni dosegel širine 0,4 mm.



Sl. 2.5 Zlomljena konica noža pri hitrosti rezanja v = 6o m/min in preobremenitvi

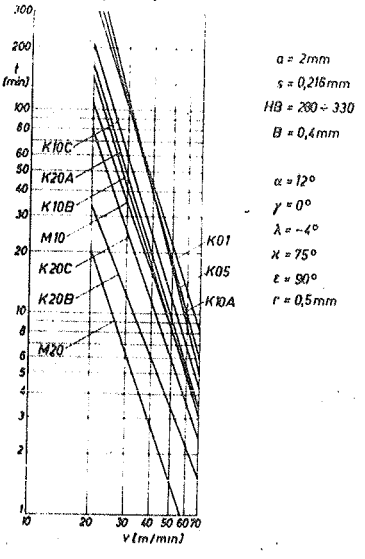
Če vrednotimo obstojnosti posameznih karbidnih trdin, lahko zapišemo, da so karbidne trdine z označbo K 01 zelo obstojne. Pokazale so dobre rezultate pri višji hitrosti v = 45 in 6o m/min, vendar so zelo občutljive za udarce. Zaradi tega tudi niso primerne za prekinjeno rezanje in materiale, ki imajo trda mesta v strukturi, pri čemer pa se zelo dobro obnašajo za fino struženje pri visokih hitrostih. Pri omenjeni karbidni trdini smo dosegli v_{60} = 36 m/min.

S karbidno trdino K 05 dobimo rezultate srednjih vrednosti. Te karbidne trdine so sicer nekoliko manj občutljive za udarce, vendar pri obdelavi z velikimi hitrostmi tudi manj obstojne. Uporabljamo jih lahko za srednje in večje hitrosti rezanja ter tam, kjer je material nehomogen in neprimeren za rezanje s karbidnimi trdinami K 01. S karbidno trdino K 05 smo dosegli vrednost za $v_{60} = 35{,}5$ m/min.

Karbidne trdine z označbo K 10 smo razdelili na označbe A,B in C po različnih proizvajalcih. Najboljše rezultate je dosegla karbidna trdina K 10 A. Primerna je za večje prereze odrezkov, prenaša pa dokaj dobro tudi udarce. Zaradi tega je sposobna za grobo struženje skorje na livu. Pri večjih hitrostih rezanja močno narašča tudi obraba. Karbidne trdine z oznakama K 10B in K 10C pa dajejo znatno slabše rezultate, čeprav navajata proizvajalca zanje enake karakteristike kakor za karbidno trdino K 10A. Hitrosti v_{60} so za vse tri vrste karbidnih trdin različne in znašajo od 36 do 26,5 m/min.

Karbidna trdina K 20 je zelo primerna za obdelavo nehomogenih mest in prekinjene reze. Zaradi manjše trdote pa je manj odporna proti obrabi. Primerna je za rezanje odrezkov z velikimi prerezi, ki se lahko med rezanjem tudi spreminjajo. Njena hitrost v_{60} je znašala od 28 do 16 m/min. Tudi v tem primeru so se razlikovale med seboj različne ploščice različnih proizvajalcev, ki smo jih označili z označbami A, B in C.

Karbidne trdine M 10 in M 20 bi morale biti po podatkih najbolj primerne za struženje sferoidalne litine. Karakteristika skupine M leži namreč med karakteristikama skupine P in K (navedbe TIZIT, KOROMANT). V obeh primerih pa smo dobili zelo slabe rezultate, kar velja še posebej za karbidno trdino M 20, ki je za obdelavo sferoidalne litine celo neprimerna. Hitrost v_{60} znaša za M 10 25 m/min, za M 20 pa samo 13,7 m/min.



Naštete rezultate lahko razberemo tudi iz diagrama v - t, ki prikazuje regresijske premice za vseh 10 karbidnih trdin (slika 2.6). Regresijske premice smo računali po statistični metodi najmanjših kvadratov. Pri tem smo predpostavili, da velja v vsem območju Taylorjev obrazec:

$$v \cdot t^n = C$$

pri čemer pomenijo:
v - hitrost rezanja v m/min
t - čas rezanja v min
n - eksponent, ki ga določimo s preskusi
C - konstanta

Sl. 2.6 Diagram v - t

Če prenesemo tako eksponencialno enačbo v dvojni logaritmični koordinatni sistem, dobimo premico, za katero potrebujemo dve točki v diagramu.

Izračune eksponentov n in konstant C smo opravili na elektronskem računalniku ZUSE v računskem centru instituta za matematiko, fiziko in mehaniko v Ljubljani.

Po opravljenih preskusih in vrednotenju rezultatov lahko zapišemo, da so za struženje sferoidalne litine s trdoto okrog 300 kp/mm^2 po Brinellu najbolj primerne karbidne trdine K 1o, K o5 in K o1. Slabši pa sta karbidni trdini K 2o in M 1o, v tem ko je karbidna trdina M 2o za obdelavo take litine neprimerna. Karbidne trdine so označene po mednarodnih označbah ISO.

3. OBSTOJNOST DOMAČIH HITROREZNIH JEKEL PRI STRUŽENJU KONSTRUKCIJSKIH JEKEL

3.1. Splošno o obrabi na stružnih nožih

V zadnjem delu našega prispevka k temu posvetovanju bomo govorili o raziskavah obstojnosti stružnih nožev iz domačega hitroreznega jekla. Že iz prejšnjih poglavij je znano, da je pojem obdelovalnost zelo širok in odvisen od vrste vplivov. Zelo pomemben vpliv je vsekakor obstojnost orodja, ki je odvisna od hitrosti rezanja ter fizikalnih lastnosti orodja in obdelovanca. Pri tem ugotavljamo obrabo na prosti in cepilni ploskvi. Zaradi obrabe na prosti ploskvi se prestavi rezalni rob, kar vpliva na kvaliteto površine in natančnost obdelave. Tudi na cepilni ploskvi se pojavlja obraba rezalnega roba - posebno še pri manjših hitrostih. Zaradi take obrabe se povečuje potrebna moč rezanja. Pri večjih hitrostih rezanja in večjih prerezih odrezka pa nastaja na cepilni ploskvi izrazitejša obraba v obliki kotanje. Za natančno spremljanje take obrabe so potrebni dolgotrajni preskusi, ki so tudi zelo dragi. Zaradi tega poskušajo vedno znova dognati načine preskušanja, ki bi bili krajši in s tem seveda tudi cenejši. Taki kratki preskusi so še posebno pomembni pri preskušanju karbidnih trdin. Te vrste preskusov opravljamo lahko na dva načina:

1. delamo z enakimi rezalnimi pogoji kakor pri dolgotrajnih preskusih, le da jih prej prekinjamo in vrednosti ekstrapoliramo na daljšo dobo in
2. delamo s strožjimi pogoji, tako da dobivamo večjo obrabo v krajšem času

Dandanes je znanih več krajših preskusov, s katerimi se lahko bolj ali manj približujemo dejanskim vrednostim obdelave, vendar na tem področju raziskave še niso končane.

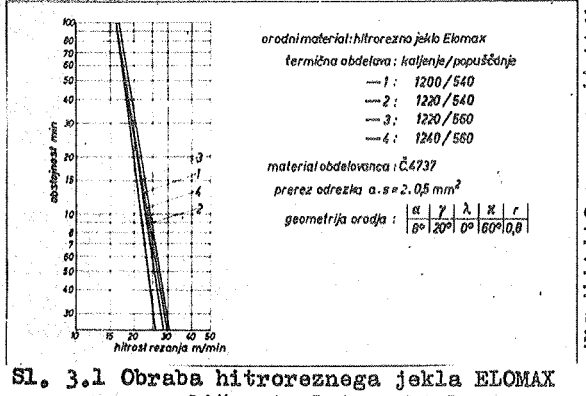
Večina podrobnejših raziskav o obdelovalnosti različnih materialov je usmerjena v iskanje natančnejših kratkih postopkov pri preskušanju.

3.2 Potek preskusov in sklepi

Pri preskusih smo uporabljali hitrorezno jeklo ELOMAX in BRC-3 iz železarne Ravne. Pri tem smo opravljali raziskave o obstojnosti jekla pri različnih toplotnih obdelavah in spremenjeni geometriji nožev. Za preskušanje v prvi seriji preskusov smo uporabljali krom-molibdenovo konstrukcijsko jeklo z oznacbo Č. 4737 in Č 4736. Jeklo je imelo natezno trdnost 94 - 1o5 kp/mm^2 in 84 - 89 kp/mm^2.

Pri preskušanju hitroreznega jekla smo spremljali njegovo temperaturno obstojnost. Pri tem smo ugotavljali najugodnejšo toplotno obdelavo in najprimernejšo geometrijo orodja. V obeh primerih smo kalili nože pri treh različnih temperaturah in jih popuščali pri dveh različnih temperaturah. Pri geometriji orodja smo spremljali predvsem vpliv cepilnega kota γ , ki ima pri hitroreznem jeku ELOMAX še poseben pomen. Pri načrtovanju preskusov in vrednotenju rezultatov smo uporabljali statistične metode. Pri tem smo poskušali čimbolj izločati osebni vpliv na preskuse. Zavoljo tega smo razporedili nože po naključnem vrstnem redu in jih tudi po takem zaporedju uporabljali na stružnici.

V naših izvajanjih se bomo omejili predvsem na rezultate o obstojnosti stružnih nožev v odvisnosti od hitrosti rezanja. Rezultati so podani v dvojno logaritmičnem diagramu in sledijo Taylorjevi enačbi o obstojnosti stružnih nožev v odvisnosti od hitrosti rezanja. V digramu so prikazane regresijske premice za vse tri temperature kaljenja in različni temperaturi popuščanja (slika 3.1).



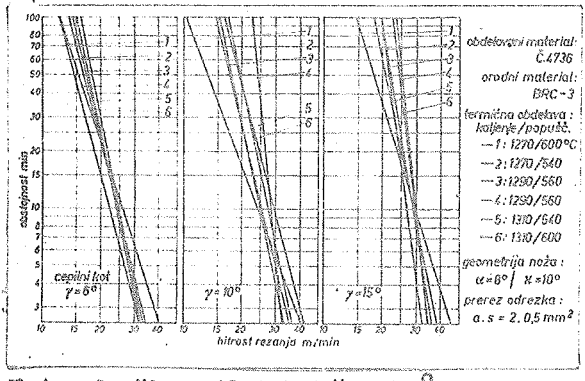
Sl. 3.1 Obraba hitroreznega jekla ELOMAX z različno toplotno obdelavo

Pri prvi seriji preskusov je znašal cepilni kot $\gamma = 20^0$. Pri uvodnih poskusih smo preskušali s standardno geometrijo orodja[3], vendar smo ugotovili, da je pri večjem cepilnem kotu obstojnost orodja večja. Najboljšo obstojnost smo dosegli z noži iz jekla ELOMAX, ki so bili kaljeni pri temperaturi 1220°C in popuščeni pri 560°C.

V naslednji seriji smo ugotavljali vpliv geometrije in toplotne obdelave na obstojnost rezalnega roba noža. S slike 3.2 lahko vidimo, da se pojavljajo precejšnje razlike v obstojnosti nožev z različno termično obdelavo. S slike je razvidno še to, da se s povečanim cepilnim kotom premaknejo premice v desno, iz česar izhaja, da je obstojnost rezalnega roba pri določeni hitrosti večja. Z analizo merilnih rezultatov lahko ugotovimo, da dobimo pri nožih iz hitroreznega

3) Stahl und Eisen Prüfblatt 1160-52 - 1178-52

jekla BRC-2 najugodnejšo obstojnost takrat, ko so kaljeni pri temperaturi 1290°C in popuščeni pri 560°C.



Sl. 3.2 Obraba hitroreznega jekla BRC-3 z različno toplotno obdelavo

Najugodnejši cepilni kot $\gamma = 15^{\circ}$.

Za hitrorezno jeklo ELOMAX je bilo ugotovljeno že pri uvodnih preskusih, da je zelo pomemben za obstojnost cepilni kot γ. S povečanjem cepilnega kota γ od 6° na 20° in s spremembo nagibnega kota λ od $+4^{\circ}$ na -4° (po JUS) se je znatno povečala tudi obstojnost - celo do 50%. Ta spoznanja se popolnoma ujemajo s priporočili tujih strokovnjakov, ki se ukvarjajo z orodnimi materiali.

Za jeklo BRC-3 velja mnenje, da so primerni majhni cepilni koti. Iz diagrama na sliki 3.2 pa izhaja, da je povečani cepilni kot dal ugodnejše rezultate.

Pri poskusih s toplotno obdelavo za jekla ELOMAX in BRC-3 smo ugotovili, da spremembe kalilnih temperatur v predpisanih mejah ne vplivajo bistveno na obstojnost rezalnega roba.

Pri nadaljnjem preskušanju bomo ugotavljali obdelovalnost cementacijskega jekla s hitroreznim jeklom pri različni toplotni obdelavi. Kriterij za ugotavljanje obstojnosti je prav tako obraba na cepilni in prosti ploskvi. Pri pripravi orodja pa ima - kakor smo že slišali - velik vpliv tudi način brušenja. Zaradi tega smo vključili v nadaljnje raziskave tudi ugotavljanje najugodnejšega brusilnega postopka in izbiro najprimernejšega brusilnega sredstva. Pri dosedanjem delu lahko sodimo, da v vsakdanji praksi ravnamo zelo različno od pravilnega načina ostrenja orodja. Celo laboranti v raziskovalnih laboratorijih se težko držijo predpisanih postopkov za ostrenje, še teže pa v tovarnah, kjer za ostrenje orodij ni organiziranih oddelkov.

Nadaljnje že nakazane probleme pri obdelovalnosti kovinskih materialov oziroma obstojnosti orodja še raziskujemo. Upamo, da bomo v doglednem času lahko kaj poročali o prvih uspelih rezultatih, ki bodo koristni tako za znanost kakor tudi neposredno za proizvajalce v praksi.

L I T E R A T U R A

1. M.Milanez: Nove oznake za površinsku hrapavost na industrijskim proizvodima. Strojarstvo 7/8-1965.

2. V. Savnik: Strojno risanje

3. I.Grebenc: Diplomsko delo 1o77 - Strojna fakulteta v Ljubljani

4. Poročilo Inštituta za alatne mašine i alat Beograd in Inštituta za strojništvo, Ljubljana, Beograd-Ljubljana 1965.

5. G.Hug: Determining tool life on nodular cast iron; The Tool Engineer, May 1958.

6. H.Klaus: Vergleichende Untersuchungen über die Zerspanbarkeit graphithaltiger Eisengusswerkstoffe, Giesserei 52 (1965.)Nr.19

7. V.Pettersen: H.Opitz, P.Cappetti: Das Standzeitverhalten des Werkzeuge als wichtigste Bewertungsgrösse der Zerspanbarkeit: Grundbegriffe und Prüfverfahren; Giesserei 52 (1965.) Nr.17

8. Stahl und Eisen, Prüfblatt, 1160-52, 1178-52

P.Leskovar, J.Grebenc, B.Justin, Z.Seljak

Die Erforschung der Bearbeitungsseigung von einheimschen Materialen im Institut für Maschinenbau in Ljubljana

Bei der Beurteilung eines bestimmten metallischen Materials oder bei dessen Übernahme bekommen wir gewöhnlich nur Angaben über dessen chemische Zusammensetzung und mechanische Eigenschaften. Wir bekommen aber keine Angaben über dessen Bearbeitungseigung, obwohl es bekannt ist, dass eben die Bearbeitungsverfahren den Preis eines bestimmten Industrieartikels stark beeinflussen. Deshalb werden die Bedingungen für die Bearbeitungstechnologie immer strenger. Einen grossen Bereich der Bearbeitungs-Technologie nimmt das Formen mit dem Spanabheben ein. Dafür haben wir zur Verfügung eine Reihe von Materialen, die den immer grösseren Ansprüchen genügen. Gewiss können sich solche Materiale voneinander wesentlich unterscheiden. Das gilt ebenso für Unterschiede in der chemischen Zusammensetzung, als für Strukturunterschiede u.ä.
Im Institut der Fakultät für Maschinenbau in Ljubljana formierte sic sich unter der Leitung vom Prof.Dr Ing.habil. Janez Peklenik eine Gruppe jüngere Wissenschaftler, die die Spanbearbeitungseigung einheimischer Metalle erforscht. Über die Resultate der bisherigen Versuche berichtet die Gruppe mit einem zusammenfassenden Bericht, bestehend aus drei Teilen.

Der erste Teil Berichtet über die Herstellung einer speziellen Registriervorrichtung für die Untersuchung der Werkzeugabnützung. Die

Vorrichtung hat einen Kopf mit einer Abtastnadel und Getriebe, sowie einen Elektronenteil mit dem Induktionsgeber, dem Frequenzverstärker und der Registrierapparatur.

Der zweite Teil berichtet über die Untersuchungen der Spanwerkzeuge aus harten Karbiden bei der Bearbeitung von Kugelgraphitguss, die in den Laboratorien des Instituts durchgeführt wurden. Dabei wurden Walzen aus dem Eisenwerk in Štore von der Härte cca 300 HB bei einer Spangeschwindigkeit 3o ..... 6o m/min. bearbeitet. Bei der Bewertung der Resultate berechneten wir für jedes Spangerät die Regressionsgeraden. Dafür verwendeten wir das Vefahren der kleinsten Quadrate mit der Elektronen-Rechenmaschine ZUSE. Die Resultate zeigten grosse Unterschiede in der Beständigkeit der einzelnen Arten der Hartmetalle. Überaschend sind die Unterschiede in der Beständigkeit von gleichen Hartmetallen bei verschiedenen Herstellern.

Der dritte Teil behandelt die Resultate der Versuche mit einheimischen Konstruktionsstahl bei der Spanung mit Hartmetallen. Dabei bemerkten wir eine Betandigkeit der Hartmetalle von P20 und P30. Die verwendeten Spangeschwindigkeiten betrugen 8o ... 2oo m/min. Gleichzeitig wurde auch das Problem der Brüchigkeit der Späne und des Abschleifens der Hartmetalle beobachtet.

R. Zgaga *)

ZNAČENJE ŽILAVOSTI ZA TRAJNOST ALATA**

Uvod

Primarni zahtjev, koji se postavlja na materijal nekog reznog alata je da njegova tvrdoća bude osjetno veća od tvrdoće rezanog materijala, kako bi alat mogao zadirati u obrađivani predmet. Istovremeno, veća tvrdoća alata u načelu znači i veću trajnost alata odnosno dulje zadržavanje rezne sposobnosti. Zahtjev za visokom tvrdoćom materijala alata proteže se redovito i na ostale alate za oblikovanje metala.

Međutim, danas je opće poznato da tvrdoća nije jedini zahtjev koji postavljamo na materijal nekog alata. Ona je nužna, ali ne i dovoljna. Od ostalih zahtjeva na mehanička svojstva alatnog materijala u prvom redu navodi se žilavost kao jedan značajan faktor za mehaničku otpornost alata,kao i za njegovu trajnost. Povećanje žilavosti redovito ima za posljedicu smanjenje tvrdoće, što je nepoželjno. Potrebno bi dakle bilo da se nađe, barem od slučaja do slučaja, optimalni odnos između tvrdoće i žilavosti alatnog materijala obzirom na njegovu trajnost. Jedna od poteškoća pri prilaženju ovom problemu, svakako je u tome što mjerenje žilavosti ovakvih relativno krhkih materijala nije odgovarajuće riješeno. Svrha je predstojećeg izlaganja da dade doprinos rješenju ovako definiranog problema.

Trajnost listova pila

Sistematska ispitivanja kvalitete listova pila za rezanje metala dovela su u nastavku ovih radova do potrebe studija mehanizma opadanja rezne sposobnosti ovakovih pila. Rezultati preliminarnih ispitivanja nisu naime nikako davali jednoznačnu predodžbu i tumačenje za različito ponašanje, odnosno trajnost pila inače jednakih karakteristika i pri jednakim pokusnim uvjetima.

Pokusi rezanja provedeni su sa listovima pila iz normalne proizvodnje. Jedna skupina pokusnih pila bila je iz ugljičnog nelegiranog alatnog čelika sa sadržajem ugljika od 0,8 - 0,9%, dok je druga skupina pila bila iz niskolegiranog čelika sa sadržajem karakterističnih elemenata kako slijedi: C = 1,15 %, Cr = 0,2 - 0,3 % i W = 1,8 - 1,9 %. Pokusi rezanja bili su izvedeni strojno, na stroju snage elektromotora 0,4 kW, s tim da se list pile u povratnom dijelu hoda nije odizao.

Rezani materijal bio je nelegirani konstrukcioni čelik sa sadržajem ugljika C = 0,5 %. Srednja tvrdoća iznosila je HB = 200 kp/mm^2, srednja vlačna čvrstoća σ_m = 70 kp/mm^2, dok je srednja istezljivost iznosila oko 18 %. Ove čelične šipke bile su presjeka 20 x 20 mm.

---

*) Ranko Zgaga, dipl.inž.strojarstva, docent Strojarsko-brodogradevnog fakulteta u Zagrebu, Kačićeva 26

**) Saopćenje iz Strojarsko-brodograđevnog fakulteta - Zagreb

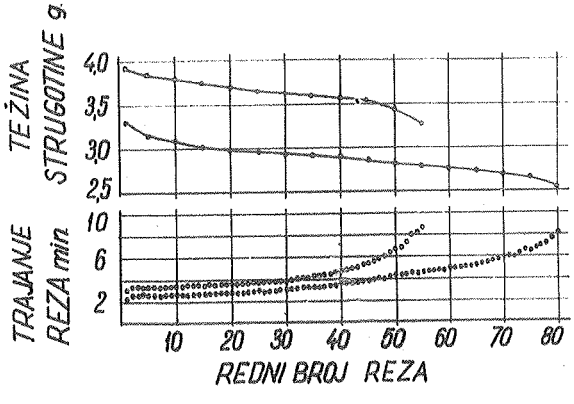
Pri ovim pokusima iznosio je hod pile 122 mm, te je na taj način bilo 122 zuba u zahvatu. Srednji pritisak na rezani predmet iznosio je 7 kp (5,6 - 8,4 kp), dok je srednja brzina rezanja iznosila 18,3 m/min (broj hodova u minuti iznosio je 75).

Pokusi rezanja, odnosno analiza različitih parametara koji su praćeni prilikom ovih pokusa, ukazala je na neke pojave koje su karakteristične za mehanizam opadanja rezne sposobnosti listova pila.

U pogledu trajanja pojedinih rezova jedne pile kao i u pogledu broja rezova koje neki list pile izvede do potpunog zatupljenja, mogu se na temelju brojnih pokusa definirati slijedeće zakonitosti.

1. Konstatirano je da zadnji rezovi jednog lista pile, neposredno pred potpuno zatupljenje, traju najčešće 3 - 4 puta dulje nego prvi rezovi tog istog lista.
2. Porast trajanja reza je kontinuiran i vrlo postepen; u zadnjih nekoliko rezova vrijeme trajanja pojedinih rezova naglo raste.
3. Trajanje prvog reza redovito je osjetno kraće od trajanja nekoliko slijedećih rezova jednog lista pile.
4. Uočeno je nadalje, da oni listovi pila kod kojih je trajanje prvih rezova relativno kratko, izdržavaju do potpunog zatupljenja znatno veći broj rezova od onih pila kod kojih je trajanje prvih rezova dulje.

Tokom ovih pokusa mjerena je bila težina strugotine pojedinih propiljaka. U načelu, konstatirano je da je težina strugotine pojedinih rezova jedne te iste pile sve manja, čim je više pila trošna. Ova pojava je kontinuirana. Nadalje, uočeno je da je težina strugotine prvog propiljka redovito veća od težine strugotine narednih rezova.

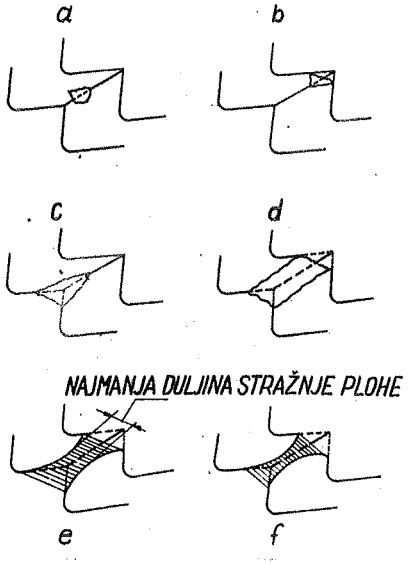


Sl.1 Tipični izgled ovisnosti trajanja reza i težine strugotine u rednom broju reza

Sl. 1 pokazuje grafički tipične rezultate ovih mjerenja. Ovakovi rezultati nisu još omogućili definiranje mehanizma zatupljenja listova pila osobito obzirom na konstatirane pojave u prvom rezu, kao i obzirom na znatne razlike u mjerenim iznosima parametara pojedinih listova pila. Stog razloga pristupilo se je promatranju i mjerenju karakterističnih veličina pila između pojedinih rezova, kao i između pojedinih hodova unutar jednog te istog reza.

Nekoliko prvih nesistematskih pregleda ozubljenja pila, pokazalo je da osim očekivanog kontinuiranog trošenja tarnih površina zuba, postoji i niz manjih i većih oštećenja čeonih i bočnih reznih bridova

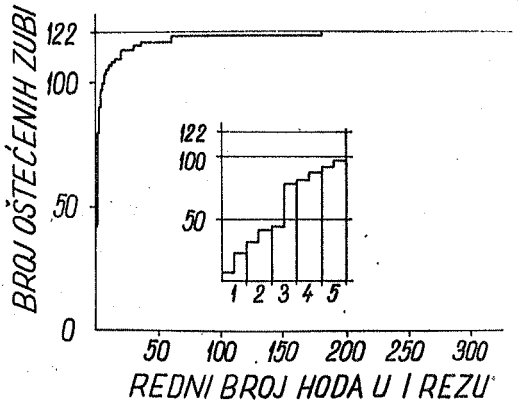
na pojedinim zubima. Tipični izgled nekoliko ovako oštećenih zubi kao i prikaz kontinuiranog trošenja zubi, dani su na sl.2.



Sl. 2 Izgled oštećenih (a,b,c,d) i zatupljenih zubi (e,f).

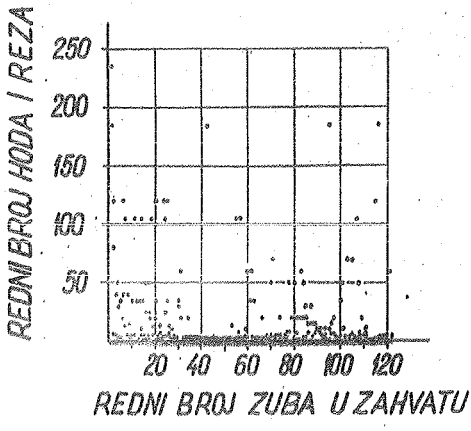
Nakon prvih informativnih opažanja prišlo se je sistematskoj analizi oštećenja jednog ozubljenja i to samo za vrijeme prvog reza, od 88 rezova koliko je ovo ozubljenje izdržalo do potpunog zatupljenja. Kod ovog promatranja list pile je bio vađen iz stroja nakon svakog hoda tj. jednog amo i tamo kretanja, te je ozubljenje bilo pod povećanjem pregledano i bilježena su opažanja za svaki zub posebno, od ukupno 122 zuba koliko ih je bilo u zahvatu. Prvih pet hodova ovog reza bilo je čak na taj način promatrano da je list pile bio vađen iz stroja nakon kretanja unaprijed, zatim podvrgnut pregledu, te ponovno stavljen u stroj da bi izvršio kretanje unazad, ponovo pregledan itd. Grafički prikaz porasta broja oštećenih zubi sa rednim brojem hoda analiziranog prvog reza prikazan je na sl.3.

Vidljivo je da je u 188 hodu već svih 122 zuba, koliko ih je bilo u zahvatu, oštećeno. Ista slika daje i detaljan prikaz ovih opažanja za prvih 5 hodova ovog reza, iz kojeg se razabire da je u tom periodu došlo već do oštećenja 97 zuba. Značajno je konstatirati da je od ovog broja oštećenja 74 oštećenja nastupilo pri kretanju pile unazad.



Sl. 3 Grafički prikaz broja oštećenih zubi o rednom broju hoda jedne pile u prvom rezu

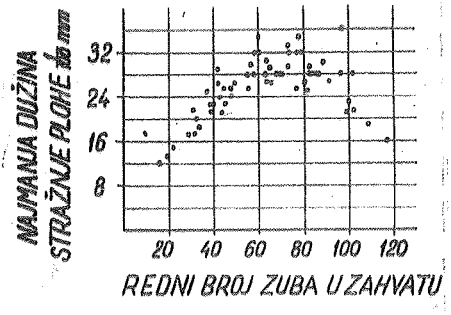
Daljnji prikaz promatranih oštećenja dan je na sl.4. gdje su zacrtana oštećenja na svakom zubu u odnosu na redni broj hoda ovog prvog reza. Ukupni broj registriranih oštećenja iznosi 250, što znači da je svaki zub u prosjeku imao preko 2 oštećenja, Karakteristično je da se je najveći broj oštećenja zbio u prvih nekoliko hodova, kao i



Sl. 4 Prikaz rasporeda oštećenja zubi u prvom rezu jedne pile

to da su oštećenja više koncentrirana u prvoj i zadnjoj trećini dijela ozubljenja u zahvatu.

Tokom promatranja promjena na ozubljenju koja nastaju pri radu pile, provedena su bila i mjerenja promjena na zubima koje nastaju uslijed kontinuiranog trošenja zuba uslijed habanja. Kao kriterij za stupanj istrošenja zuba odabrana je proizvoljno kao jednostavno mjeriva, najmanja duljina nastale plohe na stražnjoj strani zuba kao je to naznačeno na sl.2. Treba napomenuti da ova nastala ploha nije simetrična obzirom na zub; veća je na onoj strani zuba na koju je zub isturen. Rezultati mjerenja ovako definirane veličine prikazani su za jedno ozubljenje nakon izvršenog 180 reza na sl.5. Veličina istrošenja u srednjem dijelu ozubljenja u zahvatu veća je i tri puta od istrošenja na krajevima ozubljenja, što svakako treba pripisati nejednolikoj brzini rezanja svojstvenoj ovom amotamo kretanju.



Sl.5 Rezultati mjerenja najmanje duljine stražnje plohe pojedinih zuba nakon 180 reza jedne pile

Sličnim ovakovim mjerenjima provedenim na jednom te istom zubu ustanovljeno je da se ova najmanja duljina stražnje plohe linearno povećava sa brojem izvedenih rezova, što znači da je ovo dotrajavanje ozubljenja kontinuirani proces, proporcionalan sa brojem hodova i izvedenih rezova jednog ozubljenja.

Mehanizam opadanja rezne sposobnosti listova pila je dakle dvojak. U prvom redu konstatirana su oštećenja reznih bridova zubi, koja prema pokazanom znadu biti i vrlo brojna, prema tome i presudna za trajnost pile. Smanjenje broja aktivnih reznih bridova zubi znači istovremeno i preopterećenje ostalih zubi. S druge strane promatramo, smanji li se broj oštrica, povećati će se trajanje reza, što će uz isti učin ubrzati habanje ozubljenja. Očito je dakle da je za trajnost nekog ozubljenja od značenja žilavost materijala dotičnog lista pile.

Druga komponenta u mehanizmu dotrajavanja lista pile je prikazano trošenje ozubljenja kao kontinuirani proces odnašanja čestica materijala pile u mikroskopskim razmjerima. Radi se o nastajanju mikrozavarenih spojeva između površinskih izbočina pile i rezanog materijala

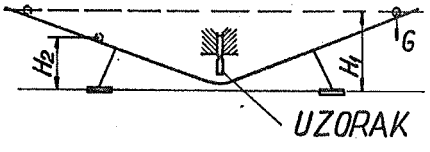
koji spojevi, budući da postoji relativno kretanje pile u odnosu na materijal, su vrlo kratkotrajni te su naglo kidani. Prilikom razaranja ovih spojeva, najčešći je slučaj da kidanje uslijedi na površini na kojoj je došlo do spajanja. Izvjestan broj ovih spojeva ~~ali~~ kida se na taj način da pukotina nastaje u jednom ili drugom temeljnom materijalu, dakle ne na površini zavarivanja, što zapravo i je suština mehanizma trošenja odnosno habanja materijala uopće. Za ovaj proces biti će svakako osim ostalog, mjerodavna mehanička svojstva materijala tarnog para a kako se pri ovom kidanju radi o naglom opterećenju za očekivati je da bi i žilavost kao svojstvo otpornosti materijala pri ovakovim uvjetima, mogla biti pokazatelj otpornosti materijala prema habanju. [1]

Sumarno uzevši žilavost će biti od značenja za trajnost reznih i ostalih alata, kao i općenito u slučajevima gdje dolazi do trošenja metalnih predmeta u međusobnom kontaktu.

Žilavost nekih alatnih čelika

Prethodno izlaganje nameće potrebu ~~za~~ kvantitativnim određivanjem žilavosti ovakovih alatnih materijala. Kako se radi o relativno vrlo krhkim materijalima kojima je iznos žilavosti znatno manjeg reda veličine od konstrukcionih čelika čija se žilavost određuje na Charpy-evom batu, predložena je i razrađena metoda, te je izveden uređaj za mjerenje žilavosti ovakovih relativno krhkih materijala. [2]

Ovaj uređaj sastoji se od silaznog i ulaznog dijela profilirane staze. Sa vrha silaznog dijela staze otpušta se čelična kuglica, te ako zanemarimo gubitke, kuglica se otkotrlja na istu visinu na uzlaznom dijelu staze. Udari li kuglica na svom putu u konzolno upeti uzorak, ta ga slomi i za taj lom utroši dio raspoložive kinetičke energije, doseći će na uzlaznom dijelu odgovarajuću nižu visinu, te se iz razlike visina i težine kuglice određuje radnja koja je utrošena za lom uzorka.

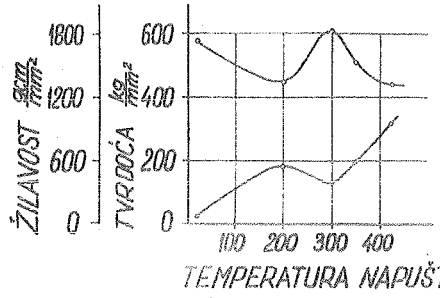


Sl.6 Prikaz uređaja za mjerenje žilavosti krhkih materijala

Sl. 6 pokazuje shematski ovaj uređaj. Variranjem težine kuglice, eventualno visine spuštanja, te prikladnim odabiranjem presjeka uzorka na mjestu loma, dadu se određivati radnje loma u iznosu od nekoliko desetaka do nekoliko hiljada pcm.

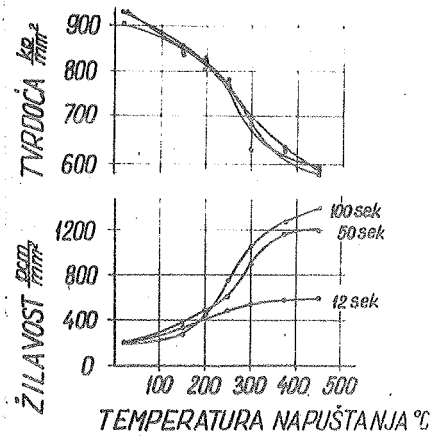
Prva sistematska određivanja žilavosti alatnog čelika bila su provedena sa niskolegiranim alatnim čeličnim limom debljine 0,8 mm za izradu pila, koji je bio zagrijavan 8 sekundi na temperaturi od 820°C te kaljen u ulju i naknadno napušten na raznim temperaturama [3]. Pod jednakim uvjetima bilo je izrađeno po 6 uzoraka na kojima je prvo određivana tvrdoća a zatim žilavost. Rezultati ovih ispitivanja dani su grafički na sl.7. Treba uočiti da uz jednaku tvrdoću od 460 kp/mm^2 za uzorke napuštene na 200 odnosno 400°C, žilavost iznosi oko 550 i

850 pcm/mm^2.



Sl.7 Srednje vrijednosti rezultata mjerenja tvrdoće i žilavosti niskolegiranog alatnog čelika za pile u ovisnosti o temperaturi napuštanja

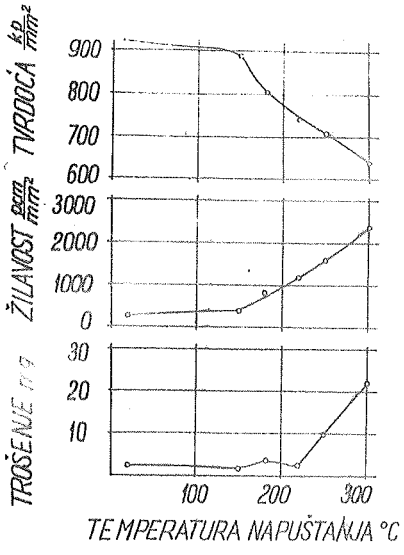
Na istom materijalu provedeno je kasnije određivanje tvrdoće i žilavosti na uzorcima koji su također grijani na 820°C, ali uz različito trajanje zagrijavanja, te kaljeni u ulju. Kako je trajanje zagrijavanja u prethodnom pokusu iznosilo samo 8 sekundi, što očito je bilo prekratko, bili su ovi naknadni uzorci zagrijavani u trajanju od 12,50 i 100 sekundi. Srednje vrijednosti rezultata od po 6 mjerenja na uzorcima jedne skupine prikazani su na sl.8.



Sl.8 Srednje vrijednosti rezultata mjerenja tvrdoće i žilavosti niskolegiranog alatnog čelika za pile zagrijavanog na temperaturi kaljenja u trajanju 12,50 i 100 skundi u ovisnosti o temperaturi napuštanja.

Jednoznačno se dade zaključiti da trajanje progrijavanja u svrhu kaljenja ne utječe, uz razne temperature napuštanja, na tvrdoću konačno toplinski obrađenih uzoraka. Nasuprot tvrdoći, žilavost je za temperature napuštanja iznad 200°C, znatno utjecana trajanjem zagrijavanja. Za slučaj napuštanja uzoraka na temperaturi od 375°C, uzorak zagrijavan u trajanju od 100 sekundi, pokazuje dvostruko veću žilavost od uzorka zagrijavanog 12 sekundi, pri čemu su im tvrdoće jednake.

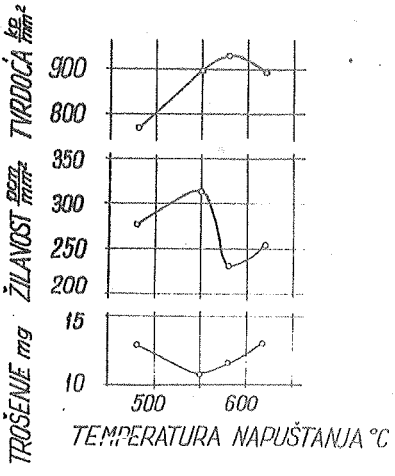
Slijedeća serija pokusa provedena je sa ugličnim alatnim čelikom Č.1940 (OC 100) kaljenim sa 770°C u vodi i raznovrsno napuštanim. Osim mjerenja tvrdoće i žilavosti na po barem 6 uzoraka iz svake skupine, bili su provedeni i pokusi trošenja na taj način da je mirujući uzorak bio tlačen na rotirajuću čeličnu osovinu tvrdoće 200 kp/mm^2 u trajanju od 15 minuta, nakon čega je određen gubitak težine. Brzina smicanja iznosila je 6 m/min. uz pritisak od 200 kp. Srednje vrijednosti rezultata ovih mjerenja prikazane su na sl. 9 grafički. Značajno je da uz temperaturu napuštanja od 220°C, tvrdoća ovog čelika opada za oko 200 kp/mm^2 a da mu pri tome otpornost prema habanju ostaje nepromjenjena. Isti uzorak pokazao je istovremeno oko 5 puta



Sl. 9 Srednje vrijednosti rezultata mjerenja tvrdoće, žilavosti i habanja čelika Č.1940 u ovisnosti o temperaturi napuštanja

puta veći iznos žilavosti u odnosu na nenapušteno stanje. Smanjenu otpornost prema trošenju za uzorke napuštene na 180° u odnosu na one napuštene na 150 i 220°C treba vjerojatno pripisati transformaciji tetragonalnog u kubni martenzit.

Zadnja izvedena skupina pokusa rađena je sa brzoreznim čelikom Č.6882 (BRW-2), također uz variranje temperature napuštanja. Temperatura kaljenja iznosila je 1280°C a hlađenje je bilo u ulju. Pokusi trošenja bili su provedeni također uz pritisak od 200 kp, s time da je prvih 5 min trajanja pokusa brzina iznosila 17,5 m/min a slijedećih 15 min povećana je bila na 35 m/min. Srednje vrijednosti ovih mjerenja prikazane su grafički na sl.10. Karakteristično je da krivulja trošenja ima minimum za temperaturu napuštanja od 550°C, kada je iznos žilavosti maksimalan a tvrdoća još nije dosegla najveći iznos. Uzorci napušteni na 580°C imaju najveću tvrdoću s tim da je žilavost već osjetno opala a isto tako je smanjena otpornost prema trošenju.



Sl. 10 Srednje vrijednosti rezultata mjerenja tvrdoće, žilavosti i habanja čelika Č.6882 u ovisnosti o temperaturi napuštanja

Zaključak

Prikazani rezultati analize mehanizma opadanja rezne sposobnosti listova pila, jasno pokazuju da je žilavost materijala alata značajan faktor za trajnost istih, koji zaključak se dade u manjoj ili većoj mjeri primijeniti i na ostale alate.

Pokazano je nadalje, da iznos žilavosti nekog čelika može biti bitno različiti uz inače jednaku tvrdoću, što ukazuje na potrebu da se pri odabiranju optimalnih uvjeta za toplinsku obradu nekog čelika, isti odrede kako obzirom na tvrdoću, tako i obzirom na žilavost, što je prikazanom metodom omogućeno.
Određivanja tvrdoće, žilavosti i otpornosti prema trošenju u ovisnosti o temperaturi napuštanja, provedena na nelegiranom ugljičnom čeliku i na brzoreznom čeliku pokazuju da maksimalna tvrdoća ne daje istovremeno i najveću otpornost prema trošenju. Kod ugljičnog čelika, pad tvrdoće od 200 kp/mm^2 uz ali znatno povećanje žilavosti, još ne uzrokuje smanjenje otpornosti prema trošenju. Kod brzoreznog čelika, najveća otpornost prema trošenju podudara se sa maksimalnom žilavosti a ne sa maksimalnom tvrdoćom. Ove konstatacije vrijede svakako samo za uvjete pod kojima su provedena mjerenja otpornosti prema trošenju.
Brojnija ispitivanja omogućila bi stvaranje daljnjih zaključaka o utjecaju žilavosti na trajnost alata.

L I T A R A T U R A

1. Bowden and Tabor: The Friction and Lubrication of Solids Part I 1954, Part II 1964.
2. Ranko Zgaga: Razrada nove metode određivanja udarne žilavosti krhkih metalnih i nemetalnih materijala, 1966. Rad finansiran od Republičkog fonda za naučni rad SRH.
3. Ranko Zgaga: Određivanje udarne žilavosti na sitnim uzorcima krhkih materijala. Strojarstvo 1962. br.3-4.

R. Zgaga

The Importance of Toughness for the Durability of Tools

Apart from hardness there are many other properties that are required from materials of cutting and other tools, one of them being toughness.
A study of cutting ability decrease of metal-cutting saws shows that the outwear of these saws is a contemporary process of numerous defects of teeth of varying magnitude as well as of continucus wear. The toughness of tool material will be of importance for both processes.
Results are given of hardness measurements and determining tonghness by the new method, for low alloy steel for saws, depending on the annealing temperature. The influence od heating period length for hardening purposes on toughness and hardness of the same steel is also shown.
The influence of annealing temperature, on hardness, toughness and wear resistance of non-alloy carbon steel Č.1940 as well as high-speed cutting steel Č.6882 is also shown.

Results are commented and followed by conclusions.

DISKUSIJA PRVOG DANA SAVJETOVANJA (saopćenje 1-8)

Inž. M. Š t e f a n a c, Beograd, postavio je pitanje o referatu prof. Stankovića "Stepen složenosti obrade": Kako utječe kvaliteta obrade na složenost obrade?

Prof. dr ing. S t a n k o v i ć, Beograd. Na složenost obrade utječu mnogi faktori. Pošto ovdje baratamo vremenskim faktorima, povećanje kvaliteta obrade zahtijeva i povećanje vremena. Na osnovu vremenskih elemenata može se definirati stepen složenosti obrade. Vremenski elementi uključuju sve utjecaje. U protivnom slučaju dobili bismo komplicirane formule sa mnogo korekcionih koeficijenata. Pomoću vremenskih koeficijenata dobivaju se mnogo realniji rezultati.

Inž. M. Š t e f a n a c, Ja bih se zadržao na predavanju, B.Milčića "Održavanje i modernizacija alatnih strojeva", pošto sam u svom poduzeću radio uglavnom na održavanju. Prije svega smatram da su tačne ove riječi koje je inž. Milčić u referatu rekao, t.j. da se održavanje kod nas tretiralo kao nužno zlo, međutim da sada održavanje sve više zauzima ono mjesto koje mu pripada u proizvodnji, pogotovo kada se radi o mašinama i kada se radi o automatizaciji na jednom višem stepenu. Jedan od većih problema u tom smislu, na koji se nailazi prilikom rješavanja održavanja, je pitanje planiranja održavanja. Uzimajući u obzir da je danas vijek mašine smanjen odnosno da iznosi 5 do 7 godina, specijalno kod mašina kod kojih se traži velika tehnološka tačnost, dolazi se do takve situacije da je planiranje nemoguće vršiti na osnovu nekih podataka koji se mogu naći u literaturi, odnosno određivati ciklus opravka na osnovu podataka iz literature, nego je potrebno da se ciklusi opravki određuju na bazi istrošenosti, na bazi habanja pojedinih dijelova. Inače dolazimo u situaciju da kada po planu mašina treba da se uzme u opravku, dijelovi koji su ugrađeni ili još nisu sazreli za opravku, ili su prije toga popravljani, tako da u stvari imamo jedan nesklad u istrošenosti dijelova koji su ugrađeni u mašinu. Međutim, podataka o istrošenosti elemenata mašina mi u literaturi (ja govorim sa stanovišta proizvodnje) ne možemo naći, pa smo primorani da se služimo nekim iskustvenim podacima do kojih smo došli tokom rada na održavanju. Ti podaci su veoma šturi i zbog toga bi bilo potrebno da se na ovakvim skupovima i to pitanje na neki način riješi. To je pitanje planiranja na bazi istrošenosti, na bazi habanja pojedinih dijelova mašina. Drugi problem koji se javlja u održavanju to je pitanje da li je potrebno da se prilikom remonta mašina dovede na onaj stepen tačnosti koji je imala nova mašina. Naime, proizvođač mašine je dao mašini određenu tehnološku tačnost, tako da je mašina mogla da eventualno radi recimo u toleranciji IT 5, IT 6, ili slično. Međutim, s obzirom da mašine obično kod serijske proizvodnje rade poslove jedne vrste koje obavljaju niz godina, postavlja se pitanje, da li je potrebno dovesti mašinu u istu tačnost u kojoj je ona bila kad je bila nova. Svakako da nije potrebno, nego da je tehnologija ta koja diktira tačnost koja je mašini potrebna. Na taj se način mogu bitno smanjiti troškovi održavanja. Ne samo da nije potrebno da mašina prilikom remonta dobije istu tehnološku tačnost, kao nova nego čak i pojedini elementi koji u procesu

proizvodnje nisu potrebni mogu da ostanu nepopravljeni, jer ih proizvođač mašine isporučuje bez obzira da li su potrebni ili ne.

U službi održavanja ima i nekoliko problema koje sam ja lično susreo, a o kojima je i sada bilo riječi. Bilo je ovdje nabačeno pitanje centralizovanog održavanja odnosno da sami proizvođači održavaju svoje mašine. Zamisao vrlo lijepa, zamisao koja ima svog ekonomskog efekta, ima svog tehničkog efekta, međutim u praksi to je po našem iskustvu prilično teško održivo.
Evo o čemu se radi:
Jedna fabrika mašina prilikom popravki svojih alatnih mašina svakako uzima u obzir svoje proizvodne mogućnosti za vršenje opravki i t.d. i neće se bazirati na potrebe pojedinih poduzeća odnosno na svoje kupce. Mi smo imali konkretan primjer: radi se o mašinama proizvodnje "Prvomajske" (ja mislim da su predstavnici "Prvomajske" tu). Kada smo željeli da vršimo generalni popravak strugova "Prvomajske", drugovi su veoma rado pristali da to urade i cijena nije bila u pitanju. Međutim, rokovi koje su drugovi dali za nas nisu bili prihvatljivi. Ne rokovi opravke nego rokovi kada su te mašine mogle da kod njih uđu u opravku. Tu je sad jedan sukob između proizvođača koji bi nama ponudio tu uslugu i nas koji želimo da koristimo tu uslugu. Drugi problem koji se javlja, to je pitanje modernizacije i male automatizacije koja se sprovodi u toku opravke. Svakako da je tu tehnička služba i tehnička priprema, koja na neki način diktira malu automatizaciju koja se obično vrši prilikom generalne opravke. Ali pri tome treba uzeti u obzir kako mi stojimo sa elementima koji su potrebni za vršenje male automatizacije, odnosno kako stojimo sa elementima za vršenje modernizacije strojnog parka. Ovdje je rečeno u čemu se sastoji ti elementi. Ti elementi su mikro-prekidači, cilindri za stezanje, uglavnom hidraulički i pneumatski pribor koji se nažalost kod nas ne može nabaviti. Te elemente koji su potrebni za modernizaciju i malu automatizaciju počinje da radi više poduzeća, međutim meni danas nije poznato gdje mogu da se nabave ti elementi potrebni za sprovođenje te modernizacije i male automatizacije. Tako je na primjer u svoje vrijeme poduzeće "Prva petoljetka" proizvodilo stezne čaure, obrtne cilindre, razvodnike, regulatore brzine i t.d. Te elemente "Prva petoljetka" danas više ne proizvodi. "Prva petoljetka" je proizvodila regulatore pritiska, a danas ih više ne proizvodi. Proizvodi ih "Vlado Bagat". Pitanje je dokle će ih i "Vlado Bagat" proizvoditi. Mi te elemente za malu automatizaciju i modernizaciju nismo mogli da nabavimo na tržištu. Ako danas želimo da kupimo najobičniji razvodnik za pneumatiku ili hidrauliku, pitanje je kolika je njegova cijena. Cijena hidrauličnog razvodnika iznosi danas oko 400.000.- dinara, a to je 1 1/2 kg čelika. Prema tome, to su elementi koji danas nama u proizvodnji nedostaju da bi na ovima problemima radili dalje, i da bi na taj način podizali produktivnost. Ovo su problemi s kojima se industrija susreće u praksi, i na kojima treba dalje raditi.

Prof.dr inž. M u r e n, Ljubljana. Ja bih htio nadopuniti kolegu i upoznati ovaj skup da Zavod za automatizaciju već dugo godina radi na razvoju hidrauličkih i pneumatskih elemenata i to jednog čitavog sistema, koji iz osnovnih elemenata može sastaviti bilo koji od tih

elemenata. Oni su u tome došli već tako daleko da su već svi potrebni prototipovi izrađeni, ali sada čitava ta stvar stoji jer ne nalaze proizvođača. Mislim da bi ljudi iz ovog skupa možda mogli nešto pridonjeti, ako ja ovaj skup upoznam s tom situacijom. Možda bi se ipak našlo nako poduzeće koje bi prihvatilo taj rad i počelo proizvoditi sve te elemente.

Prof.inž. B. B e n d e l j a. Ja sam želio da se osvrnem na dva pitanja iz prethodnih referata. Kolega Gornik nas je kao prvi referent upoznao s jednom vrlo interesantnom materijom. Na pitanje, kuda se krećemo u razvoju alatnih mašina on je dao dosta ilustracija i pokazao je činjenicu koja stoji, da se primjena obrade rezanjem uglavnom kreće u područje fine obrade, dok se kod grube obrade, sve više prihvataju metode plastične obrade. Ilustrirajući tu situaciju on nam je ovdje dao upoređenje strukture mašinskog parka SAD u 1945. i 1958. Tamo je bilo vidljivo da je učešće mašima koje rade plastičnom deformacijom poraslo za 10% u odnosu na 1945. Međutim, zapaža se jedan historijski fakt; naime 1945. mi smo imali u svijetu, koji je tada ratovao, jednu situaciju u strukturi industrije mašina koja je bila diktirana uslovima napregnute ratne proizvodnje, strogo dirigovane, pa je to svakako bilo u u metaloprerađivačkoj industriji SAD. Međutim 1958, bez obzira koliko su te poratne situacije imale povremene tendencije ka ratnim kretanjima (bilo je tih malih ratova), svakako nije bila proizvodnja koja je po strukturi odgovarala ratu. Ja ne bih mogao da dam jedan kvantitativan sud (to je problem jednog dubljeg istraživanja i ocijenjivanja) koliki je utjecaj strukture proizvodnje za koju znamo da je 1945. u prosjeku bila ratna proizvodnja, (a znamo što za rat treba - tenkovi, brodovi i kamioni), u odnosu na onu 1958. Ta struktura nije sigurno bila takva jer je utjecaj proizvodnje robe široke potrošnje bio mnogo veći. Ja ovdje, potaknut konstatacijom druga Gornika nabacujem ideju, da bi bilo interesantno, da se pozabavimo problemom: kako pojedini tipovi proizvodnje diktiraju strukturu postrojenja u zakonima savremene tehnologije. Svakako da zavisnost postoji ali na prečac se sigurno ne može reći kakva je. No vjerojatno možemo grubo reći da proizvodnja putničkih automobila s izradom njihovih karoserija u serijama kao u SAD izaziva sasvim nešto drugo nego proizvodnja topova, gdje znamo da je vrlo velik broj elemenata, čija je izrada uslovljena obradom skidanjem strugotine. Dakle, evo jednog prijedloga za temu za III savjetovanje. Drugo, kolega Milčić, a i kolega koji je prethodno diskutirao, dotaknuo je jedno vrlo ozbiljno pitanje sa spekta našeg tekućeg života u metaloprerađivačkoj industriji. Svakako postoji jedan interesantan problem u slijedećem:
Kod prosječno svih srednjih mašina alatki vrijeme do glavne revizije kreće se u prosjeku između 20 i 30 hiljada radnih sati. To odgovara vremenskom periodu koje je drug Milčić naveo (5 - 7 godina) što, posmatrano s aspekta života mašine koji možemo grubo procijeniti na oko 15 godina, povlači pitanje što je sa drugom glavnom revizijom mašine. Naime, mi znamo da u našim pogonima ima mašina koje su prešle 15 pa i 20 godina, znači da su morale da budu, ako su bile normalno održavane, podvrgnute i drugoj glavnoj reviziji. Međutim tu ima i ono pitanje koje je prethodni diskutant iznio. Pitanje neophodne

tačnosti mašine kod druge revizije. Kod prve još to nekako ide (to iz iskustva znamo). U eventualnoj drugoj reviziji su ti radovi povećani, troškovi povećani, pa se postavlja pitanje ekonomičnosti te druge revizije i za kakovu klasu tačnosti.

Mene bi lično interesiralo da li drug Milčić može dati o tome neke kvantitativne informacije, i drugo pitanje, kako stoji s našim današnjim dostignućima u sistematskom remontu, na koliko časova rada smo sveli prosječno glavnu reviziju u odnosu na časove potrebne za proizvodnju dotične mašine. Revizija je svakako jedna ekonomska kategorija; da vidimo što smo uložili, što smo dobili, i da nije možda slučaj da nas tri revizije koštaju kao dvije nove mašine. Mene bi te informacije jako interesirale.

Inž.B. M i l č i ć. Što se tiče generalne revizije tu postoji u svakom slučaju odgovarajuća računica. Naime, analiza stroja prije samog generalnog popravka je izvedena na taj način, da se stroj potpuno rastavi i uoči njegova dotrajalost. To se najčešće sprovodi kod druge i treće revizije. Kod toga je nužno provesti detaljnu analizu svih elemenata, njihovog istrošenja i obaviti odgovarajuću računicu. Taj stroj kod druge revizije najčešće dobiva karakteristike stroja, kako ga nazivamo, druge kategorije, znači eventualno za grubu obradu odnosno za obradu specijalno samo jednog zahvata. To znači, ukoliko postoji njegova prethodna univerzalnost, ona se onda svodi na obradu samo za jedan zahvat. Osim tih mogućnosti kod kvalitetnih alatnih strojeva, nakon druge revizije mogu se postići, uz upotrebu danas modernih sredstava za kompenzaciju istrošenja, odgovarajući kvalitetni strojevi prve klase i kategorije, a po proizvodnosti i kvalitetniji. Naime, tu bih napomenuo, da je ovdje danas veoma važna i efikasna primjena odgovarajućih obrada metalizacijom, kao i odgovarajućih elemenata od plastike i plastičnih masa i mogućnosti lijepljenja tih elemenata i uglavljivanja u postojeće elemente na samom alatnom stroju, koji izazivaju minimalne troškove, tako da je provođenje i druge revizije danas s uspjehom moguće. Ovdje bih naročito spomenuo da se druga revizija, možda čak i treća, provodi najčešće kod skupocjenih alatnih strojeva, koji su po svojoj vrijednosti prilično skupi. Možemo govoriti o teškim strojevima, o horizontalnim bušilicama, o odgovarajućim blanjama, brusilicama. Ovdje bih napomenuo da postoji i takova mogućnost provođenja tehnologije popravka, da se odgovarajući strojevi kao što su portalne blanje danas mogu efikasno pretvoriti u visoko produktivne portalne glodalice s najvećim stepenom kvalitete obrade. S druge strane, da se horizontalne bušilice i sva njihova istrošenja na ravnim vodilicama mogu veoma efikasno opravljati nalijevanjem odnosno nadopunom odgovarajućim plastičnim masama, a da se često (a to je i statistički dokazano) iz remonta velikog broja strojeva može konstatirati da su zupčanici, ukoliko su ispravno održavani (a to znači redovno i pravilno zamjenjivano ulje i održavana čistoća) gotovo neistrošeni. Prema tome, kapitalni djelovi se mogu vrlo efikasno oporaviti upotrebom plastičnih masa, zatim svi prenosni zupčanici i osovine kod urednog održavanja ostaju neistrošeni, pa ostaju samo oni manji elementi (razne ručice, poluge i odgovarajući uređaji za prebacivanje) koje treba popraviti, tako da s tog stanovišta posto-

ji odgovarajuća ekonomska računica, koja govori da se druga i treća revizija najčešće isplati na strojevima, čija bi zamjena zahtjevala od vlasnika prilično velika ulaganja. S druge strane može se postići jeftino popravljanje strojeva upotrebom modernih tehnoloških zahvata koje danas pruža obrada površine metalizacijom i kromiranjem, a naročito tvrdim kromiranjima kao i nadopunom s plastičnim masama.

Inž. B. G o r n i k. Drug Bendelja je tačno uočio kada je spomenuo da na podatke iz 1945. god. može imati izvjestan utjecaj period rata. To je tačno i podaci pokazuju da je neposredno prije II svjetskog rata učešće opreme za obradu deformacijom bilo čak nešto veće nego 1945. godine i to zahvaljujući specifičnim potrebama ratne industrije. Međutim, pošto su podaci koje smo mi imali na raspolaganju uglavnom datirali iz vremena poslije rata i pošto su nam tada podaci stajali na raspolaganju tek iza 1956., a kako se pokazalo s druge strane da su u kraćim vremenskim periodima varijacije dosta znatne, mi smo se poslužili onim podatkom iz 1945. godine samo za komparaciju. Općenito je bilo teško dati jednu kvantitativnu ocjenu zahvaljujući tome što je s jedne strane teško doći do podataka za čitavu svjetsku industriju, a s druge strane upravo zahvaljujući činjenici da je vremenski period, za koji smo podatke imali, relativno kratak i ne može dati jednu sigurnu kvantitativnu ocijenu. No, kvalitativna ocijena vrijedi, jer pokazuje bez daljnjega tendencu u pravcu kako je to bilo u referatu spomenuto. Pokazalo se da učešće opreme za obradu deformacijom raste, zahvaljujući utjecaju slijedeća dva faktora:
Prvo, ovaj se postupak obrade sve više razvija i pomoću njega se mogu dobivati sve veće i veće tačnosti. Obradom deformacijom se mogu proizvoditi sve tačniji djelovi i ona u posljednje vrijeme zadire i u područje završnih obrada, gdje daje dijelove tačnih dimenzija i gdje daje naročito visoku kvalitetu površine, koja po svojim karakteristikama ima i izvjesnih prednosti pred kvalitetom površine dobivenom postupcima obrade skidanjem strugotine. Drugo, učešće obrade deformacijom raste zahvaljujući povećanju nivoa masovnosti proizvodnje, gdje se relativno visoki fiksni troškovi koji se kod obrade deformacijom pojavljuju, dijele na veliki broj dijelova. Na taj način produktivnost ove vrste obrade, koja je mnogo veća nego kod postupaka obrade skidanjem strugotine, dolazi ovdje naročito do izražaja.

Inž. A. S o f r a n i ć, Beograd. Ja bih pozdravio izlaganje inž. Milačića kao i Štefanca koji su dotakli jednu temu koja je za našu privredu jako interesantna, a to je problem održavanja mašina. Mislim da je u jugoslavenskim tvornicama održavanje oblast koja je vjerojatno na najnižem nivou, jer je u najvećem broju jugoslavenskih tvornica kadar koji se bavi održavanjem, po pravilu nedovoljno stručan da u današnjim uslovima na modernim industrijskim principima izvrši dobar remont. Mogu da konstantiram da smo mi u našoj fabrici tek možda ove godine pristupili procesu metalizacije, procesu koji datira 20 do 30 godina unazad, i da smo recimo ovih dana pristupili eksperimentima sa ljepljenjem desuritnih ploča kao nadomjestka za klizne površine.

Mogu da konstatiram, da uslijed kratkoće tih eksperimenata nismo mogli

dobiti neke rezultate u pogledu stabilnosti i kvalitete, ali to ćemo imati za određeno vrijeme. Međutim, što se tiče ekonomskog efekta, on je izvanredan. Mislim da bi bilo dobro, da na slijedećem savjetovanju bude više referata iz oblasti održavanja mašina. Druga stvar je pitanje male automatizacije, koja se danas postavlja kao imperativ u našem daljem napretku. Međutim, mi svi primamo malu automatizaciju "široka srca" iako su uslovi za njenu primjenu u Jugoslaviji veoma teški. Kod nas ima veliki broj instituta koji se bave malom automatizacijom i dosta velik broj poduzeća proizvodi elemente za malu automatizaciju, ali danas je problem nabavke elemenata za malu automatizaciju često nerješiv.
Prema tome, mi u našoj situaciji, kada su naša investiciona ulaganja vrlo ograničena, a kada se povećanje produktivnosti mašine postavlja kao imperativ, jedino rješenje vidimo u primjeni male automatizacije. Međutim, s obzirom na nedostatak tih elemenata, a često i na njihovu skupoću - samo radi usporedbe navodim da hidraul. razvodnik jednog našeg poduzeća košta oko 600.000,- din, a za tu se svotu mogu dobiti oko tri FIAT-ova motora - njihova je primjena veoma otežana. Možda bi bilo dobro da ovo savjetovanje dade neku preporuku da se pristupi izradi tih elemenata za malu automatizaciju. Sitni elementi (na pr. gumene manžetne za cilindre) nisu standardizirani po JUS-u i ne mogu se dobiti na tržištu kao standardizirana roba. To su sitni elementi, koji međutim u globalu prave velike poteškoće kod primjene male automatizacije. Smatram, da bi bilo dobro da na idućem savjetovanju teme male automatizacije više zastupljene, ali sa strane praktičke primjene.

Inž. F. K o v a č i ć, Zagreb. Jutros nam je drug Đurašević dao zgodan prikaz kako da postignemo veću tačnost sklopa uz relativnu netačnost elemenata. Bilo bi zanimljivo čuti, da li postoji neka ekonomska analiza, koja bi pokazala da se to i isplati sprovesti. Mi danas u serijskoj proizvodnji imamo samo kontrolu s graničnicima "ide-ne ide". Kod njegovog principa trebalo bi provesti stopstotna mjerenja svakog elementa, a to bi poskupilo proizvodnju. Zanima me da li postoji neka studija koja bi pokazala da li bi se to isplatilo ili ne. Danas sam ovdje čuo mnogo mišljenja o održavanju stroja, pa bih htio napomenuti ekonomsku stranu ovog problema. U jednom pogonu tvornice "Rade Končar" počela se pred 3 godine provoditi preventiva jednim vrlo trivijalnim načinom; počelo se stimulirati radnike koji rade na održavanju premijama, koje su bile ovisne o satima stajanja. Te godine bilo je na 70 strojeva oko 450 sati stajanja na mjesec. Nakon uvođenja ovakove stimulacije taj broj sati smanjen je na oko 150 mjesečno, dakle na 1/3, s minimalnim ulaganjem na premije radnicima. Mislim da bi o ovome također trebalo voditi računa u našem budućem radu.

Prof.dr inž.A. Đ u r a š e v i ć, Zagreb. Postavljena pitanja veoma su interesantna. Moja izlaganja koja su se odnosila na dosjed vrijede sasvim generalno i općenito, bez obzira da li se radi o steznim spojevima, o zračnosti, ili o bilo čemu drugom, na pr. da li se radi o jednom paru zupčanika i razmaku osi ili nečem drugom. Stvari su potpuno jednake i bez daljnjega se mogu primjeniti, no čini nam se

da će uskoro doći do prvih primjena na tom području. Poteškoća koju je kolega iz "Rade Končara" naveo čini se da postoji. Činjenica je da mi danas u proizvodnji mjerimo kalibrima i konstatiramo da ide ili ne ide, da li se dio nalazi u području dozvoljenog odstupanja ili ne. Šteta je da se cijela industrija orijentirala na ovakav način mjerenja, jer se s druge strane može pokazati da su informacije, koje nam donosi ovakav način mjerenja, ravne nuli, i da je neugodna posljedica upravo tih mjerenja najveće moguće rasipavanje (princip apsolutne zamjenjivosti). Sve neugodnosti iz toga slijede. Ako želimo dva puta manju zračnost ili stezanje u sklopu onda moramo uzeti isto tako manje tolerance za sastavne dijelove, a to košta kod malih tolerancа ne dva puta više, nego nekoliko puta više. Mi smo već došli dotle da radimo s tolerancama reda veličine 10 mikrona, a ako to smanjimo na 5 mikrona, onda su troškovi znatno veći. Zato bih rekao, da izgleda da se ponovo vraćamo na mjerenje dimenzija. U proizvodnji i danas već postoji mjerenje dimenzija u apsolutnim veličinama jer jedino tako dobivamo veću količinu informacije pa možemo postići i neki bolji rezultati, a za nas je bolji rezultat jednoličniji sklop. Za sada se može pokazati da, ako pokušamo ostvariti isti dosjed na dva različita načina (jedan je mjerenjem i onda programiranim sklapanjem, i drugi, tačnijom obradom pa sklapanjem nasumce), onda je očito da je programirano sklapanje daleko jeftnije, ako se radi o malim dozvoljenim odstupanjima. Kod velikih dozvoljenih odstupanja uopće nema problema. Osim toga, treba reći da danas ima već cijeli niz industrija u kojima se i tako mjeri svaki komad. Uzmimo onaj primjer koji je već bio negdje drugdje obrađen, problem kugličnog ležaja, gdje se i tako mjere svi ležajevi. Automatski se mjeri vanjski u nutarnji prsten i kuglice, a interesantno je da se ni tamo još ne koristi ono o čemu sam prije podne govorio, a mogli bismo dobiti puno jednoličnije sklopove. Tu bismo mogli ukazati na jednu drugu uštedu, o kojoj ne možemo danas govoriti, a to je ušteda koja bi se ostvarila u vezi s održavanjem.

Naime, ako uspijemo ostvariti jednaki dosjed sklopova, od svih sklopova izrađenih u jednoj seriji možemo očekivati da će se jednako ponašati u upotrebi, pa će im i vijek upotrebe biti puno jednoličniji nego danas. Čini mi se da bi se u održavanju moglo puno pomoći jednoličnijim vijekom i puno boljim predviđanjem duljine trajanja nekog sklopa i njegovog ponašanja, jer onog časa kada smo recimo svim ležajevima dali istu zračnost, a dajemo im isto mazivo, možemo od njih u sličnim uvjetima očekivati vrlo slično ponašanje. Danas nije takva situacija. Danas ti isti ležajevi, baš zato što ne poznamo dimenzije, a dajemo im isto mazivo, (dok jedan ima zračnost 10, a drugi 40 mikrona) ne mogu imati jednake uvjete eksploatacije, i to je razlog više zašto dolazi do povećanih varijacija u vijeku trajanja. Vjerujem da ćemo se još koji put sastati i raspravljati o ovoj temi. Ja bih upozorio na neke druge stvari koje mi se ovog časa čine interesantnima, a to je problem održavanja, koji tretiramo kao da neki stroj želimo održati što duže, pa se dešava da se neki strojevi i čitava postrojenja održavaju 100 i više godina. Danas je više puta istaknuto, da je vijek upotrebe sve kraći, da su otpisi svedeni na sve kraće vrijeme, i sada je ovdje očit jedan krupan nesklad: s jedne strane održavamo strojeve vrlo dugo, a s druge strane tražimo da vijek upotrebe bude kraći.

Ako je vijek kraći, treba ga završiti a ne umjetno produžavati. Čini mi se kada bismo uzeli u obzir sve elemente koji su odlučujući, a to su s jedne strane početne investicije i troškovi eksploatacije a s druge strane korist koju donosi pojedini stroj, da generalni remont ili male automatizacije ne bi mogli utjecati da produžimo vijek upotrebe takvog stroja, zato što smo ulaganjem u generalni remont samo znatno povećali do sada stvarne troškove s tim strojem. A da li ćemo srazmjerno povećati korist koju će taj stroj donijeti? Ja mislim da ne ćemo. Čak mi se čini da će zbog zastarjelosti stroja ukupna korist čak i postepeno opadati. U svakom slučaju trebalo bi razmisliti, ako već dolazi do automatizacije stroja, u kojem se trenutku to smije dogoditi. Imam dojam, a neka moja istraživanja to i potvrđuju, da do remonta dolazi kada troškovi eksploatacije počinju naglo rasti, kada troškovi eksploatacije počinju naglo rasti, kada dolazi do istrošenja, čestih zastoja i slično. Međutim, to je već period kada je po svim kriterijima vijek takvog stroja završen i kada je stroj već prešao svoj maksimum; već ga je vjerojatno prije trebalo izraziti i baciti u staro željezo. Za ilustraciju bih naveo da brod koji je odslužio svoje neće nitko remontirati kao što mi činimo sa strojevima. Kada brod odsluži svoje on se izreže u staro željezo. No pošto smo mi jako štedljivi ljudi, čini nam se da je šteta izbaciti ovakav stroj, izrezati ga ili razbiti, pa se javlja problem kako upotrijebiti elemente koji su još sposobni za rad i kako regenerirati sav taj materijal.

Meni se čini da će nas ovo savjetovanje prisiliti da uskoro počnemo razgovarati ne o proizvodnom strojarstvu, nego o problemima eksploatacije i regeneracije strojeva i mehanizama. No to je oblik strojarstva o kojem je do sada bilo malo govora. Mi smo danas čuli neka interesantna izlaganja o razvitku i tendencijama razvitka alatnih strojeva i strojeva uopće, pa bih te stvari međusobno povezao. Zaključak da se alatni strojevi razvijaju prema sve većoj tačnosti je u redu, on je međutim samo sada ispravan a u budućnosti će razvitak ići u pravcu tačnosti geometrijskog oblika strojnih dijelova i prema kvaliteti površine, pri čemu ne mislim samo na hrapavost, nego i na stanje površine u pogledu naprezanja. Izlaganja o naprezanjima pomoći će nam u razgovorima o naprezanjima u površinskom sloju materijalu, i na kraju ćemo morati razgovarati o alatnim strojevima sa stanovišta drugačije kinematike nego je oni danas posjeduju. Ako promatramo razvoj alatnih strojeva, moramo konstatirati da se njihova kinematika nije bitno promijenila od prvih početaka do danas. Oni se i dalje izgrađuju na istim principima na kojima su i postavljeni. Kada bušimo rupu, mislimo da to bezuvjetno mora biti svrdlo određenog promjera kao što je rupa koju ćemo izbušiti. Imam dojam da bi se u promijenjenoj kinematici moglo mnogo više učiniti, i da bismo mogli očekivati alatne strojeve sasvim druge vrste i drugog oblika. Ako to povežemo s održavanjem o kojem sam govorio, onda mi se čini da ćemo morati u bliskoj budućnosti razmišljati o alatnim strojevima drugog tipa i oblika i sa drugom namjenom, koja više neće biti postizanje tačne dimenzije, pošto dimenzija nije više interesantna, jer se pokazalo da možemo postići isti dosjed i sa netačnim dimenzijama, nego se ovdje javlja problem geometrijske tačnosti, koja je mnogo važnija za ispravno fun-

kcioniranje strojnih elemenata, jer osovina će ispravno funkcionirati ako ima odgovarajuću zračnost i mazivo i ako dosjed površine bude ispravan, a to znači tačan geometrijski oblik osovine i ležaja. Završio bih svoje izlaganje time, da mi se čini da još uvijek nedostaje jedan solidan kriterij, koji će biti širi od onih o kojima smo do sada razgovarali. Vjerojatno to nisu kriteriji vremena izrade ni kriteriji uloženih sredstava i čini mi se da ćemo morati posegnuti za nekim kriterijima koji zadiru u živi i minuli rad i razgovarati o nekim drugim odnosima i veličinama koje će možda pokazati da se naši današnji zaključci ili dosadašnji zaključci o tome, da bi trebalo nešto učiniti ili ne, onoga trenutka mijenjaju i da moramo konstatirati, da smo često činili greške, to jest donosili suboptimalna rješenja.

Prof.dr inž.R. Z d e n k o v i ć, Zagreb. Osvrnuo bih se s dva pitanja na predavanje prof. Musafije, i to u slijedećem: Da li su u ispitivanju u laboratoriju vođena i ispitivanja utjecaja brzine deformacije na proces deformacije i na osobine materijala, jer je poznato da jedan materijal koji je potpuno plastičan pri povećanim brzinama postoje elastičan i na kraju krt, i da je upravo utjecaj tih brzina mjerodavan za drugo vladanje materijala i drugu plasticitetnu mehaniku prigodom obrade rezanjem. To je jedno pitanje, a drugo pitanje je, da li su vršena ispitivanja da bi se pronašlo koja od teorija loma (kojih ima više, a najčešće se služimo sa dvije, koje imaju različite odnose između smičnog i vlačnog naprezanja, po Morovoj od 0,5 a po drugoj 0,57) najbolje odgovara stvarnosti, t.j. koji od ova dva omjera najbolje odgovara našim materijalima i proračunima.

Prof.dr inž.B. M u s a f i j a, Sarajevo. Želio bih da ukažem koliko je prvo pitanje kompleksno. Ja sam u izlaganju naglasio, da je specifični deformacioni otpor kompleksna funkcija, stepena, brzine i temperature deformacije i izražavajući se matematski jedino totalni diferencijal, koji predstavlja sumu parcijalnih diferencijala po temperaturi, brzini i stepenu deformacije može dati realnu sliku onoga što se dešava u samom materijalu. Mi danas vršimo ispitivanja i kod njih smo ograničeni raspoloživom opremom. Jasno, da na normalnim mašinama za mehaničke probe mi ne možemo vršiti ispitivanja utjecaja brzine deformacije, tako da se ograničavamo na ispitivanje utjecaja stepena deformacije s jedne strane pri hladnoj obradi, a s druge strane, imamo mogućnost uvođenja temperature kao varijable. Međutim, što se tiče brzine deformacije, veoma su interesantne i teoretske i eksperimentalna dostignuća u svijetu. Ako uzmemo klasičan primjer presovanja istiskivanjem, koje danas spada u područja s veoma strogim izradnim tolerancijama gdje tolerance reda veličine 3-5 stotinki ne predstavljaju problem, ovdje su vođene polemike da li je pogodnije raditi s većim brzinama deformacije i laički rečeno, dozvoliti materijalu da dođe do odgovarajućih očvršćavanja, do povećanja specifičnog deformacionog otpora ili raditi s manjim brzinama deformacije i na taj način poboljšati plastičnost materijala i olakšati proces obrade. Istraživanja su išla i u jednom, i u drugom pravcu. Međutim, utjecaj brzine deformacije posebno je obrađen u SSSR u velikim eksperimentalnim institutima koje sam imao prilike da posjetim. Danas već,

brzina deformacije utječe ne samo na promjenu strukture materijala, ne samo na deformacioni otpor, nego i na stepen kontaktnog trenja. Problem kontaktnog trenja kod obrade plastičnom deformacijom je mnogo važniji nego što se čini. U mašinskim sklopovima imamo par koji rade u plastičnom području, pa možemo govoriti i o koeficijentu kontaktnog trenja.

Kod problema obrade plastičnom deformacijom imamo par elemenata koji se deformiraju različito: s jedne strane imamo izradak koji se deformira elastično. Brzine deformacije su pokazale, da i naše predstave o kontaktnom trenju u plastičnoj deformaciji više nemaju svoju realnu osnovu. Tako na primjer, ako se vrši sabijanje cilindra, dolazi do deformacije bokova, tako da dobivamo bačvast oblik. U SSSR-u su vršeni eksperimenti sa velikom brzinom deformacije koje su iziskivale konstrukciju specijalnih presa isključivo namijenjenih za tu svrhu a zatim se išlo tako daleko da se te brzine nisu mogle postići odgovarajućim kinematskim mehanizmima, pa se deformacije vrše eksplozijom. Uređaj izgleda relativno jednostavan, a radi na istom principu kao i top. Vršeni su snimci reda veličine od 5 - 7 hiljada u sekundi. Kod tako velikih brzina deformacije, pri minimalnoj obrađenosti radnih površina bez ikakvog mazanja, dakle kada bi se očekivalo da će koeficijent kontaktnog trenja biti maksimalan, pokazalo se da do kontaktnog trenja nije praktički ni došlo. Želim samo da ukažem da je ovaj problem ispitivanja pri velikim brzinama zaista veoma aktuelan i akutan, i da ćemo mu i mi morati, u granicama naših mogućnosti, posvetiti punu pažnju. Drugo pitanje se odnosi na problem hipoteza. Znamo da je taj problem star već gotovo čitavo stoljeće. Međutim, puni razvoj je doživio tek u posljednje vrijeme i nadopunjen je izvjesnim eksperimentima a postoje i različite teorije i mišljenja. Danas možemo, isključivo, reći, da sve ove hipoteze o plastičnom tečenju kod plastičnih materijala, izuzev dvije, imaju svoju historijsku vrijednost (n pr. hipoteze najvećeg normalnog napona, hipoteza najveće normalne deformacije, najveće deformacione energije, itd. jer su čak i logička rasuđivanja dokazala da te hipoteze više ne ostaju. Ne bih mogao reći sa aspekta konstrukcije dijelova, ali sa aspekta tehnologije, premda tu postoji izvjesna analogija, danas najveći značaj pridajemo energetskoj hipotezi, koju sam iznio u izlaganju i hipotezi najvećeg oktaedarskog napona, iz razloga što hipoteza najvećeg smicajnog napona govori samo o razlici između najvećeg i najmanjeg napona. Međutim, o trećem glavnom naponu ova hipoteza ne kaže ništa. Svi naši realni procesi odigravaju se u stanju prostornog naponskog stanja, kada je element napregnutog tijela opterećen sa tri napona. Ono su samo naše aproksimacije, koje sam i ja danas naveo, t.j. ravinsko deformaciono stanje, jer matematski mehanizam rješavanja još nije u mogućnosti da to riješi onako kako bi trebalo, znači sa aspekta prostornog naponskog stanja. Dolazi se otprilike do sistema od 15 diferencijalnih jednadžbi, tako da ni matematičari nisu u stanju da to riješe. Energetska hipoteza vodi računa i o srednjem naponu i u tome i leži njena prednost. Međutim, ovdje se opet javlja pitanje tretmana: kada se te hipoteze koriste, se ne smiju primjenjivati bukvalno; ni kada upotrebljavamo te

hipoteze, aproksimiramo u neku ruku komponentne napone sa glavnim naponima, da dolazimo da klasičnog izraza pod korijenom. Mi smo u neku ruku zanemarili utjecaj tangencijalnih komponentnih napona, a komponentne normalne napone pretvorili smo u glavne napone. Jasno, taj metod nosi naziv, s kojim se ja nisam nikad slagao, "inženjerski metod"; baš zato što odstupa od egzaktnog i teoretskog metoda; ja sam bliži pristalica da taj metod označimo kao metod srednjih glavnih napona, jer s njim aproksimiramo realno stanje sa onim stanjem koje je za matematsku interpretaciju daleko lakše. Znači, ne vodeći računa o tim tangencijalnim naponima mi unosimo izvjesne greške u te proračune. Metodologiju tih grešaka je razradio akademik Ungsov u SSSR, i možemo reći da je toj stvari posvetio svoj život. Zaključujući prema njegovim istraživanjima, koja su potvrđena, više ne možemo govoriti,da li je ta energetska hipoteza dobra za svaki materijal. Eksperimenti, koje je on vršio sa čelicima,mesingom i aluminijem, pokazuje izvjesna odstupanja, pozitivna ili negativna, i on daje kriterij kada su te aproksimacije dopustive, a kada ne. Nažalost, i ovako egzaktnim postavkama, kao što su postavke teorije plastičnosti, koje sam ja pokušao izvesti u prvom dijelu referata, pokazuju, da bez eksperimentalne potvrde nemaju svoje realne osnove, odnosno da se i za ono, što nam se do sada činilo kao univerzalno za sve materijale i uslove obrade, to više ne bi mogli reći. Znači, eksperiment je nužan i potreban. Nažalost, naše željezare nam isporučuju materijal bez podataka o njegovom ponašanju, kao i prije 30 godina, znači, željezare daju samo ono što je za njih interesantno,t.j. stanje u isporuci, a kako će se taj materijal ponašati dalje to se prepušta kupcu. Međutim, u savremenom svijetu daju se podaci koji daju realnu sliku ponašanja materijala. Prema tome, za taj materijal, pored klasičnih podataka, dobivenih mehaničkim ispitivanjima, morali bismo imati podatke o promjenama specifičnog deformacionog otpora u zavisnosti od temperature, stepena i brzine deformacije i adekvatne korekcije, ako primjenjujemo jednu od danih hipoteza, odnosno potrebne su nam i odgovarajuće smijernice za primjenu tih hipoteza.

Prof.dr inž.I. H e r c i g o n j a, Zagreb. Ja bih se dotakao problema, koji je bio potaknut izlaganjem prof. Đuraševića i pitanjima u vezi s tim, a to je problem izmjenjivosti. Kod izmjenjivosti moramo najprije postaviti dva pitanja: da li je nama uvijek potrebna apsolutna zamjenjivost ili je dovoljna i relativna. U praksi nam je neophodno potrebno i jedno i drugo. Na pr. ako predstavimo kuglični ležaj, onda oni elementi koji se montiraju u kuglični ležaj, a koji se onda prodaju kao kompletan kuglični ležaj, mogu biti relativno izmjenjivi,i firma koja ih sastavlja može se u potpunosti služiti svim izlaganjima prof. Đuraševića. Tu su nam naročito korisni njegovi daljnji izvodi, koji nam pokazuju kako se mogu matematski postići vrlo dobri rezultati s vrlo širokom tolerancama u takvoj produkciji. Međutim to su stvari, koje se recimo u nekoj produkciji, na pr. u Göteborgu mogu vidjeti u primjeni. Isto tako kad danas izvjesne firme koje proizvode automobile, više ne isporučuju izvjesne detalje, nego zamijenjuju cijele motore itd. Dakle, tu se potupno može koristiti raspored i varijacije. Čim dolazimo do dijelova ili skopova koji

moraju biti apsolutno izmenjivi, na pr. matica i ključ, ili kuglični ležaj, moramo pretpostaviti postojanje apsolutne zamjenjivosti. Ako usporedujemo u prirodi, vidjet ćemo da je kod nekih stvari apsolutna zamjenjivost nemoguća, nego postoje neke tolerance, koje su široke zato što svi materijali koje priroda koristi imaju izvjesnu elastičnost (što kod nas ne dolazi u obzir), tako da mogu da se zamjenjuju u vrlo širokim tolerancama i mogu iskoristiti sve varijacije. S druge strane moramo uzeti u obzir elemenata koje mi imamo u strojarstvu, nema u prirodi, nema ležaja i osovine. Priroda takve stvari postavlja na drugi način. To su rotacije svemirskih tijela, koje se drže silama na daljinu. Dakle, ako ćemo i mi jednog dana praviti umjesto ovih ležajeva ležajeve u kojima će se osovina držati u sredini ne posredstvom maziva, nego će se moći držati pomoću određenih sila, onda će nastati sasvim drugi odnosi, a možda će se jednom u budućnosti i tako nešto razviti. Dakle zbog toga mislim, da kada govorimo o toj ekonomičnosti, moramo uzeti u obzir dvije stvari: potrebu apsolutne i relativne zamjenjivosti i prema tome svagdje gdje dolaze dijelovi koji se koriste na mjestu gdje se proizvode, odnosno gdje postoji striktna veza između korisnika i proizvođača, tome se može u potpunosti koristiti sve ono što je iznio drug Đurašević.
Dotakao bih se još [illegible]pitanja remonta. Mi danas u proizvodnji tražimo usljed sve bržeg zaradjivanja da se skrati vijek trajanja, ali kod toga ne smijemo zaboraviti da ovdje nastupa jedna druga stvar i da ćemo mi opet, oponašajući prirodu doći do sličnog stanja u proizvodnji, da ono, što ima najkraći vijek, moramo producirati u savršenom stanju. To je i put današnje proizvodnje, jer onaj artikl čija je funkcionalnost najkraćeg vijeka mora biti precizno izrađen, kako bi mu funkcionalnost bila maksimalna. Ako gledamo perspektivno kamo ide naša produkcija vidimo da ona traži najjeftinije metode za postizanje maksimalne funkcionalnosti.
Moramo otkriti najjeftiniji način za postizavanje finih površina, finih tolerancija itd., jer to je put kojim ide cijela proizvodnja.
Pri tome ne smijemo zaboraviti da se materijali mijenjaju i da će one što je danas tipični materijal na mnogim mjestima vjerojatno biti zamijenjeno nečim drugim. Mi smo danas svjedoci revolucije u strojarstvu u kojoj se paralelno mijenjaju materijali, a usljed toga i metode obrade i preciznost, a funkcionalnost dostiže sve veći stepen. Ovo stanje moramo neprestano pratiti u proizvodnji.

DISKUSIJA DRUGOG DANA SAVJETOVANJA - (grupa A)

B. K o s t i ć, suradnik Instituta za alatne strojeve, Zagreb.

Jedna od tema savjetovanja je ispitivanje aletnih strojeva, pa bih želio da sudjelujem sa koreferatom po tom pitanju. Govoriti ću o TEORIJSKIM OSNOVIMA UDARNOG ISPITIVANJA ALATNIH STROJEVA.

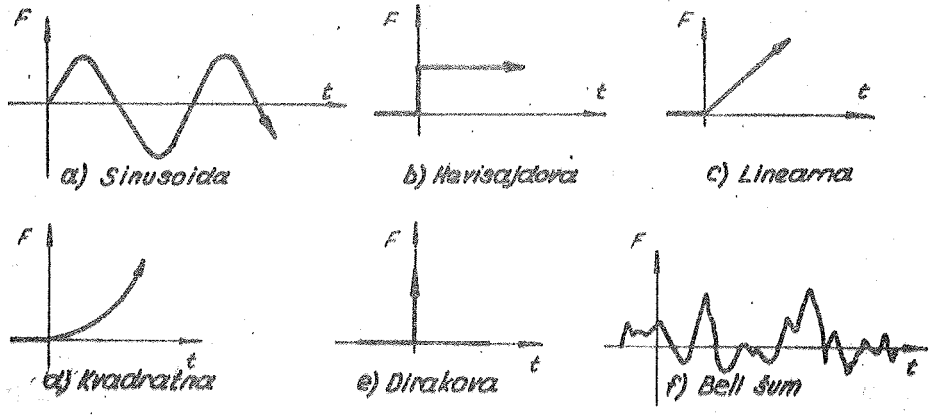
1. Uvod

Ispitivanje jednog linearnog mehaničkog sistema za koji prema tome vredi princip superpozicije sila, je proces u kome se pojavljuju

tri veličine:
1. pobudna sila
2. karakteristika sistema
3. odzivka deformacije ili pomeraj

Kod ovih sistema ove tri veličine su zavisme, i poznavajući bilo koje dve uvek se može odrediti treća. Ispitivanje se sastoji u tome da se primeni neka pobudna sila, da se izmeri nastala deformacija po vremenu, i na osnovu ovih dvaju podataka odredi treća, tj. karakteristika sistema.

Predmet savremenog istraživanja na ovom području je pronalaženje pogodnog oblika sile pobude, kako sa gledišta jednostavnosti proizvođenje sile, tako i sa gledišta što jednostavnijeg određivanja karakteristike sistema na osnovu nastalih deformacija.

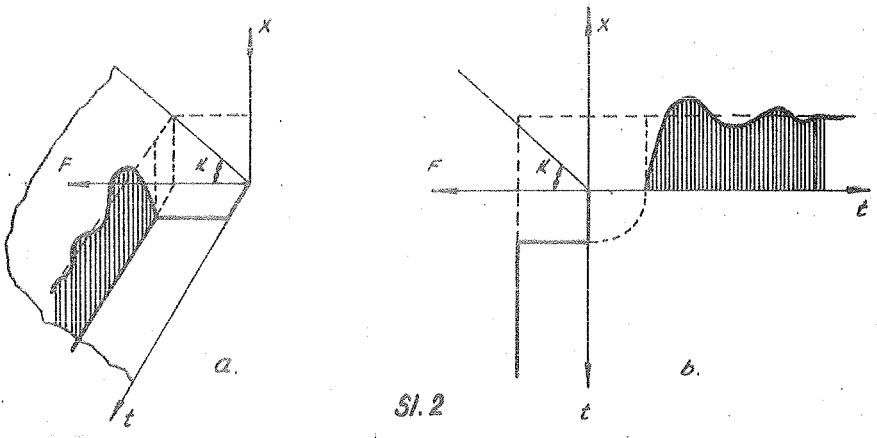


Sl. 1

Na slici 1 dati su oni najčešće primenjivani oblici pobude koji se primenjuju pri ispitivanju fizičkih sistema. Pri ispitivanju alatnih strojeva danas se skoro isključivo primenjuje oblik sinusoide. Ovaj postupak karakterišu skupi uređaji za ispitivanje, dugo vreme trajanja samog ispitivanja, ali i velika preciznost.

Hevisajdova funkcija ima prednost zbog jednostavnog tumačenja odziva, ali je u slučaju mehaničkih sistema nepogodna zbog teškoća proizvođenja sile tog oblika. Nadalje, linearne i kvadratne funkcije nemaju izrazite prednosti u tumačenju odziva a isto kao i Hevisajdovu, teško ih je proizvoditi. Ispitivanje nekih sistema kao na primer kemiskih procesa sa belim šumom ima prednost u tome, što se ne mora zaustavljati normalni tok procesa. Uređaji su veoma složeni i skupi ali u slučaju skupih kontinuiranih procesa ipak najrašireniji postupak. U slučaju alatnih strojeva ne uvidam razlog primene belog šuma. Na kraju ostaje Dirakova funkcija za koju vidim velike prednosti primene na alatnim strojevima i zbog toga ja predlažem da se primenjuje pri ispitivanju alatnih strojeva. U literaturi nisam pronašao da se primenjuje u ispitivanju alatnih strojeva pa bi u ovom izveštaju izneo

teoriske osnove njene primenje.
Na početku bi htio prethodno da istaknem jednu razliku između pojmova statičkog i dinamičkog ponašanja alatnih strojeva. U tu svrhu neka posluži slika 2,a),b).



Sl. 2

Alatni stroj je jedan mehanički sistem koji je prema tome karakteriziran sa tri fizikalne veličine: elastičnošću, masom i unutrašnjim trenjem. Statičko ispitivanje je ustvari merenje koeficijenta elastičnosti stroja u odabranim smerovima delovanja sile rezanja. Koeficijent elastičnosti je jedan broj i on određuje nagib jedne prave linije sl. 2. Međutim, pošto proces rezanja nije statički proces nego jedan proces u kome se stalno menja sila rezanja to poznavanje statičkog ponašanja alatnih strojeva nije dovoljno da se shvati radno ponašanje strojeva. Za prikazivanje dinamičkog ponašanja alatnih strojeva, koje je merodavno za tumačenje radnog ponašanja, nisu dovolje samo dve koordinate F i x nego i treća t. Dinamičko ponašanje prema tome nije određeno jednim brojem već jednom vremenskom funkcijom. Pošto je Dirakova funkcija na određen način najelementarnija funkcija, odziv sistema na nju je dinamička karakteristika sistema.

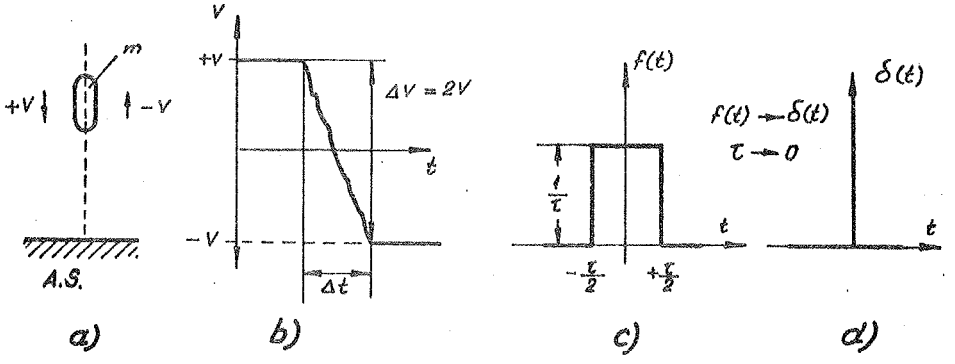
2.1. Proizvođenje sile u obliku Dirakove funkcije

Sila u obliku Dirakove funkcije se veoma lako može proizvoditi elastičnim ili plastičnim sudarom jednog stvarnog tela sa alatnog stroja, slika 3a. Telo mase m se sudari sa odabranim mestom na alatnom stroju kada se brzina smanji sa + V na nulu, zatim promeni smer kretanja i napusti mesto sudara sa brzinom skoro jednakom, ali suprotnog smera - V sl. 3b.
Promena količine kretanja jednaka je impulsu sile.

$$m\Delta V = F_s \Delta t \qquad (2.1)$$

$$\Delta V \cong 2V \qquad (2.2)$$

$$F_s \cong \frac{m2V}{\Delta t} \qquad (2.3)$$



Sl. 3

Ako sila traje dovoljno kratko u odnosu na vreme odziva, onda se ona može prikazati Dirakovom funkcijom, slika 3c.

2.2. Frekventni spektar Dirakove funkcije

Pošto nema beskonačno kratkih impulsa realno, neophodno je proučiti koliko mora biti katkrotrajan impuls pa da bude primenljiv. Prema sl. 3d,c, Dirakova funkcija se može definirati kao funkcija koja se dobija kao limes jedne kvadratične funkcije ako $t \to 0$.

$$\delta(t) \triangleq \lim_{\tau \to 0} f(t) \tag{2.4}$$

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \delta(t) = 1 \tag{2.5}$$

Pošto je ova funkcija neperiodska, frekventni spektar joj je kontinuiran i može se dobiti primenom Furijeove transformacije

$$\mathcal{F}[f(t)] \triangleq F(j\omega) = \int_{-\tau/2}^{+\tau/2} \frac{1}{\tau} e^{-j\omega t} dt = \frac{1}{\tau} \int_{-\tau/2}^{+\tau/2} (\cos\omega t - j \sin\omega t) dt =$$

$$= \frac{1}{\tau} \int_{-\tau/2}^{+\tau/2} \cos\omega t \, dt = \frac{1}{\tau} \frac{\sin\omega t}{\omega} \Big|_{-\tau/2}^{+\tau/2} = \frac{1}{\omega\tau} \left(\sin\omega\frac{\tau}{2} + \sin\omega\frac{\tau}{2}\right) = \frac{\sin\frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} \tag{2.6}$$

$$\mathcal{F}[\delta(t)] = \lim_{\tau \to 0} F(j\omega) = \lim_{\tau \to 0} \frac{\sin\frac{\omega t}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} = 1 \tag{2.7}$$

Jednadžba 2.7 pokazuje da Dirakova funkcija ima potpuno ravnomeran frekventni spektar što znači da ima sve frekvencije i da su sve amplitude jednake i jednake jedinici. Realni impulsi imaju frekventni spektar koji odgovara jednadžbi 2.6 a prikazan je na slici 4. Ako se uzme da je za ispitivanje alatnih strojeva dozvoljeno da spektar opadne za samo 20% na najvišim frekvencijama dakle iznad 500 Hz, onda širina impulsa mora biti manja od:

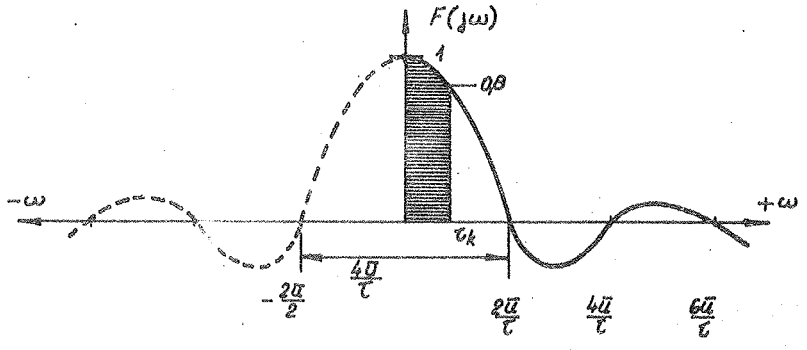
$$\frac{\sin\frac{\omega\tau}{2}}{\frac{\omega\tau}{2}} = 0{,}8 \qquad (2.8)$$

$$\frac{\omega\tau}{2} = 0{,}234 \qquad (2.9)$$

$$\omega_k = 3140\ (rad/sec) \qquad (2.10)$$

$$\tau \leq 0{,}15\ m\,sec \qquad (2.11)$$

Ako se na mesto sudara između tela m i alatnog stroja postave pločice od veoma elastičnog materijala zahtevana kratkotrajnost se praktično može postići.



SL. 4

3.1. Izračunavanje odziva na pobudu bilo kojeg oblika pobudne sile na osnovu impulsnog odziva

$$\left.\begin{matrix}\delta(t)\\ \delta(t-\tau)\\ f(t)\end{matrix}\right\}\ sistem\ \left\{\begin{matrix}g(t)\\ g(t-\tau)\\ x(t)\end{matrix}\right.$$

Ako sistem ima odziv g(t) na $\delta(t)$ onda će odziv na bilo koju pobudnu silu f(t) biti x(t).

$$x(t) = \int_0^t f(t)\,g(t-\tau)\,d\tau \qquad (3.0)$$

Dokazivanje jednadžbe 3.0 je jednostavno i može se naći u literaturi. [1], [2] . Konvolucioni integral 3.1 daje vezu između odziva i bilo kojeg oblika pobudne sile poznavajući impulsni odziv sistema. Konvolucioni integral 3.1 je osnovica i za numeričku integraciju, uz primenu Laplasove transformacije 2 .

$$\mathcal{L}[y(t)] \triangleq Y(s) \triangleq \int_0^\infty y(t)e^{-st}dt \qquad (3.1)$$

gdje je ($s = \delta + j\omega$) kompleksni parametar. Primenom transformacije se vremenska funkcija transformira u odgovarajuću kompleksnu funkciju (s) kompleksne nezavisne promenljive s.

Primenom transformacije na jednadžbi 3.1 se dobije 2

$$X(s) = F(s)G(s) \tag{3.2}$$

$$X(s) \triangleq \mathcal{L}[x(t)] \tag{3.3}$$

$$F(s) \triangleq \mathcal{L}[f(t)] \tag{3.4}$$

$$G(s) \triangleq \mathcal{L}[g(t)] \tag{3.5}$$

Ako se funkcije f(t) i g(t) prikažu u obliku impulsa dobijaju se nove funkcije f(t) i g(t)

$$\hat{f}(t) \triangleq f(0)\delta(t)+f(\Delta t)\delta(t-\Delta t)+\cdots+f(n\Delta t)\delta(t-n\Delta t) \tag{3.6}$$

$$\hat{g}(t) \triangleq g(0)\delta(t)+g(\Delta t)\delta(t-\Delta t)+\cdots+g(m\Delta t)\delta(t-m\Delta t) \tag{3.7}$$

Primenom sledećih teorema [1]:

$$\mathcal{L}[\delta(t-\tau)] = \int_0^\infty \delta(t-\tau)e^{-st}dt = e^{-s\tau} \tag{3.8}$$

$$\mathcal{L}\left[\sum_{k=1}^{n} f_k(t)\right] = \sum_{k=1}^{n} \mathcal{L}\left[f_k(t)\right] \tag{3.9}$$

na jednadžbi 3.6 i 3.7 dobijaju se dve nove funkcije $\hat{F}(s)$ i $\hat{G}(s)$:

$$\hat{F}(s) = f(0)+f(\Delta t)e^{-s\Delta t}+\cdots+f(n\Delta t)e^{-sn\Delta t} \tag{3.10}$$

$$\hat{G}(s) = g(0)+g(\Delta t)e^{-s\Delta t}+\cdots+g(m\Delta t)e^{-sm\Delta t} \tag{3.11}$$

Prema jednadžbi 3.2 umnožak funkcija F(s) i G(s) su funkcijama $\hat{F}(s)$ i $\hat{G}(s)$ se može pisati:

$$\hat{X}(s) = \hat{F}(s)\hat{G}(s) \tag{3.12}$$

Proizvod funkcija 3.10 i 3.11 prema 3.12 se može lako dobiti primenom sledećih šema:

e^{-s0}	$e^{-s\Delta t}$	$e^{-s2\Delta t}$	$e^{-sn\Delta t}$	$e^{-sm\Delta t}$	$e^{-s(n+m)\Delta t}$
f_0	f_1	f_2	f_n		
g_0	g_1	g_2		g_m	
g_0f_0	g_0f_1	g_0f_2	g_0f_n		
	g_1f_0	g_1f_1	$g_1f(n-1)$	g_1f_n	
		g_2f_0	$g_2f(n-2)$	$g_2f(n-1)$	g_2f_n
				g_mf_0	g_mf_n

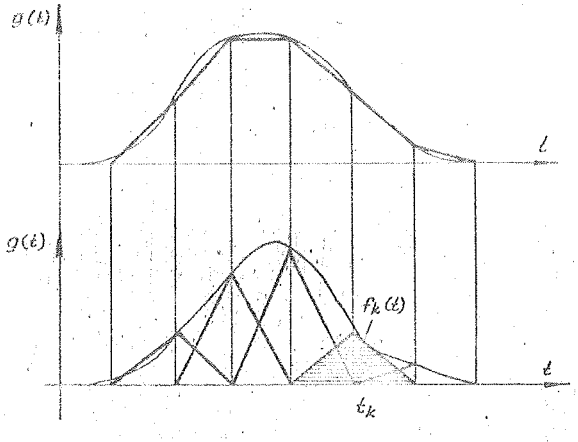
$$\begin{aligned}\hat{F}(s)\hat{G}(s) = {} & (g_0f_0)e^{-s0\Delta t}+\\ & (g_0f_1+g_1f_0)e^{-s\Delta t}+\\ & (g_0f_2+g_1f_1+g_2f_0)e^{-s2\Delta t}+\\ & (g_0f_3+g_1f_2+g_2f_1+g_3f_0)e^{-s3\Delta t}+\end{aligned} \tag{3.13}$$

Na prikazan način primena konvolucionog integrala je svedena na množenje i sabiranje, dakle čisto numeričke operacije koje se prema tome mogu obavljati i na programskim računskim strojevima potpuno au-

tomatski. Prema tome, praktično izmerivši sistemu jedinični odziv, može se primenom jednadžbe 3.13 izračunavati odziv na ma koju pobudnu silu. To je jedna od nesumnjivih prednosti ispitivanja sa impulsnom silom.

4. 1. Određivanje frekventne karakteristike alatnih strojeva na osnovu impulsnog odziva

Alatni strojevi su rezonantni dinamički sistemi pa je zato ispitivanje sa sinusoidalnom silom od posebne važnosti. Zbog toga je posebno interesantno određivanje frekventne karakteristike nekog alatnog stroja na osnovu impulsnog odziva. Frekventna karakteristika se može definirati i kao odnos frekventnih spektara odziva prema pobudnoj sili. Kako je već sa jednadžbom 2.7 pokazano, frekventni spektar impulsa je praktično 1, te se zadatak pronalaženja frekventne karakteristike alatnog stroja svodi na pronalaženje frekventnog spektra funkcije g(t). U tu svrhu neka posluži slika 5. Primeniće se numeričko izračunavanje Furijeve transformacije. Može se primeniti trapezna numerička integracija. Mnogo je povoljnije ako se sagleda da se vrednost funkcije po trapezu može prikazati kao zbir vrednosti funkcija po trouglovima obuhvaćenim trapezom. U tom slučaju se numerička integracija dovodi na trougao, odnosno zbir trouglova [3].



SL. 5.

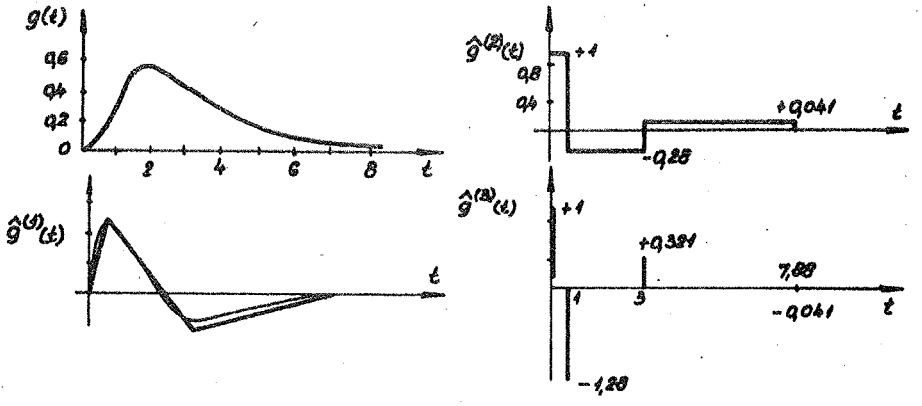
$$\mathcal{F}[g(t)] = \int_{-\infty}^{+\infty} g(t)\, e^{-j\omega t}\, dt \qquad (4.1)$$

$$\mathcal{F}[(gt)] = \mathcal{F}\left[\sum_{k=1}^{n} g_{k\Delta}(t)\right] = \sum_{k=1}^{n} \mathcal{F}\left[g_{k\Delta}(t)\right] = \sum_{k=1}^{n} g_{k\Delta}(t) e^{-j\omega t_k} \cdot \left(\frac{\sin \frac{\omega \Delta t}{2}}{\frac{\omega t}{2}}\right)^2 \qquad (4.2)$$

Raspodelom g(t) u niz trouglova za pojedine inkremente t i primenom jednadžbe 4.2 na svaki pojedini trougao, odnosno na zbir trouglova,

dobije se frekventna karakteristika. Pošto tačnije određivanje frekventne karakteristike zahteva finiju podelu t primena jednadžbe 4.2 iziskuje veće vreme. Međutim, primenom programskih numeričkih strojeva ovaj se posao obavlja za veoma kratko vreme.

Zbog ovog nedostatka integracije po trapezu i po trouglu Giljemin (E. A. Guillemin) [3] je predložio drugi postupak.



Sl. 6

Neka posluži slika 6. Prvo se izvrši diferenciranje impulsnog odziva, funkcija prvog izvoda se predstavi pravim linijama: nastavi diferenciranje dok se ne dobiju impulsi. Ako se raspolože pogodnim diferencijatorima, onda bi bilo moguće tek drugi ili treći izvod predstaviti pravim linijama. U slučaju ispitivanja alatnih strojeva ova ideja je primenljiva jer magnetska osetila za merenje pomaka upravo lako daju prvi izvod.

Polazeći od teoreme:

$$\mathcal{F}\left[\frac{d^{\nu}f(t)}{dt^{\nu}}\right]=(j\omega)^{(\nu)}\,\mathcal{F}\left[f(t)\right] \qquad (4.3)$$

$$\mathcal{F}\left[f(t)\right]=\frac{\mathcal{F}\left[f^{(\nu)}(t)\right]}{(j\omega)^{(\nu)}} \qquad (4.4)$$

i slike 6 imamo:

$$G(j\omega)\triangleq\int_{0}^{\infty}g(t)e^{-j\omega t}dt \qquad (4.5)$$

$$G(j\omega)=\frac{1}{(j\omega)^{(\nu)}}\cdot\int_0^{\infty} g^{(\nu)}(t)\,e^{-j\omega t}\,dt \qquad (4.6)$$

$$\hat{g}^{(\nu)}(t)=\sum_{k=1}^{n} g(t_k)\,\delta(t-t_k) \qquad (4.7)$$

$$\hat{G}(j\omega)=\frac{1}{(j\omega)^{\nu}}\sum_{k=1}^{n} g(t_k)\,e^{-j\omega t_k} \qquad (4.8)$$

$$\hat{G}(j\omega)=\frac{1}{(j\omega)^{3}}\left(1-4{,}28\,e^{-0{,}5j\omega}+0{,}321\,e^{-3j\omega}-0{,}041\,e^{-7{,}85j\omega}\right) \qquad (4.9)$$

U cilju praktične primene jednadžbe 4.9 potrebno je dovesti u drugi oblik rastavljajući eksponencijalne funkcije u sinusoidalne i kosinusoidalne.

$$\hat{G}(j\omega)=\frac{1}{\omega^{3}}\left[(1-1{,}28\sin 0{,}5\omega+0{,}321\sin 3\omega-0{,}041\sin 7{,}85\omega)\right.$$
$$\left.-j\,(1{,}28\cos 0{,}5\omega-0{,}321\cos 3\omega+0{,}041\cos 7{,}85\omega)\right] \qquad (4.10)$$

Za svaku vrednost dobijaju se dve vrednosti od kojih je jedna realna a jedna imaginarna. Njihov zbir je frekventna karakteristika $G(j\omega)$. Jednadžba 4.10 se može također izračunati pomoću numeričkog programskog stroja, ali može i analognim strojem primenom resolvera.

5. Zaključak

Pošto se impuls sile da jednostavno proizvesti i zato što merenje traje veoma kratko, ova metoda ima uslova da se usavrši u jednu ekspresnu metodu provere dinamičkih svojstava alatnih strojeva kako u laboratoriji tako i u proizvodnji.

L I T E R A T U R A

1. Ron Bracewell, The Fourier Transform and Its Applications, Mc Graw-Hill Book Com. 1965.
2. John A. Aseltine, Transform Method in Linear System Analysis, Mc Graw-Hill Book Com. 1958.
3. John G.Truxal, Automatic Feedback Control System Synthesis, Mc Graw-Hill Book Com. 1955.

Prof.dr inž. R. Z d e n k o v i ć, Zagreb. Osvrnuo bih se na statičke i dinamičke krutosti sistema alatnih strojeva. Bilo je govora o tome da se istraživanja kreću u pravcu dinamičkih istraživanja i da su statička ispitivanja nekako potisnuta te da se većina publikacija odnosi na dinamička ispitivanja. Tome se ne treba čuditi, jer ako gledamo praktično, mi od alatnog stroja tražimo proizvod, a ne da bude sredstvo teoretskih istraživanja. Proizvod se izrađuje u dinamičkom postupku. Dinamička krutost jednim dijelom sadrži i statičku krutost, no ako se povisi statička krutost, to još ne znači, da će se i dinamička krutost povisiti.
Što se tiče ispitivanja strojeva po zvuku, tačno je da je zvuk štetan,

ali s druge strane jedan alatni stroj je precizna mašina koja iz mnogo viših razloga zahtijeva preciznost u ležajima, zupčanicima i ostalim elementima, tako da kod njega ne dolazi u obzir da buka bude štetna ili makar neugodna. Ako se neki stroj udari nekim elementom, za stroj to baš nije najugodnije. Isti rezultat bi se mogao postići i na drugi način, da stroj jednom silom privučemo, da mu dodamo deformaciju i da tu silu momentalno prekinemo.

B. K o s t i ć, Zagreb. Zanimalo bi me kako prof. Zdenković zamišlja da se moglo izvršiti rasterećenje, uzevši u obzir da sistem ima dijelova čija je frekvencija reda veličine 500 Hz, što znači da bi to rasterećivanje treba da bude reda veličine oko 0,1 milisekunde.

Prof.dr inž. Z d e n k o v i ć. Metoda rasterećivanja je pogodnija, jer se tačno zna kakvo je bilo opterećenje.

Inž. M a r i n k o v i ć, Beograd. Tačno je da alatne mašine traže veliku preciznost, međutim, ima alatnih mašina, koje stvaraju jako neprijatnu buku. Mi smo baš imali u poslijednje vrijeme ispitivanja nekog struga koji se nalazi na mašinskom fakultetu u Beogradu i koji, iako je nov proizvodi jako veliku buku. Ja za sada nemam tačne podatke o nivou buke toga stroja, ali je buka jako neugodna i čuje se u više susjednih prostorija. Postoji mogućnost da u hali s više strojeva dođe do buke koja će stvarno biti štetna. Htio bih da pitam, da li u IAS-u postoje neki kriteriji i metode za mjerenja ovakve vrste i za uspoređivanje mjerenja jačine buke u komori i u određenim uslovima u proizvodnji, gdje nije moguće izolirati pojedine šumove.
Postavio bih pitanje u vezi statičke krutosti, jer me zainteresirala jedna rečenica o različitoj karakteristici krutosti glavnog vretena od ostalih sklopova, da bi možda trebalo proizvesti neko naponsko stanje na glavnom vretenu.

Inž.D. H e n i c h, Zagreb. Mi vršimo pripreme u tom pravcu da omogućimo ispitivanje u normalnim prostorijama, a ne samo u gluhoj komori. Za sada smo ustanovili da ako razlika između okolne buke i one koju mjerimo nije ispod 10 db, ne možemo dobiti zadovoljavajuće rezultate. Što se tiče diskusije prof. Zdenkovića, smatram da najviši cilj ispitivanja alatnih strojeva sa stanovišta buke zaštita čovjeka i njegovog zdravlja, jer elemente strojeva ispitujemo da bi dali dobru cjelinu, a ako napravimo dobar stroj sa dobrim elementima, ona će praviti i manju buku.

Inž.T. P e c e k, Zagreb. Što se tiče pitanja o različitoj krutosti glavnog vretena i kako bi se mogla postići ista karatkeristika promjene krutosti kao kod ostalih sklopova pomoću prednapona, to se može postići, samo kod kotrljajućeg ležaja i to da već kod neopterećenog stroja kotrljajuća tijela budu stegnuta. Ostaje pitanje da li se to može praktički provesti zbog drugih razloga, na pr. zagrijavanje ležaja itd.

DISKUSIJA DRUGOG DANA SAVJETOVANJA - (grupa B)

Inž.S. U r o š e v i ć, Beograd. Ako sam dobro razumio referenta, razrađen je poseban sistem klasifikacije dijelova za obradu na revolverima. O ovome je bilo govora i na prvom savjetovanju o proizvodnom strojarstvu u Beogradu. Pitanje bi glasilo: da li su referenti radili na jednom sistemu tehnološke klasifikacije dijelova šireg značaja? To bi omogućilo, da se na temelju njihove klasifikacije određuje alatna mašina na kojoj treba vršiti obradu. Na pr. iz složenih grupa dijelova, ako sam dobro upamtio brojke, veličine serija dozvoljavaju da se ide na obradu na poluatomatskim i automatskim strugovima. Prema mom shvatanju na klasifikaciju dijelova treba gledati kao na instrument formiranja grupe dijelova i na kojoj će se mašini oni obraditi. To će u daljoj analizi zavisiti od više faktora, a to je veličina serije, raspoloživi mašinski park i slično. Drugo pitanje bi bilo: pri izradi grupnog postupka korištena je isključivo metoda kompleksnog dijela. Ovako nastaju veoma složeni imaginarni dijelovi, a maršrutna tehnološka rješenja kod izrade veoma su složena i kao što ste vidjeli ispunjena su kompletno. Međutim, kao što se vidi iz primjene na izradu postupaka za stvarne dijelove, nigdje se ne ponavlja potreba da se koriste svi ovi faktori.

Pitanje bi glasilo: da li je razmatrana i neka druga metoda izrade grupnog postupka, na pr. bez kompleksnog dijela, kao metoda kompleksnih pomoćnih pokreta i sl. U vezi s prethodnim pitanjem slijedilo bi sljedeće:
za izradu tehnološkog postupka za dijelove ponovno su crtane sve skice zahvata za sve dijelove. To je obiman posao za tehnologa i ne predstavlja nikakvu racionalizaciju izrade samog postupka u odnosu na individualno tehnološkog projektiranje. Obzirom da ovdje kod tehnologa postoje različita gledišta, interesira me da li ste vi razmatrali neku metodu izrade tehnološkog postupka koja bi se oslanjala na grupni maršrutni postupak bez suviše crtanja detalja u tehnološkom postupku za stvarne dijelove. Osim toga, vi ste u crtanju tehnološkog prikazivanja skice prikazivali skice odozdo prema gore. Zanima me, da li je to zbog projektiranja ili je to namjerno učinjeno. Najzad jedno pitanje za drugove Savića i Moru: ako sam dobro razumio tok izlaganja, u izvedbi strugova vi ste primjenili metodu grupne tehnologije. Međutim, vi ste u referatu dali primjer samo za rotacione dijelove i to osovine. Interesira me, kako su klasirani ostali dijelovi; ako ste izvršili njihovu tehnološku klasifikaciju, koliko ste tehnoloških linija formirali i u kojoj su mjeri alatne mašine odgovarale zadacima obrade pojedinih tehnoloških grupa dijelova.

Inž. J.Z e c, Zagreb. Na prvo pitanje o sistemu klasifikacije dao bih slijedeći odgovor. Osnovni sistema bili su izloženi na prošlom savjetovanju, i tamo smo prikazali metodiku pristupa dijelu prilikom njegove klasifikacije. Tamo smo pokazali da se klasifikacija sastoji iz nekoliko faza i da se dio označava šiframa koje daju neke njegove karakteristike, koje se mogu podijeliti u dvije grupe: jedna grupa su konstruktivne karakteristike, a druga grupa šifara označava njegove tehnološke karakteristike. Obje ove grupe klasificiraju di-

jelove u skupine koje predstavljaju start za daljnju obradu. Mi smo, pošavši od toga starta, razradili obradu na bubnjastima revolverskim tokarilicama. Dakle, odgovor bi glasio: sistem klasifikacije je takav da omogućava kasniju razradu obrade dijela na raznim strojevima i na razne načine, međutim kad smo se već odlučili na obradu na izvjestan način u daljnjem nastavku klasifikacije mi razrađujemo upravo one elemente koji su vezani uz tu obradu. Dakle, sistem omogućava isto takvu razradu ako je bila odabrana i neka druga obrada. Drugo pitanje, odnosi se na maršrute. Mi smo razrađivali naše tehnološke postupke isključivo kroz maršrute kompleksnih dijelova, odnosno u našem slučaju, kompleksnih cjelina koje se sastoje iz dviju kompleksnih polovina. Nikakva druga metoda nije uzimana. Što se tiče složenosti dijela, mi smo obrazlagali da se jedan osnovni oblik ne da prikazati samo jednim kompleksnim dijelom odnosno kompleksnom polovinom, nego da se on razbija na nekoliko kompleksnih dijelova koji su nastali podjelom osnovnih oblika, u prvom redu najprije na gabarite koje je bilo moguće obuhvatiti obradom na bubnjasto revolverskoj tokarilici, ali pri jednoj slici. Mogli bismo pokazati kako izgledaju naše kompleksne polovine, i moglo bi se vidjeti da te kompleksne polovine nisu ispale suviše komplicirane. Dakle, nisu nastali neki oblici koji su daleko od prakse, nego su to oblici od kojih najsloženiji sadrži oko dvadesetak elementarnih površina, pod čime podrazumijevamo s jedne strane osnovne elementarne površine koje formiraju osnovni oblik dijela, a s druge strane dodatne elementerne površine kao što su urezi, bridovi, navoji itd., dakle elementi koji dopunjuju osnovni oblik. Što se tiče skica, one su prikazane samo radi lakšeg razumijevanja, međutim mi u praksi ne namjeravamo raditi tako, jer bi to predstavljalo velike komplikacije i udaljilo nas od sistema razrade postupaka za realne dijelove. Crtanje odozdo prema gore je kod nas uobičajeno.

Inž.A. M o r a, Potisje. Mi smo u referatu iznijeli, da smo sve naše dijelove podijelili u pet klasa, i prikazali smo primjer kako smo za osnovni tip stroja od 1o9o dijelova izvršili klasifikaciju dijelova. Dijelova s rotacionim površinama ukupno 497 u 5 potklasa, zatim dijelova sa ravnim površinama 131 u 5 potklasa, i komplikovanih dijelova sa specifičnom obradom 75 u 5 potklasa. Tako imamo 5 klasa u 22 potklase, od kojih 7 obrađuju naši kooperanti, dok 15 potklasa obrađujemo u poduzeću. Za ovih 15 potklasa formirali smo 6 proizvodnih linija i to: liniju zupčanika, gdje obrađujemo 97 dijelova i to ne samo zupčanika nego i diskove prstenove itd. zatim liniju osovina sa 159 dijelova, liniju postolja, liniju kućišta, liniju srednjih odlivaka, liniju ostalih dijelova i na kraju liniju montaže s 10 podlinija ili 10 specijaliziranih brigada. Mi nismo iz specifičnih razloga htjeli prikazati sam klasifikator. Treba priznati, da sada radimo na trećoj klasifikaciji jer smo tokom rada uvijek uočavali neke nove momente koji su nas naveli da ponovo pregrupiramo dijelove, i to da dobijemo što prihvatljivija rješenja. Možda smo tu i žrtvovali nešto na račun praktičnosti od toga da naše rješenje ne bude suviše detaljizirano. Nismo išli na rješenja do sitnica, da bismo tako dobili na vremenu, jer nas je na to natjerala ambicija i materijalno stanje fabrike. Bili smo primorani pronaći rješenja koja će fabriku u relativno

kratko vrijeme postaviti na stabilne osnove. Poznato nam je da mnoge lijepe akcije, studije itd. često propadaju jer se ide na suviše detaljizirana rješenja, pa se gubi mnogo vremena.

Inž. J. S t a n i ć, Beograd. Kod nas su se dosta ispitivale keramičke pločice, ali većinom strane. Ovdje se pojavljuju domaće pločice, a još je interesantnije da su bolje od stranih. Potrebno bi bilo opširnije ispitivanje kod različitih režima rada s određivanjem postojanosti. Interesantno je da se krivulja za keramičke pločice u dijagramu br. 2 ne pokorava Tayloru.

Inž.F. K o v a č i ć, [redacted], Zagreb. U referatu je prikazano da su vršeni usporedbeni pokusi za utvrđivanje kvalitete pločica; napomenuo sam, da je naša pločica imala manje istrošenje, što ne znači da je dulje izražala u radu. Mi smo se ograničili na određeni broj pokusa s obzirom na vrijeme i mogućnosti korištenja strojeva, koje nam je ustupio IAS.
Proizveli smo pločice A,B,C i D vršili prve pokuse da ustanovimo koje od njih pokazuju najbolja svojstva, a prvenstveno da vidimo, da li je domaća sirovina uopće podesna za proizvodnju rezne keramike, i ovo su prvi rezultati, a naš je zadatak da ne stanemo na tome, nego da i dalje vršimo ispitivanja. Mi smo samo htjeli da vidimo da li dobivamo nekakve rezultate. Pokazalo se da ponašanje oštrice ovisi o završnoj obradi same pločice, finoći površina i bridova, oblikovanju oštrice i izgledu prije rezanja. Odabrali smo pločicu A koja se pokazala najbolja i izvršili usporedne pokuse da vidimo, da li se daljnja istraživanja isplate. Interesantno je kod istraživanja koeficijenta, da smo radili sa presjecima manjim od 1 mm i kod toga se ti otpori relativno razlikuju, ako računamo po formulama koje daje Taylor. Naglašavamo, da su ovi pokusi bili vršeni samo da se ustanovi mogućnost izrade rezne keramike od domaće sirovine i da se nađe optimalno vezivo.

DISKUSIJA TREĆEG DANA SAVJETOVANJA

Inž.S. M a r i n k o v i ć, Beograd. Osvrnuo bih se sa nekoliko riječi na referat o automatskom kočenju asinhronih motora. Naime, stekao sam utisak, da je pristupni dio, općenito o kočenju, donesen više na osnovu analize drugih pogona, nego na osnovu analize primjene kočnica na alatnim strojevima. Vjerovatno je i zbog toga došlo do prestroge ocjene mogućnosti frikcionih mehaničkih i elektromagnetskih kočnica koje predstavljaju veoma usavršene elemente. To se naročito odnosi na primjedbe o zakašnjenju mehaničkih frikcionih kočnica. Tačno je, da na pojedinim alatnim strojevima postoje kočnice koje se ručno aktiviraju, ali to nije tipičan slučaj. Češći je slučaj da se kočnice uključuju automatski pri neutralnom položaju uključno-isključne spojnice. Drugo, kod alatnih strojeva kočnice se najčešće nalaze u prenosnicima, u kojima nema vode koja bi mogla utjecati na kočenje a ulje je ne samo poželjno nego i neophodno. Sama ideja o kočenju motora na ovaj način je vrlo interesantna, međutim još se može diskutirati da li je taj sistem najprikladniji za alatne strojeve. Univerzalni ala-

tni strojevi imaju većinom uključno-isključne spojnice, pa bi time njihov veći dio bio isključen iz primjene ovog sistema kočenja. One su daleko pogodnije, jer se kod čestog uključivanja maltretira i elektromotor i električna mreža. Ako se motor još i koči na ovaj način, on se još zagrijava, pa ako želimo postići mala mrtva vremena. Potrebna su daljnja istraživanja koja će pokazati kakve su mogućnosti ovog sistema u usporedbi s frikcionim i elektromagnetskim kočnicama. Na svaki način treba dati i ekonomsku analizu oba sistema, koja će sigurno biti u prilog ovog električnog sistema. Za konstruktora je potrebno više podataka da bi se mogao odlučiti koji da sistem primijeni.

B. A n t u n o v i ć, Zagreb. Ovaj sistem kočenja je relativno nov i nije široko primenjivan. Što se tiče primjedaba o mehaničkim kočnicama, čak i ako isključimo vodu smatram da ulje utječe na momenat kočenja i da zbog toga put kočenja nije uvijek isti. Time nisam mislio samo na zaustavljanje glavnog vretena nego i na pozicioniranje, kada su potrebne ujednačene karakteristike. Glodalice "Prvomajske" i tvornice "Ivo Lola Ribar" za koje mi projektiramo elektrouređaje, nemaju spojnice, nego sve imaju direktno pogon od motora na vreteno. Glodalica "Prvomajske" UG[illegible]ima već u orginalnoj zamisli predviđeno kočenje istosmjernom str[illegible]om. Naš bi udio bio samo izostavljanje vremenskog releja, i stavljanje našeg sistema, koji isključuje struju kad motor stane bez obzira koliko kočenje traje. Ako se stavi vremenski relej, on se mora podesiti za najgori slučaj koji nastupa relativno rijetko u toku rada stroja, a grije motor više nego što treba. Ispitivanjem grijanja motora kod našeg sistema u oštrom režimu rada porast temperature motora iznosio je 2 - 3^{0} C. Što se tiče ekonomske analize, smatram da što je stroj manji i što su ekonomski uvjeti oštriji zbog konkurencije na tržištu, to je važnije da svaki uređaj bude što jeftiniji. Ovaj je uređaj daleko jeftiniji od ostalih, pa i od uređaja s vremenskim relejom.
Strojevi s ovim sistemom kočenja zahtijevaju dobro izvedenu električnu mrežu, dok su strojevi s mehaničkim spojnicama prikladniji za mrežu s velikim p[illegible]ovima napona, ali treba imati na umu da su mehanički sistemi koče[illegible]ja veoma skupi.

Inž. V. P i n d u l i ć, Rakovica. Htio bih istaknuti da su ovakve manifestacije, kao što su ova dva savjetovanja, veoma pozitivna stvar za ljude koji se bave problemima proizvodnje, i da pružaju niz mogućnosti za rješavanje problema s kojima se susrećemo u proizvodnji. Mislim, da bi se ovakve manifestacije trebale održavati i dalje, Htio bih da naglasim da su i nakon privredne reforme privredne organizacije došle do saznanja da moraju uvoditi naučne metode rada i uopće više se okrenuti nauci nego do sada, a put za to je upravo povezivanje s naučnim institutima. U našem poduzeću mi smo odlučili da se orjentiramo na institute, i već su poduzeti neki koraci u pravcu povezivanja s Institutom u Beogradu. Međutim, dosadašnji organizatori su nam pružili mogućnost da vidimo što oni rade u svojim institutima, čime su nam omogućili orijentaciju pri traženju rješenja. Međutim, ima jedn[illegible]amjerka, a to je da nismo bili blagovremeno obavješteni što će bi[illegible]zmatrano na ovom savjetovanju. Mi smo to u našem poduzeću sazn[illegible]reko Instituta u Beogradu, i to na našu intervenciju, dva da-

na prije početka savjetovanja, tako da smo tek ovdje upoznati sa temama i programom rada savjetovanja. Mislim, da nam takav način ne dopušta da aktivno učestvujemo u radu savjetovanja. Ja sam ovdje čuo neke veoma korisne stvari, ali sam u nekim stvarima dospio u neku vrstu zablude. Na primjer, referat druga Stanića o utjecaju sredstava za hlađenje na elemente koji karakteriziraju režim rada. Ovdje sam prvi put vidio, kakvi su ti utjecaji i do kakvih grešaka može doći u proizvodnji. Ali što bi bilo da je to ispitivanje prenešeno u fabričku atmosferu, jer institutska atmosfera nije ista kao i fabrička. Što se dešava ako u jednoj mašini jedno isto sredstvo za hlađenje cirkulira po nekoliko mjeseci ili čak nekoliko godina, i kakvi bi se rezultati onda dobili?
Osim toga mi na jednoj mašini ne obrađujemo samo jednu vrstu materijala nego više vrsta, pa to sredstvo prolazi preko različitih materijala - kakvi bi se rezultati onda postigli? To navodim samo kao primjer. Predlažem da budući organizatori povedu računa o tome da budemo blagovremeno obavješteni o programu savjetovanja, kako bismo mogli iznesti neke svoje probleme, jer i mi na svoj način provodimo neka istraživanja pa bi bilo interesantno da razmijenimo iskustva.

Prof.dr inž.A. Đ u r đ e š e v i ć, Zagreb. Htio bih da istaknem svoje zadovljstvo ovim savjetovanjem. Mnogi detalji bili su jako dobro obrađeni i bilo je veoma zanimljivih tema. Veseli me što su područja proizvodnog strojarstva proširena. Spomenuo bih, da se iz ovih referata naslućuju neki problemi naučnoistraživačkog rada uopće. Ne mogu se oteti dojmu, da bismo se poneki put trebali zapitati, koja je prava svrha nekog ispitivanja t.j. zašto baš vršimo neko ispitivanje, i zašto baš na taj način, koja je prava svrha i što će to ispitivanje koštati i što će donijeti. Svida mi se što je kazao moj prethodnik, ponekad bi me zanimalo, da nam ispitivanja dadu neke metode, koje se mogu primjeniti svagdje drugdje, a ne samo tamo gdje su ispitivanja izvršena. To je, naravno, već malo teže. S druge strane, vidjeli smo i neke detalje, koji su sami po sebi interesantni, ali pitanje je, da li oni zaslužuju onu pažnju, koja im je posvećena. To ću povezati i sa nekim drugim stvarima. Ugodno je vidjeti, da se problemima pristupa s vrlo širokih područja, ali s druge strane konstatiramo da na tom širokom području svaki traži svoj put, što nije dobro za zajednicu. Zbog toga mislim, da svi mi ovdje ne bismo bili dorasli partner jednom jedinom institutu u nekoj naprednijoj zemlji, a sve se raspačava na veliki broj ustanova pa i onako mala sredstva za naučni rad nisu racionalno iskorištena, a isto tako ni mali broj stručnjaka. Najviše me to zabrinjava zbog budućih zadataka, a ne zbog trenutne situacije. Pitam se kakva će biti budućnost našeg strojarstva, i iz toga bi trebalo izvući neki zaključak. Jednom bi trebalo porazgovarati o principijelnim pitanjima i odrediti puteve našeg strojarstva i rasporediti snage i sredstva što racionalnije. Vjerujem da bismo na taj način mogli ubrzo doći do veoma dobrih rezultata, jer entuzijazam i mladost učesnika savjetovanja obećavaju mnogo, ali pod jednim uvjetom, da ne krene svatko svojim putem i traži rješenja samo za sebe.

Inž.Z. S e l j a k, Ljubljana. Ja ne bih bio toliko pesimista kao predgovornik, jer saradnja postoji, na pr. između Instituta u Beogradu

i Ljubljani ili Instituta u Zagrebu i Beogradu.
Nismo spomenuli kod naših rezultata jedan primjer: desilo nam se da smo prilikom analize kod oštrenja alata u unaprijed određenim uslovima i kod ručnog oštrenja dobili rezultate postojanosti alata u razmjeru kao 4 : 1. Kod tokarenja s brzoreznim čelikom čelika 4321 dobili smo kod brzine rezanja 45 m/min kod mašinskog oštrenja postojanost 32-33 min, a kod ručnog oštrenja 8 min. Nadam se da ćemo biti u stanju već na idućem savjetovanju da sasvim određeno preporučimo kako da se oštre noževi i da dajemo savjete industriji. Ako bude više tih savjeta industrija će imati koristi od toga.

ZAKLJUČAK II SAVJETOVANJA PROIZVODNOG STROJARSTVA

U ime organizatora savjetovanja, Instituta za alatne strojeve, Zagreb, i Instituta za alatne mašine i alate, Beograd, savjetovanje je zaključio inž. A. C r n e k a sljedećim izlaganjem:

"Mislim, da smo završili jedan prilično težak posao - koliko težak vidi se i po tome koliki je auditorij ostao, a započeli smo i jednu tradiciju. Na današnjem dogovoru između Instituta iz Beograda, Ljubljane i Zagreba, kao i Mašinskog fakulteta iz Novog Sada dogovoreno je da se treće savjetovanje održi slijedeće godine u Ljubljani. To je svakako već veliki uspjeh - nadam se da nećemo stati nakon trećeg savjetovanja. Organizirati prvo savjetovanje nije bilo lako; drugo je zadalo iste poteškoće a i treće neće biti lakše; nadam se da će deseto biti mnogo lakše, i da će i strojari u savjetovanjima naći ono što im je potrebno i izvlačiti korist iz njih. Jedan novinar je danas postavio pitanje, kakva je efektivna korist savjetovanja. Teško je definirati što smo stvarno napravili. Postigli smo da su ljudi, bilo preko govornice, bilo u ličnim kontaktima, koje ne treba podcjenjivati, razmijenili iskustva, upoznali se i proširili saradnju. Mislim da je to veoma mnogo i pored onih ideja iz referata koje će biti jednog dana korisno primijenjene. Materijali savjetovanja bit će štampani, ideje obnovljene, i mislim da je to naš doprinos proizvodnji u vrijeme privredne reforme. Mislim, da strojari općenito nisu u povoljnom položaju. Mi sami ne radimo na svom popularisiranju, ali ćemo to uskoro morati učiniti, da izborimo svoje mjesto pod suncem. Ako pogledamo troškove naših poduzeća za naučni rad i usporedimo ih sa troškovima u elektro ili kemijskoj industriji, ne će ispasti povoljni podaci za našu metalnu industriju.
Industrija ne ulaže mnogo u istraživački rad na našem području, ali ni Republički i Savezni fond ne odskaču u tome.

Usporedimo li davanja za kemijsku industriju ili društvene nauke s davanjima za strojarstvo, vidjet ćemo da je ono veoma nisko na toj skali i da još nismo priznati.

Na ovom savjetovanju bilo je prijavljeno 112 učesnika - učešće je bilo veće, jer je zagrebačka industrija poslala znatno veći broj predstavnika od prijavljenih. Iz SRH ima 56 učesnika, iz Srbije 24, iz Slovenije 12, iz Bosne i Hercegovine 20 a iz Makedonije i Crne Gore nitko. Anomalija je da naša najrazvijenija republika, Slovenija, uče-

stvuje sa svega 12 učesnika, a i najnerazvijenija republika (isključujem Crnu Goru koja ima neznatne kapacitete u metalnoj industriji) Makedonija koja ima aspiracije na tom području, nije poslala nikoga. Vjerojatno ovo odražava opći nivo u Makedoniji, a koji je razlog u Sloveniji, ne bih znao reći; sigurno je da geografska udaljenost nije bitan faktor. Također je veoma čudno da nekoliko tvornica alatnih strojeva nije poslalo ni jednog učesnika. U anketi je došlo do izražaja mišljenje da je spektar savjetovanja preširok, i da bi ga trebalo ograničiti na neka područja, a ne i dalje orijentirati na cijelo proizvodno strojarstvo. Dogovoreno je da se buduće savjetovanje usmjeri na neka određena područja, i da se ta područja ciklički mijenjaju.

Možda bi orijentacija na jedno područje bila prenagla, jer su prva dva savjetovanja bila općenitog karaktera.

Kvalitet referata i nivo zadovoljavaju. Od 50 anketiranih 49 je zadovoljno ukupnim nivoom referata. Broj referata bio je veći nego na prvom savjetovanju, vjerojatno zato, što je područje bilo prošireno i na organizaciju. Odnos je 26:40.

Mislim, da smo uspjeli postaviti daljnju stepenicu u traženju puta za istraživački rad u proizvodnim strojarstvu. Ono što je spomenuo prof. Đuraševič - pitanje usklađivanja rada naših institucija - na tome je minimalno učinjeno. Imamo velik broj instituta, zavoda i katedri od kojih neke međusobno surađuju, a neke uopće ne. Suradnja je u nekim slučajevima veoma loša. Među institutima koji se najaktivnije bave istraživanjem, bar kvantitativno, postoji suradnja ali i ona je uska. Naš institut surađuje samo na jednoj temi, a u pripremi su druge dvije za suradnju s beogradskim institutom. Beograd i Ljubljana također surađuju na jednoj temi a druge su u pripremi. Mislim da savjetovanja daju impulse u tom pravcu. Nakon prvog savjetovanja održan je sastanak predstavnika istraživačkih organizacija, i dogovoreno je da će se razmjeniti planovi. Nije bilo rezultata toga rada. Ni danas nije sastanak bio kompletan, jer su drugovi iz Bosne i Hercegovine otputovali. Dogovoren je sastanak za drugu polovinu maja, pa će se tamo naći predstavnici centara iz Novog Sada, Beograda, Sarajeva, Zagreba i Ljubljane i podnijeti će izvještaje o radu i planove za 1966. Cilj je da svaka institucija odabere svoje područje rada i da se izbjegnu prekrivanja koja su sada skoro potpuna. Mislim, da je ta saradnja nužna i da je treba početi. Nadam se da će do III savjetovanja biti većih rezultata nego danas. Primjedba druga Pindulića da nije primio na vrijeme prethodne materijale nije na mjestu. Materijali sa izvodima bili su poslani desetak dana ranije a ne znam koji je bio razlog da nisu stigli do drugova na vrijeme. Referati su primani sa priličnim zakašnjenjima, pa štampanje kompletnih tekstova nije bilo moguće, ali bi trebalo nastojati da se to u buduće provodi.

Na kraju bih se zahvalio svim autorima referata, svim učesnicima savjetovanja i ustanovama koje su poslale svoje predstavnike na savjetovanje, kao i ustanovama koje su nam pomogle u organizaciji savjetovanja, prije svega Visokoj tehničkoj školi i Zagrebačkom velesajmu, kao i Institutu za alatne mašine i alate iz Beograda, koji su nam

mnogo pomogli savjetima. Isto tako želio bih da se zahvalim i tehničkom osoblju i administraciji, koja je pomogla da se savjetovanje u redu odvija. Nadam se da ćemo se u proširenom krugu opet sresti iduće godine na trećem savjetovanju u Ljubljani.