

UNIVERZITET U NOVOM SADU



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
INSTITUT ZA PROIZVODNO
MAŠINSTVO

24. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

ZBORNIK RADOVA

KNJIGA II

Novi Sad, 16-18. septembar 1992

UNIVERZITET U NOVOM SADU



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
INSTITUT ZA PROIZVODNO
MAŠINSTVO

Hejrat

**24. SAVETOVANJE PROIZVODNOG
MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE**

Novi Sad, 16-18. septembar 1992

ZBORNIK RADOVA

KNJIGA II

Sadržaj

Sekcija III

TENDENCIJA RAZVOJA ALATNIH MATERIJALA	1
<i>dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet - Beograd</i>	
<i>doc. dr Miloš Glavonjić, Mašinski fakultet - Beograd</i>	
PRIOLOG RAZMATRANJU PRIMENE MODEL MATERIJALA	11
<i>Fišl J., Glavardarov I. FTN Institut za proizvodno mašinstvo,</i>	
STRUKTURNA PONAŠANJA LEGURE Al-Li-Cu-Mg-Zr U USLOVIMA KONTINUIRANOG ZAGREVANJA	19
<i>O. Novitović* G. Avramović-Cingara** M. Roguljć***</i>	
<i>NIC Užice** ITN Novi Sad***TMF Beograd</i>	
MIKROSTRUKTURA I OSOBINE BAINITNOG NODULARNOG LIVA-ADI MATERIJALA	25
<i>L. Šidanin i M. Novović Institut za proizvodno mašinstvo,</i>	
ODREDJIVANJE J INTEGRALA I ZONE RAZVLACENJA U ZAVARU SA PRSLINOM U ZUT	31
<i>Geric K*, Glavardarov I* i Sedmak S.**</i>	
<i>*Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad</i>	
<i>**Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd</i>	
ELASTO-PLASTIČNA ŽILAVOST LOM, J_{IC} , ČELIKA JUS Č. 4732	39
<i>Dr. Vuk Čulafić - Mašinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica,</i>	
<i>Dipl. ing. Milojica Andjelić - Institut za crnu metalurgiju, Nikšić,</i>	
IZUČAVANJE MOGUĆNOSTI PRIMENE AKUSTIČNE EMISIJE ZA KONTROLU I PRAĆENJE KRISTALIZACIJE LEGURA TIP SPECIJALNIH MESINGA PRI KONTINUIRANOM LIVENJU	45
<i>M. Tasić*, D. Zarić*, Z. Vujović*, D. Krstić**, S. Marković**</i>	
<i>* Istraživački institut "Naučnoistraživački centar" Užice, Heroja Dežovića 26</i>	
<i>** Tehnološko-metalurški fakultet-Beograd, Karnedžijeva 4</i>	
DINAMIČKA IZDRŽLJIVOST I OTPORNOST PREMA PRSLINAMA ČELIKA VISOKE ČVRSTOĆE ZA VIJKE	53
<i>Svetozar Golubović</i>	
<i>Institut za crnu metalurgiju, 81400 Nikšić</i>	
ULOGA DOPINGA U POVEĆANJU DINAMIČKE STABILNOSTI POSTOLJA MAŠINE	61
<i>Čirić dr Divko, Borojev mr Ljubomir, Zeljković mr Milan, Djurić mr Mirosljub,</i>	
<i>Gatalo dr Ratko, Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad</i>	

TEHNOLOSKI ASPEKAT POSTUPKA SKIDANJA NASLAGA FARBE SA KUKA I NOSILJKI U PROCESU FARBANJA U IMT-u PRIMENOM KRIOGENOG POSTUPKA	71
<i>Jajcanin M. Dusko dipl.mas.ing., Ind. masina i traktora, N.Bgd.</i>	

PRAVCI RAZVOJA TVRDIH PREVLAKA DOBIJENIH PLAZMA POSTUPCIMA	77
<i>D.Kakaš FTN - Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad</i>	

REZULTATI PRIMENE POSTUPKA JONSKOG NITRIRANJA PRI POVRŠINSKOM OTVRDNJAVANJU REZNIH ALATA I ALATA ZA KOVANJE DELOVA SLOŽENIH KONTURA	85
<i>Mr Mirko N. Dumanović, IMK "14. Oktobar", Kruševac</i>	
<i>Mr Svetislav Đorđević, IMK "14. Oktobar", Kruševac</i>	
<i>Dr Ljubodrag Đorđević, docent Mašinskog fakulteta u Kraljevu</i>	
<i>Dr Joko P. Stanić, red. profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu</i>	

METODE POVEĆANJA OTPORNOSTI NA HABANJE KOD KONSTRUKTIVNOG ČELIKA PUTEM PRIMENE PLAZMA TEHNOLOGIJA	91
<i>Lj. Mažibrada, * D.Kakaš, * B.Škorić, * V.Jugović**</i>	
<i>*Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu</i>	
<i>**"JUGOALAT" Novi Sad</i>	

UTICAJ PLAZMA TEHNOLOGIJE NA KOEFICIJENT TRENJA I KONTAKTNU TEMPERATURU KOD HABANJA ČELIKA ZA VENTILE MOTORA	99
<i>Škorić B., Kakaš D., Mažibrada Lj., Graovac M.</i>	

PROMENA NEUJEDNAČENOSTI STRUKTURE LIVENOG NERĐAJUĆEG AUSTENITNO-FERITNOG ČELIKA 0.08C-22.5Cr-8Ni-2Mo-3.5Cu USLED ZAGREVANJA	109
<i>Mr.Goran Radenković, asistent Mašinskog fakulteta u Nišu</i>	

PROJEKAT LIVNICE LAKIH I OBOJENIH METALA	115
<i>Kovač R., Jajin S., Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu,</i>	
<i>Naučno-obrazovni Institut za proizvodno mašinstvo,</i>	
<i>Vladimira Perića-Valtera 2, 21000 Novi Sad</i>	

UTICAJ PRIMARNE STRUKTURE NA MEHANIČKE OSOBINE LEGURE Al-Mg POSLE TERMIČKE OBRADE	119
<i>Kovač R.; Bajić V.; Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu,</i>	
<i>Naučno-obrazovni Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad</i>	

ANALIZA PADA PRITISAKA U KALUPNOJ ŠUPLJINI PRI UBRIZGAVANJU PLASTOMERA	125
<i>Dr Dragoljub B.Lazarević, docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu</i>	
<i>Mr Miroslav R.Radovanović, asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu</i>	

RAZVOJ PODLOGA ZA IZGRADNJU EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE POSTUPKA ELEKTROTOPNOG TAČKASTOG ZAVARIVANJA	131
<i>Lazar Brestovački; Jovica Dakić</i>	
<i>FTN Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad</i>	

PRILOG OCENI POSTOJANOSTI ELEKTRODA ZA TAČKASTO ZAVARIVANJE	139
<i>D.Adamović, M.Jovanović, B.Jeremić, O.Stojanović</i>	

MEHANIZOVANO ZAVARIVANJE CEVI MAG POSTUPKOM SA PODLOŽNOM TRAKOM	149
<i>Jonaš Zoltan, dip.maš.ing.</i>	
<i>NIS NAFTAGAS Pogon "ODRŽAVANJE" ZRENJANIN</i>	

POBOLJŠANJE PROCESA ZAVARIVANJA I OSOBINA ZAVARENH SPOJEVA PRIMENOM AKTIVIRANE ŽICE KOD MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA	157
<i>Mr.Bajagić Sreten, dipl.ing.</i>	
<i>NIS NAFTAGAS POGON ODRŽAVANJE ZRENJANIN</i>	

OSVRT NA PROBLEME U PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJI IZRADE I KONTROLI KUGLIČNIH MLINOVA ZA PRERADU RUDE ZLATA - KM 32.	163
<i>dip.maš.inž. Dragan Mitić, spec. za zav. dipl.maš.inž. Slobodan Ristić</i>	
<i>dip.maš.inž. Ljubinko Nikolić, spec. za zav.</i>	
<i>Preduzeće za usluge i promet sa p.o. "COLOR PARTNER" BEOGRAD</i>	

ANALIZA KVALITETA NAVARA IZVEDENOG OBLOŽENOM ELEKTRODOM SA ČELIČNIM PLAŠTOM	169
<i>Sabo B., Šidanin L., Gerić K. FTN, Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad</i>	

SANACIJA ZAVARIVANJEM OŠTEĆENIH DELOVA CENTRIFUGE ZA ODVAJANJE PROPILENA	175
<i>Boško Aleksić, Antun Fertilio DP "HIP-AZOTARA" Pančevo</i>	

OTKRIVANJE PRSLINA I NJIHOVA SANACIJA TOKOM EKSPLOATACIJE NA SFERNOM REZERVOARU OD MIKROLEGIRANOG ČELIKA ZAPREMINE 2000 m ³	179
<i>Antun Fertilio, Boško Aleksić, Jano Kuraj, Branislava Vujović-Đorđević,</i>	
<i>DP HIP "AZOTARA" Pančevo</i>	

METALOGRAFSKA KONTROLA KOROZIONIH OŠTEĆENJA U PROCESNIM INSTALACIJAMA HEMIJSKE I PETROHEMIJSKE INDUSTRIJE	185
<i>Dragan Đukanović, Ljiljan Bogdanović DP HIP "AZOTARA" Pančevo</i>	

PRASKANJE U GORIONIKU I POVROTNI UDAR PLAMENA	191
<i>Dr Ratko Lučić, docent Mašinski fakultet, Kraljevo</i>	

UNIVERZITET U NOVOM SADU



FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA
INSTITUT ZA PROIZVODNO
MAŠINSTVO

24. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA JUGOSLAVIJE

Novi Sad, 16-18. septembar 1992

ZBORNİK RADOVA

SEKCIJA III

TENDENCIJA RAZVOJA ALATNIH MATERIJALA

*dr Ljubodrag Tanović, Mašinski fakultet-Beograd
doc. dr Miloš Glavonjić, Mašinski fakultet-Beograd*

REZIME

U radu je dat pregled stanja istraživanja u oblasti savremenih materijala za rezne alate. Akcent je dat na keramiku i supertvrde materijale sa osvrtom na kompanije koje ih proizvode.

Abstract

In this paper the research in the field of contemporary materials for cutting tools is presented. The emphasis is on ceramics and superhard materials including companies that produce them.

Povećanje proizvodnosti obradnih sistema i smanjenje troškova obrade postiže se poboljšanjem karakteristika i radnih mogućnosti svih elemenata obradnog sistema: mašine alatke, reznih alata, pomoćnih pribora, mernih i kontrolnih i drugih pribora.

Stalan razvoj i usavršavanje karakteristika reznih alata, preko poboljšanja reznih sposobnosti alatnih materijala i konstrukcija alata bitno su uticali na razvoj mašina alatki. To podrazumeva i obrnuto, razvoj i poboljšanje konstrukcije mašina alatki (posebno krutosti, tačnosti i povećanja snage) zahteva stalno dalja poboljšanja kod alatnih materijala, tako da je razvoj i jednih i drugih jako međusobno uslovljen.

Razvoj i usavršavanje kod reznih alata odnosi se na poboljšanje karakteristika postojećih i razvoj novih materijala za rezne alate kao i na usavršavanje konstrukcija reznih alata.

Poslednjih godina velika pažnja se poklanja razvoju keramike (alatne i konstrukcije) i supertvrdih materijala (bornitrida i dijamanta).

1. REZNA KERAMIKA

Od prezentacije keramičkog alata daleke 1937. godine neprestalno se u svetu radi na razvoju keramičkih materijala kako bi našli što širu primenu ne samo u oblasti mašingradnje, već i u svim oblastima savremene tehnike. Danas se klasifikacija keramike izvodi ili po oblastima njene primene: alatna, konstrukciona, elektronska, biokeramička ili po klasama jedinjenja: oksidna, neoksidna (nitridi, karbidi, boridi) i mešana keramika (karbonitridi, mešani kompoziti).

Rezna keramika u poređenju sa tvrdim metalom, alatnim i brzoreznim čelicima ima povišenu toplotnu provodnost što omogućava njenu primenu za rezanje velikim brzinama. Posebna prednost rezne keramike u odnosu na navedene materijale je u sporijem habanju što omogućava povišenje proizvodnosti obrade.

1.1 Oksidna keramika

Oksidna keramika je danas najrasprostranjenija rezna keramika. Aluminijum oksid poseduje visoku hemijsku stabilnost u odnosu na većinu obrađivanih materijala. Nedostatak aluminijum oksida je mala čvrstoća. Tako, praktično svi rezni materijali na osnovi Al_2O_3 sadrže 0.1-1% mase magnezijum oksida, termozaštićujući rast zrna i povišujući čvrstoću aluminijum oksida. Dodatak magnezijum oksida obrazuje tanke slojeve $MgAl_2O_3$, stvarajući oblast zaštite oko zrna, a time se sprečava rasprostranjivanje prskotina, odnosno utiče na dobijanje keramike povišene čvrstoće. Za povišenje žilavosti i postojanosti na povišenim temperaturama dodaje se ZrO_2 . Dejstvo ZrO_2 (do 15%) se svodi uglavnom na stvaranje naprezanja među strukturnim sastavom.

U ovu grupu rezne keramike spadaju materijali marke: VO13 (Soiuztverdosplav-ZND), AC5 (Hertel-D), SN60, SN80 (Feldmuhle-D), Widalox C (Krupp-Widia-D), K060 (Kennametal-SAD), CC620 (Sandvik Coromant-S), (tab.1.).

Keramički materijali oksidno-karbidnog tipa (mešana keramika) sadrži 5-40% mase karbida, karbonitrida ili titannitrida koji obrazuju u keramici tankodisperzione faze koje ograničavaju rast zrna Al_2O_3 i povećavaju čvrstoću materijala. Keramika oksidno-karbidnog tipa u poređenju sa oksidnom se razlikuje povišenom čvrstoćom na sabijanje, postojanošću na habanje i termičkom stabilnošću. U industrijskim razmerama rezna keramika oksidno-karbidnog tipa proizvodi se pod nazivom: NB90, NB90M (Sumito Electric-J), Widalox R (Krupp Widia-D), MC2 (Hertel-D), SH1, SH20 (Feldmuhle-D), K090 (Kennametal-SAD), CC650 (Sandvik Coromant-S), VOK60, VOK71 (Soiuztverdosplav-ZND)

U oblasti optimizacije svojstava oksidne keramike na bazi aluminijum oksida je stvaranje armiranog keramičkog materijala (do 40% mase) vlaknima silicijum karbida (dužine 10-80 μm , $\delta \epsilon \beta \lambda \phi \eta \nu \epsilon$ 0.6 μm). Uvođenjem vlakana silicijum karbida u aluminijum oksid poboljšava se raspodela naprezanja i odvođenje toplote, a udarna žilavost se uvećava do 2 puta. Alatom od ovog materijala postiže se brzina rezanja, korak i dubina rezanja i do 2 puta veća u odnosu na mešanu keramiku [1,4].

1.2 Nitridna keramika

U poređenju sa oksidnom keramikom, nitridna keramika poseduje veoma visoku čvrstoću na savijanje i udarnu žilavost. Osim toga, alatni materijali na bazi silicijum nitrida poseduju visoku toploprovodnost manju osetljivost na promenljiva termička opterećenja. Istovremeno visoka sklonost ka difuziji i hemijskom habanju ograničavaju oblast primene ovog materijala za rezne alate pri obradi gvožđa i legura na bazi nikla. Postoje tri vrste nitridne keramike: čista, zamenjena i kompozitna, a međusobno se razlikuju po ulaznom sastavu, tehnologiji dobijanja i fizičko-mehaničkim svojstvima.

Korišćenje aktivizirajućeg dodatka Al_2O_3 u vreme pečenja dovodi do zamene dela atoma silicijuma i azota u rešetci silicijum nitrida atomima Al i O. U ovom slučaju konačan materijal dobija naziv Syalon i sastoji se iz kristala silicijum nitrida, aluminijum oksida i tvrdog rastvora zamenjen sa Si-Al-O-N. U poređenju sa čistom nitridnom keramikom Syalon poseduje sniženu žilavost, no prevazilazi je po svojim termodinamičkim svojstvima i po stabilnosti na oksidaciju.

Dodavanje itrij oksida značajno se povećava žilavost. U industrijskim okvirima Syalon se proizvodi pod nazivom: Kyon 2000, Kyon 3000 (Kennametal-SAD), CC680 (Sandvik Coromant-S) i dr.

Dodavanje ulaznom silicijum nitridu titan karbida, silicijum karbida, titan nitrida, pogoduje sniženju stepena hemijskog habanja i povišava abrazivnu postojanost materijala. Ovakav materijal se naziva kompozitni i proizvodi se u industrijskim okvirima pod nazivom: SL200 (Feldmuhle-D), Widianit N1000 (Krupp Widia-D), Silinit R (IM AN USSR-ZND).

U cilju poboljšanja frikcionih svojstava u zoni alat-obradak i umanjenja procesa difuzije i oksidacije na pločicama od nitridne keramike nanosi se presvlaka od Al_2O_3 debljine 0.5-2 μm . U industrijskim okvirima ovi rezni alati se izrađuju u firmama Krupp Widia i NGP Spark Plug. Uporednim ispitivanjem čvrstoće na savijanje reznih pločica keramike SP4 i mešane keramike govori da je prva u prednosti za oko dva puta u odnosu na drugu.

Tablica 1. Marke keramike vodećih proizvođača

Marka	Gustina 10^{-3} kg/m^3	Čvrstoća na savijanje /MPa/	Tvrdoća	Dimenzija zrna μm
CAW CAB	-	700 800	HRA 91 HRA 94	-
Ko90 Ko60 Kyon-200	- - -	870-950 700-840 -	HRA 94-94,5 HRA 94 -	- - -
138 1322	- -	700 870	HRA 91 HRA 94	- -
VR100 VR97	- -	730 630	HRA 95-95,3 HRA 93-94	- -
V 32 V 34 Quantum 6	4,26 - -	940 490-700 -	HRA 96 HRA 94 -	- - -
DO 80	-	630	HV 2100	-
NPC A2 W80 B90 SN601	4,24 3,98 - 3,16	900 700-800 - 600-700	HRA 94 HV 2400 HV 3000 HV1400-1600	2 1,8 1,5 -
C1 HC1 HC2 SP4	- - - -	300-400 500-600 700-800 900-1000	- - - -	- - - -
CX3 HC2	- -	550 870	HRA 93,5 HRA 94,5	1-2 -
G10 G30 G50	- - -	840 700 750	HV 2100 HV 2100 HV 2100	- - -
SN60 SN80 SH1 SH20 SL100	3,97 4,16 4,30 4,28 3,16	380-440 500-600 380 380 -	HV2000-2400 HV2000-2400 HV2000-2600 HV2100 HV2000	3 2 2 2 -
Widalox R Widalox ZR Widalox C Widianit	- 4,0 4,2 -	- 450 700 -	- HV1800 HV1500 -	- 1-3 1-2 -
AC5 MC2 NC1 MC3	3,99 4,30 - -	480 500 - -	HV1700 HV2000 - -	2 2 - -
SR30	-	700	HV2100	-
CC 620 CC 650 CC 680	3,98 4,30 3,21	550 520 440	HV1700 HV1800 HV1450	- - -
VO-13 VOK-60 VOK-71 CM 332 SILINIT R	3,92-3,94 4,20-4,30 4,20-4,30 3,85-3,90 3,10-3,30	400 650 650 300-350 500-700	HRA 91-92 HRA 93-94 HRA 93-94 HRA 91 HV1700-2300	3 2 2 4-6 -

Metod dobijanja	Hemijski sastav	PROIZVOĐAČ
SN SP	-	CARMENT (SAD)
HP HP -	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiN}$ Al_2O_3 Si-Al-O-N	KENNAMETAL (SAD)
SN HP	- -	TRW WENAT-SONIS (SAD)
HP SN	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	VR WESSON (SAD)
HP SN -	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ Al_2O_3 Si_3N_4	VALENITE MODKO (SAD)
HP	-	DO ALL (SAD)
HP HIP HIP HIP	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ 30% Al_2O_3 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ Si_3N_4	SUMITOMO ELECTRIC (JAPAN)
SN HP HP i HIP HIP	Al_2O_3 Al_2O_3 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ Si_3N_4 sa pr. Al_2O_3	NEK SPARK PLUG (JAPAN-SAD)
SN HP	Al_2O_3 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$	(JAPAN)
HP SN SN	- - -	BABCOCK WILCOX (VELIKA BRITANIJA)
SN SN HP HP HIP	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ 10% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ 20% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ 10% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ 20% $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC}$	FELDMUHLE (NEMA ^ KA)
- HP HP -	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ 5% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ 5% $\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiC}$ 15%	KRUPP WIDIA (NEMA ^ KA)
- - - -	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ 5% $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{SiC}$	HERTEL (NEMA ^ KA)
SN	Al_2O_3	SECO(FRANCUSKA)
- - HIP	$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{ZrO}_2$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC} + \text{TiN}$ Si-Al-O-N	SANDVIK COROMANT (VEDSKA)
SN HP HP SN	Al_2O_3 $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiC}$ Al_2O_3	SOIJUZTVERDOSPLAV (SSSR)
HP	$\text{Si}_3\text{N}_4 + \text{TiN} + \text{Al}_2\text{O}_3$	IPM AN USSR

2. SUPERTVRDI MATERIJALI

Razvoj tehnika i tehnologija visokih pritisa i temperatura uslovio je razvoj velikog broja različitih marki polikristalnih supertvrdih materijala, koji se razlikuju po načinu dobijanja, strukturi i fizičko-mehaničkim svojstvima. Polikristalni supertvrđi materijali se razvrstavaju u tri velike grupe [2,5]:

- polikristali na osnovi dijamanta
- polikristali na osnovi bornitrida
- kompozitni (dvoslojni) polikristali

Unutar svake od navedenih grupa, dalje se izvodi klasifikacija po načinu njihovog dobijanja koji obezbeđuje konačan sastav i strukturu materijala. Pri tome različite kombinacije sastava faza, veziva i dimenzija zrna u polikristalnom supertvrdom materijalu obezbeđuje dobijanje polikristala sa zadanim fizičko-mehaničkim i eksploatacionim svojstvima. U tab. 2. prikazani su novi supertvrđi materijali vodećih kompanija u svetu [6].

2.1 Polikristali na osnovi dijamanta

Polikristale na osnovi sintetičkog dijamanta možemo klasifikovati u četiri podgrupe:

- a) Dobijen pečenjem sitnog dijamantskog praha tako da on predstavlja jednofazni produkt.
- b) Polikristal u vidu heterogenog kompozita koji se sastoji iz dijamantskih čestica učvršćenih vezivom u vidu tankih slojeva. Čvrstoća ovakvog polikristala iznosi oko 5 GPa a mikrotvrdoća 12-15 GPa.
- c) Polikristal dobijen sintezom grafita, uz prisustvo katalizatora, pri visokom pritisku i temperaturi. Gustina ovako dobijenih polikristala se menja u širokom dijapazonu tako da oni imaju manju čvrstoću i tvrdoću u odnosu na polikristale predhodne dve grupe.
- d) Polikristal dijamanta, dobijen sinterovanjem dijamantskog praha sa metalnim vezivom pri visokom pritisku i temperaturi. Kao vezivo koristi se nikal, kobalt, željezo i hrom. Ovako dobijen polikristal dijamanta ima visoka mehanička svojstva, tako da čvrstoća na sabijanje iznosi 4,5-5,5 GPa.

Jedna od najvažnijih karakteristika polikristala korišćenog za rezne alate je toplotna provodnost. Kod polikristala dijamanta ona ne samo da prevazilazi toplotnu provodnost bakra i srebra već i dostiže toplotnu provodnost monokristala dijamanta. Toplotna provodnost polikristala zavisi od temperature, tako da kod jedne marke sa uvećanjem temperature toplotna provodnost raste, dostiže maksimum pri 450°K a zatim opada. Kod druge marke monotono se snižava pri uvećanju temperature do 900°K.

2.2 Polikristali na osnovi bornitrida

Polikristali supertvrđi materijali na osnovi modifikacije bornitrida se danas sve više koriste za rezne alate namenjene za obradu gvozdja i čelika. Oni poseduju nešto nižu tvrdoću u odnosu na dijamant a odlikuju se visokom termopostojanošću, postojanošću na ciklična dejstva

visokih temperatura i što je veoma važno poseduju hemijsku inertnost ka željezu kojeg sadrži većina materijala.

Ove materijale možemo klasifikovati u sledeće podgrupe:

- a) Polikristal koji se sastoji iz sitnih čestica CBN sjedinjenih tankim slojevima metalnog veziva.
- b) Polikristal dobijen sintezom heksagonalnog bornitrida uz prisustvo katalizatora. Jedan od najpoznatijih predstavnika ove grupe je Elbor-R.
- c) Polikristal dobijen sintezom bornitrida bez prisustva katalizatora.
- d) Polikristal kubnog bornitrida sa dimenzijama čestica 3-5 μm .
- e) Kompozitni supertvrđi materijal dobijen pečenjem praha CBN sa dodatcima dijamanta, oksida, karbida i drugih teškotopljivih jedinjenja u uslovima visokih pritisa. Ovaj materijal se primenjuje pri obradi bez udara.
- f) Supertvrđi materijal koji se sastoji od dve-tri modifikacije bornitrida bez ikakvih dodataka. Ovaj materijal se odlikuje visokim fizičko-mehaničkim svojstvima i koristi se pri obradi kaljenog čelika, gvozdja i obojenih metala.

2.3 Kompozitni (dvoslojni) polikristalni supertvrđi materijali

Najvećim nedostatkom polikristalnih supertvrdih materijala se javlja visoka cena i složenost učvršćivanja na držaču zbog dimenzija pločica. Poslednjih godina intenziviran je razvoj supertvrdih materijala sa što boljim fizičko-mehaničkim svojstvima i nižom cenom izrade. To je uslovalo industrijsku proizvodnju dvoslojnih supertvrdih kompozitnih materijala (DSKM) dobijenih po pravilu pečenjem.

Principijelna osobina ovih materijala je ta, da se pečenje praha supertvrdih materijala izvodi pri veoma visokom pritisku i temperaturi, na podlozi od tvrdih metala.

DSKM ima više prednosti u poredjenju sa jednorodnim po zapremini supertvrdim materijalom: uprošćena tehnologija učvršćivanja reznog alata na držač alata, povećana je čvrstoća na udar a primena supertvrdog materijala male debljine 0,5 - 2 mm čini ih ekonomičnijom, obzirom da se pri oštrenju i preoštravanja alata značajno umanjuju bezpovratni gubici veoma skupog supertvrdog materijala.

Najpoznatije marke dvoslojnih supertvrdih materijala su: New compax, BZN (General Electric - SAD), Syndite PK Dolo, Syndite PK Do25, Amorit (De Beers-GB), itd.

Tablica 2. Novi supertvrđi materijali navedenih vodećih kompanija

Zemlja	Kompanija	Oznaka STM	Osnova STM
S A D	General Electric	Borozan 500, 510, 550, 560, 570	CBN
		Geoset Drill Diamond	SD
		Formset Dresser Diamond	SD
		New compax	SD
VELIKA BRITANIJA	De Beers	Synthetic Rotary Dresser SRD	SD
		ABN 600	BN
		ABN 615	CBN
		ABN 660	CBN
J A P A N	Tonei Diamond	Syndite 002	SD
		IRV	SD
		IDS-NP	SD
		IMG, IMG-S	SD
		IMS	SD
		TED-I	SD
	Showa Denko kk	IRM, IMM	SD
		SDD-M	SD
		SDD-E	SD
		SDD-R 80	SD
		SDD-PS	SD
	SBN-	SDD-F	CBN
		SDD-S	CBN
		SDD-T	CBN
		SDD-SN	CBN
	BBN	SDD	CBN
		DIA WD100	SD
		DIA WD200	SD
	DIA	DIA WD300	SD
		DIA DA-200	SD
		DIA DA-150	SD

b) Polikristal dobijen sintezom heksagonalnog predstavnika ove grupe je Elbor-R.

Karakteristika i primena
Metalizacija Ni, za izradu tocila sa galvanskim vezivom
Izrađuje se u obliku jednakostraničnih trouglova dimenzija 2,8; 4; 6,2 mm, debljine 2,5; 2,6 i 3,7 mm mase 0,13; 0,28 i 0,90 karata
Monokristali, oblik cilindra, prizme, mase, 0,15-0,9 karata, koriste se za profilisanje abrazivnih tocila
Prah krupnoće 100-400 kom./karatu, monokristali kubooktaedarske forme namenjeni za valjke za oštrenje
Zrna crne boje, dimenzija 20/30-325/400 μm , za alate za sečenje metala i brušenje čelika
Dimenzije zrna 60/70-325/400 μm , sa specijalnim presvlačenjem, za alate sa staklokeramičkim vezivom
Metalizirani Ni (60%) zrnost 60/70-325/400 μm , za alate sa organskim vezivom
Polikristal namenjen za obradu obojenih metala
Metalizacija Ni (55%), Cu (50%), za tocila sa organskim vezivom pri obradi tvrdog metala sa /bez bladenja
Metalizacija ni (55%) za tocila sa organskim vezivom
Monokristali za izradu tocila sa metalnim vezivom za obradu stakla, keramike, poluprovodnika, obojenih metala
U obliku monokristala oktaedarskog oblika, za alate sa metalnim vezivom za sečenje kamena, betona, stakla
Monokristal pravilnog oblika za izradu tocila sa galvanskim vezivom
Sa / bez metalizacije (Ni, Cu) za izradu tocila sa organskim i metalnim vezivom.
Tvrdoća 70 GPa (knupp), zrnost 60/70-325/400 μm , za izradu tocila sa keramičkim i metalnim vezivom
Sa metalizacijom, za izradu tocila za obradu obojenih metala, (Al, Cu, Ni i dr.) i nemetalnih materijala
Za izradu tocila sa organskim vezivom
Mikroprah zrnasti 40/60-0/1 za poliranje
Tvrdoća 47 Gpa (knupp), crne boje za tocila sa organskim vezivom
Boje čilbara, za tocila sa keramičkim i metalnim vezivom za obradu krtih i obojenih metala
Boje čilbara, sa metalizacijom, za tocila sa organskim, metalnim i keramičkim vezivom
Srebrnaste boje, metaliziran, za brušenje čelika
Metalizacija Ni (60%), za oštre rešime, za izradu tocila sa keramičkim vezivom
Polikristal za izradu filtera
Za izradu vlakana
Za izradu Cu i Al provodnika
Za struganje obojenih metala; Cu, Zn, Mn kao i kaučuka
Za izradu reznih pločica za obradu veoma tvrdih materijala - volframovih legura, keramike, itd.

bornitrida uz prisustvo katalizatora. Jedan od najpoznatijih

3. UMEŠTO ZAKLJUČKA

Polazeći od toga da je 1937. prvi put izložen keramički alat a 1953. godine izvršena prva sinteza grafita i dobijen sintetički dijamant, od tada se neprestano u svetu radi na razvoju ovih alata.

Kada je reč o našoj zemlji, najveći domet u industrijskim okvirima predstavlja CORUN (Mdd Sandvik Coromant - Univerzal) sa proizvodnjom tvrdog metala sa troslojnim oslojavanjem.

Treba reći da je RTB - Bor nabavio licencu za proizvodnju sintetičkog dijamanta (radi industrijske proizvodnje).

(Elektrobosna - Jajce ja nabavila licencu za proizvodnju nitridne keramike od Instituta metalovedenja - Kiev).

LITERATURA

1. Malcev, O.S., Anikin, V.N., i dr. Sovremennije keramičeskie instrumentalnye materialy, Tehnologija izgotovlenija i effektivnost primenjenija, Moskva, (1989), N4, s. 1-48.
2. Novikov, N. V., Devin, L.N., Metallezhuščie instrumenty v mašinostroenii, Znanie, Kiev, N4, 1988.
3. Spur, G., Keramik Bearbeitung, Carl Hanser Verlag Munchen Wien, 1989.
4. Spur, G. Tio, T.H., Schleischaden an der Oberflächenrenzzone keramischer Werkstoffe, Industrie Diamanten Rundschau, (1987), N4, s. 234-242.
5. Tanović, Lj., Glavonjić, M., Obradljivost rezne keramike, KUP seminar 89, Kopaonik, Mašinski fakultet, Beograd, (1992). s. 1 -29.
6. Tanović, Lj., Rezna keramika - osobine, dobijanje i obrada brušenjem, Mašinski fakultet, Beograd, 1992.

PRILOG RAZMATRANJU PRIMENE MODEL MATERIJALA

*Fišl J., Glavardanov I. FTN Institut za proizvodno mašinstvo,
Novi Sad; V.Perića 2*

REZIME

Model materijali se često koriste za simuliranje procesa oblikovanja u laboratorijskim uslovima. Osnovni uslov uspešne simulacije je da osobine tečenja model materijala budu što sličnije realnom materijalu, čije ponašanje treba da se simulira.

U ovom radu su prikazane osobine tečenja model materijala na bazi voska.

CONTRIBUTION TO APPLICATION OF MODEL MATERIALS

SUMMARY

Model materials are often used for metal forming processes simulation under laboratory conditions. Successful simulation requires the flow properties of the model material to resemble those of the material being simulated. In the present work, the flow properties of some wax based model material are presented.

UVOD

Razvoj procesa oblikovanja metala, poboljšanje kvaliteta i porast kvantiteta proizvoda, zahteva istovremeno promenu metoda korišćenih za razvoj i metoda korišćenih za izučavanje niza promenljivih za specifične primene.

Istraživanje mehanizama procesa oblikovanja metala uključuje upotrebu stvarnih industrijskih materijala uz investicije u postrojenje, alat i materijal.

Značajno poboljšanje ekonomičnosti pri ispitivanju, moguće je postići primenom, tzv., model materijala sa odgovarajućim fizičkim karakteristikama, koji se uvodi u laboratorijske eksperimente sa ciljem da simulira ponašanje "prave" ili prototip legure.

MODEL MATERIJALI

Model materijali se grubo mogu svrstati u dve grupe: metalne (olovo i čist aluminijum), kada se ispituju parametri sile i nemetalne (voskovi, glina, plastične mase i njihove smeše) za simuliranje modela plastičnog tečenja, što je u tesnoj vezi sa činjenicom da je napon tečenja kod njih oko tri reda veličine niži od napona tečenja metala.[1]

Nehomogenost nemetalnih materijala povećava razlike u ponašanju na zatezanje, pritisak i torziju kod tečenja i iz tog razloga svaki potencijalni model materijal se mora vrlo pažljivo koristiti. Ovo je posebno karakteristično za plastične mase koje predstavljaju materijal sastavljen iz amorfni konstituenta kao što su smeše mineralnih ulja i mineralnih punilaca.

Problemi nehomogenosti su prevaziđeni uvođenjem voskova, zbog njihove kristalne strukture i veće homogenosti. Laka obrada tih materijala dopušta njihovu upotrebu za proizvodnju različitih i tačnih oblika.

Pioniri u primeni voska u ove svrhe su Massey, Bodsworth, Halling i Barton.[2]

Da bi se izvršila kvantitativna analiza nekog procesa pomoću model materijala, neophodno je razviti materijal koji daje aproksimativnu sličnost pri plastičnom ponašanju između modelirane i realne situacije, što znači da eksponent deformacionog ojačavanja mora biti isti, bez obzira na uticaj brzine deformacije i temperature.

Uopšteno, nije moguće proizvesti model materijal sa potpuno istim plastičnim ponašanjem u odnosu na realni čelični materijal. Nadalje, ne postoji teorijski model koji može tačno da odredi tečenje materijala u toku procesa oblikovanja. Kao posledica toga, rezultati se moraju proceniti na osnovu svakog odstupanja koje se može pojaviti između model i realnog materijala, što zahteva dobro poznavanje ponašanja oba materijala i promene ponašanja u toku procesa uključujući specifične uslove u laboratoriji.

Za analizu ponašanja materijala pri promeni uticajnih faktora od izuzetnog značaja su krive tečenja. Nemetalni materijali su veoma osetljivi na efekte brzine deformisanja i temperature i zadovoljavajuće modeliranja se može postići ako se poznaje odgovor materijala na promenu tih parametara i kao posledica ako se uporede odgovarajuće krive tečenja sa istim krivama prototipa.

U zavisnosti od mehaničkih osobina model materijala u slučaju promene uslova opterećenja i načina deformacije dobijaju se serije krivih napon-deformacija na osnovu kojih se može izvršiti adekvatan izbor najpovoljnijeg model materijala.

ZAKON SLIČNOSTI

Transformacija eksperimentalno dobijenih rezultata sa modela na realni materijal, se postiže primenom zakona sličnosti.

Uslovi sličnosti zavise od toga koliko se eksperimenti na modelu razlikuju od realnog procesa za koji su potrebne informacije. Problem pri korišćenju zakona sličnosti, umesto primene konstitutivnih jednačina, je u tome što se u početnoj fazi istražuju samo najznačajniji parametri da bi se odredili uslovi sličnosti; to zahteva poznavanje procesa, i ono što je najvažnije, graničnih uslova, i bez tih informacija analiza je netačna a rezultati su nepouzdati. Pri određivanju najvažnijih parametara postoje problemi i opšteg i posebnog ograničenja koji se

daju u literaturi, što znači da se u većini slučajeva primenjuje samo aproksimativna sličnost a za potpuno sagledavanje potrebnih parametara pri analizi potrebno je izvršiti preliminarne eksperimente.

Zakoni sličnosti koji se koriste u analizi modela su:

a. Geometrijska sličnost koja zahteva identične oblike alata i dela koji se obradjuje kao i identičan količnik faktora dimenzija, l:

$$\lambda = l_M / l_R$$

gde je l dimezija dužine, indeks M se odnosi na model a R na realan deo.

b. Plastična sličnost je data relacijom:

$$\sigma_R / \sigma_M = k \lambda^2$$

gde je k količnik sila,

c. Sličnost u uslovima trenja

$$m_k = m_M$$

gde je m faktor trenja.

Zakoni sličnosti se mogu primeniti na veličinu napona tečenja koji se uopšteno može prikazati izrazom

$$\sigma = \sigma(\epsilon, \dot{\epsilon}, T) \quad (1)$$

gde su: σ - napon tečenja ϵ - deformacija $\dot{\epsilon}$ - brzina deformacije T - temperatura

Ako se posmatra slučaj deformacije na "hladno" i usvoji se da je napon tečenja nezavisan od brzine deformacije jednačina (1) prelazi u oblik

$$\sigma = \sigma(\epsilon, T) \quad (2)$$

i ako je proces adijabatski

$$\sigma = \sigma(\epsilon) \quad (3)$$

Kada se usvoji da zavisnost napon-deformacija sledi jednačinu Hollomona, koja ima široku primenu za čelike i aluminijum, tada je za izotermalne uslove data jednačina u obliku:

$$\sigma = C \epsilon^n \quad (4)$$

gde su: C i n konstante u jednačini napon-deformacija.

Može se uočiti da je uslov "plastične sličnosti" potpuno zadovoljen ako je eksponent deformacionog ojačavanja, n, isti za model i realan materijal. Nadalje, krive napon-deformacija za model i realan materijal moraju biti određene na stvarnoj temperaturi oblikovanja.

Ukoliko se razmatra i uticaj brzine deformacije izraz (4) prelazi u

$$\sigma = C \epsilon^n \dot{\epsilon}^m \quad (5)$$

Opšte je poznato da se model materijali mogu koristiti u kvalitativnoj analizi tečenja materijala u procesima oblikovanja i da u tom slučaju poznavanje krive napon-deformacija nije od posebnog značaja. Međutim, ako postoji interes za kvantitativno određivanje deformacije, sile oblikovanja i veličine pritiska tokom procesa, neophodno je imati vezu između napona i deformacije izraženu preko konstitutivnih jednačina, kako je to prikazano kod nekih autora u literaturi.[3]

Izraz za vezu između napona i deformacije zavisi od veličine brzine deformacije, $\dot{\epsilon}$, koja za male vrednosti, npr., $\dot{\epsilon} \ll 0,1$, zadovoljava relaciju $\sigma = C\dot{\epsilon}^n$ kao dobru aproksimaciju za korišćeni model materijal. Izraz $\sigma = C\dot{\epsilon}^n \dot{\epsilon}^m$, je podesan za veće brzine deformisanja, gde je m eksponent brzine ojačavanja. Treba istaći da primenjena jednačina napon deformacija u velikoj meri zavisi od korišćenog model materijala i uslova okoline u kojoj se koristi.

EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Kao ilustracija procesa ispitivanja model materijala daje se primer jednog karakterističnog ispitivanja iz literature.[4]

MATERIJAL

U eksperimentu su korišćeni komercijalni modelarski vosak (Filia), njegove smeše sa mikrovoskom, prirodnom smolom i kaolinom i smeše mikrovoska, smole i kaolina. Količinski udeo dodatih komponentata se u tekstu daje uvek po redosledu mikrovosak : smola : kaolin.

ISPITIVANJE PRITISKOM

Uzorci su ispitivani na elektronskoj kidalici. Brzina čeljusti je bila konstantna u intervalu od 1-300 mm/min; ta brzina odgovara brzini deformacije od oko 0,0004-0,1 s na početku sabijanja. Brzina deformacije u toku sabijanja se povećava prema relaciji

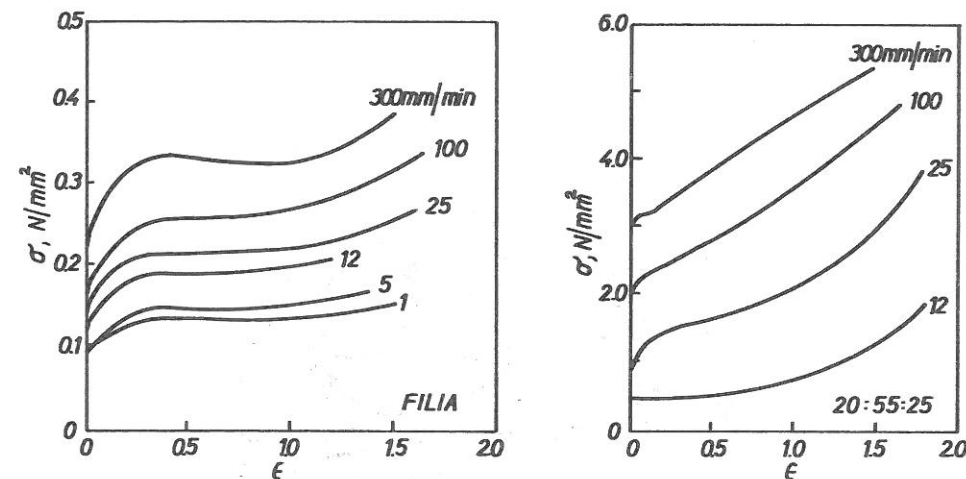
$$\dot{\epsilon} = V / [L_0 \exp(\epsilon)]$$

gde je : V - brzina čeljusti L_0 - početna dužina uzorka ϵ - tekuća deformacija sabijanja Na početku ispitivanja $\epsilon = 0$ pa izraz (6) prelazi u $\dot{\epsilon} = V / L_0$

Temperatura uzorka je održavana konstantnom u toku eksperimenta. Kontaktne površine uzorka su podmazivane čistim vazelinom.

REZULTATI ISPITIVANJA

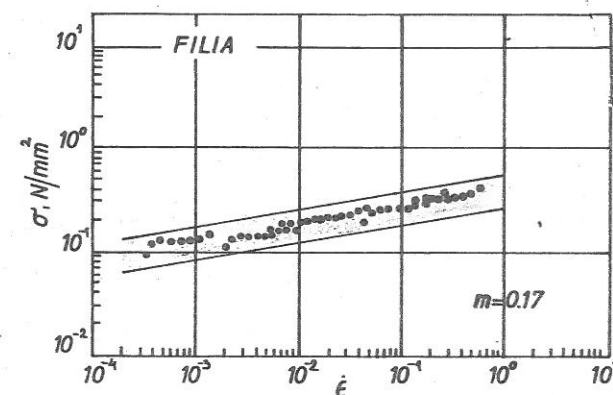
Napon i deformacija su izračunavani iz rezultata ispitivanja sabijanjem i predstavljeni su u obliku krivih napon-deformacija, sl.1. Napon tečenja zavisi od brzine čeljusti i povećava se sa povećanjem brzine čeljusti. Na osnovu oblika krivih da se zaključiti da oba materijala deformationo ojačavaju.



sl.1 Krive napon - deformacija za modelarski vosak (Filia) i smešu 20:55:25 na 22°C. Brzine čeljusti su naznačene na slikama.

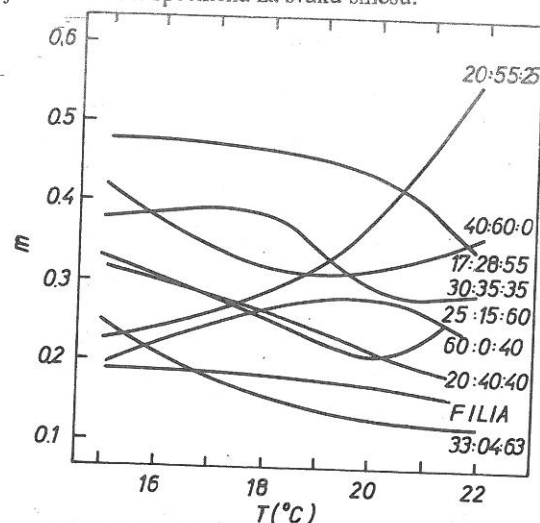
Logaritmovanjem obe strane jednačine (5) dobija se : $\log(\sigma) = \log C + n \log \dot{\epsilon} + m \log \epsilon$

U slučaju da je brzina deformacije konstantna, n predstavlja nagib krive napon-deformacija u logaritamskim koordinatama. Slično, nagib krive $\log \sigma - \log \epsilon$ daje vrednost m , ali se ovde vrednost napona tečenja uzima pri određenoj deformaciji. Primer određivanja m je dat na slici 2, gde su vrednosti napona tečenja i brzina deformacije računati iz podataka sa slike 1.



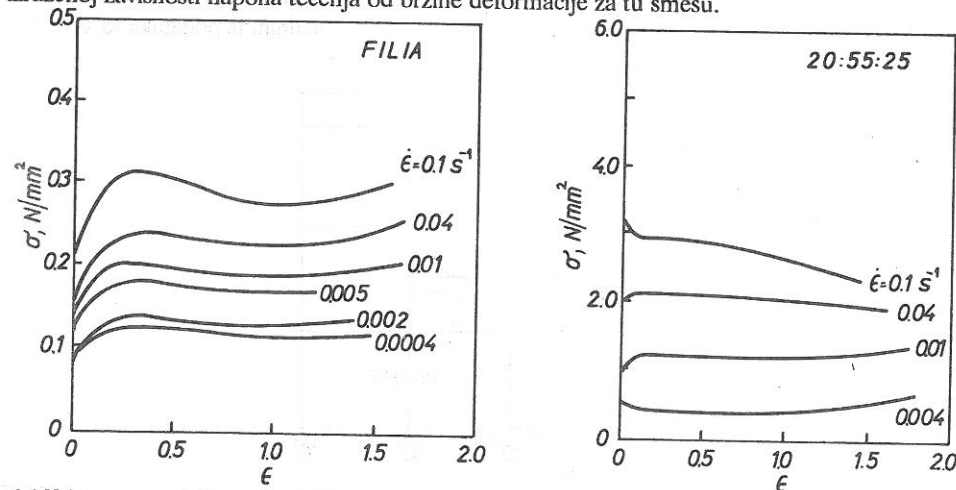
sl.2 Zavisnost brzine deformacije od napona tečenja za modelarski vosak. Koefficient brzine deformacionog ojačavanja m je dat nagibom prave.

Vrednost m je određena za sve vrste i odnose smeša voskova na različitim temperaturama. Ova zavisnost je prikazana na slici 3, odakle se može zaključiti da je to veličina koja zavisi od temperature ali je ta zavisnost specifična za svaku smešu.



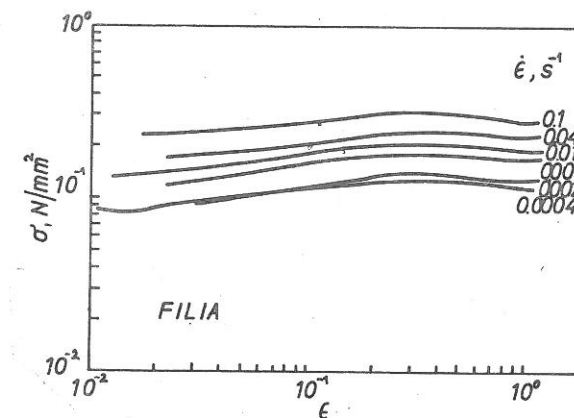
sl.3 Zavisnost koeficijenta brzine deformacionog ojačavanja od temperatura modelarskog voska i smeše voskova.

Krive napon-deformacija sa slike 1 se mogu predstaviti u dijagramu prikazanom na slici 4, za slučaj konstantne vrednosti brzine deformacije. Uočava se da se napon tečenja pri većim deformacijama značajno smanjuje u poređenju sa krivama na slici 1. Posebno se zapaža za smešu sastava 20:55:25 poravnavanje krivih u odnosu na one na slici 1 što se može pripisati izraženoj zavisnosti napona tečenja od brzine deformacije za tu smešu.



sl.4 Krive napon - deformacija dobijene pri konstantnoj brzini deformacije za modelarski vosak i smešu 20:55:25. Brzine deformacije su naznačene na slici.

Na osnovu ovih podataka može se usvojiti da efekat deformacionog ojačavanja voskova zavisi od brzine deformacije koju uslovljavaju uslovi ispitivanja. Za određivanje eksponenta deformacionog ojačavanja, n , u jednačini (5) podaci napon - deformacija su dati u logaritamskim koordinatama. Primer je dat na slici 5, gde su podaci sa slike 1 predstavljeni u logaritamskoj podeli. Tok zavisnosti ima ekstremnu vrednost pri deformaciji od oko 0,3. Za male deformacije ($< 0,3$) $n = 0,14$ dok je za veće deformacije - 0,08, što ukazuje na to da n ima dve vrednosti. Ova pojava se sreće i kod koeficijenta deformacionog ojačavanja čelika. Za ispitivane smeše voskova, zavisnost napon - deformacija sa logaritamskim koordinatama može biti opisano jednom linijom. Vrednosti napona tečenja, pri velikim deformacijama su sa greškama što se pripisuje buričastom obliku uzoraka koji nastaje tokom ispitivanja.



sl.5 Podaci sa slike 4 za modelarski vosak, dati u logaritamskoj zavisnosti.

Modelarski vosak i njegove smeše deformaciono ojačavaju (pozitivna vrednost n) pri malim deformacijama i omekšavaju pri velikim defoirmacijama (negativna vrednost n). Koeficijent deformacionog ojačavanja n raste kada je vosak u smeši sa kaolinom, ali dodatak mikrovoska smanjuje vrednost n . Efekat je sličan i u slučaju nivoa napona (C). Smeše uzrokuju samo male promene u zavisnosti napon tečenja - temperatura. Zavisnost napona tečenja od brzine deformacije za smeše voskova, izuzev smeše 33:04:63, je veća od modelarskog voska i njegovih smeša. Smeše voskova, izuzev 20:55:25, deformaciono omekšavaju. Međutim, nivo napona na krivama napon - deformacija je značajno viši a temperaturna zavisnost napona tečenja data parametrom β je takođe viša.

ZAKLJUČAK

Osobine model materijala na bazi voska su manje poznate od osobina metala. Sastav komercijalnih voskova može značajno da varira, što čini da je poređenje objavljenih rezultata neizvesno. Napon tečenja voskova je veoma zavisao od brzine deformacije i temperature. Značajna zavisnost brzine deformacije i temperature od napona tečenja voskova se razlikuje od zavisnosti kod metala, na sobnoj temperaturi. Međutim, čelik i verovatno ostali uobičajeni metali pokazuju slično ponašanje na višim temperaturama, visoke radne temperature, što objašnjava uspešnost upotrebe voska kao modela za procese na visokim temperaturama. Većina voskova deformaciono omekšava ili umereno ojačava samo pri malim deformacijama; to podseća na ponašanje čelika na višim temperaturama. Zavisnost napona tečenja od temperature za voskove je značajnija od one kod metala a to može biti izazvano lokalnim omekšavanjem, ako temperatura voska nije konstantna u toku procesa oblikovanja ili ako se vosak lokalno greje zbog trenja.

LITERATURA

1. H. Bennett, F.A.I.C., Industrial Waxes, New York, 1975
2. C. Bodsworth, J. Halling and J.W. Barton, J. Iron Steel Inst., 185(1957)375
3. V. Maegaard, J. Mechanical Working Technology, 12(1985)173-192
4. S. Finer, S. Kivivuori and H. Kleemola, J. Mechanical Working Tehnology, 12(1985)269-277

STRUKTURNA PONAŠANJA LEGURE Al-Li-Cu-Mg-Zr U USLOVIMA KONTINUIRANOG ZAGREVANJA

STRUCTURAL BEHAVIOUR OF Al-Li-Cu-Mg-Zr ALLOY IN CONDITIONS CONTINUOUS HEATING

O. Novitović* G. Avramović-Cingara** M. Roguljić***

*NIC Užice

** ITN Novi Sad

*** TMF Beograd

Prva kvantitativna ispitivanja pomoću elektronske mikroskopije su ostvarili Friese, Kelly i Nicholson⁽¹⁾. Oni su poredili rezultate dobijene elektronskom mikroskopijom sa rezultatima postignutim rasipanjem X zraka pod malim uglom i utvrdili su da su radijusi određeni pomoću X zraka veći od onih određenih elektronskom mikroskopijom.

U ovom radu mi smo želeli da odredimo kinetiku procesa starenja i njihov uticaj na mehaničke osobine u uslovima kontinuiranog starenja.

Abstract

First quantitative investigations by means, of electron microscopy were carried out by Friese, Kelly and Nicholson.⁽¹⁾ They compared the results obtained by electron microscopy with those achieved by small - angle x - ray scattering and established that the radii determined by means of X-rays were larger than those determined by electron microscopy. In the present work we wanted to determine the kinetics of ageing processes and their influence on mechanical properties during continuous ageing.

Uvod

Osnovna specifičnost legura Al-Li-X je što se kod ovih legura područje čvrstog rastvora koristi kao mogućnost za poboljšanje mehaničkih osobina. Za praktično izvođenje ojačavanja, legure se termički rastvaraju i kale u vodi a zatim termički talože na povišenim temperaturama.

Da bi se proverio koncept o odlučujućoj ulozi praznina u procesu termičkog taloženja, eksperiment je vođen tako što se različito stanje praznina u ispitivanoj leguri postizalo primenom različitih brzina kontinuiranog zagrevanja. Postignuti rezultati su pokazali da se maksimumi tvrdoće ostvaruju pri različitim temperaturama za određene brzine zagrevanja, s tim što se najveći efekat postiže pri brzini zagrevanja od $1^\circ\text{C}/\text{min}$.

S druge strane ubrzavanje procesa termičkog taloženja pri brzini zagrevanja od $1^\circ\text{C}/\text{min}$, u odnosu na brzine $0,05$, $0,1$ i $0,167^\circ\text{C}/\text{min}$, navodi na pretpostavku da je brzina okupljanja praznina i stvaranje kompleksa, praznina-atom litijuma u ispitivanoj leguri veća od brzine odgrevanja praznina. Ovde značajnu ulogu odigravaju i greške u kristalnoj rešetci. Velika koncentracija praznina je zadržana naglim hlađenjem sa temperature termičkog rastvaranja, ubrzava difuziju rastvorenih atoma uslovljavajući specifičnu kinetiku taloženja, pre svega u njegovom početnom stadijumu. Iako se produženjem vremena držanja ili sa povišenjem temperature taloženja pri određenim uslovima zagrevanja sve veći broj praznina nađe na površini uzorka ili granici zrna, odnosno „ponire“ u dislokacije, koncentracija praznina pod određenim uslovima relativno dugo prevazilazi ravnotežnu vrednost.

Različito stanje praznina u leguri se postiglo promenom brzine kontinuiranog zagrevanja uz ostale iste uslove.

Eksperimentalna tehnika i rezultati

Za ispitivanje starenja korišćena je višekomponentna legura tipa Al-Li (8091) sledećeg hemijskog sastava, koji je dat tabelom 1.

Tabela 1. Hemijski sastav legure Al-Li (8091)

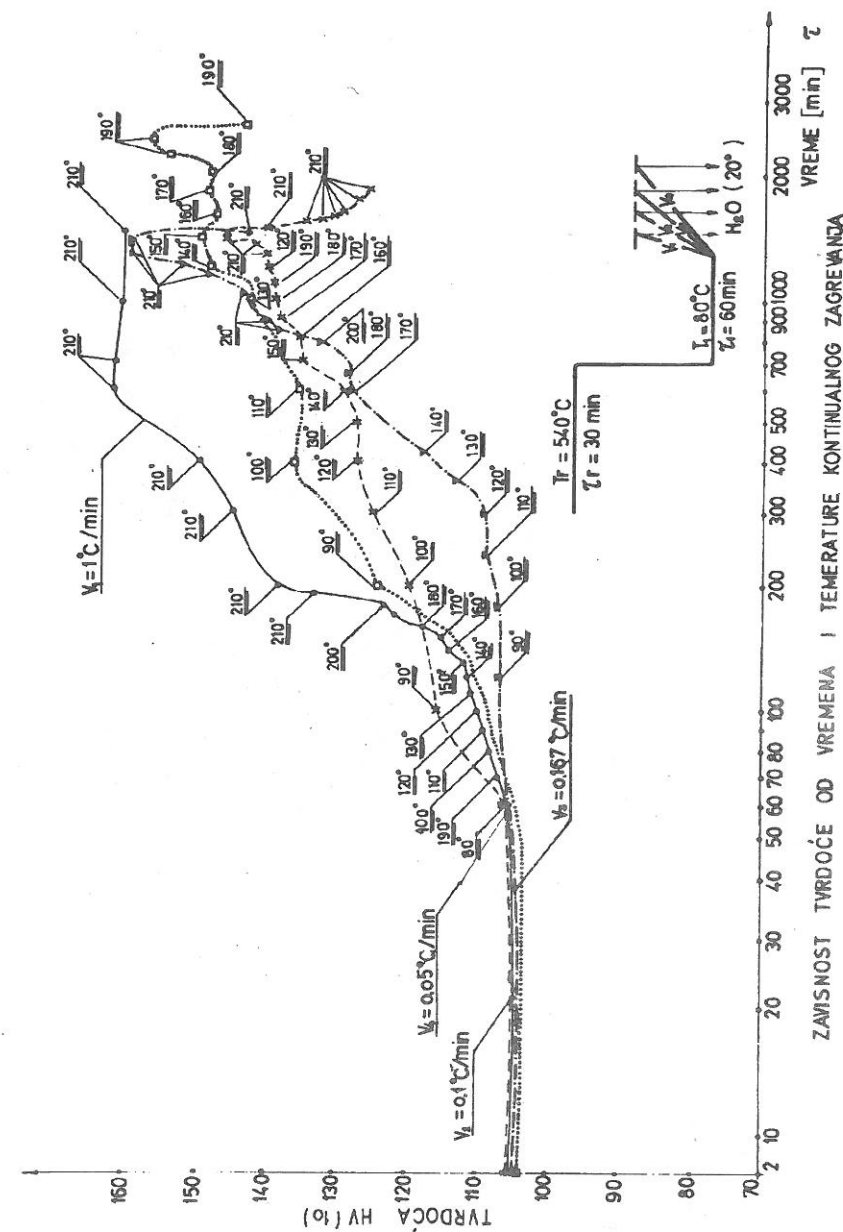
Hemijski sastav u težinskim %				
Li	Cu	Mg	Zr	Al
2,76	1,86	0,8	0,12	ostatak

Legura je dobijena u obliku šipke prečnika 10 mm iz koje su isečeni uzorci debljine 1 mm. Uzorci su radi prevođenja u α rastvor termički rastvarani na 530°C u vremenu od 30 minuta u vertikalnoj komornoj peći, direktno zakaljeni na temperaturi prvog stepena taloženja (80°C), gde su stajali 60 minuta, a zatim kontinuirano zagrevani različitim brzinama: $0,05$, $0,1$, $0,167$ i $1^\circ\text{C}/\text{min}$.

Napredovanje procesa starenja praćeno je merenjem tvrdoće. Ova osobina merena je odmah posle tretiranja.

Dobijeni rezultati su svrstani u obliku krivih tvrdoća-vreme starenja. Slikom 1 data je grafička zavisnost tvrdoće u funkciji od vremena taloženja u toku kontinuiranog zagrevanja za sve četiri brzine.

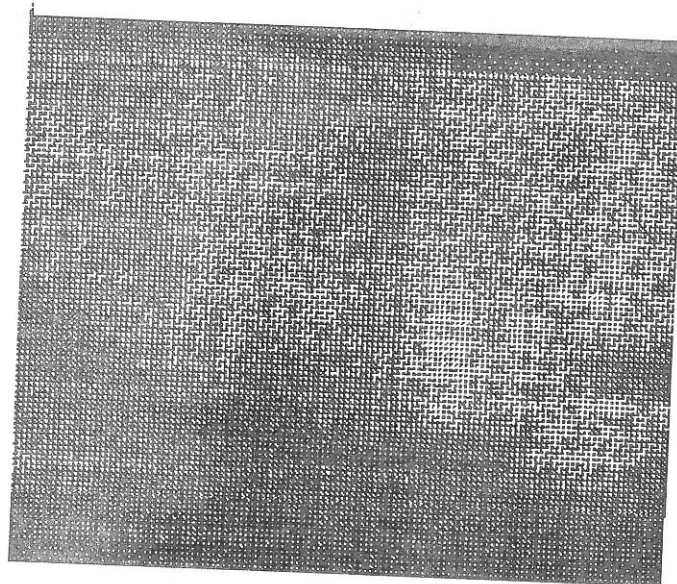
Starenje na prvom stepenu taloženja (80°C u vremenu od 60 minuta), je pokazalo da nema promene u tvrdoći. Sa povišenjem temperature pri kontinuiranom zagrevanju različitim brzinama primećen je rast tvrdoće do postizanja maksimuma, s tim što se uočavaju razlike u efektima kod različitih brzina zagrevanja. Maksimumi imaju različitu vrednost s obzirom na u kinetici taloženja. Pad tvrdoće posle dostizanja maksimalne vrednosti je povezan sa ogrubljanjem čestica taloga i rastom srednjeg rastojanja između njih (prema Kellyju i Nicholsonu). (1)



Slika 1.

Iz krive starenja za brzinu 0,05 i 0,1°C tvrdća kontinuirano raste od 80°C, a za brzinu 0,167°C/min rast tvrdće je izrazitiji po dostizanju 120°C, dok za brzini 1°C/min sve do temperature od 200°C (vreme starenja 180 minuta) prisutan je lagan rast tvrdće da bi na 210°C došlo do naglog ojačavanja legure i postizanja maksimalne tvrdće, što se ostvaruje posle 600 minuta taloženja ($HV(10) = 161$).

Slikom 2 data je transmisiona elektronska mikroskopija za uzorak kontinuirano zagrevan brzinom 1°C/min i to na maksimumu ojačavanja.



Slika 2. TEM, 50000 x, snimljen δ' (Al_3Li) talog u jednom zrnju, (termičko rastvaranje na 540°C, 30 minuta, prvi stepen taloženja 80°C/60 minuta, kontinuirano zagrevanje brzinom 1°C/min do postizanja maksimalnog ojačavanja).

Na slici se vidi fino disperzan sitan talog, globularnog oblika, koji potiče od δ' (Al_3Li) faza, s obzirom na njegovu gustinu i ravnomernost raspodele može se očekivati solidna čvrstoća, žilavost i visoka koroziona otpornost.

ZAKLJUČAK

Postignuti rezultati omogućuju izvođenje sledećih zaključaka:

- kaljenjem sa temperature rastvarajućeg žarenja u leguri je zadržana neravnotežna koncentracija praznina;
- u toku taloženja na prvom stepenu veliki deo praznina se vezao za litijumove atome tako da se taj period može smatrati kao inkubacioni;

- kontinuiranim zagrevanjem tj. povišenjem temperature difuzija litijuma određuje kinetiku rasta i kontroliše proces obrazovanja δ' faze $\check{C}(2)$;

- kontinuiranim zagrevanjem tj. povišenjem temperature koncentracija praznina raste, tako da se može pretpostaviti da je u leguri stalno zadržana neravnotežna koncentracija praznina, iznad one koja odgovara izotermalnim uslovima, na taj način praznine pomažu difuziju i olakšavaju proces nukleacije taloga;

- pri različitim brzinama zagrevanja ostvaruju se različiti efekti taloženja zbog razlike u strukturi;

- maksimalno ojačavanje se postiže pri brzini zagrevanja od 1°C/min posle 600 minuta taloženja, kao posledica velike količine ravnomerno raspoređenog sitno disperznog β_3 (Al_3Li) taloga a verovatno i S' (Al_2CuLi) i $T1$ (Al_2CuMg) taloga.

LITERATURA

1. Freise, E. J., A. Kelly and R. B. Nicholson, „Guinier-Preston Zones in an Aluminium-Silver Alloy“ - Acta Metallurgica 9 : 250, 1961.
2. F. Abe, H. Araki, T. Noda, K. Kamada, Precipitation hardening owing to δ' (Al_3Li) in low activation AlLi alloy, Mat. Science and Technology Sept. 1990 vol 6; p. 829-832.
3. S. F. Bauman and D. B. Williams Metall Trans, 1985, 16A, 1203-1211.
4. O. Novitović, M. Rogulić, G. Avramović-Cingara, The Influence of different ageing treatments on precipitation in Al-Li-Cu-Mg-Zr alloy, Moskva 1990 god, Sedmi internacionalni kongres termičke obrade.
5. O. Novitović, M. Rogulić, Supplement to the study of hardness change in alloy Al-Li-Cu-Mg-Zr, Aluminium 1-68, Jahrgang 1992, p. 54-56.
6. O. Novitović, B. Jorodović, A. Maričić, Influence of small deformations on precipitation kinetics of alloy Al-Li 8090, Aluminium, 1992.
7. O. Novitović, M. Rogulić, G. Avramović-Cingara, Precipitation phases in Al-Li-Cu-Mg-Zr, 13 Savetovanje rudara i metalurga Bor 1991.

MIKROSTRUKTURA I OSOBINE BAINITNOG NODULARNOG LIVA-ADI MATERIJALA

L. Šidanin i M. Novović Institut za proizvodno mašinstvo,
Fakultet tehničkih nauka 21000 NOVI SAD

SUMMARY

The morphology, crystallography and substructure of bainitic ferrite formed in Si SG38 in the temperature range 250 to 400 °C have been studied by light and transmission electron microscopy. In the light microscope bainite exhibits acicular or plate morphology depending on transformation temperature, while the TEM shows only plate morphology. The formation of carbide in ferrite, austenite or at the ferrite/austenite interface depends not only on temperature but on the holding time also. The differences in the type and amount of the microconstituents hardly influence the mechanical properties of ADI material.

1. UVOD

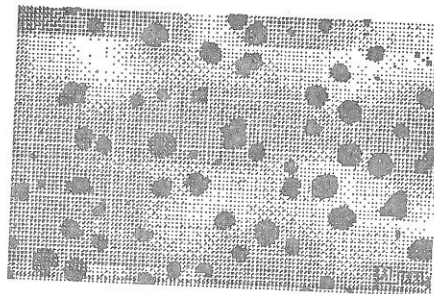
Bainitni nodularni liv, odnosno ADI materijal, kako se u svetu naziva je novi materijal koji mnogo obećava. Mehaničke osobine koje se mogu menjati, direktno zavise od vrste i količina faza u mikrostrukturi koji su u tesnoj vezi sa hemijskim sastavom nodularnog liva i termičkog tretmana. Pregledom svetske literature konstatovano je da radova vezanih za primjenu svetlosnog i transmisionog elektronskog mikroskopa u cilju karakterizacije ADI materijala ima veoma malo. Zapravo prvi publikovan rad na tu temu je bio 1987. god. /1/. Razlog tome je pre svega komplikovanost mikrostrukture, kao i teškoće pri pripremi uzoraka diska 3 mm zbog prisustva nodula grafita. Stoga su kao osnova pri istraživanju bainitne mikrostrukture nodularnog liva poslužili radovi vezani za bainitnu strukturu silicijumovih čelika /2-4/, kod kojih hemijski sastav odgovara hemijskom sastavu metalne osnove nodularnog liva.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

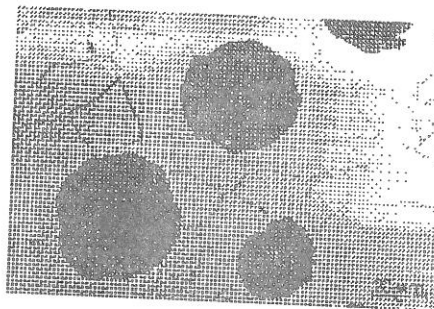
Za ispitivanje su korišćene zatezne i žilavosne epruvete od standardnog feritnog nelegiranog nodularnog liva NL38 (3,8%C, 2,9%Si, 0,008%S, 0,032%Mg). Uzorci su austenitizirani na 900°C i izotermno transformisani na 250, 300, 350 i 400 ° u trajanju od 1, 2, 3 i 5 časova. Pored mehaničkih osobina ispitivana je i mikrostruktura korišćenjem više metalografskih tehnika. U tom cilju ispitivani su presjeci nedeformisanih delova epruveta. Za svetlosnu mikroskopiju korišćen je Leitz-ov mikroskop sa konvencionalnom pripremom uzoraka i toplom oksidacijom /5/. Isti uzorci su korišćeni za određivanje količine zaostalog austenita metodom rendgeno- strukturne analize primjenom Co Ka zračenja pri 40 KV i 30 mA. Obrada rezultata pomoću računara je omogućila dobijanje vrednosti 2Q, d i J potrebnih za kvantitativno određivanje zapreminskog udela zadržanog austenita po relaciji : $C + C\gamma + C\alpha b = 1$. Sa druge strane procedura pripreme uzoraka za transmissionu elektronsku mikroskopiju je posebna i već je objavljena /6/. Sastoji se od potpune mehaničke pripreme i jonskog stanjivanja u snopu jona argona pri potencijalu 5-6 KV. Ispitivanje je vršeno na JEOL 4000 FX elektronskom mikroskopu.

3. REZULTATI I DISKUSIJA

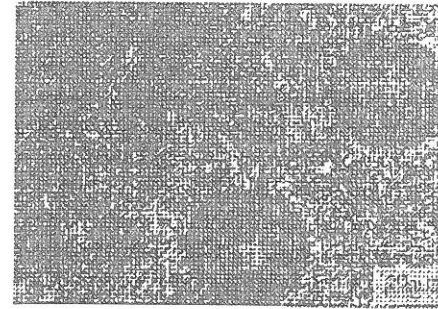
Oblik, veličina i raspored nodula grafita su ujednačeni sa stepenom sfefoidizacije >90%. Veličina nodula je bila 35 μ m, a broj nodula 150/mm², slika 1. Zapreminski udeo nodula grafita kao srednja vrednost 35 merenja je 11% . Mikrostruktura metalne osnove u livenom stanju je bila potpuno feritna, slika 2.



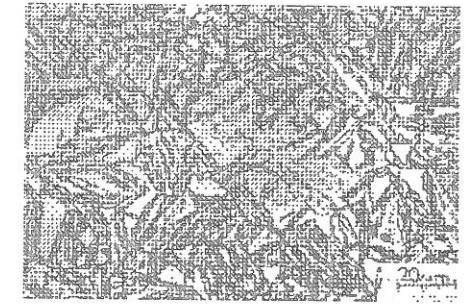
Sl.1 Oblik i raspored nodula grafita



Sl.2 Mikrostruktura metalne osnove-liveno stanje

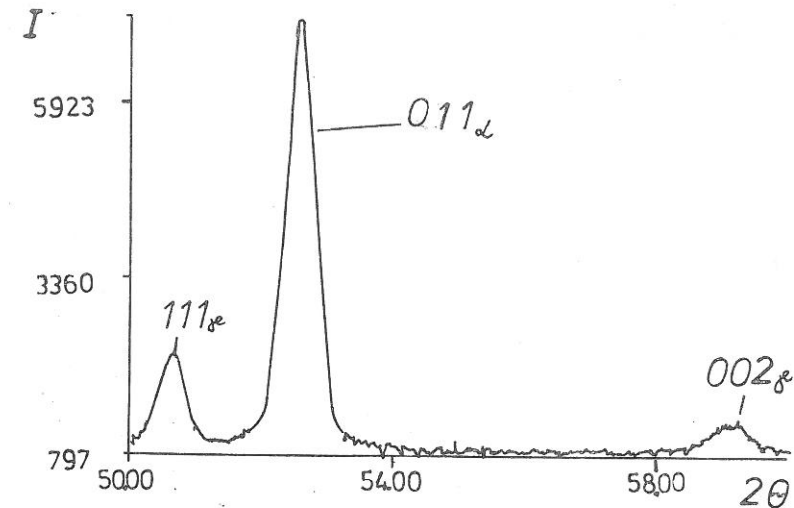


sl.3 Mikrostruktura metalne osnove,
Tb=300 C/1h



Sl.4 Mikrostruktura metalne osnove,
Tb=400 C/5h

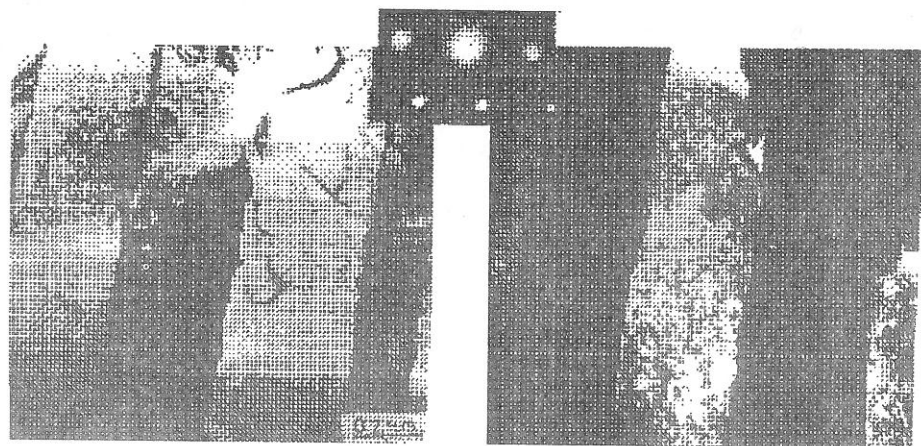
Izotermnom transformacijom u temperaturnom opsegu 250-400 C mikrostruktura metalne osnove se promenila. Svetlosni mikroskop je pokazao da postoje dve morfologije bainitnog ferita. Kod uzoraka transformisanih na 250, 300 i 350 °C identifikovan je acirkularni bainitni ferit koji je smešten u osnovi obogaćenog stabilnog austenita, slika 3. Količina obogaćenog stabilnog zadržanog austenita se kreće od 20-36%. Kod izotermne transformacije uzoraka nodularnog liva na 400 °C dobijen je pločasti bainitni ferit, a količina obogaćenog, stabilnog zadržanog austenita je 46%, slika 4. Identifikacija obogaćenog, stabilnog zadržanog austenita je moguća primjenom metode tople oksidacije. Izgled difraktograma za određivanje zapreminskog udela austenita prikazan je na slici 5.



Sl. 5. Difraktogram dobijen sa Co Ka

Razlike u mikrostrukтури uočene svetlosnim mikroskopom se potpuno gube kada se ispitivanje vrši transmisijom elektronskim mikroskopom. Rezultati TEM ispitivanja su prikazani na slikama 6-10. Oni pre svega pokazuju da morfologija bainitnog ferita ne zavisi od temperature transformacije. To je u stvari kompozitna struktura koja je sastavljena naizmenično od pločica ferita i obogaćenog austenita. Temperatura transformacije utiče na širinu pločica. One su najmanje kod 250 °C (0,15 μ m), a najveće kod 400 °C (0,4 μ m). Prema tome bainitni feriti u celom intervalu izotermne transformacije imaju istu morfologiju-pločasti su.

Međutim razlike ipak postoje, a vidljive su jedino pomoću TEM-a. Razlika je zapravo u prisutnosti karbida, a njihovo nastajanje zavisi i od temperature transformacije i od vremena transformacije. Tipična ADI-mikrostruktura koja se sastoji od bainitnog ferita bez karbida i obogaćenog stabilnog austenita je dobijena kod uzorka izotermno transformisanog na 350 °C u trajanju od 1 časa, slika 6 (a,b). Kod ostalih termičkih tretmana pored Fe_3C identifikovani su i tri tipa prelaznih karbida: η -karbid, ϵ -karbid i χ -karbid. η -karbid je nastao u uzorku koji je izotermno transformisan na 350 °C u trajanju od 2 časa-slika 7, ϵ -karbid na 300 °C takođe u vremenu od 2 časa- slika 8.

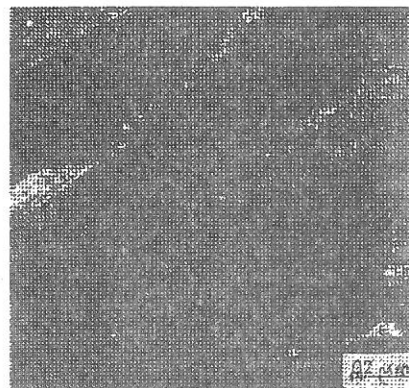


a)

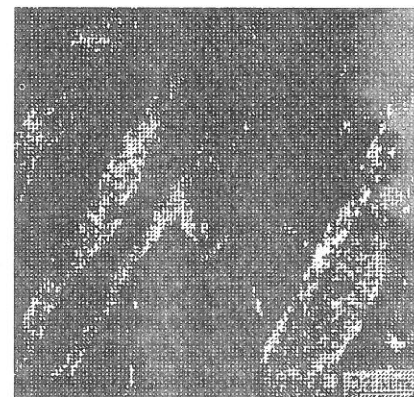
b)

Sl.6 Mikrostruktura metalne osnove: a) svetlo polje; b) tamno polje; $T_b=350\text{ °C}/1\text{h}$

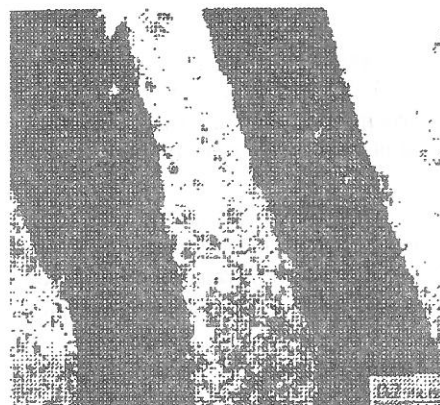
η -karbid i ϵ -karbid smešteni su unutar bainitnog ferita, a nastali su usled taloženja iz prezasićenog bainitnog ferita. Za razliku od ta dva karbida χ -karbid je identifikovan na graničnoj površini bainitni ferit/austenit, zbog razlaganja obogaćenog austenita- slika 9(a,b). Fe_3C je identifikovan kod uzorka koji je izotermno transformisan na 250 °C u trajanju od 1 časa-sl. 10.



Sl.7 h-karbid u bainitnom feritu $T_b=350\text{ °C}/2\text{h}$

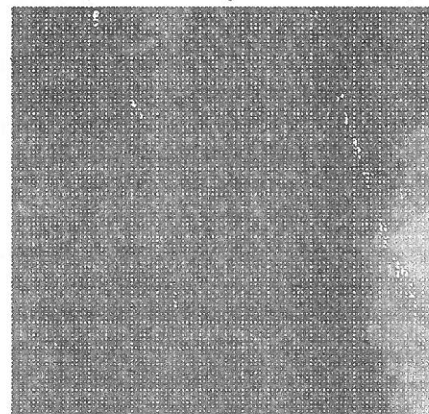


Sl.8 e-karbid u metalnoj osnovi $T_b=300\text{ °C}/2\text{h}$

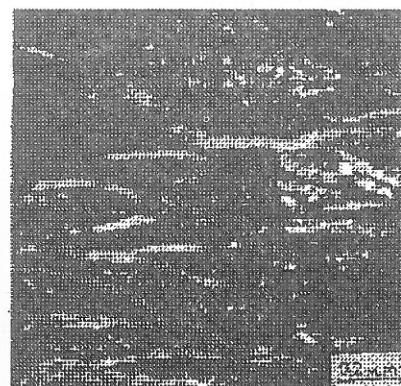


a)

Sl.9 c-karbid na graničnoj površini bainitni ferit/austenit: a) tamno polje uzduž 002g; b) tamno polje uzduž 200c



b)



Sl.10 Fe_3C u bainitnom feritu; $T_b=250\text{ °C}/1\text{h}$

Različite vrste identifikovanih struktura uticale su i na promenu mehaničkih osobina. Zatezna čvrstoća zavisi isključivo od temperature izotermne transformacije. Kod niže temperature transformacije dobija se viša zatezna čvrstoća, odnosno kod izotermnih transformacija od 250 i 300 C dobijena je čvrstoća od 1600 MPa, a kod izotermnih transformacija od 350 i 400 C dobijene su čvrstoće 1200 i 1150 MPa. Dakle čvrstoća direktno zavisi od količine zadržanog austenita. Prisustvo karbida ne utiče bitno na veličinu zatezne čvrstoće. Od količine zadržanog austenita zavisi i izduženje i udarna žilavost ADI materijala. Najniže izduženje od 1% i udarna žilavost od 34 J dobijeni su kod izotermnih transformacija od 250 i 300 C, dok su najveće vrednosti izduženja 12% i žilavoti 114 J dobijene kod izotermnih transformacija od 350 i 400 C u trajanju od 1 čas. Produženjem vremena transformacije na 5 časova i izlučivanjem c-nestabilnih karbida na graničnoj površini bainitni ferit/austenit, iako količina austenita nije bitno smanjena, izduženje i udarna žilavost opadaju na vrednosti 4% i 35 J. Izlučeni prelazni karbidi unutar bainitnog ferita bitno ne smanjuju izduženje i udarnu žilavost.

4. ZAKLJUČAK

Svetlosnim i transmisionim elektronskim mikroskopom, kao irendgeno-strukturnom analizom ispitivana je mikrostruktura bainitnog nodularnog liva, koji je izotermno transformisan od 250-400 C. Rezultati ispitivanja su pokazali da pri ispitivanju svetlosnim mikroskopom postoji razlika u morfologiji bainitnog ferita. Da li je on pločast ili acirkularan zavisi od temperature izotermne transformacije.

Količina zadržanog austenita takođe zavisi od temperature izotermne transformacije. Međutim, TEM je pokazala da u celom temperaturnom intervalu bainitni ferit ima pločasti oblik, ali prisustvo karbida, vrsta i njihovo mesto izlučivanja zavisi i od temperature i od vremena izotermne transformacije. Razlike u mikrostrukтури utiču i na razlike u mehaničkim osobinama ADI materijala.

5. LITERATURA

1. V. Franetović and al.: Metallography, 1987, vol.2, 15-36
2. D.H. Huang and G. Thomas: Met. Trans., 1977, vol.8A, 1661-1674
3. H.K. Bhadeshia and D.V. Edmons: Met. Tra. 1979, vol.10A, 895-907
4. B.P.J. Sandvik, I i II: Met. Trans., 1982, vol.13, 777-800
5. B.V. Kovacs, Sr. Modern Casting I, 1987, 35
6. L. Šidanin and R.E. Smallman: Mat. Science and Techn., (in press)

ODREĐJIVANJE J INTEGRALA I ZONE RAZVLACENJA U ZAVARU SA PRSLINOM U ZUT

Geric K*, Glavardanov I* i Sedmak S.**

*Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad

**Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd

REZIME

Određivanjem J integrala direktnom metodom zatezanjem ploče sa površinskom prslinom, pokazano je da se vrednost J integrala razlikuje u zavarenom spoju sa višom i nižom čvrstoćom metala šava, zbog asimetrično deformisanih delova zavarenog spoja kada je prslina u ZUT. Eksperimentalna analiza J-R krivih otkriva značajan uticaj razlike u čvrstoći metala šava i osnovnog metala na ponašanje u ova dva različita slučaja. Konačna zona razvlačenja je analizirana za bolje definisanje ponašanja prsline u obe vrste zavora.

J INTEGRAL AND FINAL STRECH ZONE FOR A CRACK IN HAZ SUMMARY

The contribution of an assymmetrically strained parts of welded joints with the crack tip positioned in HAZ to J integral value will differ in overmatched and undermatched weldments, as it is shown by J integral evaluation method, applied to the tensile panel with surface crack. Performed experimental analysis with J-R curves revealed significant influence of matching effect on the crack behaviour in weldments in two considered cases. Final stretch zone has been analyzed for closer insight in crack behaviour for both kinds of weldments.

UVOD

Uopšteno prihvaćen pristup u konstrukciji zavora je da nivo čvrstoće metala šava bude viši u poređenju sa osnovnim metalom (overmatching weldment OMW). U takvom zavoru osnovni metal počinje da se deformiše kada dođe do preopterećenja i samo posle deformaci-

onog ojačavanja osnovnog metala plastična deformacija može početi u metalu šava. Međutim, zavarivanje visokočvrstih čelika sa granicom tečenja iznad 700 MPa praćena je pojavom hladnih prslina [1]. Da bi se izbegle hladne prsline u zavarima visokočvrstih čelika ovog nivoa čvrstoće, preporučuje se neznatno manja čvrstoća metala šava (undermatched weldment UMW). Raspodela deformacija u zavaru sa metalom šava manje čvrstoće (UMW) je takva da će metal šava početi prvi da se plastično deformiše i tek posle deformacionog ojačavanja metala šava, tečenje počinje u osnovnom metalu [2].

Eksperimenti pokazuju da se prsline određene veličine nalaze u metalu šava i da ne utiču izrazito na čvrstoću OMW zavara, ali smanjuju njihovu deformabilnost [3]. Analiza prsline smeštene u ZUT povezana je sa različitim deformacionim ponašanjem osnovnog metala i metala šava i u OMW i u UMW zavaru. Primena određivanja J integrala direktnom metodom procene, koju je uveo Rid [4] omogućava analizu ponašanja prsline u zavaru heterogene strukture i mehaničkih osobina u realnoj konstrukciji [5] i [6].

Cilj ovog rada je da koristeći navedene metode i fraktografsku analizu uzoraka sa zarezom u ZUT omogući bolje razumevanje kritičnog ponašanja prsline u OMW i UMW zavaru pod dejstvom opterećenja.

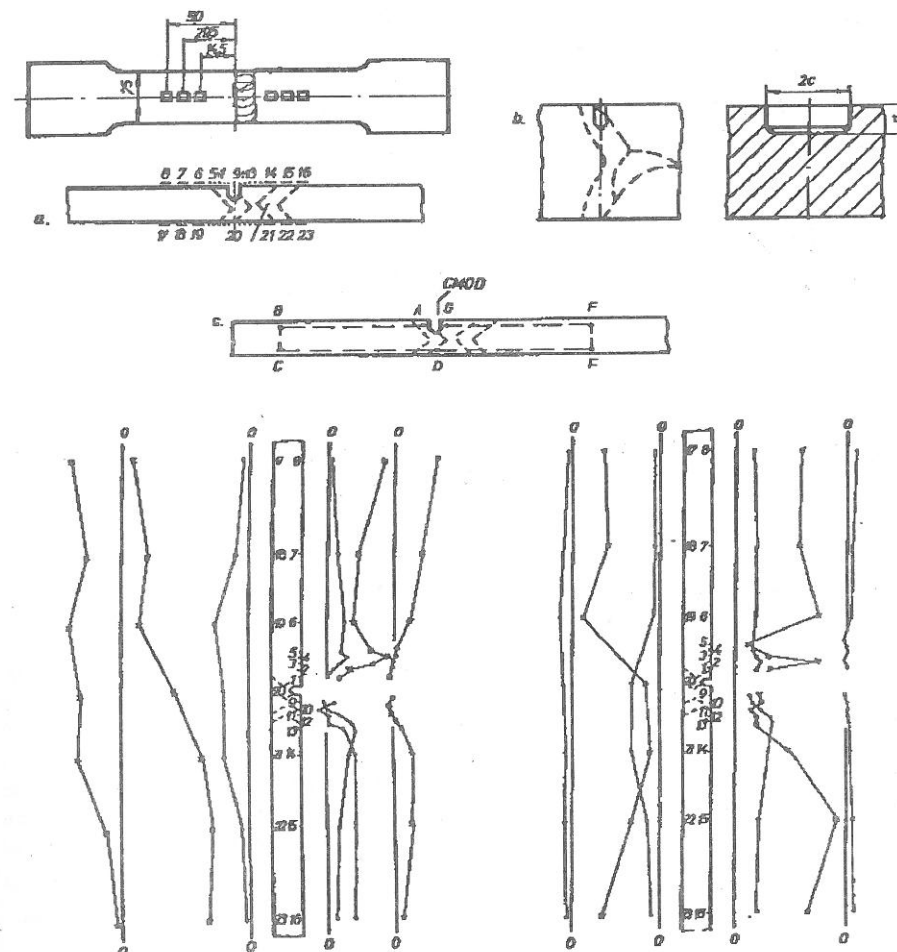
EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Zatezne osobine osnovnog metala SUMITEN 80P i SUMITEN 60 i metala šava njihovih, pod praškom zavarenih spojeva date su u tabeli 1. Za određivanje J integrala korišćena je zavarena ploča za zatezanje sa vrhom prsline u ZUT, sl.1. Vrednost J integrala se proračunava udelom veličine merene deformacije SW duž odabrane putanje, napona u udaljenom preseku ST i otvaranja prskotine (COD). Zasnovano na definiciji Rajsovog integrala [7] i koristeći Ridov pristup [4] izborom određene putanje pri proračunu J integrala dobijen je sledeći izraz:

$$J = SW_{DC} - ST_{CB} + SW_{BA} + SW_{GF} - ST_{FE} + SW_{ED} \quad (1)$$

Tabela 1. Zatezne osobine osnovnog metala i OMW i UMW zavara

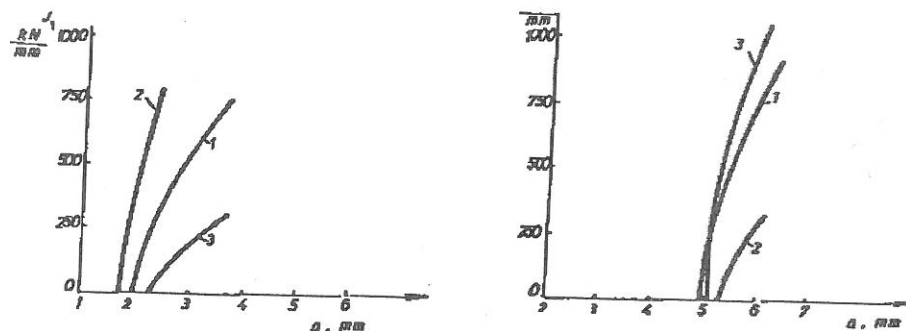
Materijal	Granica tečenja (MPa)	Zatezna čvrstoća (MPa)
SM80P	795	841
SM60	579	621
Zavar UMW (SM80)	585	771
Zavar OMW (SM60)	571	713



Sl. 1. Direktno određivanje J integrala a) instrumentacija uzorka, b) položaj zareza i veličina c) kontura J integrala d) raspodela deformacije u UMW zavaru e) raspodela deformacije OMW zavaru

Na sl.2 je prikazana J-R kriva za OMW i UMW zavar sa vrhom prsline u ZUT, dobijene metodom podatljivosti (compliance) pri rasterećenju za malu (16x2,5) i za veliku prslinu (24x5)mm. Za poređenje je prikazana i J-R kriva za osnovni metal SM80P na sl.2

Razvoj COD u toku opterećenja može da se prati na sl.3, u zavisnosti od prosečne deformacije očitavanja 3 merača izduženja.



Sl.2. J krive za prslinu u ZUT a) mala prslina (16x2,5mm); b) velika prslina (24x5mm) 1.OMW zavar; 2.UMW zavar; 3.OM metal

ANALIZA REZULTATA ISPITIVANJA I DISKUSIJA

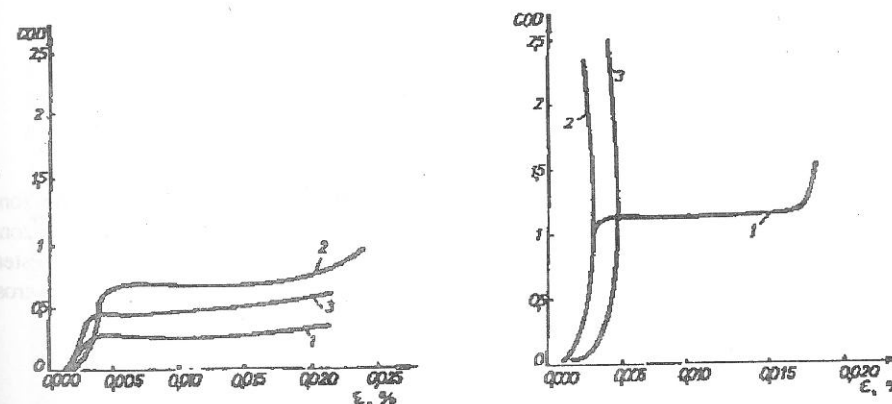
Na sl.4 prikazan je uticaj razlike čvrstoće metala šava i osnovnog metala na ponašanje prsline u metalu šava. Za UMW avar plastično tečenje je ograničeno u području prsline i za OMW zavar opšte tečenje može da se očekuje čak i u prisustvu prsline značajne veličine. Za malu prslinu u ZUT OMW zavora kao i u osnovnom metalu, COD može da dostigne ograničenu veličinu, ali posle toga dolazi do opšteg tečenja; za UMW zavar COD nastavlja da raste posle određene veličine deformacije u udaljenom preseku. U slučaju velike prsline COD stabilno raste i za osnovni metal i za UMW zavar sve do kraja ispitivanja. Otežan rast prsline u ZUT OMW šava je prikazan ograničenim razvojem deformacije na udaljenom preseku na konstantnoj COD vrednosti, posle čega COD ponovo raste.

Pojedinačni udeo segmenata putanje J integrala može se analizirati iz podataka datih u tabeli 2. Imajući na umu da delovi uzorka DEFG sadrži metal šava, različiti ponašanje se može očekivati za dva tipa zavora. Za ovu namenu udeo na DEFG i ABCD delove razdvaja se u obliku:

$$J_{ABCD} = SW_{AB} + SW_{CD} - ST_{BC} \quad (I) \quad J_{DEFG} = SW_{DE} + SW_{FG} - ST_{EF} \quad (II) \quad (2)$$

Tabela 2. Pojedinačni udeo J integrala

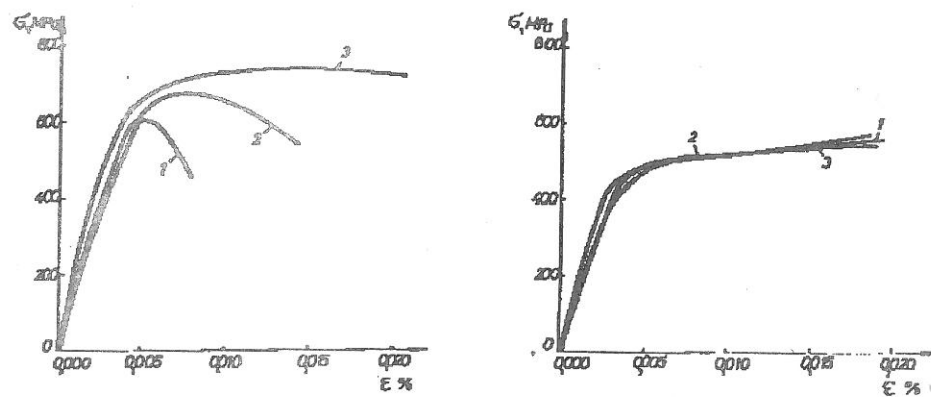
Oznaka uzorka	UM-5	UM-6	OM-5	OM-6
Granica tečenja (MPa)	678	678	586	586
Broj očitavanja	46	80	38	88
Primenjeni napon (MPa)	678	753	640	524
COD	0,117	0,888	2,93	0,25
SW _{CD} kN/m	84	802	102	215
SW _{ED} kN/m	177	283	68	150
SW glatka strana, kN/m	261	885	171	368
SW _{BA} kN/m	-53	-532	-28	-120
SW _{DF} kN/m	-109	-802	-21	-125
SW zarez, kN/m	-162	-1134	-49	-245
ST _{BC} kN/m	-2	-239	64	22
ST _{FE} kN/m	43	742	89	40
ST ukupno, kN/m	41	981	153	16
J integral, kN/m	58	732	275	138



Sl.3. Zavisnost COD i deformacije u udaljenom preseku za a) malu b) veliku prslinu za 1.OMW zavar; 2.UMW zavar; 3.OM metal

Za UMW zavar sa malom prskotinom u ZUT-u na malim (scan 46) deo I i II se razlikuju samo neznatno (33/25 kN/m), ali za visoki nivo napona razlika je značajna (309/423 kN/m) i udeo vrednosti J integrala za stranu sa nižom čvrstoćom tj. stranu metala šava je značajno viša. U OMW zavaru pri nižem naponu (scan 38) opet razlika nije značajna (73/65 kN/m), ali pri višem naponu strana sa nižom čvrstoćom (ABCD strana osnovnog metala u ovom slučaju), utiče sa 838 kN/m na vrednost J integrala, a udeo sa strane metala šava je bio čak negativan (- 49 kN/m), u ukupnoj vrednosti J integrala 789 kN/m. Ovo može da se objasni povlačenjem dela sa višom čvrstoćom usled opšteg tečenja u osnovnom metalu.

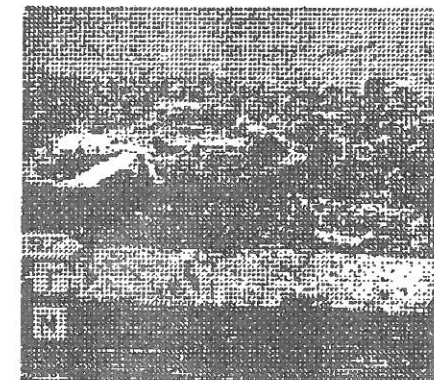
Ovo, u svakom slučaju zahteva dalja ispitivanja.



Sl.4. Zavisnost napona od deformacije za a) malu i b) veliku prslinu za 1. OMW zavar; 2. UMW zavar; 3. OM metal

ANALIZA ZONE RAZVLACENJA

Bliži uvid u ponašanje prskotine može se ostvariti procenom veličine konačne zone razvlačenja što je urađeno i za OMW i za UMW zavar. Da bi se izvršila merenja širine zone razvlačenja sa potrebnom tačnošću [8], neophodno je da se dobije površina preloma koristeći tehnike sa visokom rezolucijom i dubinom fokusa. Ove potrebe zadovoljava elektronski mikroskop. U ovom radu korišćen je JEOL-35.

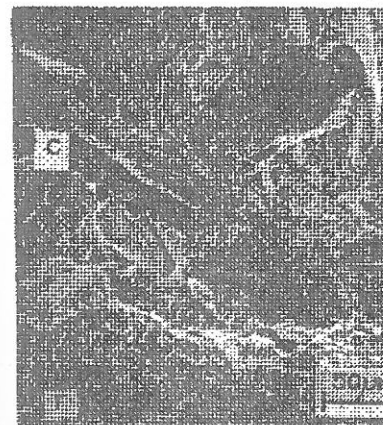


Sl.5. Površinska prslina a) velika u OMW i b) mala prslina u UMW (N-zarez, F-zamorna predprskotina SZ-zona razvlačenja)

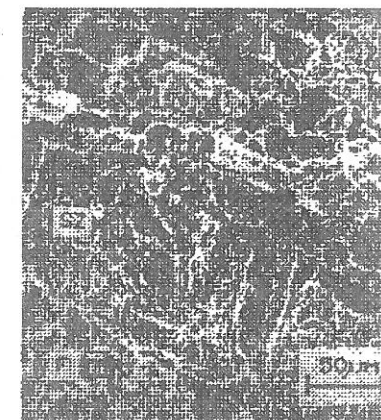
Za merenje širine konačne zone razvlačenja merena o površina je nagnuta za ugao približno 45 u odnosu na upadni snop oko ose paralelne zarezu. Pet merenja je vršeno u opsegu 1/4 do 3/4 od širine zareza 2c.

Zona razvlačenja se ne uočava ni na jednom kraju uzorka u OMW uzorku, sl.5a, i prelom sa površinama nastalim cepanjem (C) je pronađen posle zamorne predprskotine (F) u tom području, sl.6. Postoje varijacije u zoni razvlačenja duž fronta prskotine u merenom opsegu, sl.7, sa najmanjom vrednošću oko 40 μm i sa najvećom od 100mm. Prosečna vrednost od pet merenja je bila 65mm. Varijacija širine zone razvlačenja je više izražena u UMW zavaru sa prosečnom vrednošću od 110mm, sl.8. Pronađena su ostrva duktilnog loma (D) u zoni razvlačenja, sl.9.

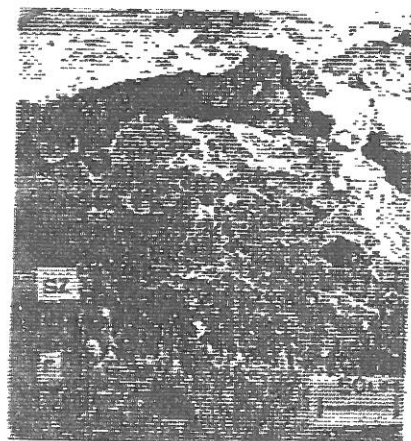
Kompleksno ponašanje prskotine u ZUT zahteva bolje razumevanje efekata koji utiču: razlike u čvrstoći, raspodela deformacija i procena J integrala, mikrostruktura i njihov efekat na konačnu veličinu zone razvlačenja.



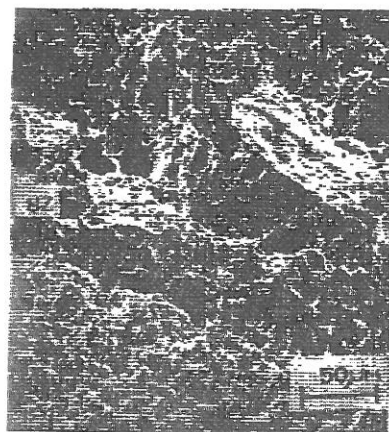
Slika 6. Cepanje (C) u OM-6 zavaru



Sl. 7. Zona razvlačenja u OM-6 zavaru



Sl. 8. Zona razvlačenja u UM-5



Sl. 9. Zona razvlačenja sa ostrvcima duktilnog loma (D)

ZAHVALNOST

Ovaj rad je podržan od strane Fonda za međunarodnu saradnju ,USA-Jugoslavija u saradnji sa NIST, Boulder, Colorado.

REFERENCE

- 1.K.Satoh and M. Toyoda, Welding Journal Research Supplement, September 1975,311-319
- 2.S.Sedmak, A.Radović i Lj.Nedeljković, The strength of welds in HSLA steel after initial plastic deformation, ICM3, Pergamon Press, Oxford, 1979, vol.3 pp435-446
- 3.R.P.Read, B.Petrovski, Perspektive razvoja i primene mehanike loma, TMF-Goša 1987.
- 4.D.T.Read, Experimental Method for Direct Evaluation of J contour integral, STP 791, ASTM, Philadelphia, 1983, pp 199-213.
- 5.S. Sedmak i B. Petrovski, Application of Direct Measurement of J Integral on a Pressure Vessel with Axial Notch, STP 945, ASTM Philadelphia, 1987, pp 730-740.
- 6.B.Božić, S.Sedmak, B.Petrovski, a.Sedmak, Crack Growth Resistance of Weldment Constituents in Real Structure, Glas CCCLIX Srpske akademije nauka i umetnosti Br.25, pp 21-42
- 7.J.R.Rice, Journal of Applied Mechanics, Trans.ASME, June 1968, pp 79-386
- 8.H. Miyamoto, H.Kobayashi, N.Otsuka, Standard Method of Test for Elastic Plastic Fracture Toughness J Recommended in Japan, ICM4, Pergamon Press, Oxford, 1982, Vol.2, pp 747-753

Elasto-plastična žilavost loma, J_{IC} , čelika JUS Č. 4732

* Dr. Vuk Čulafić - Mašinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, 81000 Podgorica, Jugoslavija.

** Dipl. ing. Milojica Andjelić - Institut za crnu metalurgiju, 81400 Nikšić, Jugoslavija.

1 Uvod

Sa tehnološkim razvojem značajno je porasla potreba za pouzdanošću konstrukcija. Izvjesnost sa kojom može da se postigne pouzdanost prema lomu zavisi od saznanja kako i sašto dolazi do pojave loma a od pravilnog korišćenja ovih podataka pri projektovanju, proizvodnji i kontroli kvaliteta zavisiće utvrđivanje uslova sigurne eksploatacije. Primjena elasto-plastične mehanike loma za predviđanje loma struktura koje u sebi posjeduju određene greške tipa praline se pokazala kao korisno sredstvo za tu namjenu.

Predmet ovog rada je demonstriranje postupka utvrđivanja parametra žilavosti loma za Č. 4732 u uslovima ravnog stanja napona, tj. kritične vrijednosti J-integrala, J_{IC} , koja definiše početak rasta praline u elasto-plastičnom području. Postupak određivanja ove karakteristike materijala uključuje primjenu mini-komputera kako za upravljanje hidrauličnom kralicom tako i za obradu i memorisanje digitalizovanih analognih signala dobijenih sa odgovarajućih davača.

2 Opis pripreme epruveta i eksperimenta

U eksperimentima su korištene modifikovane kompaktne epruvete sa zatezanje (1TCT) izradjene od nisko-legiranog čelika visoke čvrstoće Č. 4732 koji je bio 20 minuta kaljen u ulju na temperaturi od 840°C a zatim otpušten 1 čas na 850°C . Hemijski sastav ovog materijala je dat u Tabeli 1, a mehaničke karakteristike sa navedeni termički tretman u Tabeli 2. Geometrijske karakteristike CT epruveta su date na Sl. 1, pri čemu je ravan mašinskog zarez bila u T-L pravcu a u skladu sa ASTM E 399 načinom označavanja [1]. Nakon mašinske obrade epruvete su bile podvrgnute samornom opterećenju do stvaranja inicijalne praline $a_0 = 0,6W = 30\text{mm}$, gdje je $W = 50\text{mm}$ širina epruvete. Za savršeni dio samorne praline od $0,64\text{mm}$ odnos opsega faktora intenziteta napona prema Jungovom modulu elastičnosti je iznosio $(\Delta K/E) = 26/2 \cdot 10^{-3} = 0,004\text{mm}^{1/2}$ što je manje od $0,005\text{mm}^{1/2}$. U cilju obezbjeđivanja pravilnog fronta praline, nakon stvaranja samorne praline su napravljeni bočni žljebovi dubine 12% od debljine epruvete B. Kompletan procedura testa J_R krive je izvedena na sobnoj temperaturi i u skladu sa standardom ASTM E 1152-87 [2].

TABELA 1- Hemijski sastav čelika Č. 4732 (težina u %)

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Nb
0.05	0.30	0.62	0.011	0.004	0.88	0.72	0.185	0.105	0.041

TABELA 2- Mehaničke karakteristike čelika Č. 4732

Termička obrada	Granica tečenja $R_{p0.2}$ (MPa)	Zatezna čvrstoća R_m (MPa)	Izduženje % za 50 mm	Redukcija presjeka (%)
K/O	782	886	17	61

U toku eksperimenta korišten je kompjuterski upravljani hidraulični pulsator INSTRON 1333 kapaciteta 500 kN, dok je za obradu i memorisanje podataka na raspolaganju bio kompjuter PC-HP9000/310. Shematski prikaz kompletne opreme dat je na Sl. 2. Tipična istorija opterećenja tokom testa je data na Sl. 3.

Da bi se za datu istoriju opterećenja dobila J_R kriva otpornosti, J-integral je sračunavan korišćenjem izrasa [2]:

$$J(i) = \frac{(K_i)^2(1-\nu^2)}{E} + J_{pl}(i) \quad (1)$$

gdje je faktor intenziteta napona, K_i , dat izrazom

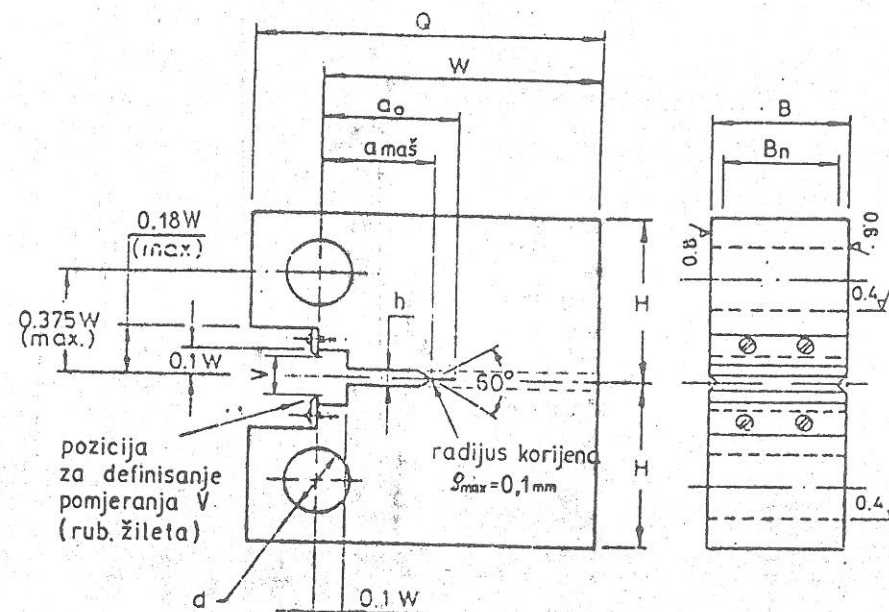
$$K(i) = [P_i / (B B_N W)^{1/2}] f(a_i/W) \quad (2)$$

a plastična komponenta J-integrala

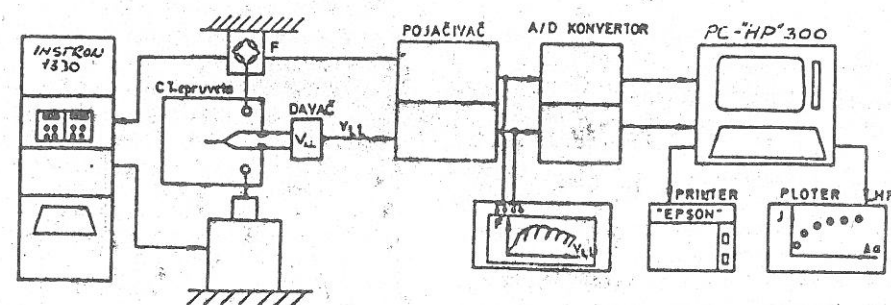
$$J_{pl}(i) = \left[J_{pl}(i-1) + \left(\frac{\gamma_i}{b_i} \right) \frac{A_{pl}(i) - A_{pl}(i-1)}{B_N} \right] \left[1 - \frac{\gamma_i}{b_i} (a_i - a_{i-1}) \right] \quad (3)$$

U Jed. 3, za CT epruvete je: $\gamma_i = 2 + (0.522)b_i/W$, $\gamma_i = 1 + (0.76)b_i/W$, W - širina epruvete, b_i - trenutna dužina preostalog ligamenta, B_N - neto debljina epruvete, a_i - trenutna dužina praline a $A_{pl}(i) - A_{pl}(i-1)$ je pričašaj površine ispod dobijene krive sila-pomjeranje, $P-V$, a između linija konstantnih pomjeranja na mjestima $i-1$ i i .

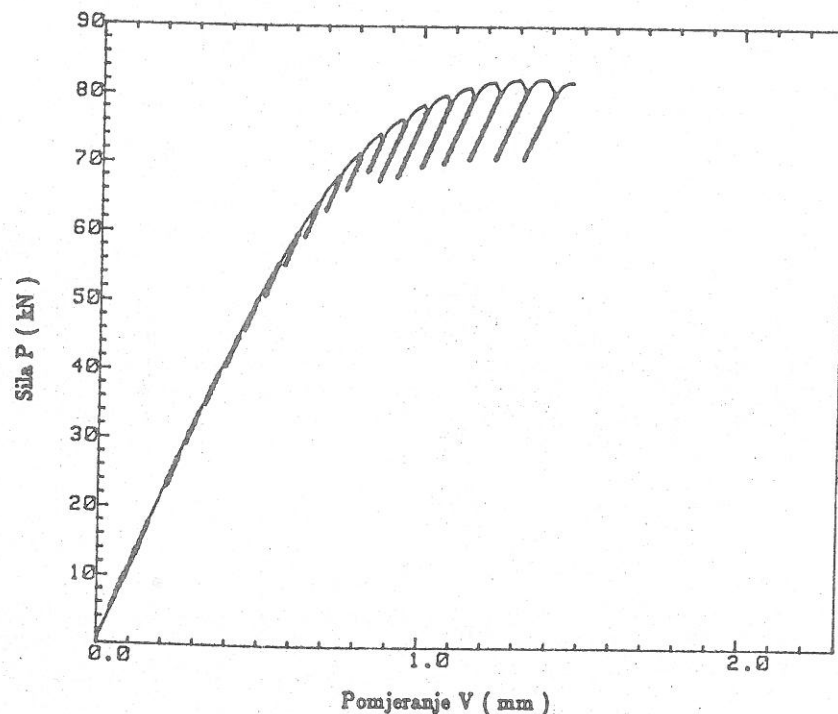
	B (mm)	W (mm)	Q (mm)	2H (mm)	h (mm)	d (mm)
1TCT	25,4	50,8	63,5	61	2	12,5



Slika 1 Kompaktna epruveta za zatezanje (1TCT).



Slika 2 Shema korištene opreme.



Slika 3 Istorija promjene sila-pomjeranje otvora praline, P-V, za epruvetu ID-2.

Dužine pralina pri svakom djelimičnom rasterećenju su određivane metodom popustljivosti [2], primjenom izraza:

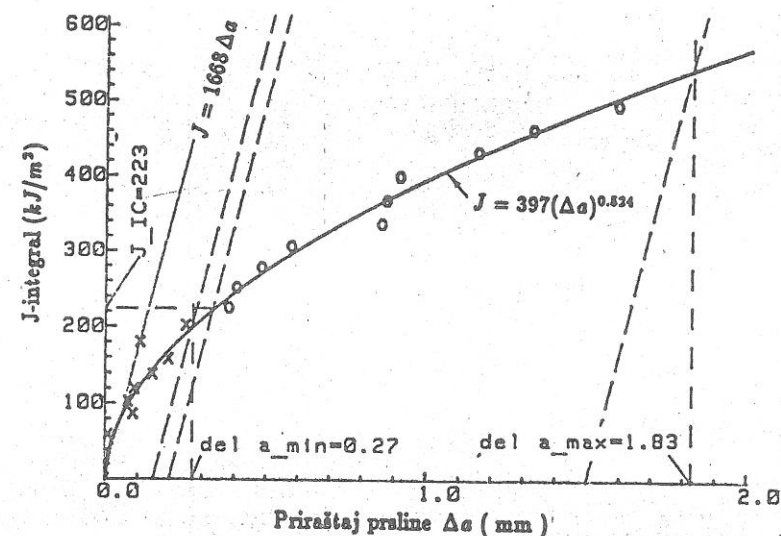
$$\frac{a}{W} = 1,000196 - 4,06319U_X + 11,242U_X^2 - 706,043U_X^3 + 464,335U_X^4 - 650,677U_X^5 \quad (1)$$

gdje je

$$U_X = \frac{1}{\left[\frac{\partial R}{\partial V} \right]^{1/2} + 1} \quad (2)$$

Rezultujuća kriva otpornosti, J_R je prikazana na sl. 4.

Nakon završetka dijela eksperimenta na mašini, epruvete su zagrijavane u peći do 350°C da bi se označila novo nastala površina praline a zatim su, nakon hlađenja, zatezanim potpuno otvorene. Početna dužina praline, a_0 , i savršena dužina praline, a_p , je mjerena na devet pravilno raspoređenih mjesta duž fronta praline. Prosječne dužine ovih izmjerenih pralina su upoređivane sa onim vrijednostima dobijenim metodom popustljivosti i utvrđeno je da su greške bile manje od dozvoljenih 7%.



Slika 4 J_R kriva za epruvetu ID-2 i postupak određivanja J_{IC} .

3 Analiza rezultata

J_R kriva otpornosti se analizira modeliranjem režima zatupljivanja vrha praline koji predhodi inicijaciji rasta praline, i režima njenog sporog i stabilnog rasta [3].

Prvi režim se može opisati pomoću izraza $J = 2\sigma_Y \Delta a = 1668 \Delta a$, gdje je efektivna granica tečenja $\sigma_Y = (R_{0.2} + R_m)/2 = (782 + 886)/2 = 834 \text{ MPa}$. Podaci koji se koriste za definisanje stabilnog rasta praline se moraju naći u oblasti između pravih paralelnih sa linijom zatupljivanja, a odsijecaju dužine praline od 0.15 mm i 1.5 mm.

Primjenom regresione analize najmanjih kvadrata na kvalifikovane podatke stabilni rast praline je opisan stepenom funkcijom oblika $J = C_1(\Delta a)^{C_2} = 397(\Delta a)^{0.524}$. U presjeku ove krive i sječice koja je paralelna liniji zatupljivanja i pomjerena za 0,2 mm u desno određena je kandidovana kritična vrijednost J-integrala $J_Q = 223 \text{ KJ/m}^2$, što je prikazano na sl. 4.

Kako su zahtjevi da je $B, b_0 > 25 J_Q/\sigma_Y = 6.68 \text{ mm}$ i $\sigma_Y > (dJ/da)_{\Delta a_0=0.53 \text{ mm}} = 352 \text{ MPa}$ zadovoljeni, J_Q je važeće kao karakteristika žilavosti loma J_{IC} ispitivanog materijala.

4 Zaključak

Izvedeni testovi pokazuju svu kompleksnost problema određivanja parametra žilavosti loma u elasto-plastičnom području J_{IC} . Međutim, kada se kompjuterizovanom metodom jedne epruvete ovlada, ona postaje relativno rutinski posao. Istovremeno, memorisanjem svih bitnih parametara testa uvijek je moguća naknadna analiza rezultata ili pak simulacija izvedenog testa.

5 Literatura

- [1] ASTM E 399-78A, *Test Method for Plane-Strain Fracture Toughness of Metallic Materials*, Annual Book of ASTM Standards, Part 10., 1987, pp. 540-561, Philadelphia.
- [2] ASTM E 1152-87, *Standard Test Method for Determining J_R Curves*, Annual Book of ASTM Standards, Part 10., 1987, pp. 800-810, Philadelphia.
- [3] ASTM E 813-87, *Standard Test Method for J_{IC} , A Measure of Fracture Toughness*, Annual Book of ASTM Standards, Part 10., 1987, pp. 686-700, Philadelphia.

REZIME: U radu je prezentiran postupak određivanja parametra žilavosti loma u elasto-plastičnom području, J_{IC} , za čelik JUS Č. 4732 koji je bio dostupan u termički kaljenom i otpuštenom stanju. Testovi su izvedeni u skladu sa američkim standardom ASTM E 813-87 primjenom metode jedne epruvete, uz korišćenje računara. Ova procedura uključuje digitalizaciju i analizu analognog signala sila-pomjeranje, P-V, kroz primjenu obično dostupnih elektronskih instrumenata i mini-komputera. Takođe, metoda omogućava smještanje, kako parova podataka sila-pomjeranje tako i parova podataka J integrala u funkciji dužine praline, $J - \Delta a$, za buduće korišćenje i analizu.

SUMMARY: The elastic-plastic fracture toughness parameters, J_{IC} , has been determined for HSLE steel which has Yugoslav Standard designation JUS Č. 4732. Specimens were available in one prescribed heat treatment. Tests were carried out in accord with ASTM Standard E 813-87 utilizing single-specimen computer interactive test procedure. This procedure involves digitizing and the analysis of analog load-displacement signals, P-V, through the use of readily available electronic instruments and a mini-computer. Further, the metod provides for storage of both digitized load-displacement data and J -integral versus crack extension data, $J - \Delta a$, for future retrieval and analysis.

IZUČAVANJE MOGUĆNOSTI PRIMENE AKUSTIČNE EMISIJE ZA KONTROLU I PRAĆENJE KRISTALIZACIJE LEGURA TIPA SPECIJALNIH MESINGA PRI KONTINUIRANOM LIVENJU

M. Tasić*, D. Zarić*, Z. Vujović*, D. Krstić**, S. Marković**

* Istraživački institut "Naučnoistraživački centar" Užice, Heroja Dežovića 26

** Tehnološko-metalurški fakultet-Beograd, Karnedžijeva 4

ABSTRACT

The semi-finished products based on special brass types, produced by continuous casting process, show rather high susceptibility to crack, gas inclusions and other structural defects. Defects of this kind prevent further processing of such products, either by pressing and drawing or by rolling technology. The existing method of quality control can not identify their presence but may confirm their presence as a consequence. Namely, because of quality control of castings cross-section which is performed only periodically it is impossible to evaluate the quality of castings at any moment during the running process.

1. UVOD

Polufabrikati na bazi legura tipa specijalnih mesinga, proizvedeni postupkom kontinuiranog livenja, pokazuju veliku sklonost ka stvaranju pukotina, gasnih uključaka i drugih grešaka u strukturi. Ovakve greške onemogućavaju dalju preradu pomenutih materijala, bilo tehnologijom presovanja i izvlačenja, bilo tehnologijom valjanja.

Postojeće metode kontrole kvaliteta ne identifikuju njihovo prisustvo, već ih konstatuju kao posledicu. Naime, kontrola kvaliteta preseka odlivaka vrši se povremeno, tako da nikada nije moguće oceniti kvalitet u svakom trenutku dok proces traje.

1.DOSADAŠNJA ISTRAŽIVANJA

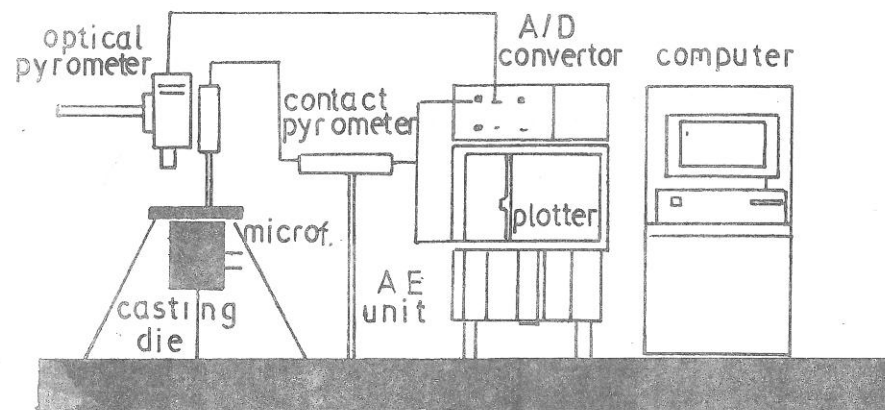
Akustična emisija je vrlo osetljiva metoda,koja dobija sve širu primenu u otkrivanju mikroskopskih aktivnosti u materijalima.Ova metoda se koristi pri ispitivanju čvrstoće,kontroli strukturnog sastava,kontroli avionskih i kosmičkih konstrukcija i dr.Ovom metodom može se smanjiti vreme potrebno za kontrolu materijala, jer za nju nije potrebno potpuno volumetrijsko skeniranje da bi se otkrili nedostaci u materijalu(2).

Prvi put ova metoda pojavila se 1936 god.u izučavanjima Forstera i Scheila.Kasnija istraživanja su dokazivala sve veće mogućnosti ovog načina(3,4,5).

Princip se svodi na to da,usled promena u materijalu,dolazi do naglog oslobađanja dela deformacione energije.Ova oslobođena energija se manifestuje kroz mehaničke talase,koji se prenose kroz materijal,a koje detektuje transduktor.Sama pojava generisanja mehaničkih talasa usled oslobađanja dela deformacione energije u materijalu,naziva se akustičnom emisijom(2,6).

2.EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

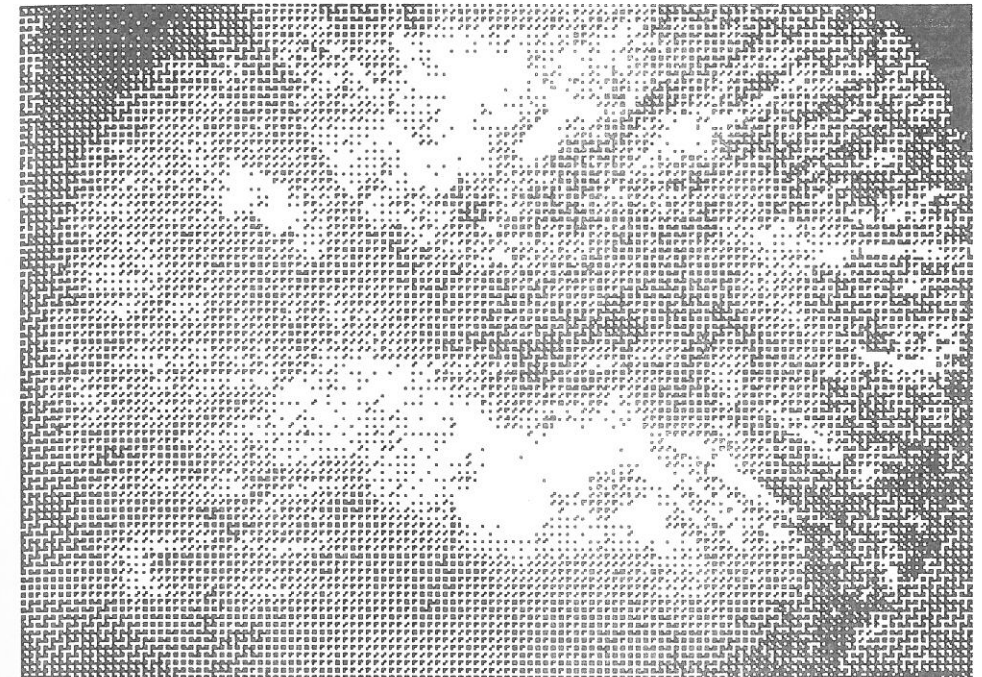
Za izvođenje ovog eksperimenta konstruisan je i izrađen laboratorijski uređaj,čija je šema prikazana na slici 1.



EXPERIMENT PROCEDURE

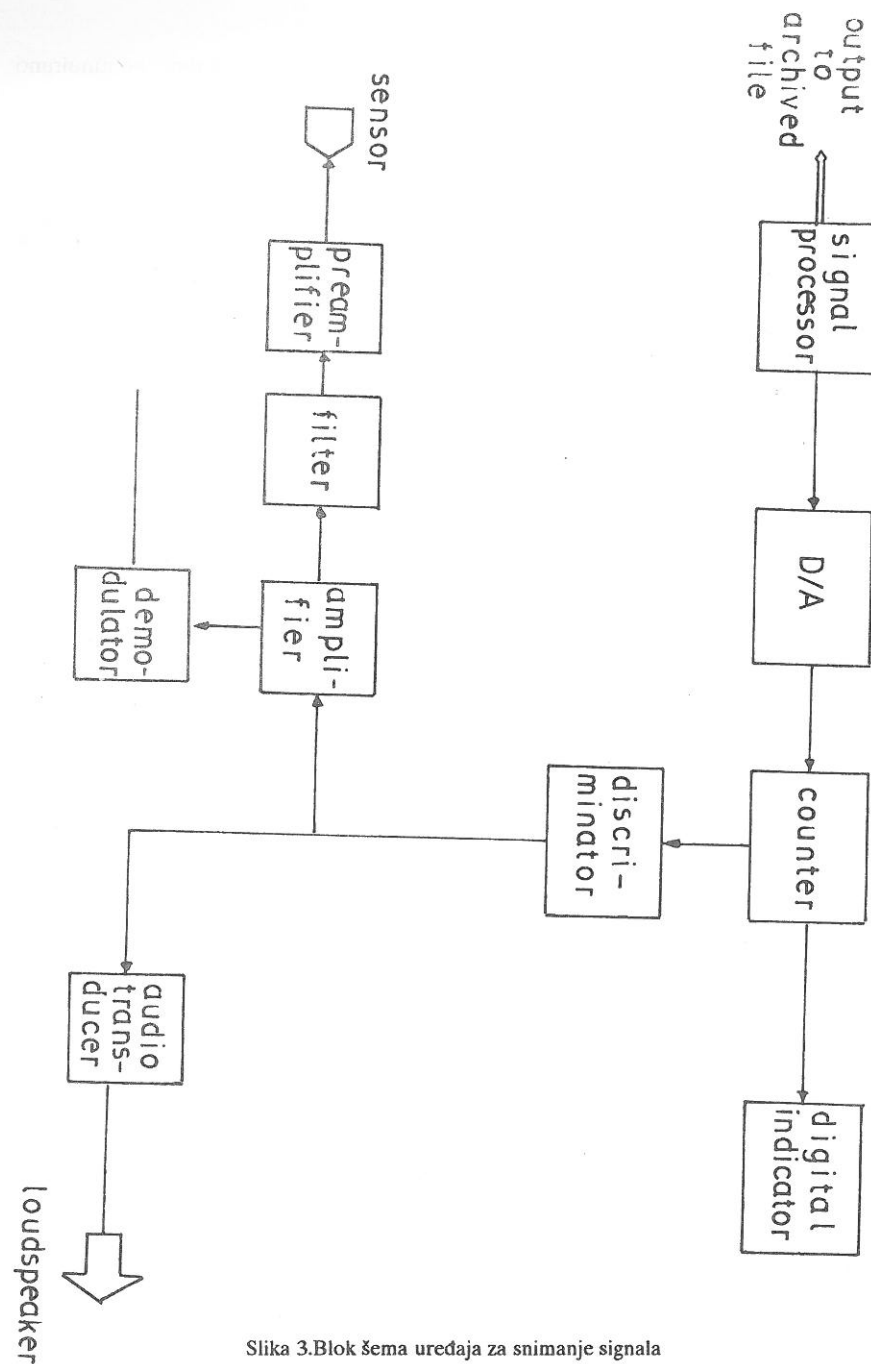
Slika 1.Šema laboratorijskog uređaja

Postupkom gravitacionog livenja,čijom modifikacijom je simulirano kontinuirano livenje proizvedeni su uzorci,čija je makrostruktura prikazana na slici 2.



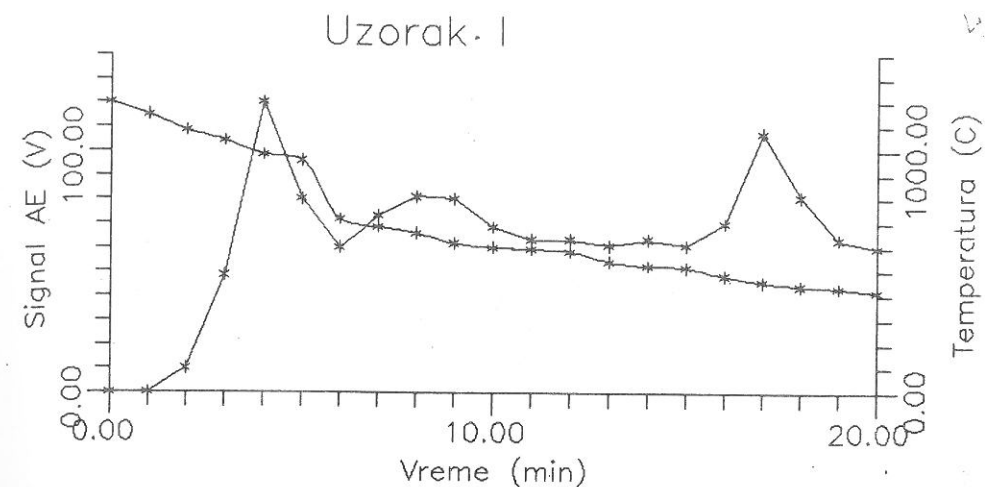
Slika 2.Makrostruktura dobijenog uzorka

Snimanje signala akustične emisije izvedeno je na posebnom sistemu sa uređajem za akustičnu emisiju,prikazanom blok šemom na slici 3.

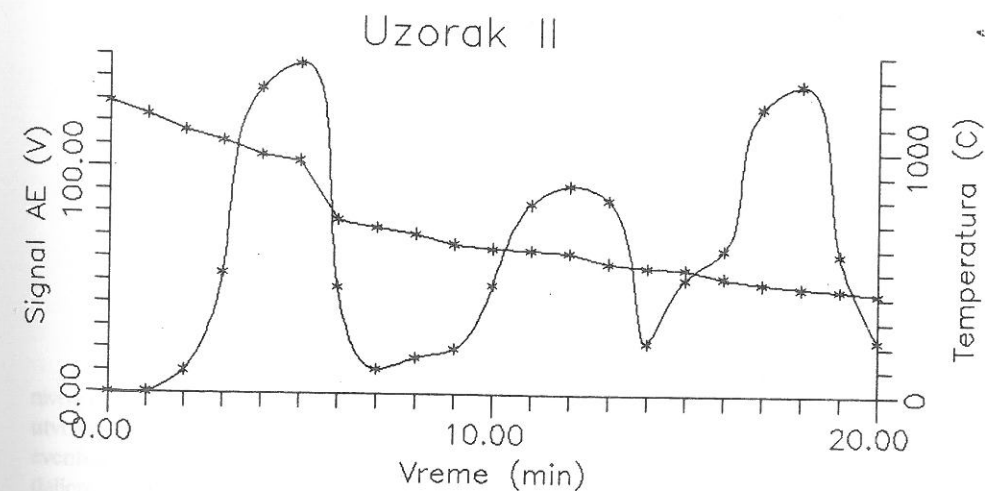


Slika 3. Blok šema uređaja za snimanje signala

Rezultati eksperimenta obrađeni su u programu GRAPHER, pri čemu su dobijeni dijagrami zavisnosti veličine signala akustične emisije sa promenom temperature i vremena (slika 4 i 5).

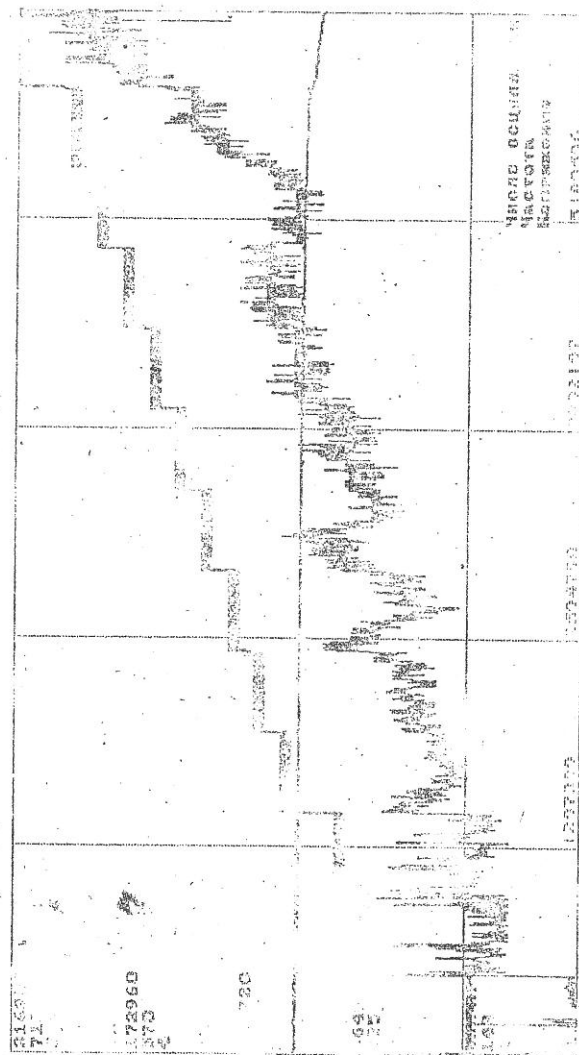


Slika 4. Dijagram zavisnosti signala akustične emisije i temperature od vremena-uzorak I

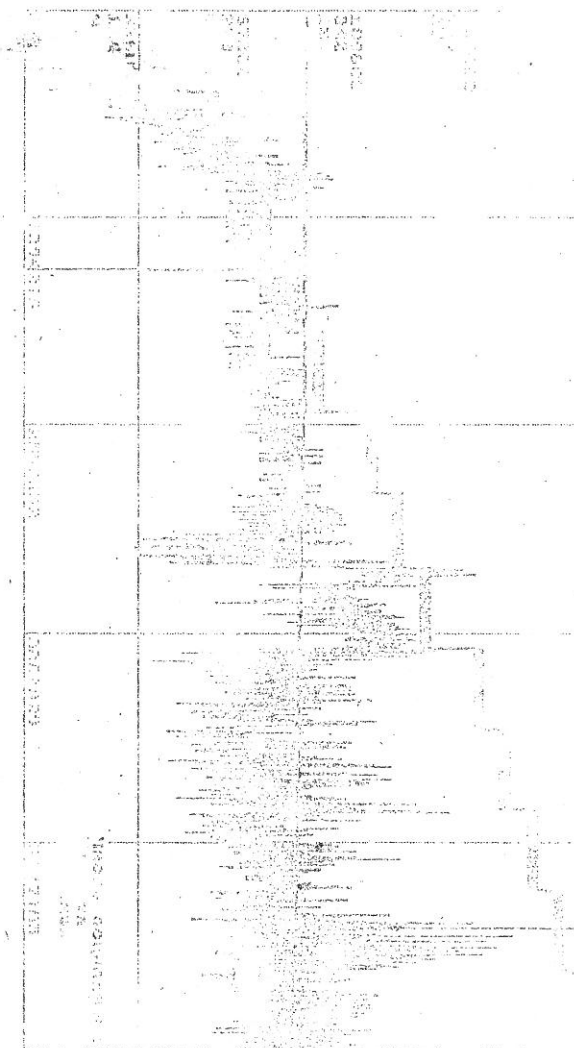


Slika 5. Dijagram zavisnosti signala akustične emisije i temperature od vremena-uzorak II

Takođe su odabrana dva uzorka od kojih je prvi imao potpuno ispravnu kristalizaciju, a drugi grešku u centralnom delu u obliku pukotine. Uzorci su podvrgnuti dejstvu vibracija i snimanju signala akustične emisije. Dobijeni rezultati su dati na slikama 6 i 7, a ispitivanje je rađeno na avio institutu u Ribinsku u Rusiji.



Slika 6. -Signal izmeren na uzorku broj 1



Slika 7.-Signal izmeren na uzorku broj 2

3. ZAKLJUČAK

Posmatranjem dobijenih rezultata vidi se da postoje određene zavisnosti između nivoa signala akustične emisije i procesa kristalizacije odlivaka. Ove zavisnosti nisu još precizno utvrđene što zahteva dalji eksperimentalni rad kako bi se utvrdio odnos između vrste i lokacije eventualnih grešaka i nivoa i oblika signala akustične emisije. No, rezultati pokazuju da ima mesta daljem istraživanju.

Takođe, vidi se da, kombinacijom određenih tehnoloških parametara gravitacionog livenja, možemo dobiti makrostrukturu sličnu makrostrukтури odlivaka dobijenih kontinuiranim livenjem, tj. moguće je simulirati uslove procesa kontinuiranog livenja.

Merni lanac korišćen u ovom eksperimentu je u potpunosti zadovoljio i moguće ga je primeniti u industrijskim uslovima ispitivanja.

Dalja istraživanja biće usmerena na definisanje zavisnosti nivoa i vrste signala akustične emisije od vrste i lokacije greške u odlivku, kao i u definisanju elemenata automatskog upravljanja na osnovu metode akustične emisije za proces i kontinuiranog i bilo kog drugog načina livenja.

LITERATURA

1. Bunina M.A.: "Isledovanie plastičenskoj deformaciji metallaov metodom akustičeskoj emissii"-Lenjingradski inženerno-ekonomičeskii institut, Lenjingrad, 1990, S.30-58
2. Purvis L.A. i dr.: "Evaluation of Acoustic Emission from Sand Cast Aluminium Alloy 319 During Solidification and Formation of Casting Defects"-University of Michigan, Ann Arbor, 1990, S.16
3. Dunegan N.L. i dr.: "Fracture analysis of use of acoustic emission" -Mater.Res.and Stand., vol.11, N.1, 1968
4. Dunegan N.L. i dr.: "Factors affecting acoustic emission response from materials"-Mater.Res. and Stand., vol.11, N.3, 1971
5. J.P.Fayolle: "L'emission acoustique et ses applications"- Revue pratique control de industrial, vol.18, N.97, 1979.
6. Mitraković D.: "Doktorska disertacija"-Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1984, S.4-29.
7. Z.Vujović, M.Tasić: "Optimizacija kontrole konti livenih legura tipa specijalnih mesinga"-izveštaj za 1991.god., II "NIC", Užice, 1992.

DINAMIČKA IZDRŽLJIVOST I OTPORNOST PREMA PRSLINAMA ČELIKA VISOKE ČVRSTOĆE ZA VIJKE

Svetozar Golubović

Institut za crnu metalurgiju, 81400 Nikšić

REZIME

U radu su prikazani rezultati ispitivanja dinamičke čvrstoće tri kvaliteta čelika (Č.4131, Č.4731 i Č.4732) namijenjena za izradu vijaka visoke klase čvrstoće. Dinamička

čvrstoća je ispitivana pri konstantnom srednjem naprežanju i promjenjivom amplitudnom naprežanju. Pri približno istim zateznim karakteristikama, najbolju dinamičku čvrstoću ima Č.4131 zatim Č.4732 i Č.4731, a razlike su tolike da ne utiču na izbor čelika pa se svaki od njih može koristiti za izradu vijaka za klipnjače visokog kvaliteta. Skening elektronskom mikroskopijom je utvrđeno da se kod ovih čelika zamorna prslina stvara oko nemetalnih uključaka, dalji njen rast se odvija velikom brzinom, zato je u cilju povećanja dinamičke čvrstoće ovih čelika neophodno smanjiti mogućnost stvaranja zamornih prslina, odnosno smanjiti količinu nemetalnih uključaka.

1. UVOD

Povećani zahtjevi u pogledu performansi dinamičkih mašina uslovljavaju ugradnju kvalitetnijih materijala. Za racionalno korišćenje materijala potrebno je poznavanje sem statičke i njihove dinamičke čvrstoće. Pri dimenzionisanju djelova mašina i konstrukcija još uvijek se koriste podatci o čvrstoći materijala pri statičkim ispitivanjima i visokim stepenom sigurnosti. Posledice toga su glomazne konstrukcije, velike mase djelova, neracionalno trošenje materijala i energije. Za otklanjanje navedenih nedostataka neophodno je poznavanje dinamičkih karakteristika, odnosno dinamičke (zamorne) čvrstoće materijala. Radi unapređenja tehnologije proizvodnje i poboljšanja kvaliteta čelika za vijke u Željezari Nikšić se pristupilo određivanju njihovih dinamičkih karakteristika.

2.OPIS I REZULTATI ISPITIVANJA

Ispitivanje dinamičkih karakteristika je izvedeno za tri čelika visoke čvrstoće Č.4131, Č.4731 i Č.4732 (JUS C.B9.021). Navedeni čelici su namjenjeni za izradu vijaka klipnjače motora sa unutrašnjim sagorjevanjem, koji su pri radu izloženi zamornom opterećenju. Zatezne karakteristike ispitivanih čelika u poboljšanom stanju su prikazane u tabeli 1. Odnos granice tečenja $R_{p0,2}$ i zatezne čvrstoće R_m je prilagođen termičkom obradom u skladu sa osnovnim zahtjevom konstrukcije vijka, što omogućava poređenje dinamičkih karakteristika ispitivanih čelika. Struktura čelika u meko žarenom stanju se sastoji od karbida u feritnoj osnovi, pri čemu je zadržana beinitna orijentacija, a u poboljšanom stanju strukturu čine ferit i otpušteni martenzit.

Tabela 1. Zatezne karakteristike Č. 4131, Č. 4731 i Č.4732 u poboljšanom stanju

Materijal	$R_{p0,2}$ (MPa)	zatezne karakteristike	
		R_m (MPa)	A5 (%)
Č.4131	991	1050	17
Č.4731	989	1043	17
Č.4732	1030	1080	20

2.1. Ispitivanje dinamičke čvrstoće

Dinamička čvrstoća je određena metodom "stepenice". Metodom "stepenice" se prva epruveta opterećuje do napona koji su bliski očekivanoj trajnoj dinamičkoj čvrstoći. Ako se polomi snižavase opterećenje narednih epruveta za konstantnu vrijednost napona $\Delta\delta$ sve dok jedna od epruveta ne izdrži 10 ciklusa. U sledećem ispitivanju se napon povećava za $\Delta\delta$. Pri ispitivanju trajne dinamičke čvrstoće po metodi "stepenice" utvrđuje se broj polomljenih ili nepolomljenih epruveta. Srednja vrijednost amplitudnog napona se izračunava [3] prema jednačini (1):

$$\bar{\delta}_A = \delta_{A0} + \Delta\delta \left(\frac{\sum i \cdot n}{\sum n} + 0,5 \right) \quad (1)$$

gde je: δ_{A0} - najniži nivo amplitudnog napona, $\Delta\delta$ - konstanta za korekciju napona ispitivanja, -i nivo amplitudnog napona i-n broj nepolomljenih epruveta Standardna devijacija prema [3] jednaka je:

$$s = 1,62 \cdot \Delta\delta \left[\frac{\sum n \cdot \sum (i^2 \cdot n) - [\sum (i \cdot n)]^2}{(\sum n)^2} + 0,029 \right] \quad (2)$$

Za određivanje dinamičke čvrstoće korišćena je epruveta $\varnothing 8$ mm. U skladu sa radnim opterećenjem vijka, konstantni srednji napon je pri svim ispitivanjima epruveta od Č.4731 iznosio $\delta_m = 660$ MPa, dok je amplitudni napon u metodi "stepenice" mjenjan između $\delta_A = 460$ MPa i $\delta_A = 410$ MPa sa konstantnom korekcijom $\Delta\delta = 10$ MPa. Rezultati ispitivanja su dati u tabeli 2. i na slici 1.

Prva epruveta je slomljena posle 440000 ciklusa pri naponu 660 ± 460 MPa. Druga i treća epruveta je takođe slomljena a četvrta je preživela 10000000 ciklusa pri naponu 660 ± 440 MPa, pa je sledeća ispitana pri naponu 660 ± 440 MPa i tako redom ispitano je 20 epruveta (slika 1.). Uspostavljena rezonantna frekvencija na elektromagnetnoj rezonantnoj jašini INSTRON 1603 je bila između 119 i 133 Hz (tabela 2.).

Prema jednačini (1) za vrijednosti $\delta_{A0} = 410$ MPa, $\Delta\delta = 10$ MPa, $n = 8$ (broj nepolomljenih epruveta za 10^7 ciklusa), $\sum (i \cdot n) = 8$ (gdje je sa i označen nivo amplitudnog napona, dobija se srednja vrijednost amplitudnog napona:

$$\bar{\delta}_A = 410 + 10 \left(\frac{8}{8} + 0,5 \right) = 425 \text{ MPa}$$

a prema jednačini (2) standardna devijacija iznosi:

$$s = 1,62 \cdot 10 \left(\frac{8 \cdot 14 - 8^2}{64} + 0,029 \right) = 12,6 \text{ MPa}$$

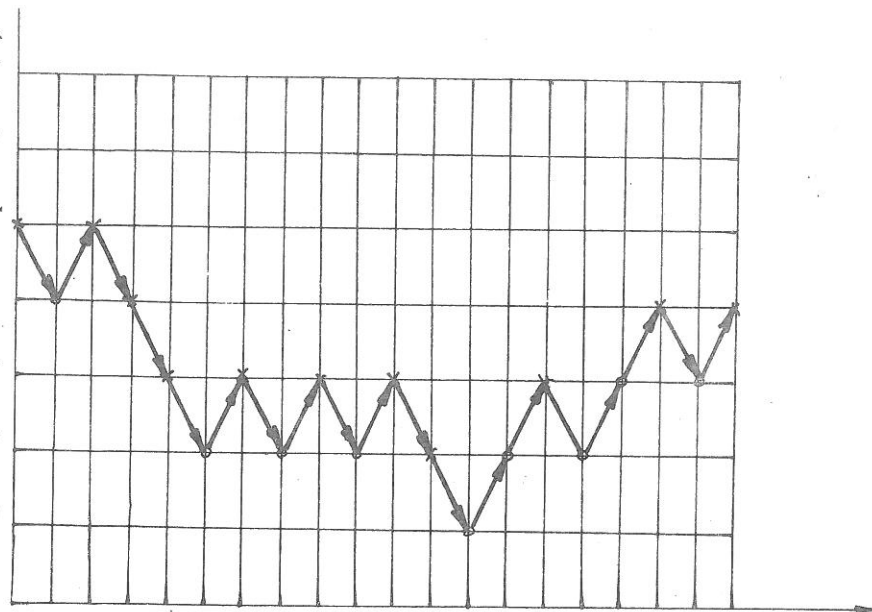
pri: $\sum n = 8$, $\sum (i \cdot n) = 8$ i $\sum (i^2 \cdot n) = 14$

S obzirom na ove vrijednosti dobija se srednja vrijednost dinamičke čvrstoće δ_d :

$$\bar{\delta}_d = \delta_m + \bar{\delta}_A = 660 + 425 = 1085 \text{ MPa}$$

a uzimajući u obzir standardnu devijaciju može se usvojiti vrijednost trajne dinamičke čvrstoće δ_d :

$$\delta_d = \bar{\delta}_d - s = 1085 - 12,6 = 1072,4 \text{ MPa}$$



Slika 1. Tok ispitivanja dinamičke čvrstoće po metodi "stepenice" za čelik Č.4731 pri $\delta m = 660$ MPa, x-slomljena epruveta, o-epruveta preživjela 10^7 ciklusa

Tabela 2. Rezultati ispitivanja dinamičke čvrstoće Č.4731 jednosmjerno promjenljivim opterećenjem pri konstantnoj srednjoj vrijednosti $\delta m = 660$ MPa

Broj probe	Amplit. sile F_a (kN)	Srednja sila $\{kN\}$	Broj promj.	Frekven. (Hz)	Min. napon σ_{min} (MPa)	Max. napon σ_{max} (MPa)	Ampli. napon σ_a (MPa)	Stanje epruv.
1	9,1	13	4,4x10 ⁵	131	200	1120	460	lom.
2	8,9	13	5x10 ⁵	131	210	1110	450	lom.
3	8,7	13	4,2x10 ⁵	130	220	1100	440	lom.
4	8,5	13	1x10 ⁶	133	230	1090	430	prež.
5	8,7	13	3,5x10 ⁵	133	220	1100	440	lom.
6	8,5	13	1x10 ⁶	128	230	1090	430	prež.
7	8,7	13	8,1x10 ⁵	130	220	1100	440	lom.
8	8,5	13	1x10 ⁶	130	230	1090	430	pšrež.
9	7,7	13	3,3x10 ⁵	129	220	1100	440	lom.
10	8,5	13	3x10 ⁵	129	230	1090	430	lom.
11	8,7	13	3,7x10 ⁵	119	240	1080	420	lom.
12	8,5	13	1x10 ⁶	121	250	1070	410	prež.
13	8,3	13	4,8x10 ⁵	131	240	1080	420	lom.
14	8,1	13	1x10 ⁶	130	250	1070	410	prež.
15	8,3	13	1,1x10 ⁶	127	240	1080	420	lom.
16	8,1	13	1x10 ⁶	120	250	1070	410	prež.
18	8,3	13	1x10 ⁶	127	240	1080	420	prež.
18	8,5	13	6,6x10 ⁵	131	230	1090	430	lom.
19	8,3	13	1x10 ⁶	121	240	1080	420	prež.
20	8,5	13	6,8x10 ⁵	121	230	1090	430	lom.

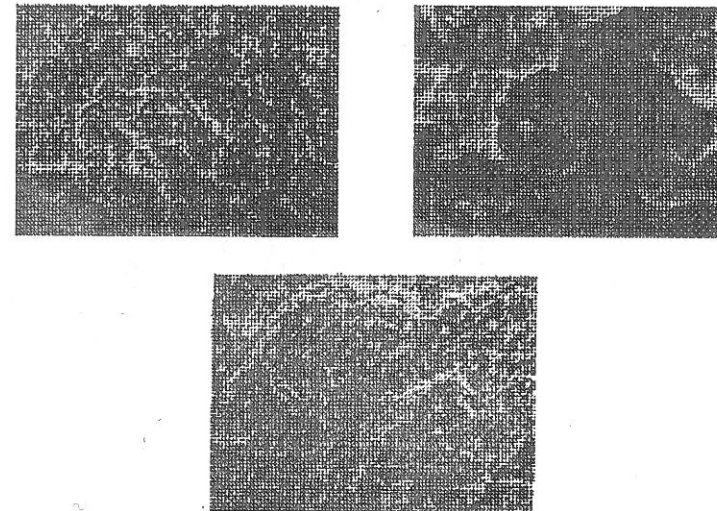
Vrijednost trajne dinamičke čvrstoće Č.4731 određena u ovom ispitivanju je $\delta d = 1072,4$ MPa. Rezultati ispitivanja dinamičke čvrstoće Č.4731 pri $\delta m = 660$ MPa dati su u tabeli 2.

Istom metodom dobijene su vrijednosti trajne dinamičke čvrstoće čelika Č.4732 ($\delta d = 1077$ MPa) i čelika Č.4131 ($\delta d = 1087$ MPa). Iako Č. 4731 posjeduje nešto niže vrijednosti dinamičke čvrstoće od Č.4732 i čelika Č.4131 ove razlike ne utiču odlučujuće na izbor čelika pa se svaki od njih može koristiti za izradu vijaka za klipnjače visokog kvaliteta.

2.2. Analiza inicijacije i rasta zamorne prsline

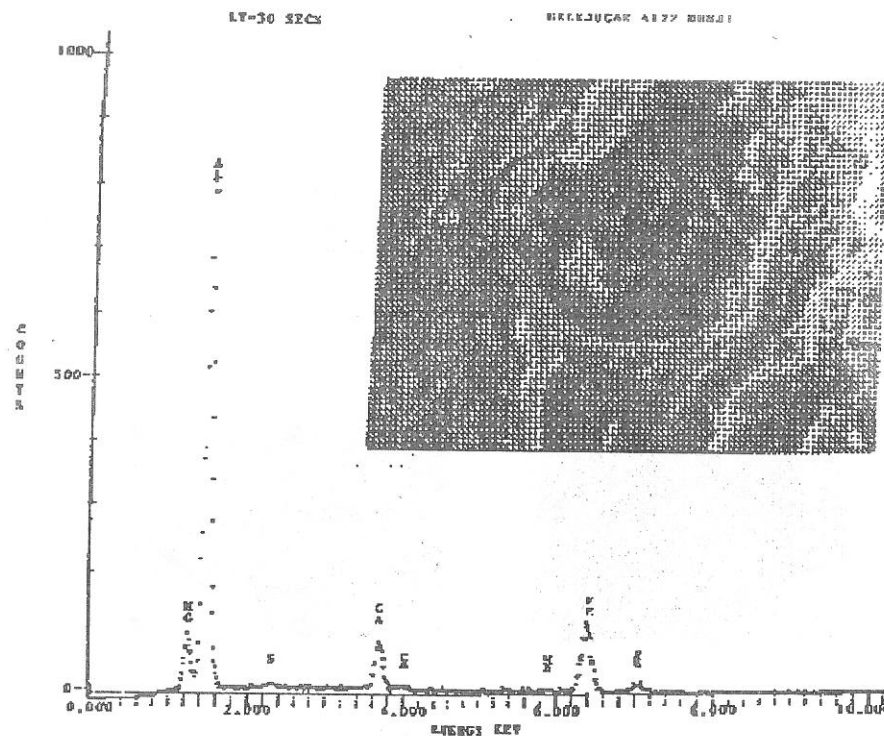
Poslije ispitivanja dinamičke čvrstoće utvrđen je sličan karakter loma za sva tri ispitivanja kvaliteta čelika na skenirajućem elektronskom mikroskopu (SEM). Prvi stadijum stvaranja prsline je teško odrediti kod čelika visoke čvrstoće /1/ jer se one stvaraju oko uključaka ili oko tvrdih sekundarnih faza. Prisustvo tvrdih, uglastih kalcijum aluminata nepravilnog oblika je najvjerojatnije olakšalo stvaranje zamorne prsline. Stadijum rasta zamorne prsline se karakteriše odsustvom izraženih brazdica zamaranja što onemogućuje da se lokalizuje mjesto stvaranja zamorne prsline.

To govori i o ogromnoj sposobnosti uzoraka za plastičnu deformaciju na vrhu zamorne prsline (1,2). Osim transgranularnog loma u zoni rasta zamorne prsline, ispresjecanog mnogim prslinama, malo je pojava karakterističnih za ostale mehanizme loma. Treći stadijum - kvazistatički lom se jasno razlikuje od stadijuma rasta zamorne prsline. Zona kvazistatičkog loma se karakteriše prisustvom mnogobrojnih jamica krupnijih, nastalih mehanizmom dekohezije oko nemetalnih uključaka, i veoma sitnih, nastalih oko cementita. Osnovni mehanizam loma u ovoj zoni je koncentracija mikrošupljina prekidom ligamenata. Fraktografija SEM površine preloma čelika Č.4731 je data na slici 2.



Slika 2. SEM fraktografija površine preloma čelika kvaliteta Č.4731, a) i b) zona rasta zamorne prskotine, c) zona kvazistatičkog loma - j-jamice, SPT-sekondarne prsline kroz zrna

Kao što je već rečeno kod čelika visoke čvrstoće zamorne prsline se stvaraju oko nemetalnih uključaka. Dalji njihov rast se odvija velikom brzinom pa je u cilju povećanja dinamičke čvrstoće ovih čelika neophodno sanjiti mogućnost stvaranja zamornih prslina, odnosno smanjiti količinu nemetalnih uključaka. Pogodnom modifikacijom nemetalnih uključaka pomoću Si-Ca žice uvedene u tečan čelik i stvaranjem lakotopivih kalcijumaluminata, koji se lakše oslobađaju iz tečnog čelika, znatno smanjuje količina nemetalnih uključaka. Međutim prisustvo kalcijum u sulfidnim uključcima, slika 3. govori da modifikacija u ovom slučaju nije izvedena na najpovoljniji način, odnosno da je neposredno prije uvođenja žice još uvijek bilo mnogo sumpora u tečnom čeliku. Zato se dio kalcijuma vezao za sulfidne nemetalne uključke, pa nije izvršena potpuna modifikacija i uklanjanje aluminata.



Slika 3. EDS analiza nedovoljno modifikovanog uključka

Efekti modifikacije se mogu zaključiti i na osnovu EDS analize i morfologije aluminata (slika 3.). Vrijednosti dinamičke čvrstoće su mogle biti znatno veće da je modifikacija izvršena u optimalnim uslovima.

3. ZAKLJUČCI

1. Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja dinamičke čvrstoće čelika za vijke može se zaključiti da pri istim zateznim karakteristikama najbolju dinamičku čvrstoću ima čelik Č.4131 sa $\delta d = 1087$ MPa, zatim Č.4732 sa $\delta d = 1077$ MPa, a najslabiju Č.4731 sa $\delta d = 1073$ MPa. Međutim ove razlike ne utiču odlučujuće na izbor čelika pa se svaki od njih može koristiti za izradu vijaka za klipnjače visokog kvaliteta. 2. Na osnovu skeniranja elektronske mikroskopije (SEM) je utvrđeno da se kod visoke čvrstoće zamorna prslina stvara oko nemetalnih uključaka. U cilju povećanja dinamičke čvrstoće ovih čelika neophodno je smanjiti mogućnost stvaranja zamornih prslina, odnosno smanjiti količinu nemetalnih uključaka radi povećanja otpornosti prema nastajanju prsline, što u najvećoj mjeri određuje i vijek vijaka klipnjače.

3. Pravilnom modifikacijom nemetalnih uključaka pomoću Si-Ca žice se može uticati na smanjenje nemetalnih uključaka pa samim tim i na poboljšanje dinamičke čvrstoće.

4. LITERATURA

1. Dieter, G.E. Mechanical metallurgy chap 12, McGraw-Hill, New York, 1986.
2. Laird, C., "Cyclic deformation, fatigue crack nucleation and propagation in metals and alloys", Metallurgical Treatises, AIME, 1981.
3. Buxbaum, O. Sichere und wirtschaftliche Bemessung Schwing- Bruchgefährdeter Bauteile, Betriebsfestigkeit, 105-119, 1986.

ULOGA DOPINGA U POVEĆANJU DINAMIČKE STABILNOSTI POSTOLJA MAŠINE

ROLE OF DOPING IN THE INCREASE OF MACHINE BEDS DYNAMIC STABILITY

Cirić dr Divko, vanr. prof
Borojev mr Ljubomir, asistent
Zeljковиć mr Milan, asistent
Djurić mr Miroljub, asistent
Gatalo dr Ratko, red. prof

Institut za proizvodno mašinstvo, FTN, Novi Sad

Rezime:

U radu se razmatra uticaj primesa, odnosno problematika, materijala sastavljenih od više komponenti sa aspekta povećanja dinamičke stabilnosti. To posebno dolazi do izražaja kod nosećih elemenata mašina alatki. Pokazano je da dopingovanje, odnosno dodavanje primesa koje se može realizovati na razne načine (mehaničko mešanje, sinterovanje i sl.) daje materijale povećanih dinamičkih performansi.

Abstract

In the paper the influence of materials which contain more components from the viewpoint of increasing the dynamic stability is discussed. This is specially important for the machine tools supporting elements.

It is shown that doping i.e. adding the ingredients, what can be realized in different ways (mechanical mixing, sintering etc.) gives materials with higher dynamic characteristics.

1.0 UVOD

Jedan od krupnih industrijskih problema je relativno brzo habanje postolja za mašine. Mašina u radu proizvodi mehaničke vibracije u relativno širokom opsegu, zagreva postolje, proizvodi eventualno magnetna i električna polja, a svi ovi uticaji štetno deluju na strukturu postolja, razaraju međumolekulske veze i dovode do brzog habanja materijala.

Pomenuti problem nije nov i decenijama se čine pokušaji da se

pronadju materijali za postolje što otporniji na gore pomenute uzroke habanja. Opšti je zaključak da se manje habaju kompoziti tj. materijali komponovani od više različitih materijala. Kompoziti se mogu dobiti na razne načine (skaterovanje, sinterovanje, mehaničko mešanje) koji će u daljem tekstu biti imenovani kao dopingovanje materijala.

Eksperimentalna je činjenica/1-4/ da se najviše habaju postolja od jedne vrste materijala koje ćemo dalje zvati matricama. Ako se matrica dopinguje na bilo koji od pomenutih načina ona po pravilu postaje otpornija na habanje. Tako na primer, betonska matrica dopingovana polimernim supstancama dobro prigušuje mehaničke oscilacije, slabo provodi toplotu i postaje otpornija prema hemijskim dejstvima.

U skladu sa izloženim, cilj ovog rada je da se na bazi prostog mikroteorijskog modela objasni zbog čega doping može da poveća dinamičku i termičku stabilnost matrica i da se izvuku izvesni kvalitativni zaključci o tome koja je vrsta dopinga optimalna u odnosu na datu matricu. Naravno model nije u stanju da objasni promene hemijsko-tehnoloških karakteristika već uglavnom promene dinamičko-termodinamičkih karakteristika.

2.0. VIBRACIJE U MATRICI SA PRIMESOM

Poznata je činjenica da primese, vakansije i strukturni defekti bilo koje vrste dovode do lokalizacije pobudjenja u okolini defekta. Ukoliko struktura nije narušena pobudjenja su talasi koji se praktično prostiru po celoj strukturi i predstavljaju njenu kolektivnu karakteristiku /5-6/.

U skladu sa onim što je rečeno u uvodnom delu ovde će biti razmotreno kako primesa utiče na karakter mehaničkih oscilacija u idealnoj strukturi. Zna se da su mehaničke oscilacije u idealnoj strukturi (matrica) talasi sa linearnom zavisnošću energije od impulsa tj., kako se to kaže u fizičkoj literaturi zvučni talasi. Ovi zvučni talasi su kolektivne unutrašnje oscilacije matrice.

Da bismo sa minimumom matematičkog formalizma ispitali uticaj primese na oscilovanje matrice koristićemo prost jednodimenzioni model matrice sa jednom primesom. Rezultati koji se izvedu lako se, bar kvalitativno, mogu preneti na masivne i složene strukture.

Oscilatorni Hamiltonijan jednodimenzione strukture u aproksimaciji najbližeg suseda može se napisati u obliku

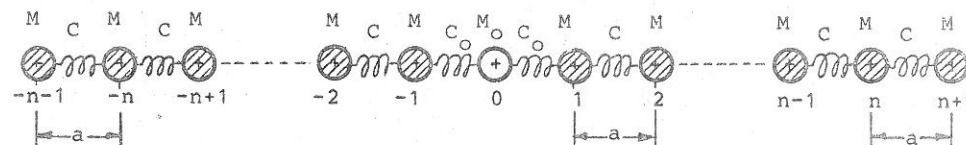
$$H = \sum_n \frac{p_n^2}{2M} + \frac{1}{4} \sum_n (C_{n,n+1} (U_n - U_{n+1})^2 + C_{n,n-1} (U_n - U_{n-1})^2) \quad (1.1)$$

gde n označava položaj molekula u strukturi, M - masu molekula, $p=Mu$ - impuls, U - pomeraj molekula i C su Hukove konstante materijala

$$C_{nm} = \left(\frac{\partial^2 V_{nm}}{\partial (U_n - U_m)^2} \right)_{U_n=U_m=0} \quad (1.2)$$

gde V_{nm} - potencijalna energija interakcije između molekula lociranih na mestima n i m .

Ako u strukturi sa molekulima mase M ugradimo primesu sa masom M_0 (vidi sliku 1)



Sl.1

onda Hukove konstante koje odgovaraju interakcijama primese sa atomima matrice nisu iste kao Hukove konstante koje odgovaraju interakcijama samih atoma matrice.

Efektivni deo Hamiltonijana (1.1) koji odgovara bloku u kome se nalazi primesa može se napisati kao

$$h = \frac{1}{2M_0} p_0^2 + \frac{1}{2M} (p_1^2 + p_{-1}^2) + \frac{1}{2} C_0 ((U_0 - U_1)^2 + (U_0 - U_{-1})^2) + \frac{1}{2} C ((U_1 - U_2)^2 + (U_{-2} - U_{-1})^2) \quad (1.3)$$

Hajzenbergove jednačine kretanja za impuls i pomeraj molekula glase:

$$U = \frac{1}{i\hbar} (U_n, H) \quad , \quad p_n = \frac{1}{i\hbar} (p_n, H) \quad (1.4)$$

Ako se prva od ovih jednačina diferencira po vremenu i uzme u

obzir da je $U_n = \frac{p_n}{M}$ dobija se kombinovana jednačina

$$\ddot{U}_n = \frac{1}{i \hbar M_n} (p_n, H) \quad (1.5)$$

Koristeći komutacionu relaciju $(p_n, U_m) = i \hbar \delta_{nm}$ i jednačinu

$$\ddot{U} = \frac{1}{i \hbar M} (p_n, H) \quad \text{za } n = 0, \pm 1 \text{ dobija se sistem jednačina}$$

za pomeraje molekula 0, 1 i -1:

$$\ddot{U}_0 = \frac{C_0}{M_0} (U_1 + U_{-1}) - 2 \frac{C_0}{M_0} U_0$$

$$\ddot{U}_1 = \frac{C_0}{M} U_0 + \frac{C}{M} U_2 - \frac{C_0 + C}{M} U_1 \quad (1.6)$$

$$\ddot{U}_{-1} = \frac{C_0}{M} U_0 + \frac{C}{M} U_{-2} - \frac{C_0 + C}{M} U_{-1}$$

Na sličan način za pomeraje U_n za koje je $n \neq 0, 1, -1$ dobije se jednačina:

$$\ddot{U}_n = \frac{C}{M} (U_{n+1} + U_{n-1}) - 2 \frac{C}{M} U_n, \quad n \neq 0, 1, -1 \quad (1.7)$$

Jednačina (1.7) rešava se smenom

$$U_n(t) = A e^{ikna - i\omega t} + A^* e^{-ikna + i\omega t}$$

$$\ddot{U}_n(t) = -\omega^2 U_n \quad (1.8)$$

gde je k - talasni vektor oscilacija, ω - njihova frekvencija i A kompleksne amplitude. Ako se (1.8) uvrsti u (1.7) (dovoljno je uvrstiti samo jednu od amplituda) jednačina se svodi na:

$$2 - \frac{\omega^2}{\Omega^2} = 2 \cos ak; \quad \omega = 2 \Omega \sin \frac{ak}{2} = \Omega ak; \quad ka \ll 1$$

$$\Omega = \sqrt{\frac{C}{M}} \quad (1.9)$$

Kao što se vidi dobijena zavisnost frekvencije od talasnog vektora $\omega = \Omega ak$ predstavlja poznati izraz za frekvenciju akustičkih talasa.

Sistem jednačina (1.6) rešavamo uz pretpostavku da molekuli 1 i -1 imaju kompleksnu amplitudu A , dok primesni molekul ima neku drugu kompleksnu amplitudu B . Koristeći (1.8), sistem jednačina (1.6) svodimo na oblik:

$$2 \cos ak \cdot A - \left(2 - \frac{\omega^2}{\Omega_0^2} \right) B = 0$$

$$\left(\frac{M_0}{M} \frac{C}{C_0} e^{ika} - \frac{M_0}{M} \left(1 + \frac{C}{C_0} \right) + \frac{\omega^2}{\Omega_0^2} \right) A + \frac{M_0}{M} e^{-ika} B = 0$$

gde je: (1.10)

$$\Omega_0^2 = \frac{C_0}{M_0} \quad (1.11)$$

Treba napomenuti da je prva od jednačina (1.6) odbačena jer se prelazom $k \rightarrow -k$ svodi na drugu jednačinu (1.10).

Sekularna jednačina sistema (1.10) daje frekvence vibracija koje se odvijaju u prisustvu primeše. Ova jednačina glasi:

$$x^2 - (R_1 + i J_1) x + R_2 + i J_2 = 0 \quad (1.12)$$

Upotrebijene oznake su sledeće

$$x = \frac{\omega^2}{\Omega_0^2} \quad (1.13)$$

$$R_1 = 2 + \frac{M_0}{M} + 2 \frac{M_0}{M} \frac{C}{C_0} \sin^2 \frac{ak}{2} \quad (1.14)$$

$$J_1 = \frac{M_0}{M} \frac{C}{C_0} \sin ak \quad (1.15)$$

$$R_2 = 4 \frac{M_0}{M} \left(\frac{C}{C_0} + 2 \cos^2 \frac{ak}{2} \right) \sin^2 \frac{ak}{2} \quad (1.16)$$

$$J_2 = \frac{2 M_0}{M} \left(\cos ak - \frac{C}{C_0} \right) \sin ak \quad (1.17)$$

Rešavajući jednačinu (1.12) u aproksimaciji malih talasnih vektora koje je uobičajeno pri njihovoj analizi, sa tačnošću do $(ak)^2$ zaključno dolazimo do rezultata:

$$\omega = \omega' + i\omega'' \quad (1.18)$$

gde je

$$\omega' = \Omega_0 \sqrt{2 + \frac{M_0}{M} + \frac{\Omega}{4} \frac{C}{C_0} \frac{M_0}{\sqrt{M(2M+M_0)}} a^2 k^2}, \quad (1.19)$$

$$\omega'' = -\Omega_0 \frac{M_0 \left(1 - 2 \frac{C}{C_0} - \frac{M}{2M_0} \frac{C}{C_0} \right)}{M \left(2 + \frac{M_0}{M} \right)^{3/2}} a k \quad (1.20)$$

Dobijeni rezultati pokazuju sledeće:

a.) U okolini primese stvaraju se mehanički talasi koji su

3-66

prigušeni tj koji posle nekog vremena iščezavaju. Ovo vreme predstavlja vreme života oscilacija i dato je sa:

$$\tau = \frac{1}{|\omega''|} = \frac{1}{M \left| 1 - 2 \frac{C}{C_0} - \frac{1}{2} \frac{M_0}{M} \frac{C}{C_0} \right|} \frac{1}{\Omega_0 |ak|} \quad (1.21)$$

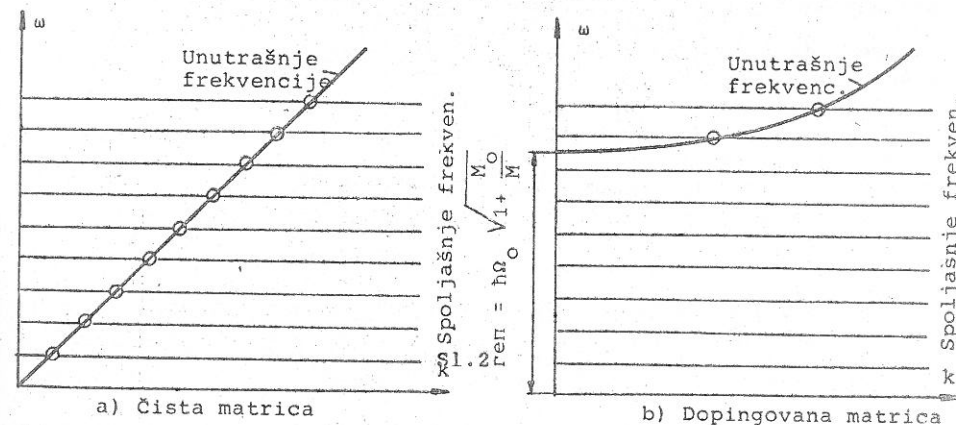
Pošto je $\Omega_0 \sim 10^{13}$ Hz, za $|ak| \sim 10^{-2}$ može se proceniti da je vreme života ovih oscilacije $\tau \sim 10^{-11}$ s

b.) Realni deo frekvencije ima gcp

$$\omega_{\Delta} = \Omega_0 \sqrt{2 + \frac{M_0}{M}} \quad (1.22)$$

i vrlo slabu disperziju, proporcionalnu kvadratu male veličine ak . Na osnovu ovoga može se zaključiti da za stvaranje ovakvih oscilacija treba utrošiti energiju $\Delta = \hbar \omega_{\Delta} \sim 10^{-21}$ J ~ 100 K_B.

Takodje je jasno da zbog male disperzije postoji veoma mali opseg spoljašnjih frekvencija koje mogu da dodju u rezonancu sa ovim lokalizovanim talasima (vidi sliku 2b). Ovo je vrlo značajno, jer je poznato da rezonancije sa spoljašnjim frekvencijama najviše doprinose habanju materijala. Ako bi matrica bila idealna sa frekvencijama talasa Ω_{ak} postojao bi veoma širok opseg spoljašnjih frekvencija koji bi dospevao u rezonantnu oblast sa unutrašnjim frekvencijama (vidi sliku 2a), pa bi i mogućnosti habanja bile daleko veće.



3-67

Ovde je demonstrirano dejstvo jedne primese u jednodimenzionoj strukturi. Zaključci se, međutim, mogu lako preneti na masivnu strukturu sa više primesa. Primeše bi bile centri prigušenja oscilacija i pretstavljali bi svojevrsne "filtre" za rezonanciju sa spoljašnjim frekvencijama tj. smanjivale bi i mogućnosti rezonancije.

3.0 ZAKLJUČAK

Zaključci koji slede na osnovu rezultata mikroskopskog modela datog u poglavlju 1 mogu se rezimirati na sledeći način.

1. Primesni centri ugrađeni u matricu služe kao prigušivači unutrašnjih mehaničkih oscilacija, jer se oko primesa stvaraju mehanički talasi sa konačnim vremenom života tj. prigušeni talasi. Opšti zaključak: u postoljima od dopingovanih materijala prigušenje talasa je daleko bolje nego u postoljima od čistog materijala.

2. Primesni molekuli u dopingovanoj matrici služe kao filtri za rezonanciju sa spoljašnjim poljima. Na slici 2 se vidi da je opseg spoljašnjih frekvencija koje mogu da dodju u rezonanciju sa unutrašnjim daleko manji nego opseg rezonantnih frekvencija za čist materijal. Ovo je veoma značajno zbog toga što rezonancije sa spoljašnjim poljima najviše doprinose habanju materijala. Ako se materijal dopinguje mogućnosti habanja se oštro smanjuju.

3. Činjenica da mehaničke oscilacije imaju energetski gep

$$\Delta = \hbar \omega_{\Delta} = \hbar \Omega_0 \sqrt{2 + \frac{M_0}{M}} \text{ čini dopingovane matrice dobrim}$$

zvučnim i toplotnim izolatorima. Kod čiste matrice zvučni talasi u matrici mogu da se izazovu spoljašnjim uticajima proizvoljno male energije, tako da ona prenosi zvuk i veoma slabih intenziteta. Za stvaranje zvučnih talasa lokalizovanih ekscitacija, koje nastaju usled prisustva primesa, svi spoljašnji uticaji sa energijom manjom od $\Delta > 100 K_B$ ne mogu da stvore zvučne talase u dopingovanoj matrici, pa je ona zbog toga bolji izolator zvuka.

4. Već je napomenuto pod 3. da prisustvo gepa Δ poboljšava i termoizolacione karakteristike materijala. Ovo će biti nešto detaljnije razradjeno.

Poznato je da je koeficijent toplotne provodljivosti λ proporcionalan gustini materijala ρ , koeficijentu difuzije D i specifičnoj toploti c

$$\lambda = \rho D c \quad (2.1)$$

Ako se u (1.19) zanemari slaba disperzija proporcionalna $(ak)^2$ može se uzeti da je energija talasa koji nastaju u prisustvu primesa:

$$\hbar \omega' = \Delta = \hbar \Omega_0 \sqrt{1 + \frac{M_0}{M}} \quad (2.2)$$

Tada je unutrašnja energija sistema data sa:

$$U = N \frac{\Delta}{e^{\frac{\Delta}{\theta}} - 1}, \quad \theta = k_B T \quad (2.3)$$

gde je N broj primesnih centara. Na osnovu (2.3) sledi da je specifična toplota dopingovane matrice približno data sa

$$C = \frac{\partial U}{\partial T} = N K_B \left(\frac{\Delta}{\theta} \right)^2 e^{-\frac{\Delta}{\theta}} \quad (2.4)$$

Ova formula važi za $\frac{\Delta}{\theta} \ll 1$. U istoj ovoj situaciji specifična

toplota idealne strukture je proporcionalna trećem stepenu temperature

$$c \sim \theta^3 \quad (2.5)$$

i znatno je veća od c jer c opada eksponencijalno kada se θ smanjuje.

Što se tiče sobnih temperatura, specifična toplota idealne strukture ponaša se po Dilon-Pti-ovom zakonu, tj. konstantna je i ne zavisi od temperature: $C_{id} = 3R$ gde je R -univerzalna gasna konstanta. Na sobnim temperaturama na isti način bi se ponašala i specifična toplota dopingovane strukture data formulom (2.4). To se, međutim, podesnim dopingom može izbeći. Uslov da specifična

toplota ne zavisi od temperature važi za slučaj $\frac{\Delta}{\theta} \ll 1$. Pošto je za sobne temperature $\theta \sim 300 K_B$, očigledno je da se uvek može odabrati takva vrsta dopinga da bude $\Delta \gg 300 K_B$. To se vidi iz

$$\Delta = \hbar \Omega_0 \sqrt{2 + \frac{M_0}{M}}. \text{ Pošto je, defakto, } \hbar \Omega_0 \sim 100 K_B, \text{ očigledno je da}$$

ako dopingujemo teške molekule recimo $\frac{M_0}{M} = 14$ dobijamo da je

$$\Delta \sim 400 K_B > 300 K_B. \text{ To znači da i na sobnim temperaturama koje}$$

su za praksu najvažnije ostaje u važnosti formula (2.4) odnosno,

specifična toplota ostaje mala. Mala vrednost specifične toplote prema (2.1) daje malu vrednost koeficijenta toplotne provodljivosti λ i čini dopingovanu matricu dobrim toplotnim izolatorom.

Sumirajući sve ove zaključke možemo reći da dopingovanje zaista povećava otpornost materijala i čini ga dobrim toplotnim i zvučnim izolatorom. Na osnovu izvedenih rasudjivanja može se zaključiti da je dopingovanje teškim molekulima efikasnije u smislu poboljšanja karakteristika, pa nije ni čudno da polimerizovani betoni (polimeri mogu da imaju veoma visoke molekulske mase) pokazuju dobre otpornosne karakteristike.

4.0 LITERATURA

- /1/ Tanner, H.: Anwendung von Polymerbeton im Maschinenbau, IV internationaler Kongress: Polymere und Beton, TH Darmstadt, 1984
- /2/ Wittmoser, A.: Verbundwerkstoff Eisenguss/Polymerbetonguss für Konstruktionsteile im Maschinenbau, IV internationaler Kongress: Polymere und Beton, TH Darmstadt, 1984.
- /3/ Sugishita, H., Nishiyama, H i dr.: Development of Concrete Machining Center and Identification of the Dinamic and the Thermal Structural Behavior, Annals of the CIRP Vol. 37(1) 1988
- /4/ Salje, E., Gerlaff, H., Meyer, J.: Comparison of Machine Tool Elements Made of Polymer Concrete and Cast Iron, Annals of the CIRP Vol 37(1) 1988
- /5/ Agranovich, V.M.: "Tehory of excitons", Nauka, Moskva, 1978. (na ruskom)
- /6/ Agranovič V.M., Galanin: "Perenos energii elektronovo vazbuždenija v kondenzirovanih sredah", Nauka, Moskva, 1978.

TEHNOLOSKI ASPEKAT POSTUPKA SKIDANJA NASLAGA FARBE SA KUKA I NOSILJKI U PROCESU FARBANJA U IMT-u PRIMENOM KRIOGENOG POSTUPKA

Jajcanin M. Dusko dipl.mas.ing., Ind. masina i traktora, N.Bgd.

UVOD

U procesu farbanja dolazi do nagomilavanja više slojeva farbe na kukama konvejera, nosilkama delova kao i na podnim resetkama farbare. Kao posledicu ovako formiranih naslaga imamao smanjen efekat elektrostatskog farbanja, ostecenje sveze ofarbanog dela zbog padanja sitnih komada stvrdnute farbe, kao i efekat lose ventilacije zbog velike zaprljanosti podnih resetki, a time i opsti pad kvaliteta ofarbanih delova.

Od više poznatih postupaka skidanja naslaga boje u radu ce se najviše pažnje posvetiti kriogenom postupku.

ABSTRACT

In the painting process several layers of paint are normally found on conveyor looks, parts buskets, as well as, on floor grils, in painting premicess. As consequence of those layers electrostatique effect is diminished. Also, it appears that some particles of hardend paint drop off in this way demaging painted parts. The painting layers causes floor grils plugged and as a result ventilation is also diminished and lower painting quality is found.

There are several well known clearing technics, but in actual application more attention should be paid to criogenic treatment.

1. Postojeca tehnoloska resenja za skidanje naslaga farbe

Sagledavajući sve probleme kao i posledice koje nastaju zbog pojave naslaga farbe, razvijeno je više razlicitih metoda za skidanje istih, od kojih se najviše koriste sledece:

- hemijski postupak
- mehanicki postupak
- termicki postupak - piroliza

- kriogeno zamrzavanje tecnim azotom

Svaki od navedenih postupaka sa tehnicko-tehnoloskog aspekta ima svoje dobre i lose karakteristike, stim sto je kriogeni postupak ekoloski najoptimalnije resenje za uklanjanje naslaga farbe.

2. Hemijski postupak

Hemijska metoda je do skoro vazila kao najcesca i najvise koriscena metoda skidanja naslaga boje. U zavisnosti od primenjene temperature u ovoj metodi mogu se razlikovati hladne i tople metode. Kod primene hemikalija u ovoj metodi danas dolaze u obzir samo sredstva koja u sebi ne sadrze cijanide i ostale otrovne materije, bioloski opravdana, koja covekovu okolinu i personal truju sto manje. Dok je hladno delakiranje jedva primenjivo (ERWA 5011) zbog mera zastite prema prirodi i personalu; toplo delakiranje se uspesno primenjuje sa sredstvima koja ne sadrze cijanide. Tehnologija toplog delakiranja je resena kao automatska linija sa vise kada za hemijski tretman delova sa automatskim transportom i spustanjem delova u kade. Linija je opremljena stanicom za prerađu otpadnih voda sto u mnogome poskupljuje celu investiciju.

Toplo delakiranje moze se grubo podeliti u tri grupe:

- sredstva delakiranja: alkalno-organski-vodeni
- sredstva delakiranja: vodena, kisela
- organska sredstva delakiranja, bez vode

Prva metoda se najvise koristi. Radi se na radnoj temperaturi od 60 - 90°C i vremenu trajanja skidanja naslaga boje od 15 min do 24 sata u zavisnosti od debljine naslaga.

Druga metoda se koristi za skidanje Epoxy-praha i KTL-lakova koje vodena, alkalno organska sredstva ne mogu da skinu.

Trecia metoda se koristi kod skidanja naslaga boje sa aluminijumskih ili pocinkovanih delova na radnoj temp. od 40-100°C i vremenu

trajanja procesa od 1-20 sati.

3. Mehanicki postupak

Od vise razlicitih postupaka ciscenja najvise se primenjuje postupak spricanja cistom vodom pod radnim pritiskom od 400-1400 bar. Osnovna pretpostavka za koriscenje ovog postupka je oblik dela koji se cisti kao i kolicina istih. Zato se ovaj postupak najvise koristi u automobilskoj i traktorskoj industriji za skidanje naslaga sa podnih resetki kabina kao i unutrasnjosti samih kabina. Sam postupak ciscenja odvija se tako da se pumpom visokog pritiska koristi kineticka energija mlaza ciste vode koji svojim pritiskom razara, odvaja i ljusti naslage boje sa površine dela. Efekat skidanja pre svega zavisi od pritiska vode, velicine i oblika mlaza, kao i ugla pod kojim se vrši ciscenje. Za postizanje optimalnog efekta delakiranja veliki uticaj ima oblik mlaznice, jer utice tako da se sva kineticka energija vode prenese na površinu radnog komada uz sto manje gubitke. Postupak ciscenja moze se obaviti rucno u samoj kabini ili u protocnom uređaju automatski.

Sa ekoloskog aspekta prednost ovog postupka je u tome da se umesto hemijskih sredstava koristi cista voda koja se ponovo moze vratiti u proces. Skinuta farba ostaje kao 100% otpad sto na primer kod termickog postupka nije slucaj, jer tu imamo 25-30% otpadaka u vidu pepela.

4. Termicki postupak - piroliza

Postupak se zasniva na termickoj rastvorljivosti naslaga boje, pri cemu se organski delovi laka, u vrućoj komori-kadi cvrste materije direktno pretvaraju u gasnu fazu. Nastali gasovi se direktno mesaju sa vodenom parom i u termickom postpaljenju usisavaju. Centralni deo postrojenja za delakiranje je vrtlozna komora-retorta sa zagrejanim peskom i sredstvom odnosno medijumom za vrtlozenje kojim je komora do određenog nivoa napunjena. Difuzna ploca nalazi se na dnu retorte i kroz nju se ubacuje (uduvava) vazduh u prostor retorte cime se pesak fluidizira u lebdeće cesticke. U ovom stanju se medijum vrtloznika dovodi u stanje velikog primanja toplote i fizicki najvise lici na tecnost, zbog cega se delovi koji se tretiraju (kuke, nosiljke, resetke i drugi delovi) mogu uroniti u isti. Pri temperaturi od oko 400-460°C i pritisku od 0.2 bar-a organski delovi laka se termicki rastvaraju, a brzim odvođenjem egzotermne toplotne energije onemogućava se porast temperature a time i mogućnost samopaljenja. Po završenom procesu komora se hladi i vrši se odlaganje pepela, a radni komadi se dalje mogu završno ocistiti prskanjem vodom ultrazvukom ili peskiranjem celicom sacmom. Vreme ciscenja se kreće od 30-40 min. pa do 8-10 casova zavisno od tipa uređaja, velicine sarze i debljine naslaga, stim da materijal delova koji se tretiraju mora biti otporan na temperature do 500°C.

Osnovne prednosti ovog postupka ogledaju se u sledecem:

- efektivno ciscenje naslaga boje bez ostecenja
- otklanjanje svih naslaga boje
- kratka vremena ciscenja
- uslovi rada bezopasni, nema zagadjenja okoline
- efektivnost postupka bez obzira na velicinu sarze
- mala kolicina izduvnih gasova i pepela

Na sl.1 prikazana je sema funkcionisanja uređaja za pirolizu. Vodeci proizvođači ovih uređaja su firme EISENMANN i SCHWING.

5. Postupak kriogenog zamrzavanja tecnim azotom

Kod procesa farbanja, a posebno elektrostatskog trazi se besprekorno cista površina svih kuka i nosiljki jer u protivnom nanosenje boje neće dati traženi kvalitet. Kad se radi o masovnoj proizvodnji (automobilska, industrija kucnih aparata) ne sme se dozvoliti ljuspanje naslaga sa kuka i nosiljki i njihovo padanje na sveže ofarban radni komad.

Najkvalitetnije resenje ovog problema je kriogeni postupak koji funkcioniše na sledeći način:

1. Delovi sa kojih treba da se skinu naslage boje potapaju se u tecnii azot i smrzavaju na -196°C. Ova niska temperatura vise skuplja boju nego celik, zbog cega dolazi do njenog pucanja i odvajanja od celika.

2. Sledecu fazu pretstavlja peskiranje celicom sacmom, cime se postize da naprsila boja koja je postala krta brzo otpadne sa nosiljki. Povrsina metala ostaje potpuno cista i dalja obrada nije potrebna.

3. Eventualno, na kraju, delovi se mogu propustiti kroz pec kako bi se malo dogrejali cime se izbegava kondenzacija.

Potrosnja tecnog azota krece se od 0.4-0.7 kg po kilogramu materijala (nosac plus naslaga boje) a vreme trajanja postupka krece se od 3-5 min.

Na sl.2 prikazana je kompletna linija koja se sastoji od rezervoara tecnog azota, vakum izolovanog cevovoda za transport TN2, specijalne pumpe za tecnii azot, kade za potapanje, vertikalnog transportera i peskirne masine.

Osnovne prednosti kriogenog postupka ogledaju se u sledecem:

- Ostatci koji nisu stetni. Ostaje samo suv prah. Nema problema zagadjenja covekove okolini.

- Viok kapacitet. Radni ciklus vrlo kratak.

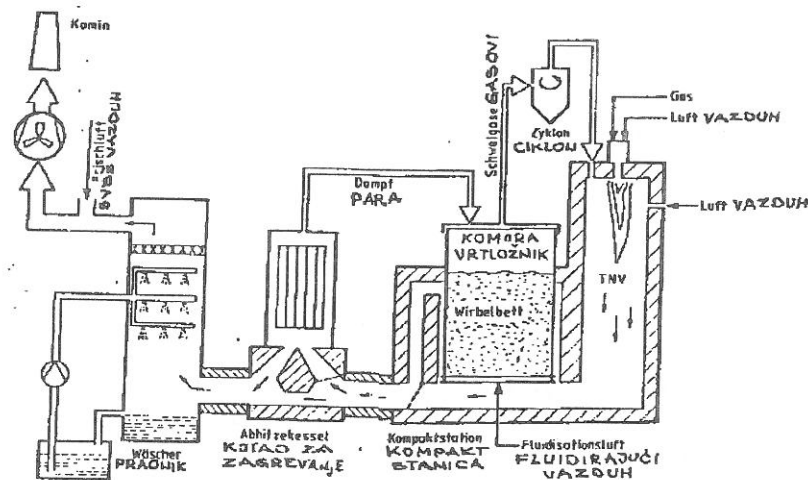
- Bolji kvalitet. Mnogo bolji od prethodnih, kvalitet ciscenja vrlo visok.

- Kriogeni proces ne osteduje metal. Niske temperature nemaju trajno dejstvo na metal.

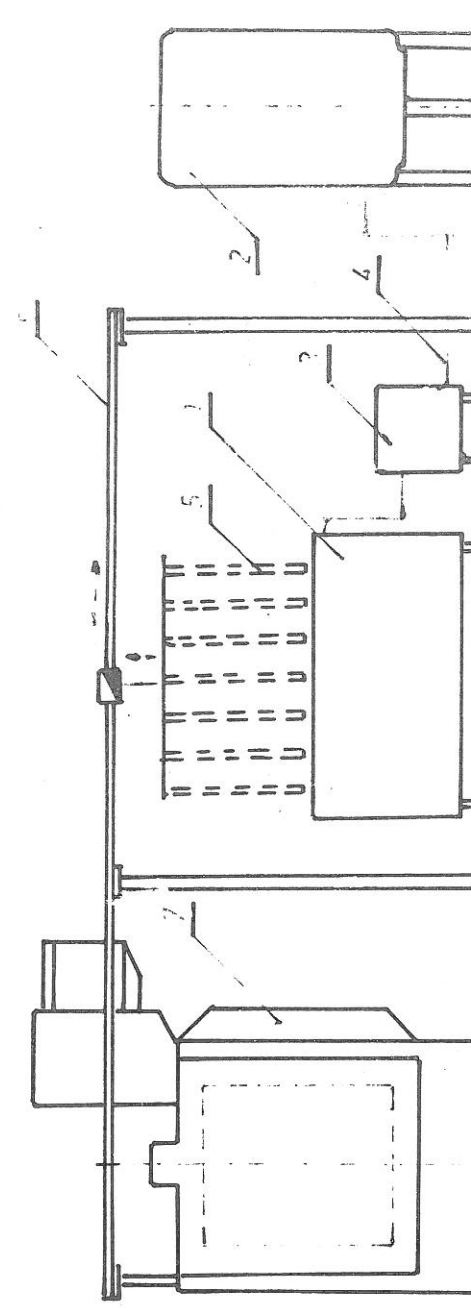
- Niski proizvodni troskovi. Potrebna manja investicija u opremu i ventilaciju (podrazumeva se rezervoar za TN2), potrosnja TN2 niska, postrojenje moze biti potpuno automatizovano.

- Cisti sve vrste farbe (epoksidne, poliuretanske, poliesterske, akrilne) koje su nanosene bilo kojim postupkom (elektrostatskim, elektroforezom, kataforezom, anaferezom, airless).

- Visok nivo sigurnosti za osoblje. Azot je nekorozivan, nezapaljiv i inertni gas, ekoloski zadovoljava sve uslove.



Sl.1 Funkcionalna sema uređaja za pirolizu



Sl.2 Skica linije kriogenog zamrzavanja tecnim azotom - Legenda: 1 Kada, 2 Rezervoar za TN2, 3 Pumpa, 4. Vakumski cevovod, 5 Radni komadi, 6 Dizalica, 7 Peskirna masina

ZAKLJUCAK

Iz svih iznetih metoda nameće se kao najoptimalnije rešenje za skidanje naslaga farbe kriogeni postupak, posebno ako se ima u vidu visina investicija (bez rezervoara za TN2 i peskirne masine) koja iznosi oko 50.000 DM a za termicki postupak ista iznosi oko 500.000 DM.

LITERATURA

1. Thermische Entlackungsanlage, EISENMANN, BÖblingen, 1990
2. Wirbelbett Entlacken, SCHVING, Neukirchen, 1991
3. AGA, AGA NEWS, Nove gasne tehnologije, 1990
4. Sverniciaura criogenica, C. Banfi, Spa, 1992

PRAVCI RAZVOJA TVRDIH PREVLAKA DOBIJENIH PLAZMA POSTUPCIMA

THE DEVELOPEMENT OF HARD COATINGS PRODUCED BY PLASMA TECHNOLOGY

D. Kakaš

FTN - Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad

REZIME

U radu je dat pregled pravaca razvoja u oblasti proizvodnje tvrdih prevlaka putem primene plazma tehnologije. Analizirana je problematika razvoja opreme i tehnologije sa ilustracijom šta je to trenutno najinteresantnije u oblasti proizvodnje novih super tvrdih prevlaka, prevlaka na bazi dijamantu-sličnog ugljenika, termalnih barijera, prevlaka dobijenih novim CVD i PVD postupcima, kao prevlaka dobijenih plazma difuzionim postupcima. Dat je detaljan pregled najinteresantnije literature iz koje se mogu sagledati osnovni pravci razvoja plazma tehnologije. Na kraju rada dat je pregled dosadašnjeg istraživanja plazma tehnologije u Laboratoriji za termičku obradu-Instituta za proizvodno mašinstvo.

SUMMARY

In this paper an review of trends in hard coating production by plasma technology is given. The developement of technology and equipment is illustrated by some interesting examples for each type of hard coating, like: diamond, diamond-like carbon, thermal barriers, hard coating produced by PVD and CVD, and plasma diffusion coating. The detail survey of current literature is presented. The previous results of Laboratoru for heat treatment at Institute for production engineering is presented.

1. UVOD

Problematika boljeg iskorišćenja prirodnih resursa nametnula je potrebu da se maksimalno iskoriste radne sposobnosti metalnih materijala pri eksploataciji u sve težim radnim uslovima /1/. Da bi se to postiglo najpovoljniji put je uvođenje određenih modifikacija površinskih slojeva u cilju zaštite od dejstva okoline (korozije, erozije i oksidacije) ili zaštite od procesa habanja. Stoga je početkom 80-tih nastala nova disciplina u oblasti tehnologija termičke obrade, takozvano "površinsko inženjstvo" Imajući u vidu da je vrednost godišnjeg prometa u oblasti tehnologije termičke obrade procenjena na 5 milijardi dolara, sasvim je razumljivo da samo državni fond Nemačke izdvojio sredstva od 135 miliona maraka za razvoj plazma tehnologija. Plazma tehnologije su svakako najznačajnije tehnologije u oblasti površinskog inženjstva i predstavljaju jednu od ključnih tehnologija od kojih zavisi dalji razvoj savremene industrijske proizvodnje /2, 3/.

Poseban značaj za razvoj plazma tehnologije predstavljaju njene izričite prednosti u pogledu zaštite čovekove sredine /4/.

I pored značajnih prednosti u pogledu kvaliteta obradenih delova plazma postupci još uvek nisu naišli na dovoljno širok odziv u industriskoj primeni, kako kod nas tako i u svetu. Kao ilustracija mogu poslužiti primeri iz USA koje je dao Kovacs /5/. Prema njegovim podacima u toj zemlji postoji oko 1300 uređaja za plazma nitriranje i oko 20 uređaja za plazma cementaciju (podatci su iz 1990. godine). Ispitivanjem je dobijen podatak da od 800 uslužnih kalionica samo 40 nudi usluge plazma nitriranja, dok svega nekoliko kalionica nudi usluge plazma cementacije. Slični podatci važe i za Englesku, gde svega 10% od ukupne količine nitriranih delova otpada na plazma nitriranje.

Osnovni razlog za ovakvo stanje u primeni tehnologija plazme je relativno slabo poznavanje prednosti ovih tehnologija od strane stručnjaka u pogonima termičke obrade, zatim veoma visoke cene usluge po jedinici proizvoda i pre svega veoma loše poznavanje prednosti ovih tehnologija, u pogledu mogućnosti modifikiranja površinskog sloja metala, od strane konstruktora, tehnologa i ostalih inženjera koji su zaduženi za izradu dokumentacije i osvajanje novih proizvoda u metalnoj industriji.

Stoga je osnovni cilj ovog rada da ukaže na trendove razvoja u oblasti plazma tehnologije ali i da ukaže na neke mogućnosti primene koje su od značaja za našu savremenu industrijsku praksu.

2. OSNOVNI PRAVCI RAZVOJA U OBLASTI PLAZMA TEHNOLOGIJA

Zavisno od energije depozicije i površinske interakcije plazme, mogu se razlikovati tri osnovna tipa plazma postupaka:

- Postupci plazma depozicije, gde su najznačajnije tehnologije PVD i CVD.
- Tehnologije plazma snopova, gde su najznačajniji postupci jonske implantacije, jonski pobudjene depozicije i dr.
- Plazma difuzioni postupci, gde su najznačajniji postupci plazma nitriranja, plazma cementacije, plazma boriranja i dr.

Sam razvoj plazma tehnologije je prvenstveno vezan za otkrivanje novih postupaka i opreme neophodne za njihovu realizaciju ali je uveliko povezan i sa unapređenjem kontrole i upravljanja plazma procesima, unapređenjem postupaka kontrole kvaliteta dobijenih slojeva i unapređenjem eksploatacionih karakteristika ovih slojeva.

Dobijanje jednog istog tipa prevlake često je moguće postići korišćenjem potpuno različitih tipova uređaja ili čak potpuno različitih tipova plazma postupaka. Istovremeno, poznati su primeri da se u jednom istom uređaju mogu uspešno proizvesti plazma difuzioni slojevi i plazma deponovani slojevi. Stoga se nameće kao najpovoljnija varijanta da se razvoj plazma tehnologija prati prema tipu površinskog sloja koji se želi postići.

a) NOVE SUPER TVRDE PREVLAKE

Razvoj u ovoj oblasti je pre svega koncentrisan na proizvodnju dijamantskih prevlaka i prevlaka kubnog-bor nitrida (CBN). Obe vrste prevlaka su se pokazale kao izuzetno pogodno za poboljšanje kvaliteta reznog alata /6, 7/.

Značaj dijamantskih prevlaka je toliko velik da je septembra 1990 u švajcarskoj (Crans-Montana) održan prva Evropska konferencija o dijamantskim i dijamatu - sličnom ugljeničnim prevlakama, gde je izloženo oko 150 radova iz 32 zemlje. Kod ovih prevlaka veliki značaj za rezne osobine alata ima morfologija i debljina prevlake, kao i kvalitet adhezije površinskog sloja sa supstratom. Prilikom depozicije prevlake moraju se koristiti što niže radne temperature, da ne bi došlo do promena u kvalitetu već prethodno termički obradjene metalne osnove alata. Zbog toga posebno treba istaći radove /8,9/ u kojima je prikazana mogućnost deponovanja izuzetno čistog dijamantskog filma, uz upotrebu mikrotalasne plazmom - podržane CVD tehnologije, pri čemu radne temperature mogu biti 400-750 °C. Sastav gasne sredine u kojoj se odvija nukleacija dijamantskog sloja ima izuzetan značaj za brzinu porasta sloja, tako da se uz korišćenje H₂ -CO sa dodatkom CO₂ ili O₂ mogu postići brzine od 9 μm/čas, ali na račun stvaranja veoma krupnih kristala i veoma grube spoljne površine. Mala hrapavost površine dijamantskog filma može se postići u gasnoj smeši H₂ + 15%CO ali na račun približno tri puta manje brzine depozicije.

Kvalitet adhezije prevlake zavisi od niza faktora a najviše od izbora adekvatnog tipa supstrata, kao i uklanjanja grafita i amorfnog ugljenika koji nastaju na interfejsu u toku generisanja dijamantskog sloja. Interesantan način da se popravi kvalitet alata izradjenih od sinterovanog WC a zatim prevučenog sa dijamantskim slojem, predstavlja postupak dvostepenog nanošenja kod kojeg se u prvoj fazi vrši delimično razugljeničenje osnove a tek zatim se deponuje dijamantski sloj u dve faze /10/. U prvoj fazi parametri procesa se podešavaju da omoguće što bržu nukleaciju kristala dijamanta, a tek u drugoj fazi se utiče na što brži rast dijamantskog filma.

Kubni bor-nitrid (CBN) ima izuzetno visoku tvrdoću, koju jedino prevazilazi tvrdoća dijamanta, ali je superiorniji u pogledu hemijske stabilnosti na povišenim temperaturama, te se mo/e koristiti za rezanje u uslovima kada čak ni dijamantom prevučeni alati ne zadovoljavaju. Ove prevlake se danas uspešno mogu proizvesti sintezom u paralelnom magnetnom polju pod dejstvom plazme tople katode, pri čemu temperatura substrata ne prelazi 523 °C. Tim putem se postižu tvrdoće sloja oko 54.000 MPa međjutim kod ovakvih prevlaka najveći problem predstavlja loša adhezija /11/.

b) PREVLAKE NA BAZI DIJAMANTU-SLIČNOG UGLJENIKA

Ove prevlake, koje su u svetu označavaju kao DLC (diamond-like carbon) imaju istovremeno visoku tvrdoću, otpornost na banje, veoma glatku površinu, nizak koeficijent trenja, visoku sposobnost transparentije infracrvenog zračenja, visoku termalnu provodljivost, visoku električnu otpornost, hemijski su inertne i imaju visoku otpornost na koroziju /12/. Za dobijanje ovih prevlaka mogu se koristiti veoma različite tehnologije /13, 14, 15/:

- plazmom pobudjena CVD tehnologija (uz pomoć mikro talasnog ili visokofrekventnog pražnjenja).

- PVD tehnologije uz pomoć katodnog spaterovanja, spaterovanja elektronskim snopom itd.

- laserom podržano isparavanje organskih jedinjenja ili grafita.

Tvrdoće DLC prevlaka se kreću u granicama 17.000-40.000 MPa (mereno Knoop metodom) pri čemu veliki uticaj ima način nanošenja sloja. Zbog prisustva veoma visokih unutrašnjih napona, debljina adherentnog sloja je limitirana na 0,5-0,8 mm.

c) PREVLAKE TIPA TERMALNIH BARIJERA

Razvoj ovih prevlaka kreće se u pravcu postizanja što homogenijih troslojnih prevlaka, koje mogu uspešno da izdrže radne temperature i do 1400 °C uz visoku otpornost na toplotni zamor. To se postiže korišćenjem kombinacije metalnih prevlaka tipa M-Cr-Al- Y i keramičkih slojeva tipa $ZrO_2 - Y_2 O_3$ (odnosno $ZrO_2 - CeO_2$). Kvalitet prevlake zavisi od postupka nanošenja sloja, poroznosti spoljne površine i optimalnog odnosa debljina i kvaliteta metalnog i keramičkog dela prevlake /16/. Dobra eksploataciona svojstva se najlakše postižu pomoću raspršivanja plazmom u vakuumu /17/ dok se u novije vreme dobri rezultati postižu i sa PVD tehnologijama /18/. Značajno povećanje vatropostojanosti prevlaka postiže se naknadnim pretapanje tankog površinskog sloja pomoću lasera /19/ sa čime se zatvaraju pore prisutne u keramičkom delu prevlake.

d) RAZVOJ PREVLAKA DOBIJENIH NOVIM CVD I PVD POSTUPCIMA

Pojava CVD tehnologije na tržištu industrije reznog alata 1969 godine, omogućila je višestruko povećanje trajnosti alata, ali samo ako je osnovni materijal dobijen metalurgijom praha. Zbog visokih temperatura depozicije tvrdih prevlaka (oko 1000 °C) kod alata izredjenih od čelika, primena ove tehnologije praktično nije bila moguća. Stoga je razvoj ove tehnologije išao u pravcu snižavanja radne temperature procesa, pri čemu se mora zadržati racionalna brzina depozicije i optimalni kvalitet tvrde prevlake. Pionirski rezultati su se pojavili 1984 /20/, dok se danas uspešno deponuju prevlake sa tvrdoćom 15.000-30.000 MPa, brzinom 3-6mm/čas na temperaturama 400-500 °C /21/. Ipak posebno treba istaći dva rada iz oblasti PACVD (plazma asisted CVD) koji otvaraju nove mogućnosti primene u savremenoj industriji alata. Wierzchon i Michalski /22/ su razvili uređaj PACVD sa "toplom anodom" koji omogućava depoziciju sloja TiN (debljine do 15mm) na radnim temperaturama 500-550 °C u atmosferi $TiCl_4 - H_2 - N_2$. Promenom sastava atmosfere, u istom uređaju se može vršiti plazma nitiranje (atmosfera N

-H) ili plazma boriranje (atmosfera $BaCl_3 - H_2$). Odavde proističe posebna prednost ovog uređaja, odnosno novo razvijene tehnologije, da se u jednom istom uređaju mogu proizvoditi i difuzioni i deponovani slojevi, što omogućuje postizanje različite kombinacije eksploatacionih osobine na širokom spektru čelika. Stock, Berndt i Mayr /23/ su razvili uređaj tipa PACVD koji koristi titan amide kao aktivatore - $Ti(N(C_2 H_5)_2)$ ili $Ti(N(C_3 H)_2)_4$ sa čime su postigli mogućnost depozicije na temperaturama 200-500 °C. Ovaj rezultat pokazuje da će se depozicija uskoro uspešno moći vršiti i na čelicima za rad na hladno, kod kojih je prethodna temperatura otpuštanja čelika bila oko 200 °C.

U zadnjih deset godina najviše se afirmisala u upotrebi PVD tehnologija, pre svega kao postupak TiN i TiC. Razvoj ove tehnologije ide u tri osnovna pravca:

- razvoj takozvane "druge generacije" tvrdih prevlaka na bazi titana ili cirkonijuma, uz dodatak bora, platine, paladijuma, hafnijuma, aluminijuma i td. /24,25,26/.

- usavršavanja uređaja sa gledišta skraćivanja trajanja procesa nanošenja, povećanja kvaliteta prevlake, poboljšanja ponovljivosti rezultata i td. /27,28/.

- razvoj postupaka na bazi magnetronskog spaterovanja, pri čemu izvor isparavanja može da radi u lučnom modu, ali i u magnetronskom modu (kao izbalansirani ili kao neizbalansirani) sa čime se u širokom spektru reguliše odnos brzine depozicije i kvaliteta prevlake /29/.

e) RAZVOJ PLAZMA DIFUZIONIH POSTUPAKA

Ovaj tip plazma tehnologije je danas najrasprostranjeniji u savremenoj industrijskoj praksi, kako kod nas tako i u svetu, pre svega kroz postupke plazma nitiranja i plazma cementacije. Iako su postupci relativno poznati i industrijski testirani i danas se intenzivno radi na razvoju ove tehnologije /30/. Pre svega radi se na unapređenju kvaliteta određenih konkretnih prizvoda, kao što su:

- plazma nitiranje specijalnih nardajućih čelika

- povećanje dinamičke čvrstoće i otpornosti na habanje koddugačkih i vitkih čeličnih delova, bez pojave deformacija.

- Primena dubokog nitiranja kod visoko opterećenih zupčanika koji rade u agresivnim sredinama

- izvodjenje "dupleks" postupaka /31,32/.

Veliki značaj u ovoj oblasti imaju istraživanja u cilju unapređenja upravljanja procesima plazma difuzije, putem uvođenja senzora za "in-situ" analizu kvaliteta površinskog sloja u toku odvijanja plazma procesa, kao i putem dobijanja adekvatnih matematičkih modela procesa za rešavanje "on line" upravljanja.

3. DOPRINOS LABORATORIJE ZA TERMIČKU OBRADU ISTRAŽIVANJU PLAZMA TEHNOLOGIJA

Laboratorija za termičku obradu metala - Instituta za proizvodno mašinstvo se medju prvima kod nas uključila u istraživanje plazma tehnologija i dala svoj doprinos afirmaciji plazma nitiranja /33,34,35,36/. Ovi rezultati su neposredno povezani sa boravkom i stručnim usavršavanjem Dr.Damira Kakaša na ASTON UNIVERSITY u Birmingemu 1979 godine. Zahvalju-

jući razvoju ove tehnologije i konstruisanju prvog domaćeg uređaja na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu nastao je niz radova posvećenih pre svega plazma difuzionim postupcima/37,38,39,40/. Posebna pažnja je bila posvećena istraživanju uticaja plazma nitriranja na mogućnost povećanja trajnosti alata izradjenih od brzoreznih čelika, čelika za rad na hladno i čelika za rad na toplo. U tom cilju su istraživani neki mikro efekti procesa plazma nitriranja na imene kvaliteta tankog površinskog sloja metalne osnove /41,42,43/. Nekoliko poslednjih godina intenzivno se radi na istraživanju uticaja PVD tehnologije na mogućnost povišenja otpornosti na habanje kod alatnih i konstruktivnih čelika /44,45/. Trenutno se radi na istraživanju mogućnosti povišenja otpornosti na habanje kod širokog spektra čelika (brzorezni, alatni za rad na hladno i toplo, konstruktivni, čelici za ventile i nerdjajući čelici) pri dejstvu različitih tipova kontaktnog opterećenja. Svi ovi rezultati doprinose boljem razumevanju prednosti primene plazma tehnologija u proizvodnom mašinstvu, ali je i dalje potrebno istraživati i sistematizovati podatke o optimalnim tipovima prevlaka, metalnih osnova i kvaliteta interfejsa, da bi se što bolje iskoristile plazma tehnologije i unapredio kvalitet proizvoda naše metalne industrije.

U našim istraživanjima posebno mesto ima rešavanje problema optimalnog odnosa između spoljne tvrde prevlake i metalne osnove, koja zbog dinamičke čvrstoće i žilavosti često mora da bude relativno mekana. Nanošenjem kombinovanih (dupleks) prevlaka već smo postigli odlične rezultate, o kojima su napisani posebni članci i koji će biti saopšteni na ovom savetovanju.

4. ZAKLJUČCI

Na osnovu svega izloženog može se zaključiti da je prisutan izuzetno dinamičan razvoj u oblasti plazma tehnologija, koji u velikoj meri može da unapredi savremenu industrijsku proizvodnju a posebno industriju alata.

U svetu se posebna pažnja posvećuje razvoju postupaka za deponovanje super tvrdih prevlaka kao što su dijamantske, kubni bor-nitrid i dijamatu - sličnom ugljeniku, ali je potrebno rešiti pitanje vezivanja prevlake i podloge. Kod nas se najintenzivnije istražuje problematika razvoja kombinovanih prevlaka i njihovog deponovanja na različite kvalitete metalne osnove. Ovi rezultati mogu dati značajan doprinos poboljšanju kvaliteta alata i omogućiti širu primenu plazma tehnologije kod nas.

4. LITERATURA

1. Sudarshan T.S.: Surface Engineering, Vol.7, No.4, 1991 p.257-258.
2. Bell T.: Surf. Eng., Vol.7, No.2, 1991, p.73-74.
3. Kakaš D.: Pravci razvoja plazma tehnologije i nove mogućnosti njene primene, 5 Jugoslovenski simpozijum o metalurgiji - Zbornik radova, Beograd 1992, str.24-39.
4. Spalvins T.: Ion Nitriding and Carburising, ASM International, Materials Park, Ohio 1990, p.2.
5. Kovacs W.L.: Commercial and economic trends in ion nitriding/ carburising, 2nd Int. Confer. on Ion Nitriding/Carburising, Cincinnati, Ohio 1989.
6. Wong M.S. at all.: Proc. Conf. on "New materials approaches to tribology", Boston 1988, p.483-488.

7. König W. at all.: Annals of the CIRP, Vol.39, No.2, 1990, p.673-681.
8. Muranaka at all.: Surface and Coating Technology, Vol.47, No.1-3, 1991, p.1-13.
9. Chia-Fu Chen at all.: Microwave Plasma CVD of Diamond, 17 Inter. Conf. on Metallurgical Coatings, San Diego 1990.
10. Kosuke S. at all.: Surf. and Coat. Techn., Vol.43/44, 1990, p.30-40.
11. Murakawa M., Watanabe S.: The possibility of coating cubic BN films on various substrates, 17 Int. Conf. on Metall. Coating, San Diego 1990.
12. Zhang W., Yves C.: Surf. and Coat. Techn., Vol.47, No.1-3, 1991, p.69-83.
13. Angus J.C. at all.: Thin Solid Films, Vol. 118, 1984, p.311-320.
14. Sun Y.: Surface Engineering, Vol.6, No.4, 1990, p.249-252.
15. Tobler M., Bonetti R.S.: 7 Int. Conf. on Ion and Plasma Assisted Technology, Geneva 1989, p.299-303.
16. Scott K.T., Restall J.E.: Proc. Conf. on Thermal Spray Technology, Cincinnati 1988, p.255-261.
17. Rhys-Jones T.N.: Proc. 17 Int. Conf. on Metal Coatings, San Diego 1990.
18. Dearnley P.A., Bell T.: Ceramic Eng. Sci. Proc., 1988 No.9, p.1137.
19. Mohammed J.K. at all.: Mater. Sci. Lett., December 1988, No.7, p.1307.
20. Kikuchi K. at all.: Proc. of 9 Inter. Conf. on CVD, 1984, p.728-744.
21. Kogan Ya.D.: Proc. of 7 Inter. Congr. on Heat Treatment, Vol.1, Moskva 1990, p.93-98.
22. Wierzshon T., Michalski J.: Surf. Engineering, Vol.6, No.4, 1990 p.294-298.
23. Stck H.R., Berndt H., Meyr P.: Surf. and Coat. Techn., Vol.46, No.1, 1991, p.15-23.
24. Zlatanović M., Munz W.D.: Surf. and Coat. Techn., Vol.41, 1990, p.17-30.
25. Holleck H.: Surf. Engineering, Vol.7, No.2, 1991, p.137-144.
26. Molarius J.M.: Proc. of 2 Int. Conf. on Plasma Surface Engineering (PSE 90), Garmisch-Partenkirchen, 1990.
27. Vyskočil J., Musil J.: Surf. and Coat. Techn., Vol.43/44, 1990 p.299-311.
28. Akari K. at all.: Surf. and Coat. Techn., Vol.43/44, 1990, p.312.
29. Robinson P., Matthews A.: Surf. and Coat. Techn., Vol.43/44, 1990, p.288-298.
30. Kakaš D.: Razvoj tehnologije i primene plazma difuzionih postupaka, DTOM Srbije i DTOM Vojvodine, Stara Pazova 24.mart 1991., predavanje po pozivu.
31. Bell T., Dearnley P.A.: Proc. of 1 Inter. Sem. on Plasma Heat Treatment, Senlis naer Paris 1987., p.3-15.
32. Zlatanović M., Kakaš D.: Depozicija tvrdih prevlaka na plazma nitriranom čeliku, Medjunarodno savet.- Nove tehnologije toplinske obrade metala, Zagreb 1990.
33. Kakaš D.: Prilog istraživanju procesa jonskog nitriranja na brzoreznom čeliku, Savetovanje o termičkoj obradi metala, Bled 1980, Zbornik radova str.179-190.
34. Kakaš D., Nikolić D.: Analiza prednosti nitriranja postupkom jonskog nitriranja sa gledišta primene u autoindustriji, Zbornik radova, Kragijevac 1980.
35. Kakaš D.: Teorija procesa i perspektive razvoja jonskog nitriranja, DTOMV - Novi Sad 1979.

36. Kakaš D.: Oplemenjivanje materijala termičkom obradom, Savetovanje o materijalima, Zrenjanin 1984, Zbornik-rad po pozivu, str.57-63.
37. Kakaš D., Lupuljev D.: Medjunarodno savetovanje - AMST 87, Proceeding, Opatija 1987, p.327-335
38. Kakaš D. at al.: Proc. 5 Inter.Congr. on Heat Treatment of Materials, Budapest 1986, p.998-1005
39. Lupuljev D., Kakaš D.: Uticaj jonskog nitriranja na habanje /igova sa različitim geometrijskim oblikom glave, Savetovanje proizvodnog strojarstva Jugoslavije, Opatija 1987, Zbornik II.
40. Kakaš D., Lupuljev D., Zlatanović M.: Proc. of 1 Inter.Sem.on Plasma Heat Treatment, Senlis near Paris 1987, p.353-364
41. Jordović B., Kakaš D., Zlatanović M.: Zbornik sa 5-og Jugoslov. simp. o termičkoj obradi, Vrnjačka Banja 1989, str.172-177
42. Jordović B., Kakaš D.: The influence of plasma nitriding on structural changes at the surface of high speed steel, 8 Int.Con. of Stereology, Irvine - California, August 1991.
43. Jordović B., Kakaš D.: Practical Metallography, Vol.29, No.3, 1992, p.143-150.
44. Kakaš D., Zlatanović M.: Certain properties of steel specimens with TiN and (TiAl)N coatings, Proc.of 7 Int.Congr.on Heat Treatment, Moskva 1990.
45. Kakaš D., Maibrada Lj., Škorić B., Jugović V.: Zbornik radova IPM, broj 9, 1992 (rad primljen za štampanje).

REZULTATI PRIMENE POSTUPKA JONSKOG NITRIRANJA PRI POVRŠINSKOM OTVRDNJAVANJU REZNIH ALATA I ALATA ZA KOVANJE DELOVA SLOŽENIH KONTURA

*Mr Mirko N. Dumanović, IMK "14. Oktobar", Kruševac
Mr Svetislav Đorđević, IMK "14. Oktobar", Kruševac
Dr Ljubodrag Đorđević, docent Mašinskog fakulteta u Kraljevu
Dr Joko P. Stanić, red. profesor Mašinskog fakulteta u Beogradu*

SUMMARY:

Practical results of application of ion nitriding procedure, at the occasion of coating of cutting tools and forging tools for working in hot condition were shown in the procedure of work. As a result of coating, it is obvious that tools working life is considerably longer.

REZIME:

U radu su prikazani praktični rezultati primene postupaka jonskog nitriranja prilikom oslojavanja reznih alata i kovačkih alata za rad u toplom stanju. Kao posledica oslojavanja, evidentno je znatno povećanje veka trajanja alata.

1. UVOD:

Industrijska proizvodnja neprestano traga za usavršavanjem postojećih i iznalaženjem novih proizvodnih postupaka, čiji je cilj povećanje produktivnosti uz minimalna ulaganja. Prilagodavanje sve oštrijim zahtevima tržišta u pogledu raznovrsnosti, kvaliteta i cena proizvoda predstavlja permanentno razvijanje i usklađivanje proizvodnih - odnosno tehnoloških procesa, koji treba da obezbede visok nivo kvaliteta proizvoda uz najmanju moguću cenu same proizvodnje. Kako postupci obrade rezanjem i postupci obrade plastičnom deformacijom predstavljaju praktično najzastupljenije vidove obrade pri izradi mašinskih elemenata, za

postizanje osnovnih zahteva savremene proizvodnje (visok kvalitet i mala cena proizvoda) jeste povećanje perioda eksploatacije alata za obradu rezanjem i alata za obradu plastičnom deformacijom. Jedno od mogućih rešenja za povećanje veka trajanja alata je i njihovo oslojavanje - otvrdnjavanje postupkom jonskog nitriranja.

2. USLOVI EKSPLOATACIJE REZNIH ALATA I ALATA ZA KOVANJE U TOPLOM STANJU

Iako se postupci obrade rezanjem i kovanja u toplom stanju suštinski razlikuju, ono što je zajedničko za oba procesa, to je činjenica da su u oba slučaja alati (rezni i kovački) izloženi složenim naprezanjima.

Tako, rezni alati rade u uslovima aktivnog odvijanja niza fizičko-henijskih procesa. Pored visokih kontaktnih naprezanja i veoma visokih temperatura u zoni rezanja, radne površine reznih alata su izložene intenzivnom trošenju, nastalom kao posledica abrazivnih habanja, habanja usled zamora materijala, athezionog habanja uz odvijanje izvesnih oksidacionih i difuznih procesa Š4Ć.

Slično tome rade i kovački alati. Priroda kovanja u toplom stanju nameće velika kontaktna opterećenja i visoku radnu temperaturu, a cikličnost opterećenja dodatno otežava uslove rada kovačkih alata.

3. JONSKO NITRIRANJE-SUŠTINA I PRIMENA POSTUPKA

Jonsko nitriranje je relativno nov postupak termohemijske obrade koji se sprovodi u atmosferi azota, amonijaka ili smesi azota i vodonika, pri čemu radni predmet (izradak) podvrgnut jonskom nitriranju predstavlja KATODU, a vakumska komora u kojoj se proces odvija predstavlja ANODU. Sustinu postupka jonskog nitriranja čini tinjavo električno pražnjenje pri čemu se između u obradka-katode i zida radne komore-anode uspostavlja napon između 0 i 900 V, a doziranjem radnog gasa i uspostavljanjem odgovarajućeg radnog pritiska ostvaruju potrebni uslovi obrade.

Ovaj postupak se primenjuje za otvrdnjavanje radnih površina reznih alata, alata za rad u toplom stanju i veoma opterećenih mašinskih elemenata (zupčanika, radilica i dr.). Sve prognoze i dosadašnja istraživanja na ovom planu ukazuju da će ovaj postupak u bliskoj budućnosti postati vodeći postupak otvrdnjavanja radnih površina.

U radu su prikazani neki od dosad postignutih rezultata primene postupka jonskog nitriranja pri površinskom otvrdnjavanju reznih alata i alata za kovanje delova složenih kontura u toplom stanju dobijenih u proizvodnim pogonima IMK "14. Oktobar".

4. REZULTATI PRIMENE POSTUPKA JONSKOG NITRIRANJA PRI OSLOJAVANJU REZNOG ALATA

Brojna sistematska istraživanja izvedena u pogonskim, dakle realnim uslovima IMK "14. Oktobar" pokazala su da se oslojavanjem reznih alata postupkom jonskog nitriranja, njihova

postojanost znatno povećava. Do sada su izvršena ispitivanja postojanosti zavojnih burgija pri obradi čeličnog liva ČL.0501. Rezultati ovih ispitivanja svrstani su u tabeli-T1.

Tabela T-1

Postojanost burgije u minutima c. 7680 prečnik 14 mm	Elementi režima obrade			
	V= 15,6 m/min		V=22,0 m/min	
posmak – s (mm/o)	0,35	0,22	0,35	0,22
neoslojene burgije	14,7	27,9	1,78	7,72
oslojene burgije	43,0	65,8	6,7	36,04
odnos oslojene–neoslojene	2,84	2,28	3,65	4,52
povećanje postojanosti (%)	184	128	265	352

Pokazatelj radnog kvaliteta oslojenih i neoslojenih zavojnih burgija da je se odnosom vremena postojanosti oslojenih/neoslojenih. Iz Tabele T-1 jasno se vidi da je povećanje postojanosti oslojenih reznih alata u odnosu na neoslojene znatno. Uz to treba napomenuti da je prosečna mikro tvrdoća zavojnih burgija povećana sa 668 HV0,5 na 1145 HV0,5 što takođe ima uticaja na vek trajanja. Debljina nitriranog sloja iznosi 15-20 mikrona.

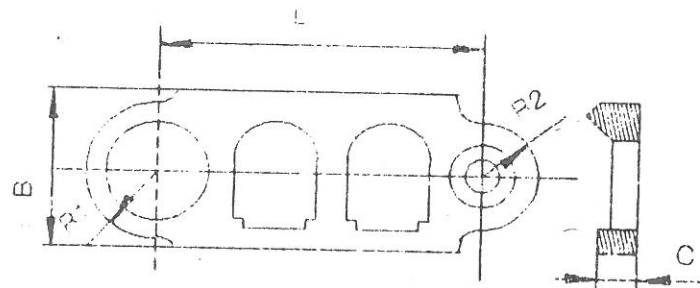
Pored opisanih obavljena su i istraživanja postojanosti vretenastih glodala pri obradi sivog liva SL-22, pri čemu su oslojena glodala imala dvostruko veću postojanost od neoslojenih. Trenutno se nastavljaju istraživanja sa koturastim i odvalnim glodalima.

5. REZULTATI PRIMENE POSTUPKA JONSKOG NITRIRANJA PRI OTVRDNJAVANJU KOVAČKIH ALATA

Postupak jonskog jonskog nitriranja u IMK "14. Oktobar" našao je veliku primenu kod otvrdnjavanja alata za kovanje delova složenih kontura, izrad enih od čelika Č.5741, Č.5742, i Č.5743. U pored enju sa nenitriranim kovačkim alatima postojanost jonski nitriranih kovačkih alata je povećana za 50 do 100 % , a što je prikazano u Tabeli T-2.

Tabela T-2

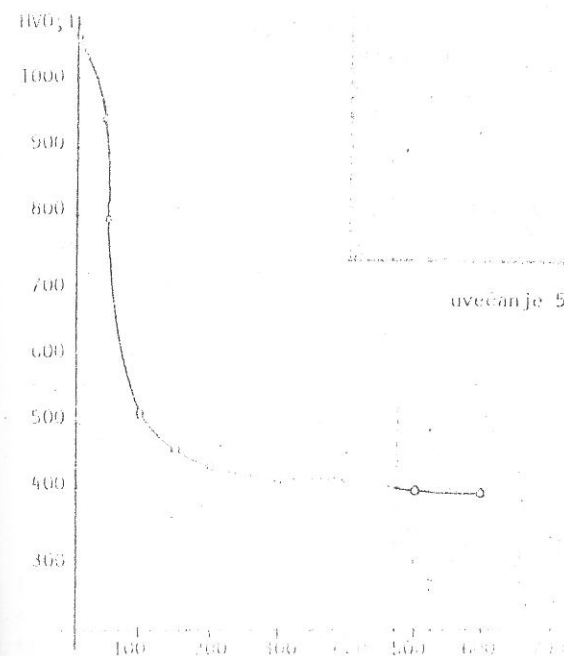
Postojanost kovačkih alata (kom)	—	Broj izrađenih komada
bez nitriranja	alaz za clanak	5500
posle nitriranja	alat za clanak	12 000
odnos posle/bez nitriranja	2,17	
povećanje	118 %	
bez nitriranja	alat za prsten	6400
posle nitriranja	alat za prsten	12 000
odnos posle/bez nitriranja	1,513	
povećanje	51,3 %	



GUSENICNI CLANAK

Pored ova dva alata za koje je utvrđeno povećanje veka trajanja u kovačnici IMK "Oktobar" nalazi se u eksploataciji još nekoliko jonski nitriranih alata za koje će se naknadno utvrditi kakvi su efekti postignuti, a za koje se već sada pouzdano zna da im je vek trajanja znatno veći nego što je bio kod ne nitriranih. Za svaki od ovih alata očekuje se povećanje postojanosti za 50-65%, što je uslovima serijske proizvodnje znatno.

Na slici Sl.1 prikazan je izveštaj metalografskih ispitivanja uzoraka od čelika Č.4751, odakle se vidi da je površinska tvrdoća nakon nitriranja dostigla 1070 HV5, a tvrdoća je posle jonskog nitriranja povećana sa 45 na 50 HRC.



uvećanje 50% nitrirano nitratom

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu dosad dobijenih rezultata, može se zaključiti da se jonskim nitriranjem i alata za kovanje u toplom stanju ostvaruju pozitivni efekti u smislu znatnog produćetka veka trajanja alata. Ako se tome pridodaju i činjenice da je postupak jonskog nitriranja srazmerno kratak, ekonomičan i ekološki čist, jasno je da su ostvareni pozitivni efekti višestruki. Treba naglasiti da se ova ispitivanja u IMK "14. Oktobar" nastavljaju.

LITERATURA

1. M.Dumanović, Lj. Đorđević i dr., Pozitivni aspekti oslojavanja reznih alata izrad enih od brzoreznih čelika postukom jonskog nitriranja, 14. jugoslovenski simpozijum, NU-ROBO-TI-FTS, Kopaonik 1992
2. M. Dumanović, Lj. Đorđević i dr., Uticaj jonskog nitriranja na postojanost burgija, YUTRIB '91-Druge jugoslovenske konferencije o tribologiji-Kragujevac '91
3. M. Dumanović, Prilog ispitivanju obradivosti ČL.0501 zavojnim burgijama oslojenim postupkom jonskog nitriranja, Magistarski rad, Kruševac-Beograd 1991
4. J. Stanić, Teorija obrade metala I, Mašinski fakultet, Beograd 1988
5. D. Nikolić, Postojanost alata zapreminskog oblikovanja, Zbornik radova Niš, 1980

METODE POVEĆANJA OTPORNOSTI NA HABANJE KOD KONSTRUKTIVNOG ČELIKA PUTEM PRIMENE PLAZMA TEHNOLOGIJA

METHODOLOGY FOR IMPROVEMENT THE WEAR RESISTANCE OF HARDENABLE ALLOY STEEL BY PLASMA TECHNOLOGY

*Lj. Majibrada, * D. Kakaš, * B. Škorić, * V. Jugović***

**Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu*

*** "JUGOALAT" Novi Sad*

REZIME

U radu je analiziran problem nanošenja tvrdih površinskih slojeva na relativno meku metalnu osnovu najčešće korišćenog konstruktivnog čelika :4732. Posebno je istraživao slučaj povećanja otpornosti na habanje pri visokim kontaktnim opterećenjima. Nakon poboljšavanja metalne osnove na tvrdoće koje su uobičajene za konstruktivne čelike sa gledišta postizanja optimalne žilavosti i dinamičke čvrstoće, primenjeni su plazma difuzioni postupci i plazma depozicija, sa čime je postignuta površinska tvrdoća od 5 do 10 puta veća u odnosu na metalnu osnovu. Ispitivan je uticaj tipa površinske prevlake na povećanje otpornosti na habanje primenom AMSLER uređaja. Kao kriterijum za ocenu otpornosti na habanje korišćena je metoda praćenja dimenzije zone habanja i temperature u zoni kontakta.

SUMMARY

In this paper the deposition of surface hard layers on structural steel with relatively low hardness of the base material (26 or 40HRC) was analysed. Especially the wear intensity at high contact surface load was investigated. After quenching and tempering, which gave the metal core optimum dynamic strength and ductility, plasma nitriding and plasma deposition technology was applied. The quality of steel surface was improved for 5 to 10 times compare to wear resistance of ancoated steel. In these experiments AMSLER machine was used for testing the wear

properties of the samples with various types of surface layers. The wear zone on the specimen surface and temperature in contact zone were used as a criterion for measuring the wear intensity.

1. UVOD

Plazma tehnologije su pokazale velike mogućnosti za modifikaciju površinskih slojeva različitih metalnih osnova putem difuzionih procesa ili putem depozicije tvrdih prevlaka. U pogledu otpornosti na habanje, korozione postojanosti i postizanja niskog koeficijenta trenja, tvrde prevlake debljine od svega nekoliko mikrona dobijene plazma depozicijom pokazale su se superiornijim u odnosu na kvalitet osnovnog materijala odnosno kvalitet površinskih slojeva dobijenih drugim postupcima površinskog ojačavanja /1, 2/. Problemi kod primene ovih prevlaka nastaju ako se zahtevaju otpornosti na habanje pri visokim kontaktnim opterećenjima posebno u slučajevima kada metalna osnova ima relativno malu tvrdoću /3, 4/. Iz eksploatacionih razloga kod konstruktivnih čelika se po pravilu zahtevaju visoka žilavost i visoka dinamička čvrstoća, tako da se metalna osnova po pravilu poboljšava na tvrdoće u intervalu 25 do 40 HRC. Cilj ovog rada je pokušaj da se da doprinos izučavanju razlika u fenomenima habanja za slučajeve nanošenja jednostrukih tvrdih prevlaka i slučajeve kada se nanose kombinovani plazma površinski slojevi. Priloženi rezultati predstavljaju deo istraživanja obavljenih u laboratorijama Instituta za proizvodno mašinstvo, pri čemu su varirani različiti parametri samog procesa habanja kao i kvalitet metalne osnove. Sva potrebna merenja u vezi sa kontrolom rezultata prevlačenja (debljina prevlake, adhezija, mikrotvrdoća) kao i ispitivanje morfologije zone habanja račena su pomoću najsavremenijih uređaja /5, 6/. Zbog ograničenog obima ovog rada biće prikazani samo rezultati vezani za neposredno merenje efekata habanja.

2. POSTAVKA EKSPERIMENTA

Epruvete za ispitivanje habanjem su izrađene od konstruktivnog čelika :4732 sa dimenzijama 20x35x9mm. Posle poboljšavanja epruvete su imale tvrdoću od 26HRC (oznaka epruvete E) i 40HRC (oznaka epruvete E₄). Epruveta E je prevučena TiN slojem i dobijena je mikrotvrdoća 1560 HV 0,025 odnosno 1175 HV 0,05, a na epruvetu E primenjena je kombinovana prevlaka - plazma nitriran + TiN sa mikrotvrdoćom 1820 HV 0,025 odnosno 1498 HV 0,05. Kao spregnuto telo korišćene su epruvete oblika diska f50x10mm sa radijusom na površini kontakta R = 120 mm. Spregnute epruvete su izrađene od čeli-ka za cementaciju :4320 i termički obrađene na tvrdoću 60-61HRC.

Ispitivanje otpornosti na habanje vršeno je na univerzalnoj habalici tipa AMSLER pri suvom trenju uz 100% klizanja. Intenzitet habanja je praćen putem promene dimenzija površine habanja posle 2,5 i 20 min od početka eksperimenta. Pri tome su korišćena dva različita opterećenja od 1 i 5 kg putem regulisanja sile na opruzi habalice. Neposredno uz površinu habanja na rastojanjima od 1 i 3mm od zone kontakta postavljen je termopar za praćenje promene temperature u toku habanja. U cilju istraživanja uticaja početne hrapavosti dve površine uzorka su obrušene, a dve polirane pre prevlačenja.

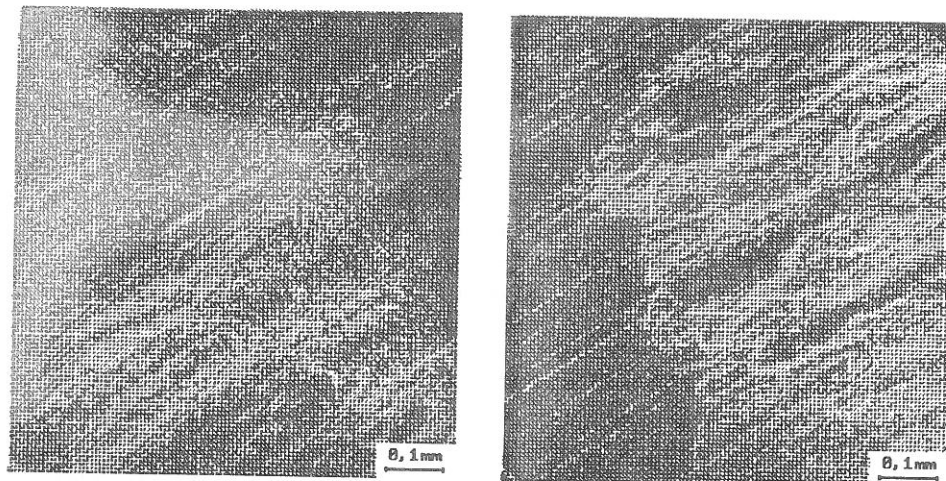
3. REZULTATI I DISKUSIJA

Na osnovu praćenja toka habanja pri dejstvu različitih opterećenja dobijeni su rezultati prikazani u tabeli T-1. Kao što se vidi iz dobijenih rezultata kod uzoraka sa kombinovanim slojem (plazma nitriran + TiN) dobija se uočljivo veća otpornost na habanje u odnosu na uzorke sa čistim titannitridnim slojem i u odnosu na neprevučene uzorke. Posebno su interesantni fenomeni na ulaznoj i izlaznoj zoni površine habanja. Na ulaznoj zoni (sl.1a.) je vidljiva plastična deformacija tvrde prevlake koja dovodi do nastanka prslina u tvrdom sloju. Ove prsline su paralelno raspoređene sa granicom kontaktne površine između epruvete i spregnutog tela. Na izlaznom delu (sl.1b.) nema vidljivih tragova pucanja tvrdog sloja, već je tipičan blag prelaz između habajuće zone i površine tvrde prevlake. Povećanje tvrdoće metalne osnove putem plazma nitriranja nadubinu od 100 mm smanjuje efekte lokalne deformacije kombinovanog-tvrdog sloja sa čime se povećava ukupna otpornost na habanje čak i pri veoma visokim specifičnim opterećenjima u zoni kontakta.

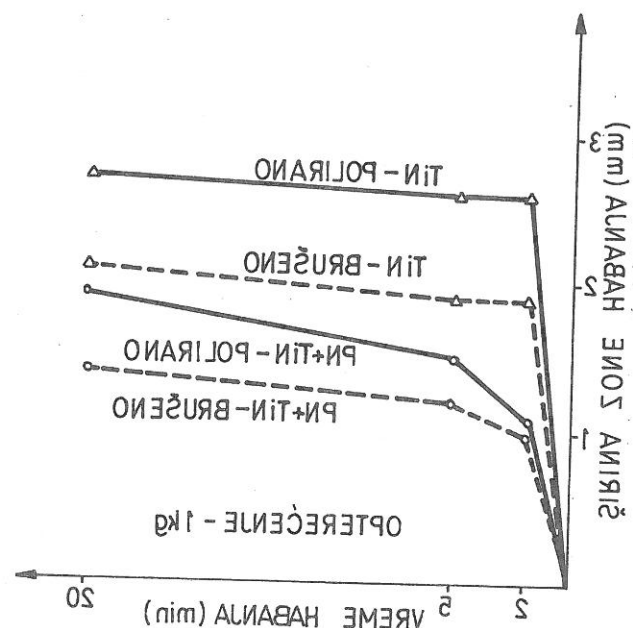
T-1. Dimenzije zone habanja kod: E₄ - neprevučene, E₅ - Rin, E₁₀ - PN+TiN epruvete

oznaka epruvete	meso hab.	stanje površ.	opterećenje (kg)	vreme habanja (min)	dužina otiska (mm)	širina otiska (mm)
E ₄	1	B	1	5	5,7	2,5
	2	B	1	20	7,3	3,0
	3	B	1	2	5,5	2,5
	4	B	5	5	6,3	3,0
	5	B	5	20	7,5	3,5
	6	B	5	2	6,5	3,1
E ₅	1	B	5	5	6,7	3,0
	2	B	5	20	6,8	3,2
	3	B	5	2	6,5	3,0
	4	P	5	5	5,7	2,5
	5	P	5	20	6,7	3,0
	6	P	5	2	6,3	2,5
	7	P	1	5	5,0	2,0
	8	P	1	20	5,5	2,7
	9	P	1	2	5,2	2,6
E ₁₀	10	B	1	5	3,8	1,5
	11	B	1	20	5,1	2,1
	12	B	1	2	4,0	1,5
	1	P	5	5	3,5	1,5
	2	P	5	20	4,7	2,4
	3	P	5	2	2,5	1,2
	4	B	1	2	1,5	1,0
	5	B	1	20	3,2	1,4
	6	B	1	5	2,5	1,2
	7	B	5	2	2,0	1,1
	8	B	5	20	4,1	1,5
	9	B	5	5	4,0	1,3
E ₁₀	10	P	1	2	2,5	1,1
	11	P	1	20	3,5	1,5
	12	P	1	5	3,5	1,5

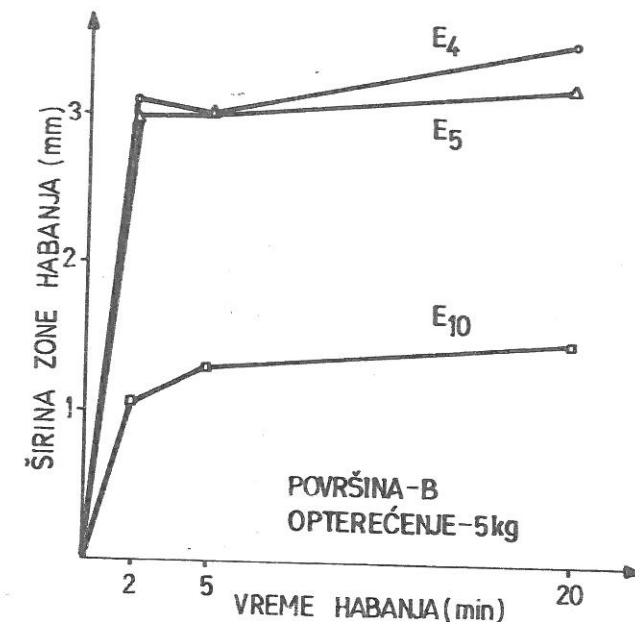
*B-brušeno, P-polirano pre depozicije



a) b) Slika 1. Izgled ulazne i izlazne zone habanja kod epruvete sa PN+TiN prevlakom, mesto habanja br.5



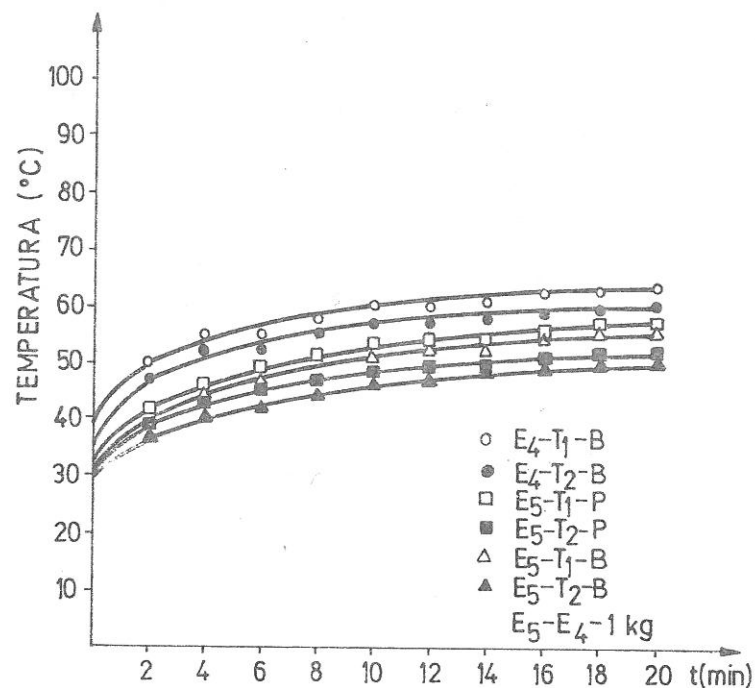
Sl.2. Grafički prikaz toka habanja u zavisnosti od pripreme površina epruveta pre plazma depozicije



Sl.3. Grafički prikaz uticaja tipa površinskog sloja na širinu zone habanja za: E4 - neprevučenu, E5 - TiN i E10 - PN+TiN epruvetu

Rezultati merenja širine zone otiska pri različitim vremenima habanja u zavisnosti od prethodne pripreme uzorka za depoziciju grafički su prikazani na sl.2. Vidljivo je da kvalitet obrađene površine pre depozicije ima značajan uticaj na rezultate habanja.

Na sl.3. se na jednom konkretnom primeru mo/e jasno uočiti da se kod mekih metalnih osnova sa čistim TiN slojem ne mo/e bitno povećati otpornost na habanje ako deluju visoka kontaktna opterećenja. To se objašnjava velikim skokom tvrdoće u graničnom sloju između prevlake i osnovnog materijala (prevlaka 1560HV 0,025, osnova 40 HRC). Prilikom habanja već na samom početku dolazi do pucanja i odvajanja delića tvrde prevlake, tako da tvrda prevlaka veoma brzo gubi funkciju zaštite površine od efekata habanja. Tek izradom kombinovanog sloja, koji ukupno ima 30 puta veću debljinu od samog TiN sloja, postizemo povoljan raspored gradijenta tvrdoće kao i povoljan raspored unutrašnjih napona u površinskom sloju, što se manifestuje bitnim poboljšanjima otpornosti na habanje konstruktivnog čelika. Rezultati merenja temperature (sl.4) ukazuju da se u toku ispitivanog vremena habanja u zoni kontakta ne razvijaju temperature koje bi mogle da utiču na promene osobina deponovanog sloja i metalne osnove.



Sl.4. Grafički prikaz promene temperature u zavisnosti od vremena habanja i pripreme površina pre prevlačenja

4.ZAKLJUČAK

Na osnovu dobijenih rezultata ispitivanja zaključujemo da se bitna poboljšanja otpornosti na habanje kod konstruktivnih čelika mogu dobiti primenom plazma tehnologija za izradu kombinovanih tvrdih slojeva. U daljem radu potrebno je optimizirati odnos debljine plazma nitriranih i plazma deponovanih slojeva s obzirom na unapred zadatu tvrdoću relativno meke metalne osnove. Takođe treba izabrati optimalni tip strukture i sastav spoljašnjeg tvrdog sloja dobijenog plazma depozicijom (TiN, TiAlN, TiCN).

5. LITERATURA

- /1/ M.Zlatanović, P.Stošić: Comparative tests of TiN and (Ti, Al) N coated hobs in gear cutting operations, Vacuum, Vol.39., No.6, p.557-562, 1989.
- /2/ H.Holleck: Basic principles of specific applications of ceramic materials as protective layers, Surface and Coatings Technology, 43/44, 1990, p.245-258
- /3/ Kakaš D., Zlatanović M.: Problem of plasma coatings on relatively soft base material, 1st.International Conference New Materials and Technologies, Prag, 1991.
- /4/ Kakaš D.:Pravci razvoja plazma tehnologije i nove mogućnosti njene primene, 5 Jugoslovenski simpozijum o metalurgiji-Zbornik radova, 1992 str.24-39
- /5/ Mažibrada Lj.:Istraživanje uticaja titannitriranja na fenomene habanja, diplomski rad, FTN-Noví Sad, 1991.
- /6/ Kakaš D., Mažibrada Lj, Kunosić A., Zlatanović M.:Internacional Conference on Metallurgical Coatings and Thin Films, 1992, San Diego California

UTICAJ PLAZMA TEHNOLOGIJE NA KOEFICIJENT TRENJA I KONTAKTNU TEMPERATURU KOD HABANJA ČELIKA ZA VENTILE MOTORA

Škorić B., Kakaš D., Mažibrada Lj., * Graovac M.**

REZIME

U radu se sa aspekta triboloških svojstava analiziraju različiti postupci modifikacije površine, kao što su: plazma nitiranje, plazma nitiranje na niskom pritisku, plazma deponovanje tvrdih prevlaka (TiN i TiAlN) i kombinacije pomenutih tehnika. Za praćenje toka habanja je kreiran uređaj za merenje parametara u okviru savremenog mernog sistema u koji je uključen i računar za akviziciju podataka, njihovu obradu i praćenje procesa habanja. Nakon ispitivanja uzoraka zaključeno je da izbor plazma tehnologije utiče na mogućnost povećanja otpornosti na habanje kod čelika za ventile motora.

INFLUENCE OF PLASMA TECHNOLOGY ON FRICTION COEFFICIENT AND CONTACT TEMPERATURE AT WEAR OF STEELS FOR VALVES ABSTRACT

Presented in the paper is study of various surface modification techniques, like as: plasma nitriding, plasma nitriding at low pressure, plasma coating by (TiN and TiAlN) and combined plasma technology. The wear resistance test was carried out on a specially designed testing device which is intended for measurement of the parameters within a modern measurement line that includes a computer for the acquisition and processing of data, and wear process monitoring. It has been concluded that a choice of plasma technology has influence on possibility of improvement the wear resistance of steels for Valves.

- * Škorić Branko, dipl.ing., Dr Kakaš Damir, vanr.prof., Mažibrada Ljiljana, dipl.ing. - Fakultet tehničkih nauka u Novom Sadu
- ** Graovac Mira, dipl.ing. - "JUGOALAT" - Novi Sad

UVOD

Primena plazma tehnologije za modifikaciju površinskog sloja čelika karakteriše današnji trenutak razvoja u području unapređenja eksploatacionih osobina mašinskih materijala. Brz razvoj ovih tehnologija je stvorio specifičan problem u njihovoj primeni zbog malog broja relevantnih podataka za izbor odgovarajuće prevlake.[1]

Ovaj rad ima za cilj da prezentira podatke, dobijene eksperimentalnim putem, kao i praktične prednosti u slučaju različitih postupaka modifikacije površine čelika za ventile motora.

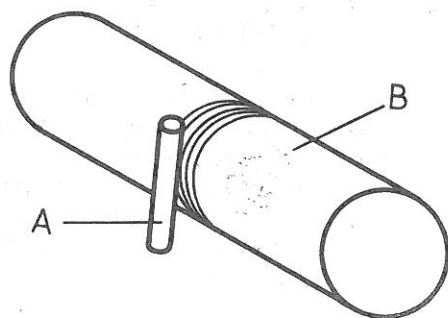
Promene u površinskom sloju čelika se postižu putem difuzionih procesa ili putem depozicije tvrdih prevlaka. Plazma nitiranje je difuzioni proces koji na površini čelika formira zonu jedinjenja i ispod nje zonu difuzije. Struktura i debljina zone jedinjenja se može menjati kontrolom sastava atmosfere gasnog pražnjenja.[2]

Difuzionna zona povećava otpornost na zamor i plastičnu deformaciju pri kontaktnom opterećenju, dok zona jedinjenja utiče na povećanje otpornosti na habanje, termički zamor, koroziju i hladno navarivanje. Tvrdća i otpornost na habanje prevlaka deponovanih plazma tehnologijom kao i dobre frikционе osobine su od velikog značaja sa tribološkog aspekta. Ove prevlake su i hemijski stabilne (otporne na koroziju, oksidaciju i visoke temperature). Njihov nedostatak je što ne utiču bitno na dinamičku čvrstoću čelika niti mogu bitno povišiti otpornost na kontaktno opterećenje.[3]

Na osnovu ovih razmatranja može se zaključiti da se zamenom zone jedinjenja kod plazma nitiranih čelika sa odgovarajućom tvrdom prevlakom nakon plazma depozicije mogu dobiti efekti značajnih poboljšanja eksploatacionih osobina pri dejstvu visokih specifičnih opterećenja.

EKSPERIMENTALNA PROCEDURA

Tribološki par za ispitivanje, tipa "pin on ring" je prikazan na sl.1, gde je pin (A) a kontra materijal (B).[4]



sl.1

Kontra materijal je montiran kao radni komad na strugu, a pin je montiran pomoću specijalnog držača na trokomponentni dinamometar za merenje dinamičkih sila (KISTLER), koji je postavljen na mesto nosača alata.

Normalna sila je ostvarena korišćenjem sistema opružnog opterećenja. Pre početka eksperimenta je finim reznim alatom načinjen jednak kvalitet u pogledu hrapavosti i valovitosti kontra materijala. Toplotne pojave u procesu trenja su praćene merenjem temperature unutar pina, na određenom rastojanju u odnosu na kontaktnu površinu. Korišćen je standardni termopar tipa NiCr-Ni sa prečnikom žice 0.1 mm. Žice su na jednom kraju bile zavarene u vidu perle prečnika 0.5 mm. Kao izolacioni materijal korišćene su keramičke cevčice prečnika 0.9 mm sa dva paralelna otvora prečnika 0.2 mm i PVC izolacija. Ovako pripremljen termopar je bio ugrađen u otvor prečnika 1 mm na sredini pina, tako da se vrh termopara nalazio u neposrednoj blizini kontaktne površine, cca 1 mm.

Za prikupljanje podataka korišćena je specijalno konstruisana oprema koja uz pomoć hardverskih i softverskih rešenja omogućava kompletnu potpuno automatizovanu proceduru za prikupljanje, obradu, analizu i prikazivanje izmerenih vrednosti u realnom vremenu. Istovremeno ova oprema je omogućila praćenje i upravljanje procesom ispitivanja fenomena habanja. Svi dobijeni podaci se automatski ubacuju u memoriju računara. U cilju detaljnijeg pojašnjenja, osnovni uređaji koji su korišćeni su: za akviziciju signala višekanalni merni uređaj HOTTINGER UPM 60; računar SX 386; digitalni termometar RIKADENKI; šestokanalni pisac RIKADENKI; i štampač FUJITSU. Formirane datoteke su prebačene u programski paket QUATTRO radi dalje analize i grafičkih prikaza.

Za ispitivanje habanja su korišćena tri čelika za ventile. Svaki čelik je ispitivan u devet slučajeva: neprevučeni, plazma nitiran, plazma nitiran na niskom pritisku, sa TiN prevlakom, sa TiAlN prevlakom, plazma nitiran sa TiN (ili TiAlN) prevlakom i plazma nitiran na niskom pritisku sa TiN (ili TiAlN) prevlakom. Hemijski sastav čelika i tvrdća su prikazani u tabelama T.1 i T.2.

T.1 Hemijski sastav čelika

ČELIK	%C	%Si	%Cr	%Ni	%Mn	%Al	%N	%V
Č. 4270	0.45	3.2	9.5		0.5			
Č. 4588	0.5	0.3	21.0	4.0	9.0		0.4	
C. 4870	0.5		21.0	3.8	9.0	1.0	0.4	1.0

T.2 Tvrdće pinova (HV10)

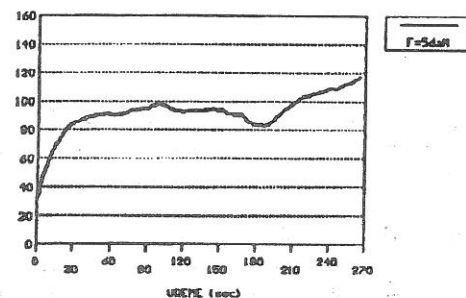
ČELIK	NE	PN	PNNP	TiN	TiAlN	PN+ TiN	PN+ TiAlN	PNNP+ TiN	PNNP+ TiAlN
Č. 4270	412	930	920	2000	1900	2300	2300	2400	2300
Č. 4588	447	1050	1000	2000	2100	2500	2600	2400	2700
Č. 4870	473	950	980	2200	2400	2600	2500	2500	2500

Dimenzije pinova su f 5x50 mm, a kao kontra materijal je korišćen čelik za poboljšanje Č.5432, dimenzija f 200x300 mm. Na osnovu uvodnih ispitivanja primenjena je normalna sila opterećenja 5 daN a brzina klizanja je bila 80 mm/min. Za vreme ispitivanja, kontinualno je merena temperatura trenja, sila opterećenja i sile trenja, na osnovu kojih je računat koeficijent trenja. Intenzitet habanja pina se vidi iz eliptičnog traga habanja.

REZULTATI I DISKUSIJA

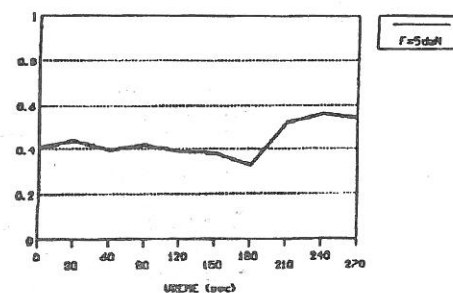
U toku ispitivanja formirane su eksperimentalne datoteke na osnovu kojih su dobijeni dijagrami za svaku vrstu čelika i sve vrste prevlaka od kojih su neki prikazani na slikama 2 do 7.

C4270 (PN+PDTiN)
TEMPERATURA



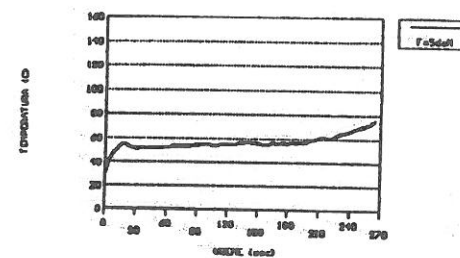
sl.2

C4270 (PN+PDTiN)
KOEFIČIJENT TRENJA



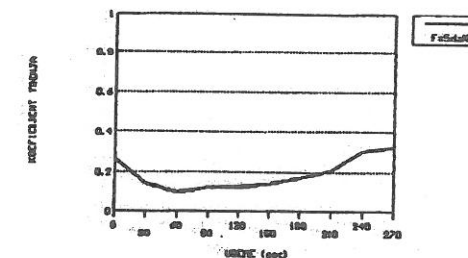
sl.3

C4870 (PNNP+PDTiAlN)
TEMPERATURA



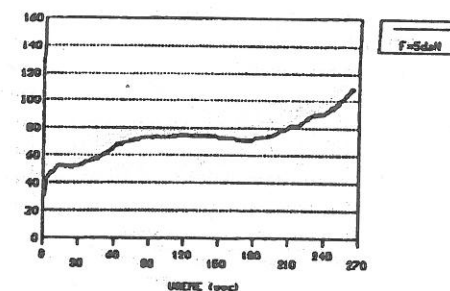
sl.4

C4870 (PNNP+PDTiAlN)
KOEFIČIJENT TRENJA



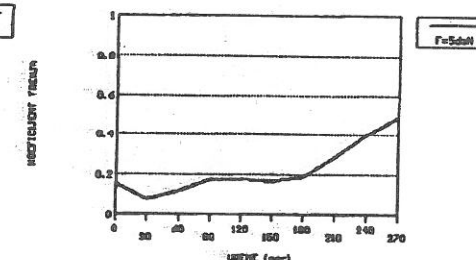
sl.5

C4588 (PDTiAlN)
TEMPERATURA



sl.6

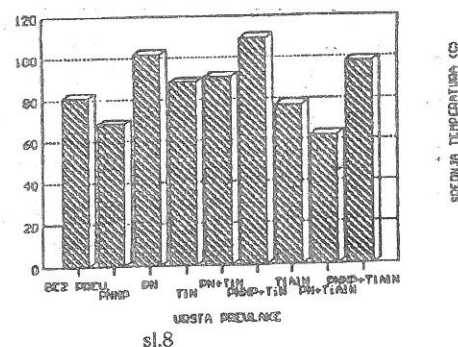
C4588 (PDTiAlN)
KOEFIČIJENT TRENJA



sl.7

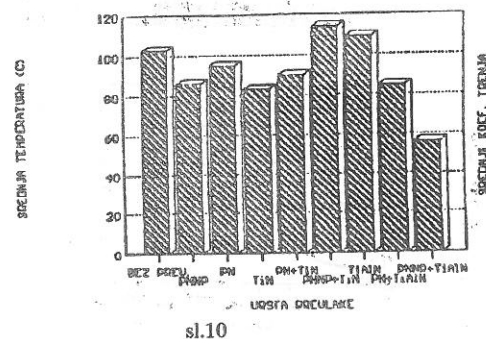
Takođe je izvršeno poređenje svih ispitivanih kontaktnih parova na osnovu temperature i koeficijenta trenja. Rezultati takve analize su prikazani na slikama 8 do 13.

C.4870
SREDNJA TEMPERATURA



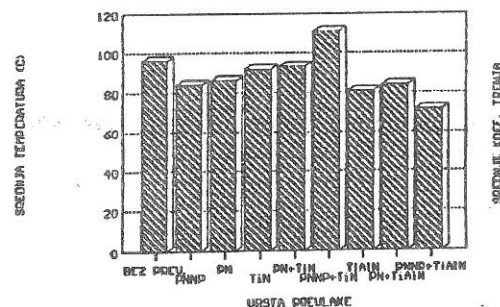
sl.8

C.4870
SREDNJA TEMPERATURA



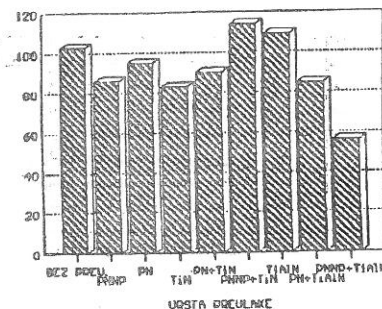
sl.10

C.4588
SREDNJA TEMPERATURA



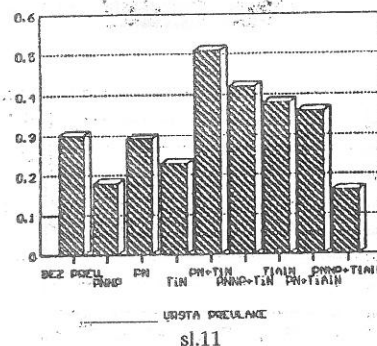
sl.12

C.4870
SREDNJA TEMPERATURA



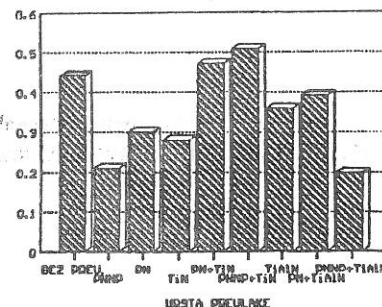
sl.9

C.4870
SREDNJI KOEF. TRENJA



sl.11

C.4588
SREDNJI KOEF. TRENJA



sl.13

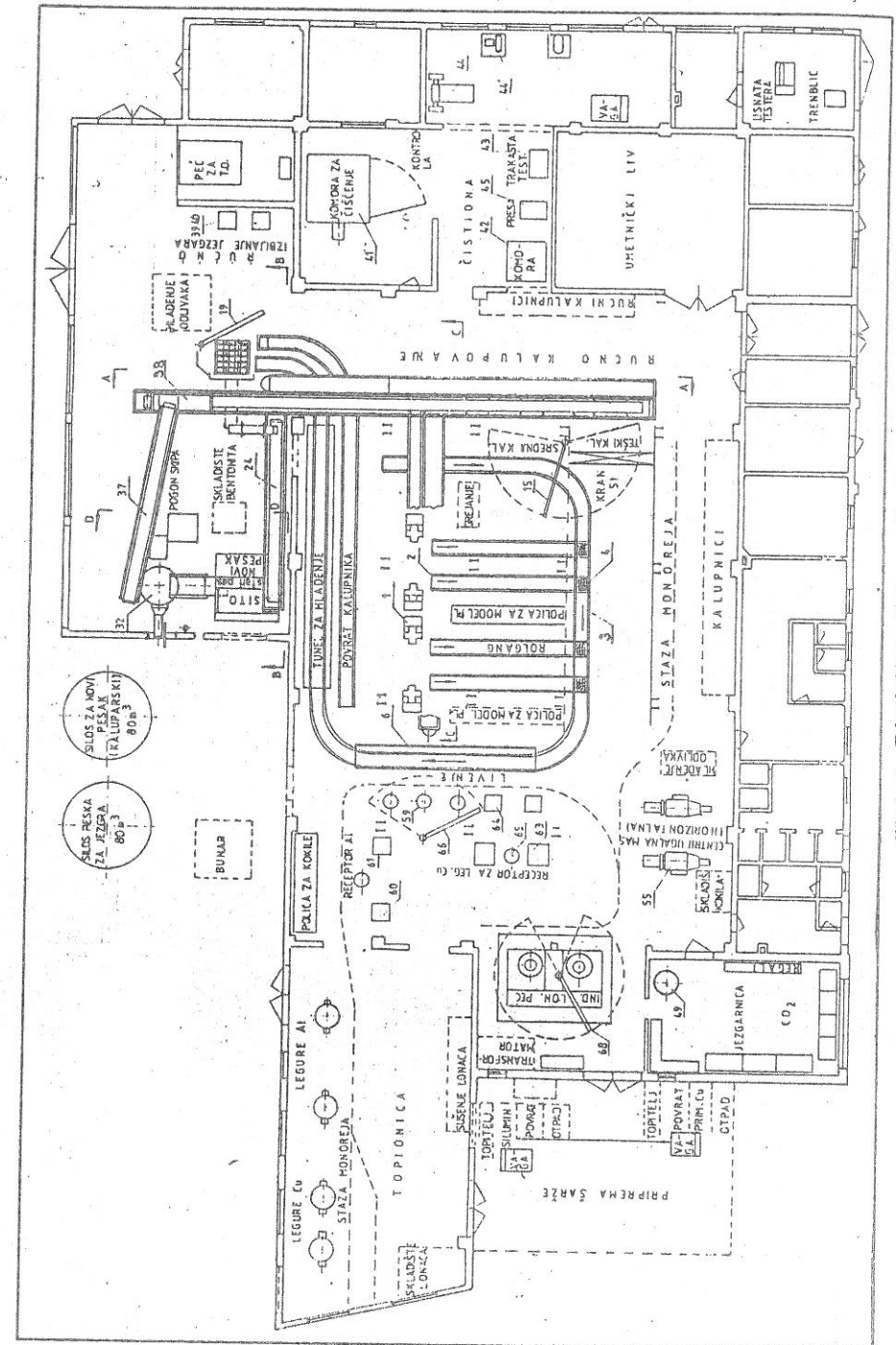
ZAKLJUČCI

Ventili su važni delovi koji utiču na vek trajanja motora, jer rade na visokim temperaturama (kod dizel motora 400 do 650 C), izloženi su habanju i koroziji izduvnim gasom visoke temperature.[5] Za očekivati je da se savremenim postupcima prevlačenja kontaktnih površina može povećati vek trajanja ventila za motore. Na osnovu dobijenih rezultata mogu se izvesti sledeći zaključci:

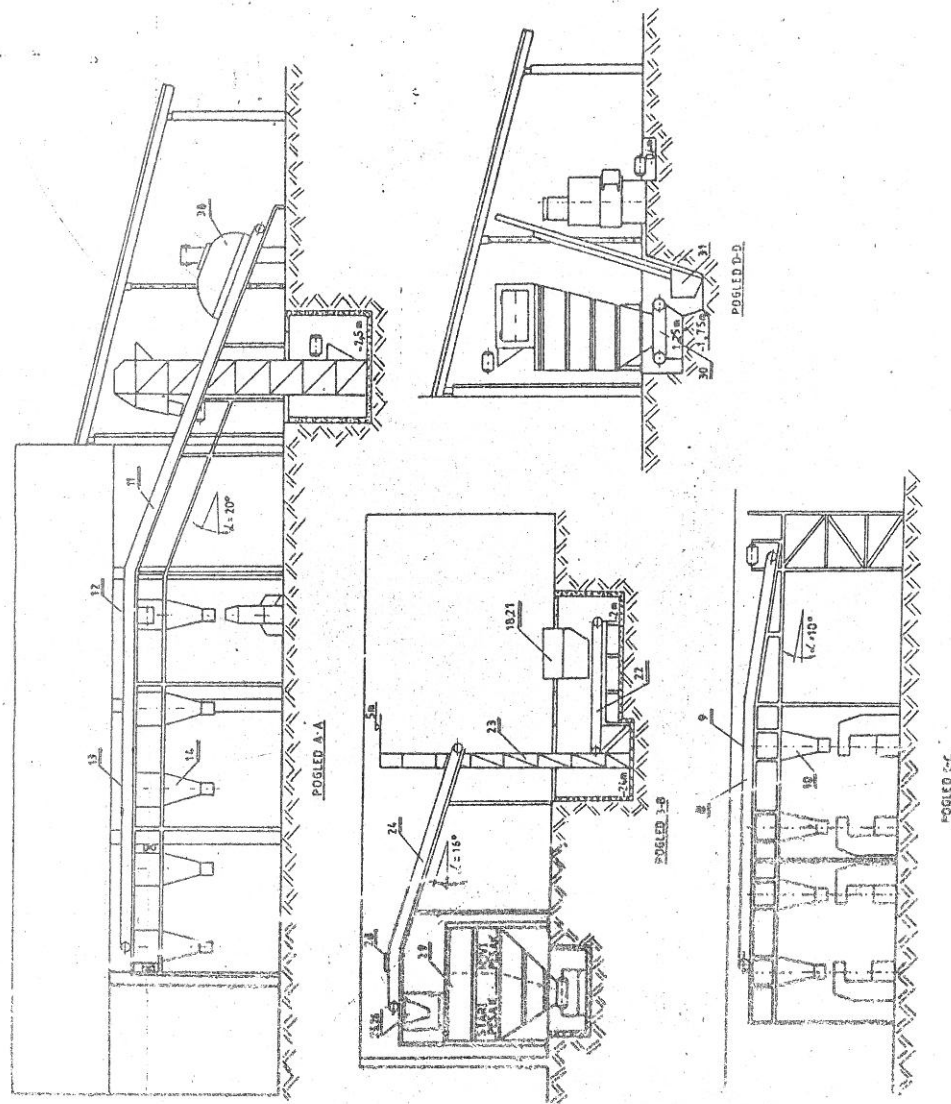
- mekim prevlakama odgovara niži koeficijent trenja, dok tvrde prevlake imaju veći koeficijent trenja.
- mekim prevlakama odgovara niža srednja temperatura, dok tvrde prevlake imaju višu srednju temperaturu habanja.
- kombinovanom tehnologijom se mogu dobiti veoma tvrdi slojevi sa malim koeficijentom trenja i niskom srednjom temperaturom habanja. (npr: Č.4870, plazma nitriran na niskom pritisku i plazma deponovan TiAlN).

LITERATURA

- 1.Kakaš D.:Pravci razvoja plazma tehnologije i nove mogućnosti njene primene,5 Jugoslovenski simpozijum o metalurgiji,1992.
- 2.Zlatanović M.:Primena postupaka plazma nitriranja nekih vrsta alata; Savez alatničara Beograda,1986.
- 3.Zlatanovi M., Kakaš D.:Depozicija tvrdih prevlaka na plazma nitriranom čeliku; Nove tehnologije termičke obrade metala, Zagreb, 1990.
- 4.Hedenquist P.,Olsson M.,Sodesberg S.:Influence of TiN coating on wear of high speed steel tools as study by new Laboratory wear test; Surface Engineering, 1989.
- 5.Zeng Yaoxin i dr.:Ion nitriding applied in Chinese railway industry; Plasma heat treatment; Senlis,1987.



Slika br. 1. Tehnološki razmeštaj opreme (klocni)



Slik. br. 2. Pogledi na tehnološku celinu opreme

PROMENA NEUJEDNAČENOSTI STRUKTURE LIVENOG NERĐAJUĆEG AUSTENITNO-FERITNOG ČELIKA 0.08C-22.5Cr-8Ni-2Mo-3.5Cu USLED ZAGREVANJA

Mr. Goran Radenković,
asistent Mašinskog fakulteta u Nišu

1. UVOD

Uobičajeno je da struktura livenih legura u manjoj ili većoj meri bude nehomogena u pogledu sastava osnovnih strukturnih faza, njihovog zapreminskog udela kao i prisustva nečistoća različitog porekla. Nehomogenost strukture, po pravilu, prouzrokuje neujednačena tj. nepovoljna mehanička, tehnološka i druga svojstva, te je stoga nepoželjna.

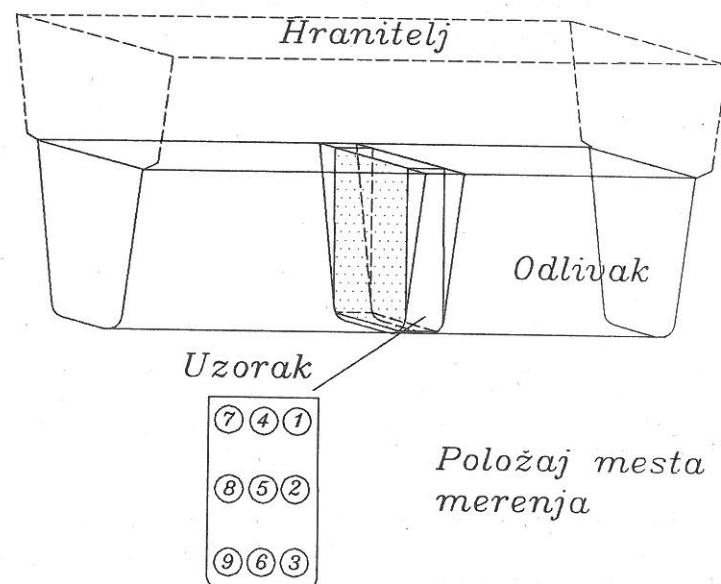
Cilj ispitivanja, izloženog u ovom radu, je bio da se odredi u kojoj meri je struktura visokolegiranog čelika 0.08C-25Cr-8Ni-2.5Mo-3Cu neujednačena u livenom stanju i da li se može termičkom obradom ujednačiti. Određivani su zapreminski udeo austenita i mikrotvrdoće austenita i ferita na različitim mestima poprečnog preseka livenog komada pre i posle termičke obrade. Izabrani čelik se koristi za izradu livenih delova složenog oblika, koji se ne obrađuju deformisanjem, tako da je u ovom radu jedino ispitivana mogućnost da se termičkom obradom popravljaju njegova struktura.

2. KARAKTERISTIKE POLAZNOG MATERIJALA

Polazni materijal je bio odlivak čiji je hemijski sastav prikazan u tabeli I. Obzirom da ispitivani materijal nema propisanu oznaku po JUS-u, u radu je za ovaj materijal korišćena sledeća oznaka: 0.08C-22.5Cr-8Ni-2Mo-3.5Cu.

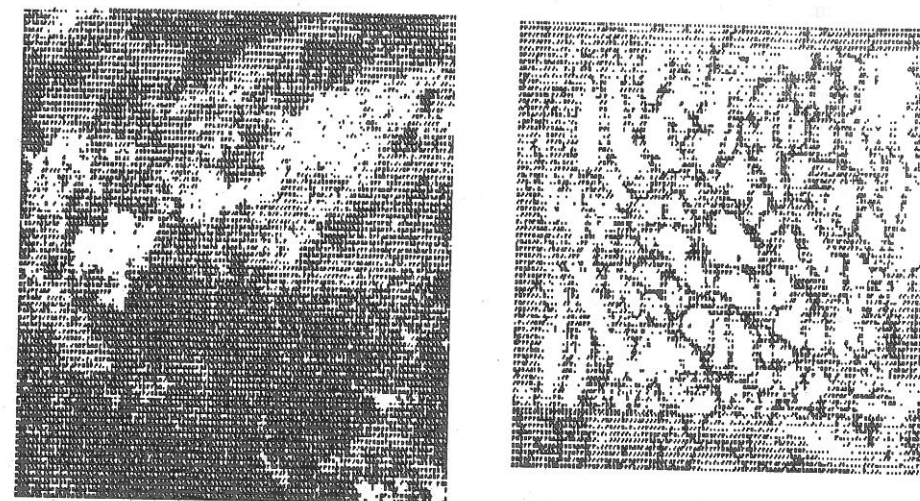
Tabela I: Hemijski sastav ispitivanog čelika

Hem. el.	C (X)	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	Cu	Fe
IV	0.075	0.83	0.73	0.14	0.02	22.5	7.8	2.3	3.5	ost.



Sl. 1. Oblik odlivka i isečenog uzorka materijala koji je ispitivan

Na sl.1. je prikazan položaj uzorka u odnosu na odlivak, površina uzorka koja je metalografski pripremljena (označena tačkama) i mesta na kojima je ispitivana struktura (označena brojevima 1-9). Na sl. 2 je prikazana makrostruktura uzorka sa sl. 1. i mikrostruktura istog uzorka na mestu 5.



Sl. 2. Makro i mikrostruktura ispitivanog čelika

Metalografska priprema uzorka je urađena na sledeći način: uzorci su brušeni na brusnim papirima oznake finoća od 180 do 1200, zatim su grubo polirani na platnu aluminijum oksidom finoće 0.3 mm i na kraju završno polirani aluminijum oksidom finoće 0.05 mm. Uzorci su nagrizani reagensom sledećeg sastava (1, 2):

- 2 g pikrinske kiseline
- 10 cm³ hlorovodonične kiseline
- 100 cm³ etil alkohola

U pripremi makroskopskog uzorka izostalo je poliranje.

3. OPIS POSTUPKA ISPITIVANJA

Na označenim mestima površine uzorka, tj. poprečnog preseka odlivka, sl. 1., prvo je određen udeo austenita i mikrotvrdoće austenita i ferita pre termičke obrade. Udeo austenita je određivan linijskom metodom kvantitativne metalografije na poluautomatskom uređaju a mikrotvrdoća metodom po Knuhu (Knoop). Nakon toga uzorak je termički obrađen tako što je unesen u zagrejanu peć, držan na izabranim temperaturama jedan sat, a potom hlađen u vodi do sobne temperature. U toku držanja proveravana je temperatura uzorka neposrednoj blizini uzorka kontrolnim termoparom. Obzirom da je termički obrađivan visokolegirani nerđajući čelik sa niskim sadržajem ugljenika, tabela I, njegova obrada je izvedena u pećima sa običnom atmosferom, jer, u ovom slučaju, ne bi trebalo očekivati oksidaciju i razugljeničenje spoljne površine u znatnijom meri.

4. REZULTATI ISPITIVANJA I DISKUSIJA

Zbog ograničenog prostora rezultati ispitivanja nisu prikazani u celosti, već samo za početno liveno stanje i stanje nakon držanja na temperaturi od oko 1000 °C, kada već počinje da se ispoljava uticaj zagrevanja na homogenost, tabela II i III.

Tabela II: Udeo austenita na različitim mestima poprečnog preseka čelika 0.08C-22.5Cr-8Ni-2Mo-3.5Cu pre i posle termičke obrade

Mesto na uzorku, sl. 1.	Pre termičke obrade		Nakon zagrevanja na 1000 °C	
	Procentualni udeo austenita	Broj merenja	Procentualni udeo austenita	Broj merenja
1.	59	715	58	697
2.	63	737	60	712
3.	56	711	55	721
4.	57	731	56	717
5.	62	827	59	756
6.	57	723	56	703
7.	58	751	57	733
8.	59	762	58	745
9.	57	770	56	734
Srednja vrednost	58.67	6727	57.21	6518

Rezultati ispitivanja pokazuju da u početnom stanju postoji razlika u procentualnom sadržaju austenita na različitim mestima poprečnog preseka odlivka do oko 7 % u odnosu na srednju vrednost (58.67%) dok se odstupanje mikrotvrdoća od srednje vrednosti kretalo i do skoro 20 %. Imajući u vidu da se radi o visokolegiranoj i višekomponentnoj leguri gore navedena odstupanja sastava i mikrotvrdoće nisu velika. Zagrevanjem ispitivanog čelika dolazi do homogenizacije njegove strukture ali tek na temperaturama višim od 1000 °C, kada je omogućeno intenzivnije odvijanje difuzionih procesa. Međutim na navedenim temperaturama počinje i proces fazne transformacije austenita u ferit, pri čemu novonastali ferit ima drugačiji sastav u odnosu na postojeći (3, 4, 5). Izjednačavanje sastava faza je moguće pri znatno dužem držanju od 1 sata. Zbog toga uprkos relativno

Tabela III: Mikrotvrdoće austenita i ferita na različitim mestima poprečnog preseka čelika 0.08C-22.5Cr-8Ni-2Mo-3.5Cu pre i posle termičke obrade

Mesto na uzorku, sl. 1.	Pre termičke obrade		Nakon zagrevanja na 1000 °C	
	Mikrotvrdoća austenita	HKO.015 ferita	Mikrotvrdoća austenita	HKO.015 ferita
1.	236	300	293	423
2.	222	364	276	463
3.	257	341	308	443
4.	300	362	340	465
5.	224	347	279	451
6.	260	347	312	448
7.	264	429	310	476
8.	252	364	303	466
9.	261	378	308	488
Srednja vrednost	253	359	303	458

NAPOMENA: Tvrdoća je određivana kao srednja vrednost za 5 merenja.

visokim temperaturama neujednačenost mikrotvrdoće je još uvek prisutna (na 1000 °C je oko 10 %) ali je manja u odnosu na termički neobrađeno stanje. Takođe je manje odstupanje udela austenita, posle termičke obrade, na različitim mestima poprečnog preseka.

5. ZAKLJUČAK

Ispitivanja pokazuju da se u slučaju višekomponentnih legura sa legirajućim elementima koji imaju mali koeficijent difuzije (hrom, molibden) , gde spada i materijal ispitivan u ovom radu, teško može postići potpuna homogenost pri relativno kratkim držanjima na povišenim temperaturama. Povišenjem temperature skraćuje se vreme držanja, međutim ne bi trebalo da se ide na previsoke temperature, jer se usled faznih promena u ispitivanom čeliku remeti optimalan odnos austenita i ferita, što mnogo nepovoljnije utiče na svojstva nego neka umerena nehomogenost. Uzimajući u obzir prethodno navedeno, za jednočasovnu homogenizaciju ispitivanog čelika može se preporučiti temperatura od 1050 do 1100 °C.

LITERATURA

1. A. Schrader: "Atzheft", Berlin (1957)
2. Beckert, H. Klem: "Handbuch der metallografischen atzverfahren", VEB Leipzig (1984)
3. R. Mundt, H. Hoffmeister, Arch. Eisenhttttenwes. 54 (1983) Nr7, str.291-294.
4. R. Mundt, H. Hoffmeister, Arch. Eisenhttttenwes. 54 (1983) Nr8, str.333-336.
5. H. Hoffmeister, R. Mundt, Arch. Eisenhttttenwes. 52 (1981) Nr4, str.159-164.

G. Radenković

EFFECT OF HEATING ON UNEQUALLY OF STRUCTURE OF CAST STAINLESS AUSTENITIC-FERRITIC STEEL 0.08C-22.5Cr-8Ni-2Mo-3.5Cu

Summary The percentage portion of austenite and microhardness of austenite and ferrite of tested steel is not equal in all cross section of cast. Unequally of structure may be decreased or removed by heat treatment. The purpose of this paper is to determinate the level of unequally of cross section of cast by quantitative method of optical microscopy, and then to follow changes of unequally with increasing of temperature. It should be to determinate the temperature of heating, after which the composition of structure will be practical equal for all points of section.

PROJEKAT LIVNICE LAKIH I OBOJENIH METALA

Kovač R., Jajin S., Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novom Sadu,
Naučno-obrazovni Institut za proizvodno mašinstvo,
Vladimira Perića-Valtera 2, 21000 Novi Sad

SUMMARY

This paper is presenting one solution of the new redistribution of the foundry equipment in an old foundry for production of aluminium and brass castings. The project of the foundry required production of very versatile castings, from one kilogram up to 1600 kg. To achieve this requirements, taking in account various alloys that has to be applied, it is established that production would have to be carried out by technologies of send casting, gravity die casting and centrifugal casting. Establishing of this technologies in determined room of an old foundry, which had various limits because of the building, was main difficulty during making the project of the new foundry. Capacity at the foundry is 1200 tons of a castings per year.

1. UVOD

Rad predstavlja prikaz projekta rekonstrukcije Livnice "23-oktobar" u Novom Sadu. Cilj rekonstrukcije je da se obezbedi visok stepen mehanizacije i automatizacije proizvodnog procesa, a naročito tehnologije izrade odlivaka livenjem u kalupima od peska. Putem mehanizacije i automatizacije obezbeđuje se povećanje kvaliteta proizvoda, isključuje težak ručni rad i povećava produktivnost rada. Do rekonstrukcije livnica je raspolagala jednom mešalicom M-25 sa skipom, firme GOSTOL, sa dva para kaluparskih mašina FOROMAT - 20 i mašinama za centrifugalno livenje.

Postojeći tehnološki proces je zanatskog karaktera jer livnica ne poseduje potrebnu opremu za pripremu i transport peska, liva i dr., što za posledicu ima neadekvatno korišćenje dva para kaluparskih mašina, nekvalitetnu mešavinu i veći broj radnika angažovan na ručnoj izradi kalupa, što se negativno odražava na produktivnost rada i kvalitet proizvoda. Celokupan transport u livnici obavlja se ručno i priručnim transportnim sredstvima. Proizvodi livnice su odlivci legura bakra i legura aluminijuma. Nizak tehnološki nivo proizvodnje, niska produktiv-

nost i teški uslovi rada nametnuli su zahtev za izradom projekta koji će u velikoj meri otkloniti ove nedostatke.

2. O PROIZVODNOM PROGRAMU I PROJEKTNOM ZADATKU

Livnica "23-Oktobar" je livnica uslužnog karaktera. Proizvodnja obuhvata odlivke mase ispod jednog kilograma do mase 1600 kg livenih od legura bakra (bronz: kalajne olovne, olovno-kalajne, aluminijumske i crveni liv) i odlivke od legura aluminijuma (silumini *AlSi12* i *AlSi10 Mg*) u količini od 1200 t godišnje. Od toga 1000 t odlivaka od legura bakra i 200 t odlivaka od legura aluminijuma. Proizvodnju odlivaka treba obaviti putem; tehnologije livenja u pesku, centrifugalnim livenjem i livenjem u kokile. Proces proizvodnje odlivaka navedenim tehnologijama treba ostvariti u postojećem građevinskom objektu uz potpunu ugradnju u tehnološki proces postojeće opreme. Proizvodnja odlivaka je pojedinačna i maloserijska.

3. RAZMEŠTAJ TEHNOLOŠKE OPREME

Razmeštaj tehnološke opreme uslovljen je u prvom redu zahtevima tehnološkog procesa proizvodnje, zatim rasporedom postojećih građevinskih objekata i higijensko-tehničkih uslova rada pojedinih odeljenja tehnološkog procesa. Cilj je da se u postojeće građevinske objekte (odeljenja objekta) smeste tehnološke celine koje će zadovoljiti tehnološke uslove proizvodnje odlivaka koristeći tri navedene tehnologije uz obezbeđenje u datim uslovima povoljnijih higijensko-tehničkih uslova rada.

Iz ovih uslova proizašao je razmeštaj tehnološke opreme kako je to prikazano na slici br. 1. i slici br. 2. Na slici br. 1. prikazan je razmeštaj tehnološke opreme u ravni odeljenja livnice (tlocrt), dok su na slici br. 2. prikazani pogledi pojedinih tehnoloških celina opreme pri proizvodnji odlivaka u kalupima od peska. Ova tehnologija obuhvata izradu kalupa na dva para kaluparskih mašina FOROMAT-25 i deset radnih mesta za ručnu izradu kalupa i zauzima najveći deo površine livnice, a što je uslovljeno složenom tehnologijom pripreme peska, transportom peska, izradom kalupa i livenjem.

Livnicu čine odeljenja: odeljenje za pripremu peska, odeljenje za izradu kalupa, odeljenje za izradu jezgara, odeljenje za čišćenje odlivaka, odeljenje za centrifugalno livenje, odeljenje za kokilno livenje, topionica legura bakra (bronz) i legura aluminijuma, termička obrada i odeljenje za održavanje.

Odeljenje za pripremu peska smešteno je u aneksu zgrade sa kosim krovom, koji ima nedovoljnu visinu za smeštaj opreme. Usled toga bunker za pesak 29, (pogled B-B) smešten je tako da se njegov donji deo koji se nalazi iznad trakastog dozatora 30 (pogled D-D) nalazi ispod nivoa poda livnice. Dozatorom 30 pesak se skipom 31 transportuje do mešalice 32 (slika 1), odakle se kosom trakom 37, transportuje do aeratora 38 (pogled A-A), trakom 11 transportuje do trake nad mašinama 8 i bunkera za ručno kalupovanje 14. Kapacitet mešalice je 25 t/h.

Odeljenje za izradu kalupa čine dva para kaluparskih mašina FOROMAT-20 i deset radnih mesta predviđenih za ručnu izradu kalupa, smeštenih ispod bunkera 14 (pogled A-A). Transport kalupa od kaluparskih mašina 1 (slika 1) do mesta livenja vrši se rolganzima 2 koji ujedno služe za skladištenje kalupa i rolganzima 3 koji služe za transport kalupa do mesta za

livenje, a zatim do inercione vibracione rešetke za istresanje kalupa 18. (pogled B-B). Kalupi izrađeni ručno rolgangom 3 transportuju se do mesta za livenje. Kalupi za odlivke mase do 1600 kg (od bronz) rade se i liju u radnom polju kрана nosivosti 5t. Transport liva za ove odlivke vrši se monorejom nosivosti 1000 kg. Za livenje odlivaka veće mase koristi se više lonaca.

Odeljenje za izradu jezgra koristi uglavnom CO₂ postupak.

Odeljenje za čišćenje odlivaka raspolaže sa dve komore za čišćenje 41 i 42 (GOSTOL), a u ovom odeljenju smeštena je ekscentar presa 42 za odsecanje ulivnog sistema i trakasta testera 43.

Odeljenje za centrifugalno livenje čine dve mašine sa horizontalnom osom obrtanja 55. Masa odlivaka od bronz livenih na ovim mašinama kreće se do 260 kg, a dimenzije odlivaka do 300/25 x 500 mm. Sem ovih mašina instalirane su tri mašine sa vertikalnom osom obrtanja 59 različitih prečnika. Mašine opslužuje konzolna dizalica na električni pogon 66.

Kokilno odeljenje čine dva radna mesta 60 za livenje legura aluminijuma u ručnim kokilama koje livom opslužuje receptor 61. U ovom odeljenju predviđena su četiri radna mesta (stola) za ručno livenje u kolilama. Od toga, dva radna mesta označena sa 63 namenjena su livenju fazonskih odlivaka i dva radna mesta su za livenje odlivaka oblika valjka i oblika tuljka, a livom ih opslužuje receptor 65.

Topionica je opremljena sa dve indukcione lončaste peći, kapaciteta od po 600 kg liva svaka, sa jednim elektropostrojenjem. Peći su predviđene za topljenje bronz a opslužuje ih konzolna dizalica na električni pogon 68. Livnica raspolaže sa dve plamene peći koje služe kao rezerva indukcione peći. Topljenje legura aluminijuma obavlja se u dve plamene peći kapaciteta od po 120 kg.

Transport liva od peći do mesta za livenje i receptora obavlja se monorejom (slika br. 1, prikazan crtkano). Monorej je tako izveden da povezuje sve peći za topljenje sa svim potrošačima liva, bilo da se radi o receptorima ili mestima za livenje. Monorej ima jednu skretnicu i mesto za odlaganje lanaca.

Livnica je izvedena prema projektu i dobro funkcioniše.

4. ZAKLJUČAK

1). Karakteristika projekta je da je u relativno malom i za ovakvu livnicu neadekvatnom prostoru, dato rešenje koje sa tehnološkim gledišta uspešno funkcioniše.

2). Razmeštaj tehnološke opreme u postojećim građevinskim objektima urađen je tako da u potpunosti ispunjava zahteve tehnološkog procesa proizvodnje i u velikoj meri obezbeđuje relativno dobre uslove rada, što je obezbeđeno razmeštajem tehnoloških celina (pripreme peska, izrade kalupa, čišćenja odlivaka i dr.) u odeljenja postojećeg objekta.

5. LITERATURA

1. Kovač R., Jojin S.: Idejni tehnološki projekat rekonstrukcije Livnice "23-oktobar" Novi Sad, Novi Sad 1985.
2. Matvenko I. V., Tarskij V. L.: Oborudovanie litejnyh cehov. "Mašinostroenie" Moskva 1978.
3. Kovač R.: Livenje I - Tehnologija izrada odlivaka . Novi Sad 1991.
4. Tomović M.: Livenje obojenih i lakih metala Beograd 1976.

UTICAJ PRIMARNE STRUKTURE NA MEHANIČKE OSOBINE LEGURE Al-Mg POSLE TERMIČKE OBRADÉ

*Kovač R.; Bajić V.; Fakultet tehničkih nauka Univerziteta u Novon
Sadu, Naučno-obrazovni Institut za proizvodno mašinstvo,
Vladimira Perića-Valtera 2, 21000 Novi Sad*

1. UVODNA RAZMATRANJA

Trend razvoja legura aluminijuma je u značajnoj meri usmeren na povišenje mehaničkih osobina legura. U osnovi, nosilac svih navedenih osobina aluminijuma je njihova struktura. Veliki broj delova izrađenih od legura aluminijuma dobija se livenjem. Primarna struktura odlivka zavisi od hemijskog sastava, čistoće legure, procesa topljenja i tehnologije livenja. Metodi regulisanja primarne strukture mogu se podeliti na: toplotne, fizičko-hemijske, mehaničke i dejstvo raznih fizičkih polja. Ubrzano hlađenje odlivka povećava brzinu kristalizacije i umanjuje dimenzije svih elemenata strukture, a time povećava osobine legure. Važan metod fizičko-hemijskog dejstva na kristalizaciju tj. primarnu strukturu je modifikiranje, koje se sastoji od uvođenja u rastvor modifikatora, koji utiču na dobijanje strukture sa sitnijim zrnom. Na proces kristalizacije može se u znatnoj meri uticati putem mehaničkih dejstava. Ova dejstva mogu se ostvariti vibracijom ili ultrazvukom.

Osobine odlivka, kod mnogih legura mogu se povećati termičkom obradom. Termička obrada je jedna od čestih operacija koja se primenjuje s ciljem dobijanja boljih osobina odlivka izrađenih od legura aluminijuma.

Cilj istraživanja u ovom radu je da se ustanovi da li stanje primarne strukture utiče na mehaničke osobine legure posle termičke obrade. Za istraživanje su predviđene legure sistema aluminijum-magnezijum.

2. TOPLJENJE I LIVENJE LEGURE

Livenje legure aluminijum-magnezijum često se obavlja u kokili jer ima čitav niz prednosti nad livenjem u pesku: tačnije dimenzije odlivka, manje dodatke za mehaničku obradu, veći stepen čistoće površine. Sem ovih tehnoloških karakteristika ovim načinom livenja se može uticati u velikoj meri na dobijanje primarne strukture preko intenziteta odvođenja toplote.

Legure aluminijum-magnezijum, očvršćavaju u intervalu temperature (likvidus-solidus). Od intenziteta odvođenja toplote zavisi stepen podhlađenja, a od ovog zavisi brzina obrazovanja centara kristalizacije i njihov dalji rast. Pri većim podhlađenjima obrazovaće se veći broj centara kristalizacije te će dobijena struktura odlivka biti sitnija, sa boljim mehaničkim osobinama. Na broj centara kristalizacije sem podhlađenja utiču i nerastvorive primese koje se nalaze u metalu, a može se uticati i spoljnim parametrima (vibracija, ultrazvuka). S ciljem uvećanja centara kristalizacije, u praksi je najviše zastupljeno modifikiranje.

U realnim uslovima livenja ne protiče ravnotežna već neravnotežna kristalizacija. Karakteristika neravnotežne kristalizacije je da su kristali nehomogeni po hemijskom sastavu. Unutrašnji delovi kristala su osiromašeni, a spoljašnji obogaćeni magnezijumom. U livenom stanju legure aluminijuma koje sadrže više od 9% magnezijuma imaju strukturu sastavljenu iz α -čvrstog rastvora i faze β (Al_3Mg_2). Faza β je hemijsko jedinjenje, vrlo je krta i 3/2 sadrži 35-38% Mg. Ova faza izdvaja se usled smanjene rastvorljivosti magnezijuma u aluminijum na završetku procesa kristalizacije. Izdvajanje ove faze naročito je izraženo po granicama zrna mada se može izdvojiti i unutar zrna. Ako se faza β izdvoji u obliku krupnih čestica po granicama zrna ona postaje izvor obrazovanja pukotina u odlivku i jako smanjuje njegove mehaničke osobine.

3. TERMIČKA OBRADA

Da bi se povećale mehaničke osobine odlivka od legure aluminijum- magnezijum, on se termički obrađuje. Cilj termičke obrade je rastvaranje β -faze i izjednačavanje strukture odlivka po hemijskom sastavu (β -faza se rastvara u matricnoj osnovi). Ovo se ostvaruje procesom difuzije magnezijuma iz β -faze u α -čvrsti rastvor. S obzirom da se u procesu kristalizacije ne može onemogućiti izdvajanje β -faze neophodno je kaljenjem i starenjem izvršiti izjednačavanje hemijskog sastava.

Temperatura zagrevanja i vreme zadržavanja na temperaturi zavisi od brzine procesa rastvaranja ojačavajućih faza. Ovaj proces zavisi od prirode legure, stanja strukture, dimenzija i konfiguracije odlivka. Ukoliko odlivak ima grublju strukturu vreme zadržavanja na temperaturi kaljenja je duže. Brzina hlađenja kaljenog dela treba da je takva da omogući fiksiranje čvrstog rastvora aluminijuma sa maksimalnim stepena rastvaranja legirajućih komponenti.

Imajući napred izloženo u vidu, autori smatraju da se podvrgavanjem odlivka vibraciji u procesu kristalizacije može uticati na ravnomerniji hemijski sastav i izdvajanje β -faze u obliku sitnih čestica kako po granicama tako i unutar zrna. Ukoliko su ove čestice sitnije i ravnomernije raspoređene u matricnoj osnovi, proces termičke obrade, koji ima za cilj izjednačavanje hemijskog sastava, manje će vremenski trajati.

4. KONCEPCIJA EKSPERIMENTA

Ispitivanja u ovom radu obavljena su na legurama aluminijuma proizvodnje "TLM" sa 6% i 9% Mg.

Za ispitivanje uticaja primarne strukture na termičku obradu legure odlivene su epruvete za ispitivanje zatezne čvrstoće. Da bi se dobila različita struktura odlivka polovina uzoraka livena je pod normalnim uslovima livenja u kokili sa premazom na bazi oksida cinka i vodenog stakla,

a druga polovina uzoraka livena je pod dejstvom vibracija s ciljem dobijanja strukture sa sitnijim zrnom. Vibriranje je obavljeno na mašini sa vibrostolom proizvođač "GBW" tip 12-13. Ostali parametri tehnologije livenja su bili konstantni. Dalja ispitivanja uticaja na čvrstoću legure odnose se na termičku obradu odnosno na kaljenje i starenje. Kaljenje je izvršeno sa konstantne temperature 430 ° ali sa četiri različita vremena zadržavanja na temperaturi kaljenja. Starenje je izvršeno takođe sa četiri različita vremena pri konstantnoj o temperaturi (160°). Ostali parametri su dati tabelarno.

Usvojen je dvofaktorni eksperiment sa dva nivoa faktora vibriranja, četiri nivoa faktora kaljenja odnosno starenja i četiri ponavljanja. Izabrani matematički model glasi:

$$x_{ijk} = \mu + A_i + b_j + AB_{ij} + \varepsilon_{ijk}$$

A_i faktor uticaja vibriranja AB međudejstvo faktora

b_j faktor uticaja term.obrade ε_{ijk} greška eksperimenta

Eksperiment je obavljen u blokovima, iz jednog lonca su livene epruvete sa 6%Mg a iz drugog lonca su livene epruvete sa 9%Mg.

U tabeli 1 (dijagram 1) dati su rezultati kaljenih i starenih uzoraka sa 6%Mg a u tabeli 2 (dijagram 2) dati su rezultati kaljenih uzoraka sa 9%Mg.

Tabela 1

FAKTOR		P O N A V L J A N J E				S U M A
NACIN LIVENJA	STARENJE (h)	1	2	3	4	
		ČVRSTOĆA MPa				
NEVIBRI- RAN	3	135,2	139,8	146,7	158,2	579,9
	6	142,5	147,7	151,9	146,9	588,0
	9	156,6	141,7	146,0	141,9	586,2
	12	162,7	148,8	156,0	149,0	616,5
VIBRIRAN	3	187,2	181,5	178,5	193,1	740,3
	6	211,8	190,1	173,3	184,9	760,1
	9	185,9	199,2	200,5	201,8	787,4
	12	213,8	196,4	206,0	193,6	809,8
						5468,2

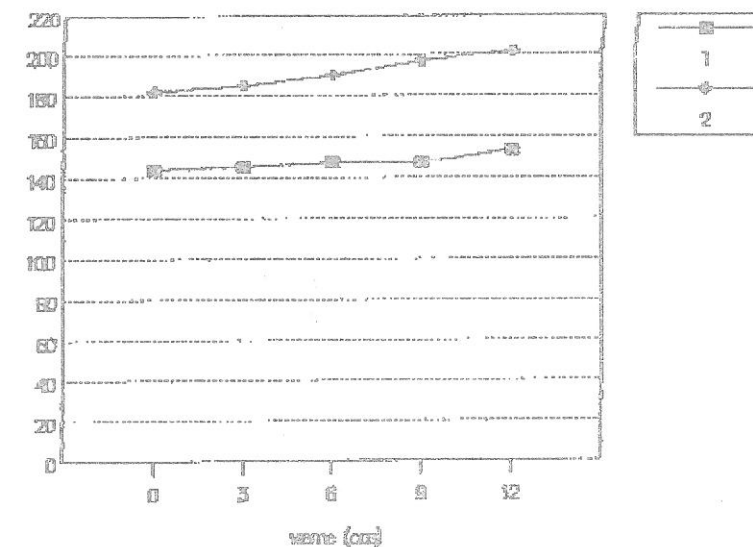
Zaključak koji daje disperziona analiza je da je uticaj starenja sa verovatnoćom 95% značajan, da je uticaj vibriranja visoko značajan, a da međudejstvo ova dva faktora nije značajno.

Tabela 2.

FAKTOR		P O N A V L J A N J E				S U M A
NAČIN LIVENJA	KALJENJE (h)	1	2	3	4	
		ČVRSTOĆA MPa				
NEVIBRI- RAN	4	167,0	165,6	168,1	177,5	678,2
	8	170,5	166,3	173,6	178,5	688,9
	12	175,6	164,3	179,8	186,2	705,9
VIBRIRAN	4	179,9	175,7	185,8	192,4	733,8
	8	215,7	223,9	214,0	217,0	870,6
	12	219,6	215,1	209,2	208,2	852,1
						4529,5

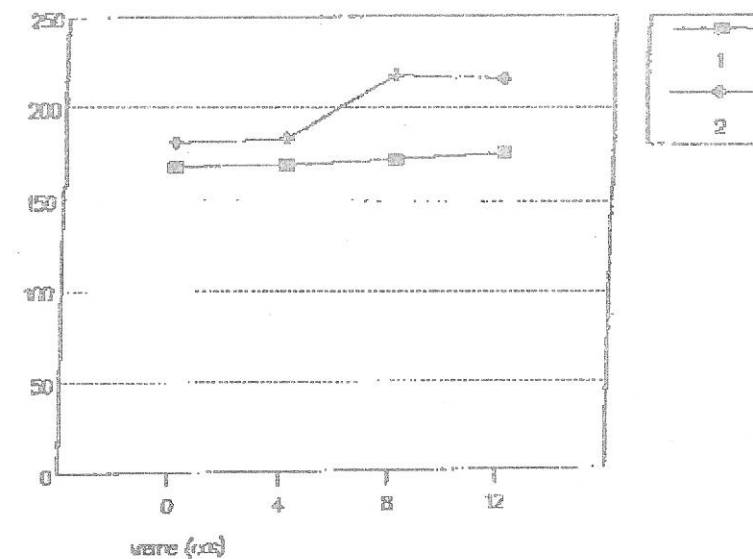
Zaključak koji daje disperziona analiza je da je uticaj kaljenja sa verovatnoćom 95% značajan dok je uticaj vibriranja još značajnija da međudejstvo takodje značajno.

čvrstoća (MPa)



SI.1

čvrstoća (MPa)



SI.2

ZAKLJUČAK

U radu je ispitivan uticaj primarne strukture na povećanje zatezne čvrstoće legure Al-Mg putem termičke obrade, kaljenja i starenja. Za potrebe ispitivanja odliveno je 32 odlivka legure Al-Mg sa 6% i 9%Mg.

Radi dobijanja različite primarne strukture livenje je izvršeno u različitim uslovima. Polovina uzoraka je očvršćavala pod dejstvom vibracije, a druga polovina u mirnim uslovima, bez dejstva vibracije. Epruvete livene pod dejstvom vibracije imaju sitniju strukturu nego epruvete livene u mirnim uslovima. Sem toga pod dejstvom vibracije ostvaren je ravnomerniji raspored magnezijuma u matričnoj osnovi što utiče na povećanje čvrstoće legure u livenom i termički obrađenom stanju.

Kod ove legure Al-Mg, čvrstoća nekaljenih a vibriranih epruveta veća je za 19,9% u odnosu na uzorke livene u normalnim uslovima. Posle kaljenja i starenja uočeno je takođe značajno povećanje čvrstoće vibriranih uzoraka u odnosu na nevibrirane i iznosi 30,5%.

Povećanje zatezne čvrstoće legure Al-Mg posle termičke obrade, kod uzoraka sa primarnom strukturom dobijenom vibriranjem u toku kristalizacije, u odnosu na uzorke sa primarnom strukturom dobijenom bez vibriranja, može se objasniti time što je vibriranjem dobijen homogeniji raspored elemenata u primarnoj strukturi odnosno ravnomerniji raspored magnezijuma u matričnoj osnovi, dobijeno je sitnije zrno, pa je efekat termičke obrade bio veći.

INFLUENCE OF PRIMARY STRUCTURE ON MECHANICAL PROPERTIES OF Al-Mg AFTER HET TREATMENT

SUMMARY

In this paper the influence of primary structure on increase of tensile strenght of Al-Mg after heat treatment has been investigated. The change of primary structure was achieved by vibration during cristalisation.

By planed experimental work the influence of primary structure of Al-Mg on tensile strenght for different parameters of heat treatment was determined.

It was concluded that the most important influence on tensile strenght has the vibration during casting and the time of ageing.

Literatura:

1. Altenpohl, D.: Aluminium und Aluminiumlegierung, Berlin 1960
2. Mondolfo L.F. Aluminium Alloys, London 1976
3. Aristova N.A. .. Termičeska i obrabotka liteinih aluminievih splavov, Moskva 1977
4. Kovač R. Uticaj mehaničkih oscilacija na formiranje strukture legura aluminijuma Novi Sad 1980 (doktorska disertacija)

ANALIZA PADA PRITISAKA U KALUPNOJ ŠUPLJINI PRI UBRIZGAVANJU PLASTOMERA

Dr Dragoljub B. Lazarević, docent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu Mr Miroslav R. Radovanović, asistent Mašinskog fakulteta Univerziteta u Nišu

1. UVOD

Zadatak ulivnog sistema je da dovede rastopinu plastomera od mlaznice mašine do kalupne šupljine alata, sa minimalnim gubitkom pritiska. Istovremeno količina materijala u ulivnom sistemu mora biti minimalna, jer se ulivni sistem odvaja od gotovog dela kao otpadak, izuzimajući alate sa grejanim kanalima, pa predstavlja gubitak plastomera, a samim tim se smanjuje i proizvodnost ubrizgavalice.

U cilju poboljšanja punjenja kalupne šupljine, sa aspekta omogućavanja da potrebna količina rastopine plastomera istovremeno dođe u sve forme kalupne šupljine, u radu je analiziran pad pritiska na putu tečenja rastopine plastomera od ulivnog kanala do forme kalupne šupljine.

2. ULIVNI SISTEM ALATA ZA UBRIZGAVANJE PLASTOMERA

Ulivni sistem alata za ubrizgavanje plastomera sastoji se od (1), (2), (3): a- ulivnog kanala, b- razvodnih kanala, koji mogu biti: b - glavni razvodni kanali i b - pomoćni razvodni kanali, i c - ušća (Slika 1).

Po svom obliku razvodni kanali se uglavnom izvode: kružnog, polukružnog, pravougaonog i trapeznog poprečnog preseka. Kriterijum konstrukcije uslovljava da svi kanali moraju da imaju dovoljno veliki presek, da ne bi došlo do očvršćavanja plastomera pre nego što je forma dela popunjena i pre no što je delovao naknadni pritisak za kompenzaciju skupljanja dela. Dimenzije kanala ne smeju biti ni prevelike, kako ciklus hlađenja ne bi morao biti povećan radi hlađenja kanala.

Pritisak u kalupnoj šupljini je veći pri nižim temperaturama rastopine i negativno utiče na opterećenje mašine za ubrizgavanje, kao i alata. Pri konstruisanju kalupa treba primenjivati što je moguće kraće razvodne kanale, time se skraćuje potrebno vreme da plastomer dođe do

kalupne šupljine, a samim tim rastopina na svom putu kroz kanale ima manju viskoznost. Koeficijent viskoznosti zavisi od temperature koja se menja u sistemu razvodnih kanala (temperatura opada). Ovo smanjenje temperature direktna je funkcija dužine razvodnih kanala i brzine ubrizgavanja. Gubici toplote uslovljavaju promenu prečnika razvodnih kanala, jer se na površini zida razvodnih kanala hvata tanak rashladni sloj, koji postaje sve deblji što se više udaljava od ulivnog kanala.

Kod alata sa više formi kalupne šupljine, kada je razvodni kanal napunjen rastopinom plastomera, forma kalupne šupljine koja je najbliža ulivnom kanalu biće prva napunjena. Sledeća forma počće da se puni onda kada se otpor u prvoj formi izjednači sa otporom ušća sledeće forme kalupne šupljine. To može prouzrokovati nagomilavanje plastomera u gravurama bližim ulivnom kanalu i pomanjkanje plastomera u gravurama koje su udaljenije od ulivnog kanala. To se otklanja na taj način da se ušća koja su udaljenija od ulivnog kanala, progresivno povećavaju i da koliko je to moguće, istovremeno počne punjenje svih gravura šupljine. Ako se hoće da se sve gravure alata pune istovremeno, onda sistem ušća i razvodnih kanala mora biti izbalansiran, tj. pad pritiska (gubitak pritiska) kroz sistem svakog razvodnog kanala i ušća mora biti jednak. Preporučuje se da se svaka gravura puni svojim vlastitim kanalom. U slučaju kad ovo ne dozvoljavaju mogućnosti, onda mora da presek glavnog razvodnog kanala bude jednak, ili bolje nešto veći od zbira preseka kanala, koji se od njega granaju. Razvodne kanale treba voditi tako, da su promene toka rastopine što manje, a tim u vezi manji je i pad pritiska (manji su lokalni gubici). Takođe razvodni kanali moraju biti polirani do ogledalastog sjaja u smeru tečenja rastopine. Minimalno trenje dozvoljava ubrizgavanje rastopine plastomera sa manjim pritiskom, čime omogućeno ubrizgavanje delova većih površina, osiguravajući istovremeno savršeno zatvaranje alata za vreme ubrizgavanja.

Na osnovu gore datog može se uzeti da pritisak u kalupnoj šupljini (pad pritiska) zavisi od:

- trenja na pravolinijskom delu kanala, tj. od dužine kanala,
- lokalnih gubitaka (krivine, nagli prelazi i td.),
- gubitka toplote tokom punjenja kalupne šupljine,
- brzine ubrizgavanja (veća brzina ubrizgavanja - brže ustrujava rastopina pa neće da dođe do velikog pada temperature - manji je efekt očvršćavanja),
- toka hidrauličnog pritiska.

3. PAD PRITISKA NA PUTU TEČENJA PLASTOMERA

Pad pritiska na pravolinijskom delu puta tečenja plastomera kroz razvodne kanale, kružnog poprečnog preseka, može se odrediti pomoću obrasca (5), (6):

$$\Delta p = \left(\frac{\mu \cdot Q \cdot 2^n (n+3) \cdot L}{\pi \cdot R^{n+3}} \right)^{1/n} \quad [Pa] \quad (1)$$

gde je:

μ [Pa · s] - dinamička viskoznost čije se vrednosti daju tabelarno ili u obliku dijagrama kao funkcija brzine smicanja,

Q [mm³/s] - zapreminski protok plastomera,

L [mm] - dužina pravolinijskog dela razvodnog kanala odgovarajućeg prečnika,

R [mm] - poluprečnik odgovarajućeg dela razvodnog kanala,

n - indeks tečenja, koji se daje tabelarno ili u obliku dijagrama kao funkcija brzine smicanja.

Pored pada pritisa koji se javljaju na pravolinijskim delovima ulivnog sistema, javljaju se gubici pritisa i usled lokalnih otpora. Lokalni gubici pritiska na putu tečenja plastomera, javljaju se usled: 1) naglih suženja, 2) naglih proširenja, 3) krivina, 4) ukrštanja kanala i td. Lokalni gubici pritisa uzimaju se preko koeficijentata lokalnih gubitaka (α) i to kao delovi kinetičke energije pomoću obrasca:

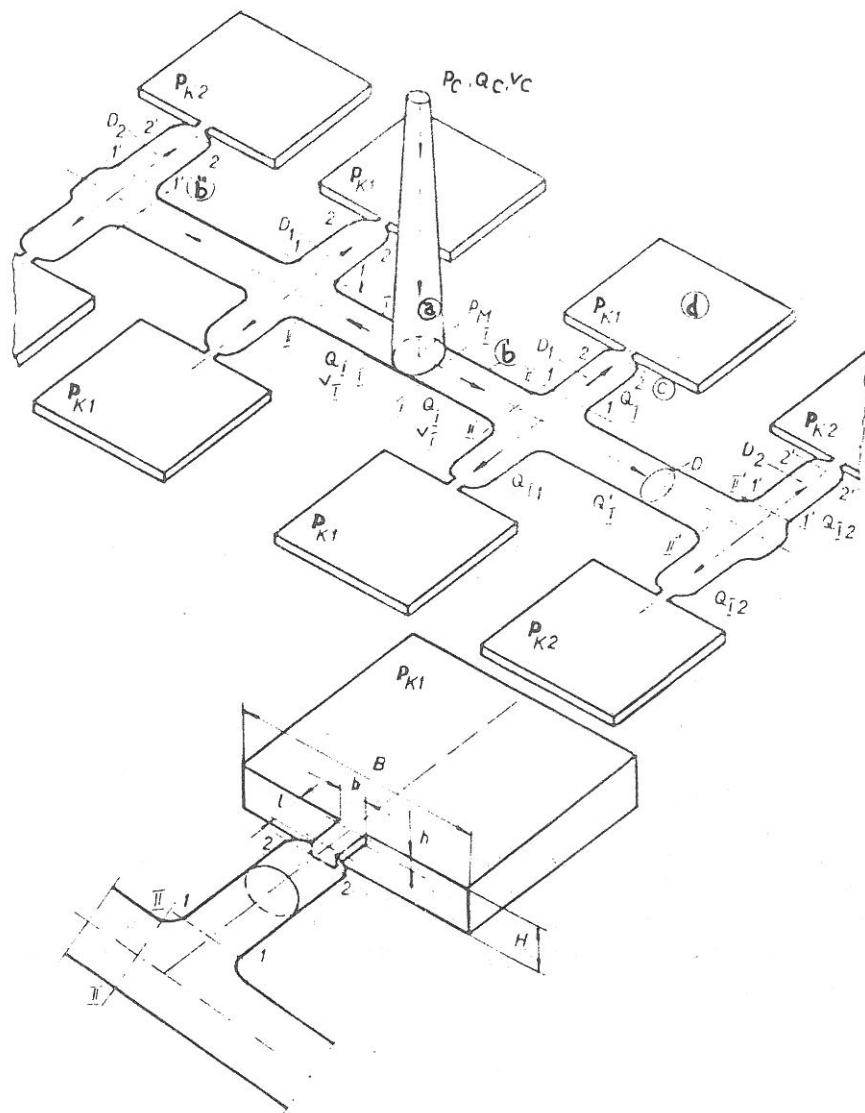
$$\Delta p = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} \cdot \gamma \quad (2)$$

Koeficijenti lokalnih gubitaka (α) određuju se eksperimentalno. U izuzetnim slučajevima, kao naprimer pri naglom proširenju preseka, mogu se koeficijenti odrediti teorijski [18]. Ukupni pad pritiska na putu tečenja rastopine plastomera u kalupnoj šupljini jednak je zbiru svih padova pritisa na pravolinijskim delovima i svim padovima pritisa usled lokalnih gubitaka (8):

$$\Delta p = \sum_{i=1}^n \Delta p_i + \sum_{i=1}^m \Delta p_i \quad (3)$$

4. PRIMER ODREĐIVANJA PADA PRITISKA

Primena gore opisanog pristupa određivanja pada pritiska, odnosno određivanja pritiska u formi kalupne šupljine, pokazaće se na ulivnom sistemu alata sa više formi istog dela od plastomera. Na slici 1 prikazan je ulivni sistem sa osam formi kalupne šupljine na kome će se uopšteno praktično pokazati način određivanja pada pritiska, odnosno izračunavanje pritiska u pojedinim delovima kalupne šupljine.



SI.1. Ulivni sistem sa osam kalupnih šupljina

Zapreminski protok plastomera kroz ulivni kanal: $Q_C = v_u \cdot A_c$.

Zapreminski protok plastomera kroz glavne razvodne kanale:

$$Q_I = Q_{C/2} = 2Q_{I1} = 2Q_{I2} = 2Q_{I1} + Q_I$$

Zapreminski protok plastomera kroz pomoćne razvodne kanale: $2Q_{I1} = Q_I - 2Q_{I2}$. Pad

pritiska u ulivnom kanalu: $\Delta p^{c-m} = \xi_6 \cdot (v_c^2/2) \cdot \rho$

Pritisak na kraju ulivnog kanala (M): $p_M = p_C - \Delta p_{C-M}$.

Pad pritiska na prelazu ulivnog kanala u glavni razvodni kanal (M-I):

$$\Delta p_{M-I} = \xi_4 (v_M^2/2) \cdot \rho$$

Pritisak u preseku (I-I): $p_I = p_M - \Delta p_{M-I}$

Pad pritiska na pravolinijskom delu glavnog razvodnog kanala do pomoćnog razvodnog kanala (I-II)

$$\Delta p_{I-II} = \left(\frac{\gamma \cdot Q_I \cdot 2^n (n+3) \cdot L_{I-II}}{\pi \cdot (D/2)^{n+3}} \right)^{1/n}$$

Pritisak u preseku (II-II): $p_{II} = p_I - p_{I-II}$

Pad pritiska usled lokalnog gubitka koji se javlja usled krivine kanala, tj. usled promene pravca strujanja: $p_{II-1} = \xi_5 \cdot v^2/2$.

Pritisak neposredno posle krivine kanala (1-1): $p_1 = p_{II} - p_{II-1}$.

Pad pritiska na pravolinijskom delu pomoćnog razvodnog kanala (1-3):

$$\Delta p_{1-2} = \left(\frac{\gamma \cdot Q_{I1} \cdot 2^n (n+3) \cdot L_{1-2}}{\pi \cdot (D_1/2)^{n+3}} \right)^{1/n}$$

Pritisak u preseku 2: $p_2 = p_1 - p_{1-2}$.

Pad pritiska usled lokalnog gubitka koji se javlja usled naglog suženja pomoćnog razvodnog kanala na presek ušća: $p_{2-u1} = \xi_3 \cdot v \cdot (v^2/2) \cdot \rho$

Pritisak na početku ušća (U1): $\Delta p_{u1} = P_2 - \Delta p_{3-u1}$.

Pad pritiska na pravolinijskom delu ušća (U1-U2):

$$\Delta p_{u1-u2} = \left(\frac{\eta \cdot Q_{u1} \cdot 2^n (n+3) \cdot L_{u1-u2}}{\pi \cdot R_h^{n+3}} \right)^{1/n} \text{ gde je: } R_h = \frac{b \cdot h}{2b + 2h}$$

Pritisak u preseku (U2): $p_{u2} = p_{u1} - \Delta p_{u1-u2}$.

Pad pritiska usled naglog proširenja, tj. na prelazu upća u kalupnu šupljinu (2-K):

$$\Delta p_{2-K} = \xi_1 \cdot (v^2/2) \cdot \rho$$

Pritisak u kalupnoj šupljini p_{k1} : $p_{k1} = p_{u2} - p_{2k}$.

Ukupni pad pritiska od cilindra za topljenje do forme kalupne šupljine:

$$\Delta p_1 = p_c - p_{k1}$$

Sličnim postupkom može se odrediti pritisak u formi kalupne šupljine p_{k2} , kao i odgovarajući pad pritiska Δp_2 . Prema tome, ovim postupkom može se odrediti pritisak kao odgovarajući pad pritiska u bilo kom delu kalupne šupljine. Gore navedeni pristup određivanja pritiska omogućuje konstrukciju razvodnih kanala i ušća (određivanje dimenzija) prema konstantnom padu pritiska, tj. u ulivnom sistemu moguće je izvršiti zahvate koji će omogućiti da željena količina rastopine istovremeno dođe u sve forme kalupne šupljine.

5. ZAKLJUČAK

Proučavanje punjenja neizbalansiranih kalupnih šupljina potvrđuje da je punjenje formi kalupnih šupljina iznutra prema spolja. Da bi se sprečilo prekomerno punjenje unutrašnjih formi kalupnih šupljina, moraju se na odgovarajući način prigušiti struje rastopine koje teku prema njima. To se može rešiti pravilnim izborom dimenzija razvodnih kanala i ušća, ili pak ugradnjom prigušnice. Punjenje kalupne šupljine, nakon ovih zahvata, potvrđuje dobre rezultate balansiranja. Spoljašnje i unutrašnje forme kalupne šupljine pune se gotovo istovremeno. Na taj način sprečeno je prekomerno punjenje unutrašnjih vormi i vremensko neujednačeno pečenje (otvrdnjavanje) ušća.

LITERATURA

1. Eles-Ljubić, V., Konstrukcijski plastomeri, ITS-Belišće, 1-1987. god.
2. Menges G., Anleitung für den Bau von Spritzgießwerkzeugen, München, 1974. god.
3. Nad M., Termoplastične mase, prerada postupkom injekcionog prešanja, Publicitas, Zagreb, 1974. god.
4. Nad M., Inženjerski plastomeri, ITS-Belišće, 5-1984. god.
5. Bernhardt E., Processing of thermoplastic materials, London, 1965. god.
6. Boes D., Reološko konstruiranje kalupa za injekciono prešanje, Savetovanje "kalup-središnji element proizvodne linije za preradu polimera" Zagreb, 1986. god.
7. Voronjec K., Obradović N., Mehanika fluida, Građevinska knjiga, Beograd, 1970. god.

D. Lazarević, M. Radovanović

ANALYSIS OF RHE PRESSURE DROP IN THE MOLD CAVITY WHILE INJECTING TERMOPLASTIC

Abstract

In order to improve filling of the mould cavity by providing that a necessary quantity of the termoplastic solution should enter at the same time to all the forms of the mould cavity, this paper analyses the pressure drop on the flow way from the inlet channel to the mould cavity. The study of filling non-balanced mould cavities confirms that their filling leads from the internal to the external parts of the mould. In order to prevent excessive filling of the mould cavity internal forma, the currents of the termoplastic solution flowing to them should be damped in an appropriate way. This can be solved by the proper choice of the distribution channels and of the estuary or by installing the dampers. In doing this, the distribution channels and estuary should be designed according to the constant pressure drop, that is, the inlet system should be modified in such a way as to enable the desired quantity of the solution to reach simultaneously all the parts of the mould cavity form.

RAZVOJ PODLOGA ZA IZGRADNJU EKSPERTNOG SISTEMA ZA PROJEKTOVANJE POSTUPKA ELEKTROOTPORNOSTOG TAČKASTOG ZAVARIVANJA

A CONTRIBUTION TO DEVELOPMENT OF EXPERT SYSTEM FOR THE DESIGN OF PROCEDURES FOR RESISTANCE SPOT WELDING

*Lazar Brestovački; Jovica Dakić
FTN Institut za proizvodno mašinstvo,
Novi Sad, V. Perića Valtera 2.*

REZIME

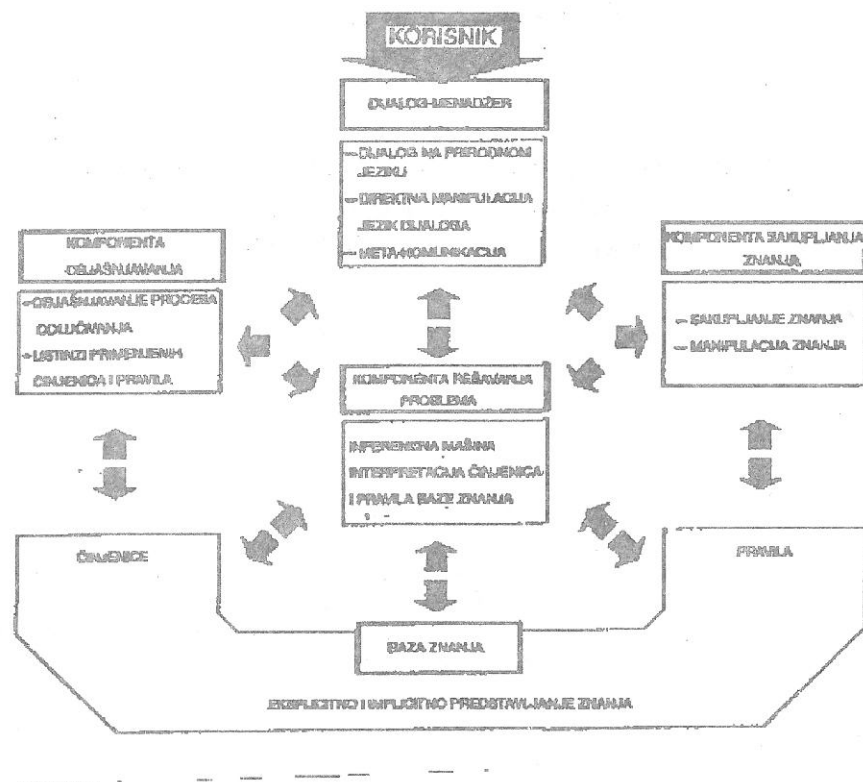
Primena ekspertnog sistema u problematiki projektovanja elektrootpornog tačkastog zavarivanja kreće se u dva smera: određivanje režima tačkastog zavarivanja i izbor opreme za određene režime zavarivanja. U okviru ovoga rada nudi se model izgradnje ekspertnog sistema za projektovanje postupka elektrootpornog tačkastog zavarivanja po modularnom principu.

SUMMARY

Application of expert system in area of designing procedures for resistance spot welding is going in two directions: defining welding procedure and selection of equipment for appropriate welding procedures. This paper gives a model for developing of expert system for designing of resistance spot welding procedures based on modular approach.

1.0. UVOD

Veštačka inteligencija je naučna grana koja se bavi metodama, tehnikama, alatima i arhitekturom za rešavanje logički kompleksnih problema koje bi bilo teško ili čak nemoguće rešiti klasičnim metodama. Veštačka inteligencija je razvila tehnike i metode koje su postale opšte upotrebljive u raznovrsnim aplikacijama, među kojima su najpoznatiji i najuspešniji ekspertni sistemi. Inteligencija ekspertnih sistema bazira na velikim bazama znanja formiranim na osnovu znanja i iskustva brojnih stručnjaka-eksperata. Principijelna struktura ekspertnog sistema prema /1/ je data na slici 1.



Slika 1. Principijelna struktura ekspertnog sistema /1/

Korisnik ekspertnog sistema do rešenja problema dolazi postepeno kroz dijalog sa računarom uz elementarno poznavanje materije i rada sa računarom.

2.0. ELEKTROOTPORNO ZAVARIVANJE

Elektrootporno zavarivanje je postupak zavarivanja pritiskom bez korišćenja dodatnog materijala kod koga se toplota potrebna za ostvarivanje zavarenog spoja razvija usled omskog otpora osnovnog materijala proticanju električne struje (Džulov efekat).

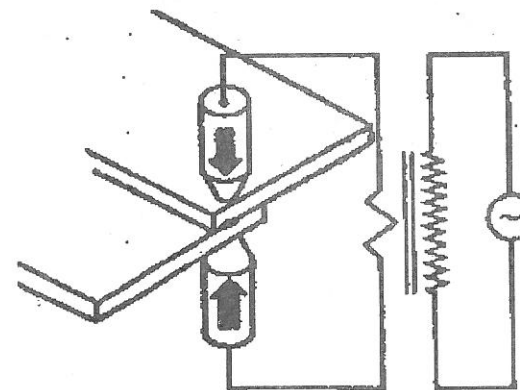
Vrste elektrootpornog zavarivanja prema obliku zavarenog spoja su:

- sučeono (zbijanjem i varničanjem)
- preklopno (tačkasto, bradavičasto i šavno)

Postupci elektrootpornog tačkastog zavarivanja se široko primenjuju u proizvodnji građevinske armature, karoserijskoj industriji itd.

2.1. ELEKTROOTPORNO TAČKASTO ZAVARIVANJE

Elektrootporno tačkasto zavarivanje predstavlja najrasprostranjeniji postupak zavarivanja električnim otporom i primenjuje se za zavarivanje limova i žice (pri čemu se ne obezbeđuje nepropusnost spoja). Šematski prikaz ovog postupka prema /2/ dat je na slici 2.



Slika 2. Šematski prikaz postupka elektrootpornog tačkastog zavarivanja/2/

Elektrootporno tačkasto zavarivanje je potpuno određeno:

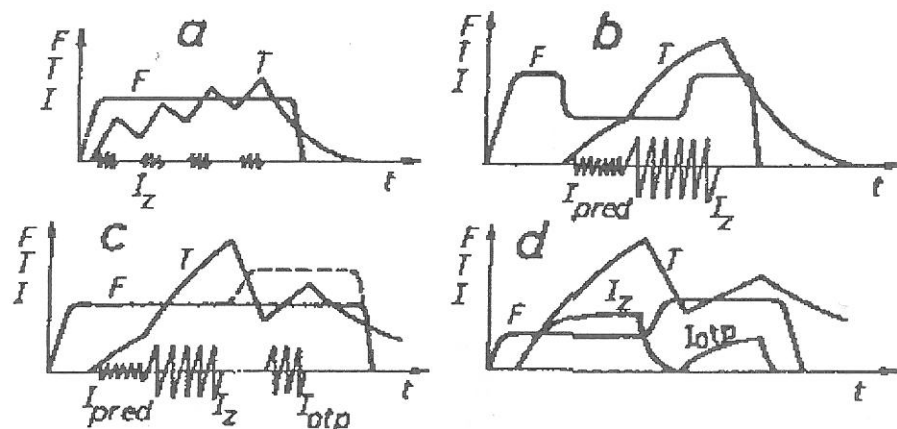
-skupom konkretnih vrednosti parametara zavarivanja koji definišu režim zavarivanja (slika 3.) i

-opremom na kojoj se izvodi režim zavarivanja.

Određivanje konkretnih vrednosti parametara elektrootpornog tačkastog zavarivanja podrazumeva poznavanje:

- varijante procesa i tehnološkog postupka,
- postupka određivanja parametara,

- osnovnog materijala (vrsta ,oblik ,dimenzije ,stanje površine),
- mehaničkih karakteristika zavarenog spoja,
- željene klase zavarene tačke,
- potrebnog spoljašnjeg izgleda zavarenog spoja,
- strukture i količine proizvoda u proizvodnom programu,
- raspoložive opreme,...



Slika 3. Primeri najčešće korišćenih režima zavarivanja/3/

Parametri režima elektrootpornog tačkastog zavarivanja su:

- sila između elektroda (F),
- struja zavarivanja (I_z),
- vreme zavarivanja (t_z),
- vreme predpritiska,
- vreme držanja,
- oblik i dimenzije elektroda itd.

Oprema na kojoj se izvođe određeni parametri režima elektrootpornog tačkastog zavarivanja mora biti odgovarajuća.

Optimizacija parametara režima zavarivanja treba da bude izvršena s obzirom na karakteristike raspoložive opreme.

3.0. MODELIRANJE BAZE ZNANJA EKSPERTNOG SISTEMA

Modeliranje baze znanja ekspertnog sistema za projektovanje postupka elektrootpornog tačkastog zavarivanja je izvršeno po modularnom principu i ima sledeće module:

- određivanje parametara režima zavarivanja i
- izbor opreme za određene parametre režima zavarivanja.

Oba modula koriste velike baze podataka o:

- materijalima (vrste ,hemijski sastav ,mehaničke ,električne toplotne ,magnetne ,tehno-
- loške osobine i drugo),
- konstantama ,varijantama i oblicima parametara,
- postupcima određivanja parametara režima zavarivanja i
- klasifikovanoj raspoloživoj i novoj opremi (karakteristike ,
- proizvođači ,marke i modeli).

Podloga za izgradnju ekspertnog sistema je data na slici 4.

Formalizovano ekspertno znanje i iskustvo oslanja se na razvijene baze podataka u bazama znanja a dato je u obliku pravila za:

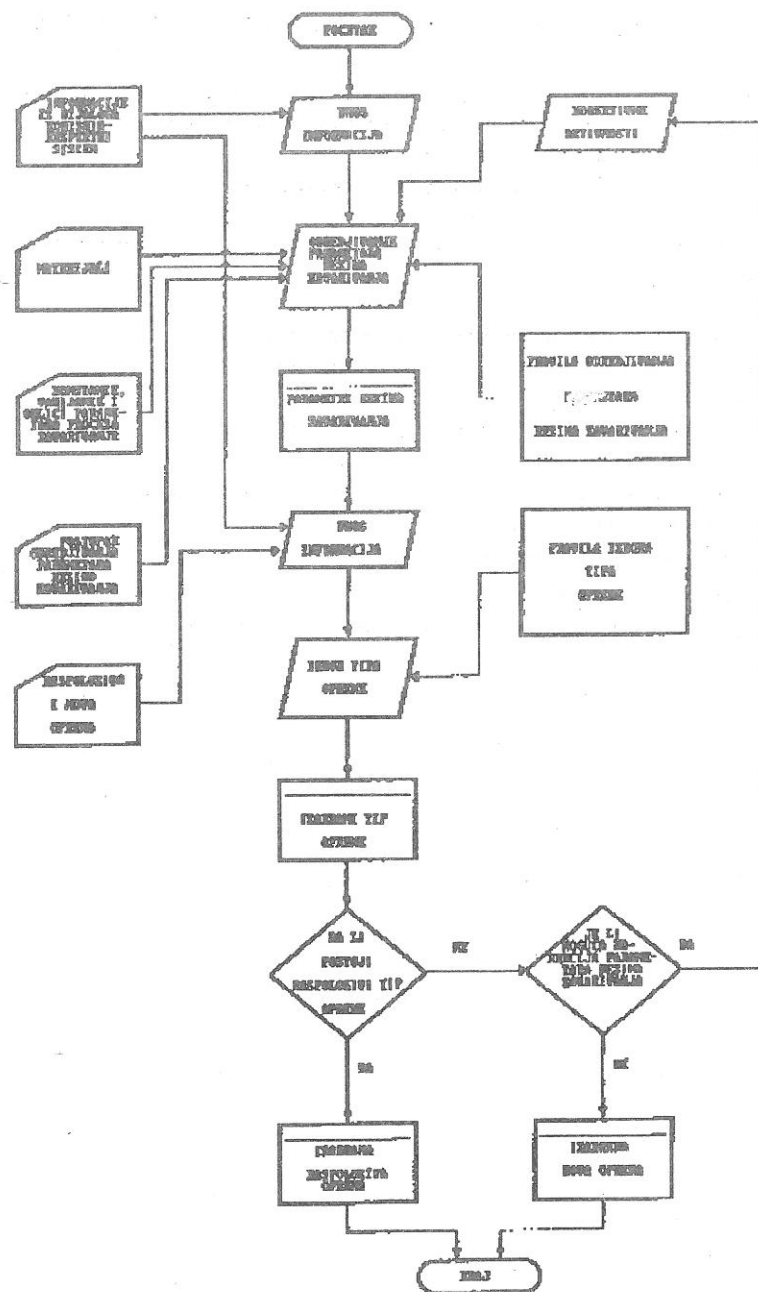
- određivanje parametara režima zavarivanja i
- izbor odgovarajuće opreme za već određene parametre režima zavarivanja.

Određeni segmenti ovako modeliranog ekspertnog sistema su za korisnika "crna kutija" (black box).

Nailaskom na čvor odlučivanja kada postoji više alternativnih jednako optimalnih rešenja odluku o izboru rešenja donosi korisnik u interakciji sa računarom.

Izlazne veličine procesirane u ekspertnom sistemu kroz dijalog korisnika i računara pojavljuju se na izlazima iz modula kao pregledi unetih informacija u dijalogu i:

- određenih parametara režima zavarivanja ,odnosno
- izabranog tipa opreme za izvođenje postupka zavarivanja.



Slika 4. Postupak donošenja odluka u okviru ekspertnog sistema

4.0. ZAKLJUČCI I PRAVCI DALJEG RAZVOJA

Uz pomoć ovako modeliranog ekspertnog sistema za projektovanje procesa elektrooptičnog tačkastog zavarivanja postiže se optimalno iskorišćavanje stručnih znanja i iskustava akumuliranih na ovom području kod relativno malog broja eksperata i njihovo stavljanje na raspolaganje svim ljudima koji se bave ovom problematikom. Modularni princip gradnje ekspertnog sistema dozvoljava proširenja i racionalizacije postojećih modula, gradnju novih modula i segmentno korišćenje. Kvalitet rešenja problema dobijenih korišćenjem ovakvog ekspertnog sistema je vrlo visok jer je rešenje dobijeno uz uzimanje u obzir svih zahteva i ograničenja obradom većeg broja alternativnih rešenja.

Dalji rad na ovoj problematici podrazumeva razvoj navedenih modula ekspertnog sistema a kasnija faza razvoja išla bi u pravcu proširivanja postojećih baza znanja (podataka, činjenica i pravila) i transformaciju u ekspertni sistem koji bi pokrio kompletno područje zavarivanja.

5.0. LITERATURA

- /1/ I. Ćosić: DEVELOPMENT OF A KNOWLEDGE-BASED SYSTEM FOR THE CONFIGURATION OF ASSEMBLY SYSTEMS ,Stuttgart-Brussels ,1991.
- /2/ D. Zelenović ,I. Ćosić ,M. Simić: POSTUPCI MONTAŽE ,NAUKA , Beograd ,1991.
- /3/ V. Palić: ZAVARIVANJE ,FTN Novi Sad ,Novi Sad ,1987.
- /4/ D. Zelenović: PROJEKTOVANJE PROIZVODNIH SISTEMA ,NAUČNA KNJIGA, Beograd ,1987.
- /5/ D. Zelenović ,I. Ćosić: MONTAŽNI SISTEMI ,NAUKA ,Beograd ,1991.
- /6/ S. urić ,D. Marković: PRIMENA RAČUNARA ZA AUTOMATSKU RAZRADU TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA ,ZAVARIVAČ BR 1/91 str 19-24., Beograd ,1991.
- /7/ Z. Damjanović ,M. Gordić ,Z. Rahle ,V. Bezjak , Lončar: PRIRUČNIK ZA ZAVARIVANJE ,ELEKTRODA ,Zagreb ,1987.

PRILOG OCENI POSTOJANOSTI ELEKTRODA ZA TAČKASTO ZAVARIVANJE

*D.Adamović, M.Jovanović, B.Jeremić, O.Stojanović**

Rezime

U prvom delu ovog rada razmatrani su kriterijumi za ocenu postojanosti elektroda za takasto zavarivanje. Dalje se daju rezultati naših ispitivanja dobijeni u laboratorijskim uslovima, za elektrode izradjene bilo rezanjem ili postupkom prerade na hladno.

Abstract

The criteria for the estimation of durability of electrodes for resistance of spot welding are considered in the first part of this paper. In addition, the test results obtained in laboratory conditions are presented for the electrode made either by cutting or by cold working.

Uvod

Tokom ciklusa zavarivanja, elektrode ostvaruju neposredan kontakt sa limovima koji se zavaruju prenoseći silu pritiska, provode struju zavarivanja i odvođe veći deo toplote oslobođene u limovima. Pod dejstvom ovakvog cikličnog termomehanikog naprezanja, radni deo elektrode menja oblik i veličinu. Da bi se smanjio uticaj toplote na promenu strukture, mehaničkih osobina i geometrije, elektrode se prinudno hlade tekućom vodom, mada se ostrim naizmeničnim zagrevanjem i hladjenjem stvaraju dopunska termička naprezanja, što uz ciklično delovanje pritiska dovodi do zamaranja materijala. U elektrodama nastaju elastične i plastične deformacije

* *Dragan Adamović, dipl. ing. Mašinski fakultet Kragujevac*
Dr Milorad Jovanović, red. prof., Mašinski fakultet Kragujevac
Dr Branislav Jeremić, docent, Mašinski fakultet Kragujevac
Oliver Stojanović, ing., DD Zastava Kragujevac

promenljivog intenziteta, otpuštanje i rekristalizacija, starenje, oksidacija površine i razaranje. Ove pojave se odvijaju istovremeno i delujući jedna na drugu otežavaju ocenu ponašanja materijala. Neminovnom oksidacijom radnih površina elektroda povećava se kontaktna otpornost između lima i elektrode, usled čega se poveća i temperatura dodirnih površina, što može da dovede i do lokalnog zavarivanja elektrode za zavarivani lim. Zbog naizmeničnog naprezanja na pritisak, u materijalu elektrode mogu nastati mikro naprsline čije je širenje obezbeđeno daljim periodičnim delovanjem termičkog i mehaničkog opterećenja; da bi se sprečili nastanak i širenje prslina, elektrode treba izradjivati od plastičnih materijala koji nisu osetljivi na koncentraciju naprezanja.

Pri zavarivanju lakih legura i čelinih limova zaštićenih metalnim prevlakama poseban problem predstavlja prljanje radne površine elektroda koje je posledica uzajamnog legiranja materijala elektrode i lima pod dejstvom povišene temperature i pritiska. Na primer pri zavarivanju pocinkovanog čelika, već nakon nekoliko tačaka na površini elektrode nastaje sloj legure CuZn ija je elektroprovodljivost veoma mala.

Materijali za elektrode, njihova izrada i oblici

Uslovi rada elektroda određuju zahteve koje treba da ispune materijali za izradu elektroda: pošto elektrode dovode struju zavarivanja, mora se koristiti materijal velike električne provodljivosti; temperatura i pritisak na radnim površinama su visoki, pa elektrode moraju imati dovoljno visoku čvrstoću na povišenim temperaturama i temperaturu rekristalizacije kako se ne bi deformisale, itd.

Kao materijal za izradu elektroda koriste se:

- razne legure bakra i (Cu-Cr, Cu-Cr-Zr) i
- teško topljivi metali.

U početku primene tačkastog zavarivanja elektrode su izradjivane livenjem koje omogućava potpuno iskorišćavanje materijala, ali je uz veliki procenat škarta i rdjave mehaničke osobine usled nepovoljne strukture; stoga se livenje održalo još samo za izradu elektroda složenog oblika i krakova klešta visećih aparata za tačkasto zavarivanje.

Drugi najviše primenjivan način izrade elektroda je mašinska obrada rezanjem, mada je gubitak materijala veliki i dugo vreme izrade. Kao polazni materijal koriste se termički obradjene šipke. Ovakav način obrade pogodan je za prave elektrode, nosače i vrhove elektroda (pipke i kapice).

Oblikovanje deformisanjem je treći način izrade elektroda i može biti:

- kovanje ili presovanje, primenjuje se za prave i krive elektrode i vrhove elektroda;
- savijanje, koje se koristi za izradu savijenih-krivih elektroda;
- i istiskivanje pogodno za prave elektrode i vrhove.

Najčešće korišćene elektrode su standardizovane (npr., DIN 44750) i mogu biti prave, kose ili savijene. Zavisno od geometrije obratka, elektrode mogu biti centrične i ekscentrične, a prema načinu pričvršćivanja na nosač ili adapter mogu biti sa cilindričnim ili koničnim krajem, pri čemu konus može biti spoljašnji ili unutrašnji, kao i prilagodjen za privrščavanje navrtkom.

Teško topljivi materijali koriste se samo za izradu umetaka pri čemu je telo elektrode od legure CuCr ili CuCrZr. Oblik ovih elektroda može biti isti kao i kod elektroda koje se cele

izradjuju od legura bakra, a umeci se mogu zaviti ili upresovati u telo, zalemiti ili pak pričvrstiti navrtkom.

Kriterijumi za ocenu postojanosti elektroda

S obzirom na cenu samih elektroda i gubitaka koje u velikoserijskoj proizvodnji, naročito robotima i automatskim linijama, prouzrokuju česti zastoji zbog oštrenja ili zamene elektroda, to se teži njihovom što dužem radnom veku. Zbog toga su razvijene metode za određivanje postojanosti elektroda. Ispitivanja su se u početku ograničavala na osobine elektrodnog materijala na temperaturi ambijenta (elektrina i toplotna provodljivost, tvrdoća i čvrstoća), ali zbog promene svojstva materijala sa promenom temperature, ciklus zavarivanja je simuliran tako što su vršena ispitivanja na povišenim temperaturama, čime je dobijen uvid u pad mehaničkih osobina u zavisnosti od temperature, ili su ispitivanja vršena na sobnoj temperaturi nakon zagrevanja, čime je određivana termička stabilnost materijala.

Kako su ovakva ispitivanja veoma statična i termički i mehanički ne imitiraju verno ciklus zavarivanja koji je veoma dinamičan i u kome se pored temperature i vremena, kao uticajni faktori javljaju i naponi prouzrokovani silom pritiska i temperaturskim gradijentom, razvijen je niz laboratorijskih metoda za određivanje postojanosti elektroda. Sve ove metode su uporedne, a dobijeni rezultati zavisni od uslova ispitivanja i oblika ispitivanih elektroda iskazuju se ili padom tvrdoće radnog dela elektrode ili promenom geometrije elektrode ispoljene bilo skraćanjem elektrode ili povećanjem njene kontaktne površine.

Povećanje površine radnog dela elektrode dovodi do smanjenja gustine struje i mehaničkog pritiska, pa se time pogoršava kvalitet zavarenog spoja. Zbog toga se postojanost elektroda određuje na osnovu:

- povećanja prečnika otiska vrha elektrode,
- smanjenja nosivosti zavarenog spoja,
- smanjenja prečnika iščupanog dugmeta i
- povećanje struje zavarivanja potrebne za ostvarenje spoja određenih dimenzija.

Sem navedenih postoji još čitav niz redje korišćenih metoda sa različitim pokazateljima postojanosti prilagodjenih obliku elektroda.

Merenje prenika vrha elektrode d_e je najjednostavnija, pa zbog toga i najrasprostranjenija metoda. Optimalnim parametrima (I_z , P_e , t_z) koji su određeni na početku i odravaju se nepromenjeni tokom celog ispitivanja, zavaruju se limovi određene debljine i kvaliteta. Prema preporuci MIZ-a, biraju se dva režima zavarivanja koji moraju ležati u području zavarljivosti: jedan nepovoljan, sa dugim vremenom i velikom jačinom struje zavarivanja, i drugi, povoljan, sa kratkim vremenom i malom strujom. Nakon svakih 500 ili 1000 zavarenih tačaka uzima se otisak kontaktnih površina u olovu ili pomoću indigo papira, meri i dobijene vrednosti unose u dijagram. Kriterijum postojanosti je broj ostvarenih spojeva do povećanja prečnika vrha elektrode za 20%. Ova metoda je dugotrajna i nije dovoljno pouzdana, jer usled nehomogenosti materijala elektroda ili oštećenja zbog nepažljivog zavarivanja, kontaktna površina može biti reljefna, što za posledicu ima otežano merenje i netačne rezultate.

Slična je i metoda merenja promene prečnika livenog jezgra d_j , gde je kriterijum broj spojeva do smanjenja prečnika sočiva na 80% prvobitne vrednosti. Uticaj oštećene elektrode je

delimično otklonjen ali je i ona dugotrajna: treba zavariti 10 do 15 hiljada tačaka brzinom 60 tačaka u minuti. Prečnik livenog jezgra može se meriti na dva načina: metalografski, na izbrusku poprečnog preseka spoja, što je nepovoljnije jer zahteva sečenje, poliranje i nagrivanje pri čemu dobijena površina mož i da ne bude meridijalna, i merenjem dugmeta "otkopanog" razaranjem zavaranih uzoraka.

Merenjem sile razaranja F_r zavaranih uzoraka nakon određenog broja ostvarenih spojeva (npr. posle svakih 500 tačaka) određuje se postojanost kao vreme zavarivanja izraženo u časovima neprekidnog rada pri kome je sila kidanja zavarjenog spoja, veća od propisane minimalne vrednosti.

Znatno brža metoda je tzv. "proba 2000": prvo se povećavanjem struje zavarivanja, uz konstantne ostale parametre, odredi jalina struje zavarivanja pri kojoj se bez ispljuskivanja ostvaruje liveno jezgro najvećeg prečnika. U tu svrhu se razaraju specijalno pripremljeni uzorci. Posle 2000 spojeva zavaranih brzinom 30 ili 60 taaka u minuti ponovo se određuje maksimalna veličina dugmeta i jačina struje zavarivanja pri kojoj nema ispljuskivanja. Veu postojanost, razumljivo, ima elektroda kod koje je povećanje struje manje, jer je i proširenje radnog dela elektrode u tom slučaju manje.

Metoda merenja tvrdoće je jednostavna metoda zasnovana na smanjenju tvrdoće radnog dela elektrode pod uticajem ciklinog ponavljanja visoke temperature pri zavarivanju. Tvrdoća se meri metodom po Vickersu pre zavarivanja i posle određenog broja tačaka, tako da se do ostvarenja 100 spojeva izvrši najviše 8 merenja. Unošenjem dobijenih vrednosti u logaritamski koordinatni sistem dobija se kriva ija tačka infleksije određuje kritičan broj zavaranih spojeva n_k . Apsolutna velična postojanosti je definisana izrazom:

$$N = 22n_k^2$$

U "Ford Motor Company" primenjuje se metoda slična prethodnoj, nazvana "proba 93". Tvrdoće se prema Rokvelu, metodom B, mere u centru radne površine elektrode pre zavarivanja i posle prve, treće, osme, 18., 43. i 93. zavarene tačke. Upoređivanjem dobijenih vrednosti koje se mogu predstaviti tabelarno ili grafički, sudi se o tome koji je od ispitivanih materijala manje podložan promeni tvrdoće pri zavarivanju.

Promena dužine elektrode u funkciji broja zavaranih tačaka, delimično izazvana habanjem elektroda a delom usled plastične deformacije, sabijanja u toplom stanju, može takodje da posluži kao pokazatelj postojanosti elektroda. Ova metoda je uporedna: veću postojanost ima ona elektroda čije je smanjenje dužine posle određenog broja zavaranih tačaka manje.

Ispitivanje postojanosti elektroda

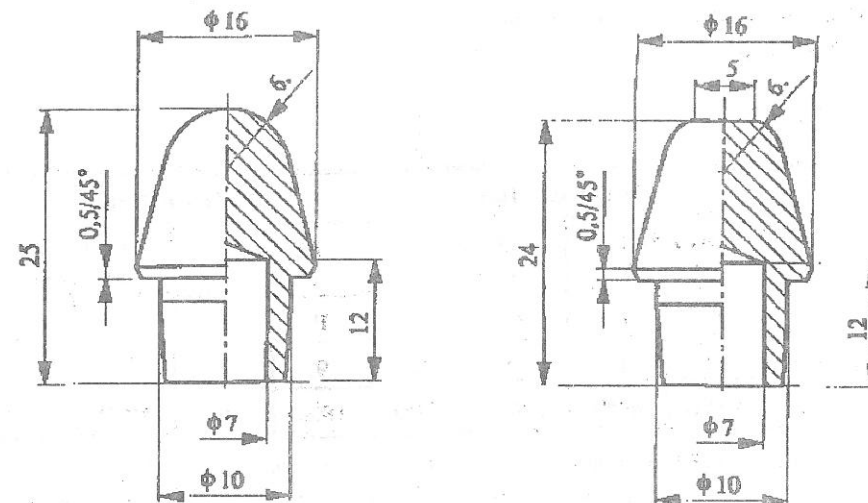
U ovom radu posebno je ispitivana postojanost kovanih i rezanih elektroda radi njihovog poredjenja. Jedne i druge elektrode bile su sa poravnatim i sfernim vrhom (sl.1) a samo zavarivanje je izvedeno na blagim i ostrim režimima zavarivanja, tj. sa strujom male jačine i dugim vremenom u prvom i sve obrnuto u drugom slučaju.

Za ocenu postojanosti elektroda primenjeni su u ovom radu sledeći kriterijumi:

- promena tvrdoće vrha elektrode,
- promena prečnika otiska vrha elektrode,
- promena prečnika iščupanog dugmeta i

- promena sile razaranja zavarjenog spoja.

Elektrode su izradjene od legure CuCrZr domaće proizvodnje a zavarivan je nezaštićen čelični lim kvaliteta Č.0148 SU P5, (JUS C.B4.016), debljine 0.8mm na stabilnom aparatu za tačkasto zavarivanje.



Slika 1. Oblik i dimenzije ispitivanih elektroda

Parametri zavarivanja: jačina struje (I_z), vreme pretpritiska (t_p), vreme zavarivanja (t_z), vreme iskivanja (t_k), ciklus zavarivanja (T_z), sila pritiska elektroda (F_e), brzina zavarivanja (v_z) i protok vode za hlađenje elektroda (q) dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Režimi tačkastog zavarivanja

Parametri	I_z kA	t_p s	t_z s	t_k s	T_z s	F_e kN	v_z tačaka/ min	q l/h
Blag režim	8.8 ± 0.4	0.10	0.25	0.2	0.2	0.75	2.6	60
Oštar režim	11.5 ± 0.5	0.08	0.18	0.1	0.2	0.56	4.0	100

Rezultati ispitivanja elektroda

Rezultati "Probe 93" prikazani su na sl.2 i sl.3 pri čemu su ispitivane kovane i rezane elektrode sa poravnatim i sfernim vrhom na blagim i ostrim režimima.

Sa dijagrama se očitavaju brojevi spojeva pri kojima kriva zavisnosti tvrdoće od broja zavarenih tačaka ima prevojnu tačku (n_k) tako da se vek elektroda (N), pri istim parametrima zavarivanja, može prognozirati na osnovu izraza:

$$N = 22n_k^2$$

Tabela 2. Prognozirani vek elektroda

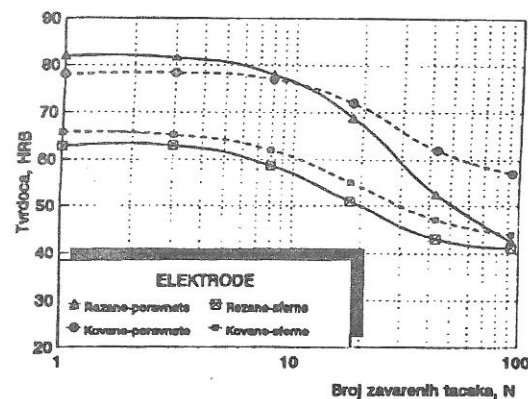
	OŠTRI REŽIMI				BLAGI REŽIMI			
	REZANE elektrode		KOVANE elektrode		REZANE elektrode		KOVANE elektrode	
	P*	S*	P	S	P	S	P	S
$n_k \approx$	41	15	39	12	9	6	15	5
$N = 22 \cdot n_k^2$	37000	4950	33500	3200	1800	800	4950	550

Prognozirani vek elektroda prema prethodnom izrazu prikazan je u tabeli 2.

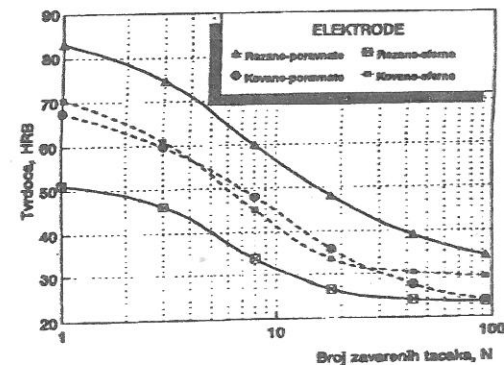
Na osnovu dobijenih rezultata može se videti da pri ostrim režimima najveću postojanost imaju rezane elektrode sa poravnatim vrhom a pri blagim režimima kovane elektrode sa poravnatim vrhom.

Postojanost, izraena kao promena prečnika kontaktne površine elektrode u zavisnosti od broja ostvarenih spojeva, grafički je prikazana na sl.4 i sl.5. Najveću postojanost (do poveanja prečnika od 20%) pri ostrim i blagim režimima imaju rezane elektrode sa poravnatim vrhom. Metoda nije pogodna za sferne elektrode.

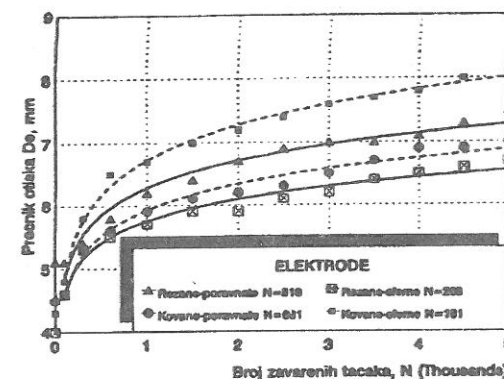
Promena prečnika iščupanog dugmeta pri ispitivanju razaranjem spoja ručnim putem prikazana je dijagramima na sl.6 i sl.7.



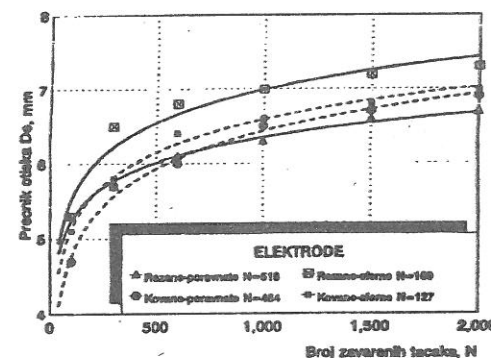
Slika 2. Dijagram promene tvrdoće - ostrim režimi ("proba 93")



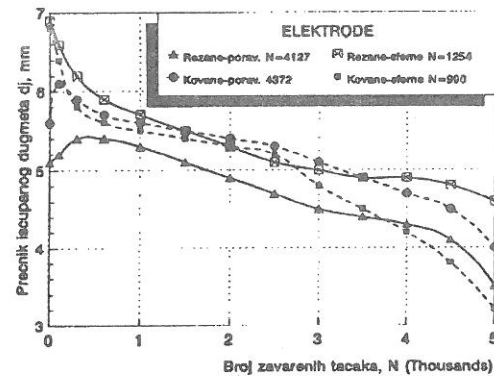
Slika 3. Dijagram promene tvrdoće - blagi režimi ("proba 93")



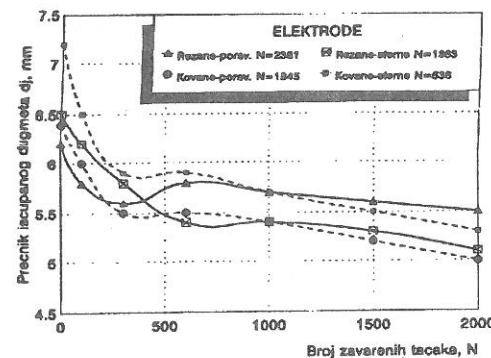
Slika 4. Dijagram promene prečnika otiska D_e - ostrim režimi



Slika 5. Dijagram promene prečnika otiska D_e - blagi režimi



Slika 6. Dijagram promene prečnika iščupanog dugmeta d_j - oštri režimi



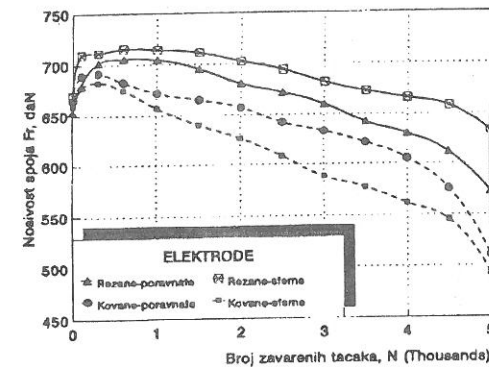
Slika 7. Dijagram promene prečnika iščupanog dugmeta d_j - oštri režimi

Iz ovih rezultata može se zaključiti da prečnik iščupanog dugmeta kod elektroda sa sfernim vrhom u početku zavarivanja ima veće vrednosti nego kod elektroda sa poravnatim vrhom ali zato i brže opada tako da se negde do 1000 tacaka izjednačava sa poravnatim i na dalje imaju sličan pad.

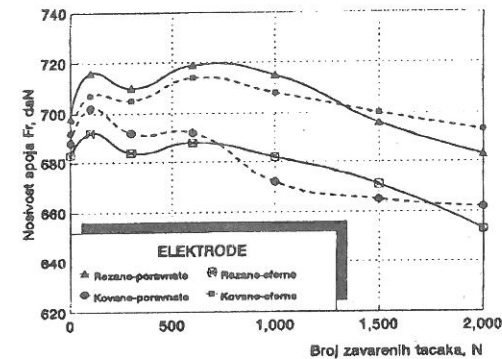
Po ovoj metodi postojanost je slična i kod kovanih i kod rezanih elektroda.

Rezultati dobijeni merenjem sile razaranja zavarenog spoja prikazani su dijagramima na sl.8 i sl.9.

Na osnovu ovih rezultata pri ostrim režimima najveću postojanost su pokazale rezane elektrode sa sfernim vrhom a pri blagim režimima rezane elektrode sa poravnatim vrhom.



Slika 8. Dijagram promene nosivosti spoja F_r - oštri režimi



Slika 9. Dijagram promene nosivosti spoja F_r - blagi režimi

Zaključak

Postojanost predstavlja kompleksnu tehnološku osobinu elektroda za tačkasto zavarivanje i zavisi od:

- materijala elektrode i zavarivanih limova,
- načina izrade elektroda,
- geometrije i dimenzija elektrode i obratka,
- parametara zavarivanja i uslova hladjenja.

U ovom radu upoređivana je postojanosti kovanih i rezanih elektroda za tačkasto zavarivanje na blagim i ostrim režimima pri čemu je uzimana u obzir i geometrija vrha elektrode (poravnat i sferni vrh elektrode). Na osnovu dobijenih rezultata korišćenjem navedenih

kriterijuma može se zaključiti da se na oštrim režimima najbolje ponašaju rezane elektrode sa poravnatim vrhom a na blagim kovane elektrode sa poravnatim vrhom. To se može objasniti time što su na oštrim režimima toplotna opterećenja elektroda znatno veća nego na blagim tako da zbog rekristalizacije nestaje efekat deformacionog ojačanja kovanih elektroda.

Elektrode sa sfernim vrhom pokazale su manju postojanost od ravnih, kako po kriterijumu pada tvrdoće, tako i po kriterijumu porasta radnog prečnika. Ovo ne znači da se samo prema postojanosti može birati oblik elektrode; potrebno je uzeti i druge tehno-ekonomske faktore. Tako su na primer za pokretna zavarivačka klešta, iz razloga saosnosti gornje i donje elektrode, pogodnije elektrode sa sfernim vrhom.

LITERATURA

1. Jovanović M.: Zavarivanje, Nauna knjiga, Beograd, 1983.
2. Stojanović O.: Ocena postojanosti elektroda za elektrootporsko tačkasto zavarivanje, Završni rad, MF Kragujevac, 1987.
3. Lazić V.: Postojanost elektroda pri tačkastom zavarivanju površinski zaštićenih limova, Diplomski rad, MF Kragujevac, 1980.
4. Ocena i ispitivanje elektroda za tačkasto elektrootporsko zavarivanje, Doc. IIS/IIW-676/81, Zavarivač, 1/81.
5. Seferijan: Metalurgija zavarivanja, Gradjevinska knjiga, Beograd, 1969.

MEHANIZOVANO ZAVARIVANJE CEVI MAG POSTUPKOM SA PODLOŽNOM TRAKOM

Jonaš Zoltan, dip.maš.ing.

NIS NAFTAGAS Pogon "ODRŽAVANJE" ZRENJANIN

1. UVOD

Već ugovoren posao za izradu oko 800 komada gasnih filtera za ino-kupca sa preko 2000m zavarenih spojeva tipa cev-cev, cev-dance i cev-prirubnica sa grlom, sa jasno definisanim zahtevom kvaliteta i 100% radiografskim snimanjem, bio je izazov za ekipu koja je trebala da realizuje proizvodnju. sl.1 telo gasnog filtera 11cm

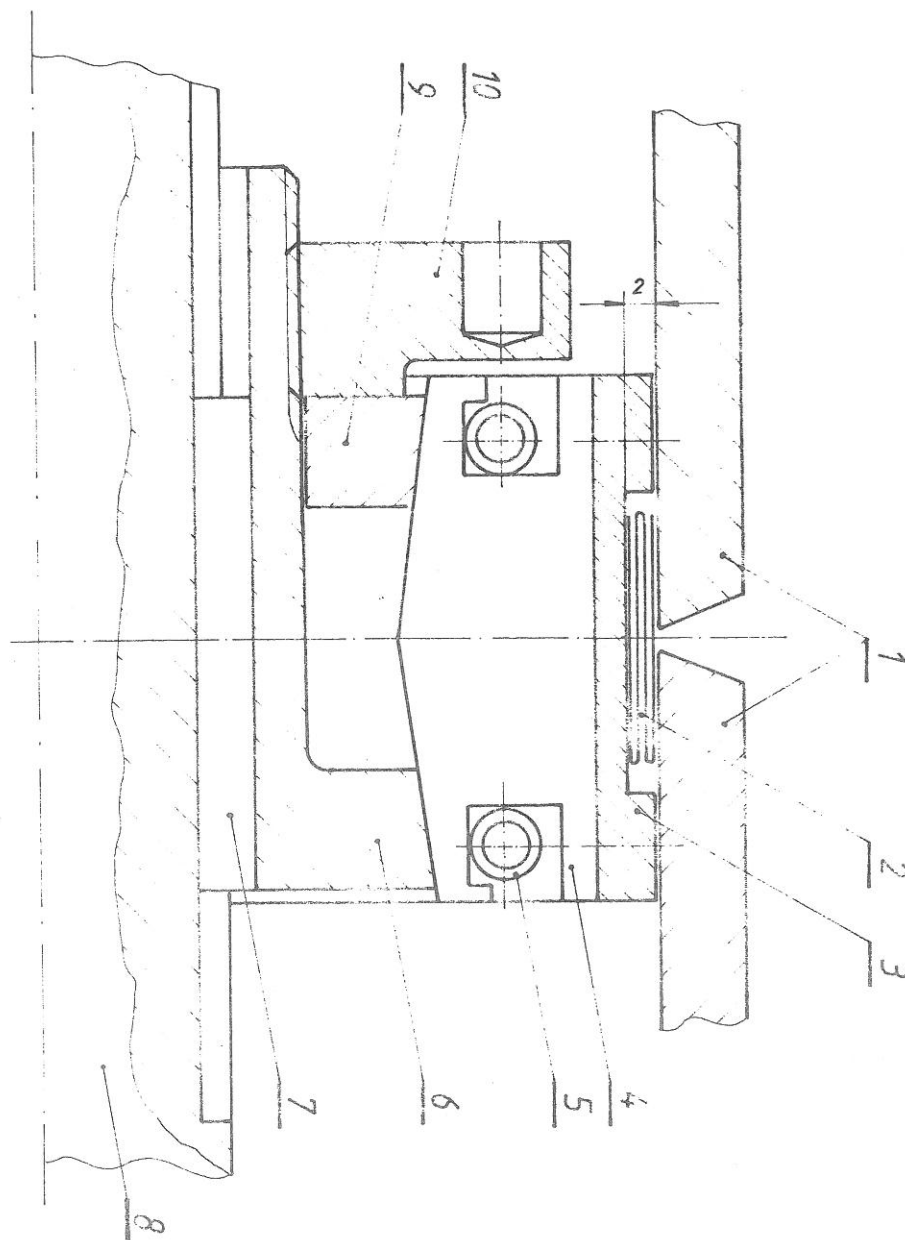
U okviru različitih veličina filtera načelno istog oblika, našli su se cevni oblici sa 9 različitih prečnika od 60,3 do 508 mm i 16 različitih debljina zida cevi od 3,9 do 17,5 mm. Zadatak je bio da se odabere pogodna i dostupna tehnologija za zavarivanje, koja će zadovoljiti:

- visoki zahtev definisanog kvaliteta
- veliku brzinu zavarivanja
- što manje zastoja zbog popravki na zavarenim spojevima.

2. IZBOR POSTUPKA ZAVARIVANJA

Kod izbora postupka zavarivanja nije bilo mnogo kolebanja i odmah je markiran savremeni MAG postupak sa mešanim gasom 80 % argona i 20 % ugljen dioksida sa poznatim prednostima:

- vrlo stabilan električni luk za vreme zavarivanja
- odlična homogenost zavarenog spoja
- velika brzina zavarivanja
- malo razbrizgavanje za vreme zavarivanja
- skraćeno vreme za čišćenje zavarenog šava
- lep, gladak izgled zavarenog šava.



Sl. 1. Telo gasnog filtera

Ograničavajućim faktorom postavilo se pitanje oblika zavarenog spoja, jer je poznato da zavarivanje cevi spada u vrhunac veštine zavarivača, pogotovo kod MAG zavarivanja zbog težeg pištolja za zavarivanje. Postupak bi bio primenljiv, ali se njegove prednosti nebi iskoristile u potpunosti.

Primenom pozicionera (okretaljke) i fiksiranjem gorionika otklonila bi se potreba da zavarivanje izvode posebno izvežbani zavarivači, ali se odmah postavio problem korektnog održavanja rastopljenog kupatila za vreme zavarivanja korenog prolaza.

Kod malih razlika u pripremi žljeba za zavarivanje, moglo bi doći do neprovarivanja korenog prolaza, prokapina ili, čak, perforiranja žljeba u korenu.

Često primenjivani materijali za podloške za održavanje rastopljenog kupatila, kao što su bakarne ili keramičke podloške nisu mogle da dođu u obzir zbog relativno široke dozvoljene tolerancije u dimenzijama i obliku cevi, prirubnice i danceta.

Ideja o primeni vrlo fleksibilne staklene podloške prvo je isprobana na spoju od ravnih limova. Obzirom da je podloška bila jako pritisnuta na ivicu limova, koren zavara je bio ravan.

Razvijanjem ideje i eksperimentima da se staklena podloška postavi u plitak žleb steznog alata uverili smo se da smo na pravom putu, i definitivno izabrali način zavarivanja po postupku MAG sa podloškom od staklene tkanine.

3. OPREMA ZA ZAVARIVANJE

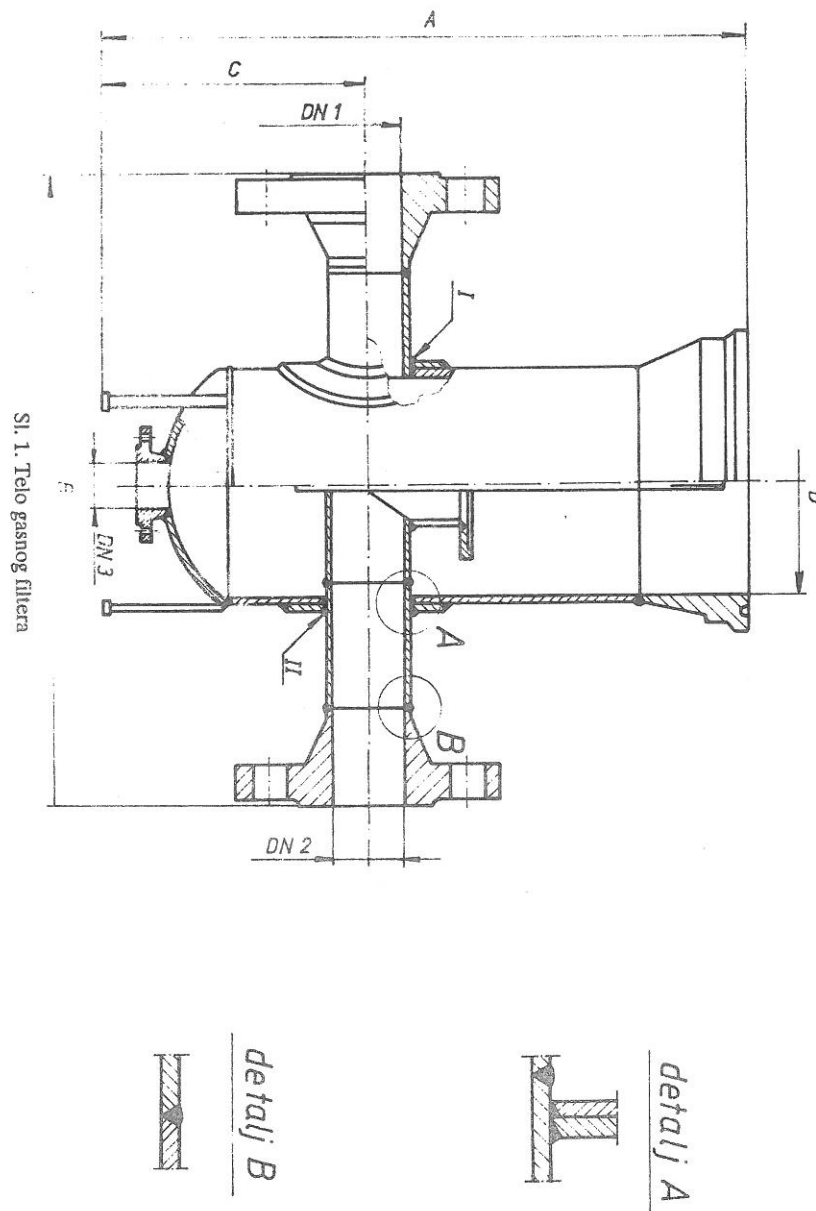
Oprema za mehanizovano zavarivanje sastoji se iz:

- poluautomata za MIG/MAG zavarivanje tipa D-350 sa klasičnim dodavačem žice tipe CV81 proizvođača "Rade Končar" Skopje;
- pozicioner (okretaljka) T-1000 proizvođač "Rade Končar" Skoplje, sa kontinuirano podešljivim brojem obrtaja radnog stola;
- posebno izrađen pomoćni stub sa konzolom za nošenje gorionika. Konzola se može podešavati po dužini i visini konzole.

Na kraju konzole nalazi se suport sa dva stepena slobode pomerljiv sa zavojnim vretenima, dok se u suportu nalazi nosač gorionika;

- posebno izrađen stezni alat (unutrašnji centralizer) koji ima žleb za postavljanje podloške od staklene tkanine.

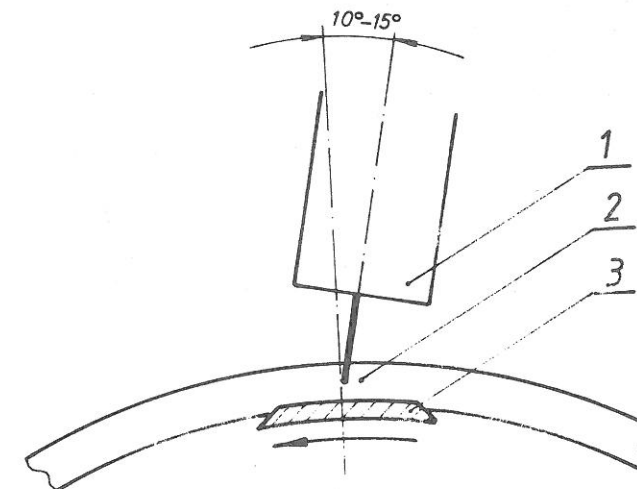
Ovaj alat centrira zavareni spoj u odnosu na osu obrtanja. Stezni alat je pomerljiv po osovini sa podužnim žljebom koja je steznom glavom (od struga) postavljena na ploču obrtnog stola pozicionera. Osovina je nepromenljiva i na nju se postavljaju alati za različite prečnike cevi koji se zavaruju.



Stezni alat sastavljen je od potpuno slobodnih segmenata (8 ili više komada u zavisnosti od prečnika), koji su međusobno povezani sa dve spiralne opruge u obliku torusa, postavljene u žljebove na suprotnim stranama segmenta. Ovaj alat funkcioniše kao ekspanzirajuća čaura. Spoljašnji deo segmenata izrađen je od bakra, kako se kod eventualnog probijanja staklene podloške cev i alat nebi međusobno zavarili.

4. PRIPAJANJE

Delovi se pre postavljanja na alat za zavarivanje moraju pripojiti. Pripoji ostaju sastavni deo korenog dela šava, pa zato pripoje moraju da izvedu atestirani zavarivači. Pripoji treba da budu dužine 15 do 20 mm sa provarom i oni se brušenjem pripreme za nastavak zavarivanja.



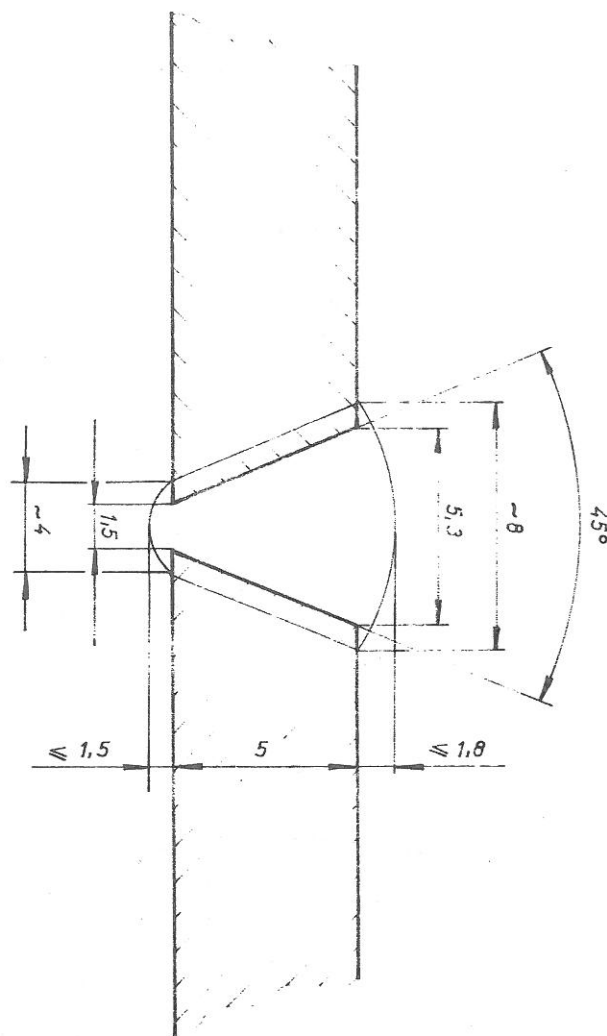
Brušenjem se ukloni ispupčeni oblik sa spoljašnje strane pripoja a početak i kraj istog izbruse se do oštre ivice. Ovo se radi zbog toga da se pripoj u potpunosti utopi u koreni venac zavarenog spoja.

5. ZAVARIVANJE - EKSPERIMENTALNI PODACI

Sa zavarivanjem se počinje na pripoju kako bi električni luk kod silaska sa pripoja već ima stacionarno stanje.

Paljenje luka van pripoja može ostaviti grešku u spoju.

Eksperimenti su radeni na cevi $\varnothing 168,3 \times 5$ mm. Oblik pripreme i definitivne dimenzije preseka zavarenog spoja date su na sledećoj slici.



SI.4 Izgled pripreme i konačne dimenzije preseka zavarenog šava

Potrebni podaci za zavarivanje:

oblik žijeba: "V" 45°

podloška: staklena tkanina

osnovni materijal: A 106 GrB (ASTM)

dodatni materijal: SG3 DIN 8559 (EMK 7 - "B. IHLER")

prečnik dodatnog materijala: Ø 1,2 mm

zaštitni gas: Argon 80 % ; CO 20 % (M2.1 po DIN 32526)

protok zaštitnog gasa: 10 - 12 l/min

smer zavarivanja: nadesno

razmak kontaktne čaure: 10 mm

slobodan kraj žice: 13 mm

broj prolaza: 2

struja zavarivanja: jednosmerna +

jačina struje u korenu: 150 A

napon: 21 V

jačina struje u završnom sloju: 160 A

napon: 21 V

brzina zavarivanja korena: 26 cm/min

brzina zavarivanja završnog sloja: 42 cm/min

ugao nagiba gorionika: 10° - 15°

6. ZAKLJUČAK

Eksperimentom i radiografskom kontrolom je dokazano da se sa navedenim načinom zavarivanja može ostvariti estetski lep zavareni šav sa dobro povezanim i provarenim korenom. Staklena podloška omogućuje odlično održavanje rastopljenog kupatila prilikom zavarivanja što ima kao rezultat dobro premošćavanje i povezivanje ivica u korenu. U toku eksperimenata zavareni su i spojevi sa smaknutim ivicama za 1,5 mm bez ikakvih problema.

Vreme zavarivanja jednog spoja je 3,3 minuta, što je u odnosu na 17 min koliko je potrebno za REL zavarivanje iste dimenzije cevi značajno skraćeno vreme.

Obuka operatera za zavarivanje traje svega par sati, a operater nije obavežno atestirani i visokoučebani zavarivač za cevi.

Ovakvim postupkom izvršena je i humanizacija rada jer je izbegnuto da se radi relativno naporno ručno zavarivanje sa visokom koncentracijom pažnje izvršioca.

Kod normalne pažnje pri radu, broj normalnih grešaka u odnosu na ručno zavarivanje svedeno je na minimum.

ZOLTAN JONAŠ, grad.eng.

MECHANIZED WELDING OF PIPES BY GMAW PROCEDURE WITH PAD STRIPE SUMMARY:

The article discusses the elements of introducing mechanized welding of pipe forms (pipes, shells, elliptical heads, flanges with welding necks) in protection of mixed gas with pad stripe made of glass cloth. Welding is performed on swivel element, and welding gun is fastened to pillar console through adjustable support with two free stages. The correct welding of root, without the possibility of perforation is obtained by installment of pad made of glass-cloth in a groove of inside part of clamp element which functions as expanding cartridge.

**POBOLJŠANJE PROCESA ZAVARIVANJA I OSOBINA
ZAVARENIH SPOJEVA PRIMENOM AKTIVIRANE ŽICE KOD
MAG POSTUPKA ZAVARIVANJA**

**IMPROVEMENT OF WELDING PROCESS AND
CHARACTERISTICS OF WELDED CONNECTIONS BY USING
THE ACTIVATED ELECTRODE IN MAG WELDING PROCESS**

Mr. Bajagić Sreten, dipl.ing.

NIS NAFTAGAS POGON ODRŽAVANJE ZRENJANIN

ABSTRACT:

Activated electrode is intended for welding low carbonate and low alloyed steels by MAG procedure in protective gases environment, mostly with CO gas. It contains alkaline compounds and soil-alkaline metals with activating additives.

During welding, the smooth electric arc is formed, and additive materials are transformed in fine drops with very poor dispersic. The metalurgic and mechanic characteristics of welded connections are improved, especially toughness on lowered temperatures. The improved protection is performed for melted metal. Welding with activated electrode can be performed in all special positions in manufacturing and installing conditions.

1. UVOD

Vodeća uloga u razvoju savremenog zavarivanja pripada mehaniziranim postupcima zavarivanja u atmosferi zaštitnih gasova. Primena ovih postupaka se povećava u svim razvijenim zemljama, obzirom da obezbeđuju povećanu produktivnost rada i zadovoljavajući kvalitet

zavarenih spojeva. Najveći značaj u metaloprerađivačkoj industriji ima postupak zavarivanja topivom elektrodom, u zaštiti aktivnog CO₂ gasa (MAG), mada pri zavarivanju žicama punog preseka ima nedostataka.

U procesu zavarivanja dolazi do oksidacije rastopljenog metala, što dovodi do znatnog smanjenja legirajućih i dezoksidirajućih elemenata u šavu, najčešće su to mangan i silicijum. Usled toga šavu se smanjuje plastičnost i povećava poroznost. Stabilnost električnog luka ostvaruje se u relativno uskom dijapazonu parametara zavarivanja, a sitno kapljičasti, kao povoljniji prenos elektrodnog metala, ostvaruje se pri visokim jačinama struje, koje su naročito nepovoljne pri zavarivanju u montažnim položajima. Osim toga, dolazi do znatnog rasprskavanja i gubitka rastopljenog elektrodnog metala, u količini 10 do 15 % mase žice, što dodatno dovodi do tehnoloških problema pri zavarivanju. Neki nedostaci su umanjeni razvojem punjenjem elektrodnih žica. Međutim, njihovu primenu ograničavaju teškoće pri zavarivanju u montažnim položajima. Pri izvođenju zavarivanja ovim žicama stvara se veća količina metalne pare i prašine koje mogu biti štetne.)

2. AKTIVIRANA ŽICA

U cilju poboljšanja efikasnosti MAG postupka zavarivanja, dovelo je istraživanje i razvoj dodatnih materijala do spoznaje da je neophodno izmeniti fizikalne procese u električnom luku, čime bi se stvorili povoljniji uslovi odvijanja hemijsko-metalurških procesa u kupki metala. To je postignuto uvođenjem u žicu relativno male količine višekomponentnih lako jonizujućih i površinsko aktivnih materija, tzv. aktivirajućih aditiva, u iznosu 5 do 8 % mase žice.

Kao aktivirajuće materije koriste se lako dostupna i relativno jeftina jedinjenja alkalnih i alkalno zemnih metala, kao i površinski aktivni oksidi, koji stvaraju trosku. Osim toga, dodaju se i nene supstance koje utiču na poboljšanje zavrivačko-tehnoloških osobina žice (otpornosti na pojavu naprslina, poroznosti, mehaničkih karakteristika i sl.).

Na smanjenje površinskog napona kapljica, pored aditiva, povoljno utiče i rastopljeni troska, čime se znatno smanjuje njihovo rasprskavanje (iznosi 2 do 3 % mase žice). Troska u tankom sloju, pored kapljica, prekriva i rastopljeni metal šava, čime ga dodatno štiti od atmosferskog uticaja i znatno poboljšava izgled lica šava slično kao kod zavarivanja pod praškom (3).

S metalurške i hemijske tačke gledišta ostvruje se uzajamno dejstvo između rastopljenog metala, CO₂ gasa i šljake, na kapljice formirane na vrhu žice, pri transferu u električnom luku, u kupki i šavu.

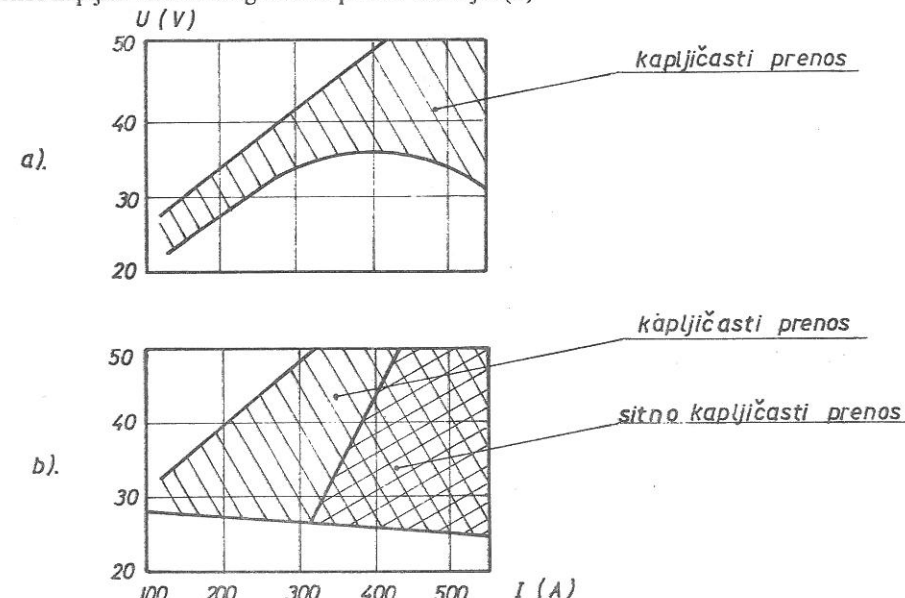
2.1. Prenos kapljica u električnom luku

Kod zavarivanja aktiviranom žicom kapljice se ravnomerno raspoređuju po osi luka u širokom dijapazonu parametara zavarivanja. U mnogo kraćim vremenskim intervalima se odvajaju od vrha elektrode žice što ima za posledicu sitno kapljičasti prenos rastopljenog metala. Pri dostizanju kritične vrednosti jačine struje zavarivanja (I_{kr}) sitno kapljičasti prenos elektrodnog metala prelazi u strujni, što je u funkciji efektivnog potencijala jonizacije električnog luka (U_f). Ta zakonitost je predstavljena sledećim izrazom (4);

$$I_{kr} = 59 + 172 U_f - 55 U_f^2 + U_f^3$$

Kritična jačina struje se smanjuje povećanjem količine aktivirajućih materija ili sniženjem efektivnog potencijala jonizacije električnog luka. Ovo upućuje na zaključak da je za strujni prenos kapljica elektrodnog metala potreban nizak potencijal jonizacije u električnom luku, što se postiže uvođenjem u žicu elemenata sa niskim potencijalom.

Na slici 2.1.1. prikazana je oblast kapljičastog prenosa elektrodnog metala koji je znatno proširen kod aktivirane žice. pri određenim vrednostima jačine i napone struje zavarivanja prenos kapljica elektrodnog metala prelazi u strujni (2)



Sl. 2.1.1. Područje režima zavarivanja u CO₂ gasu a) Klasična žica punog preseka b) Aktivirana žica

Pri zavarivanju aktiviranom žicom kritičnom jačinom struje srednja učestanost odvajanja kapljica je 6 do 7 puta veća nego u slučaju primene klasične žice punog preseka i približno je jednaka za različite aktivirajuće materije i njihove koncentracije (5). U tabeli 2.2.1 date su uporedne vrednosti broja kapljica u jedinici vremena za žice bez i sa aktivatorom, pri zavarivanju istosmernom strujom.

Tabela 2.2.1. Broj kapljica u jedinici vremena za žice bez i sa aktivatorom (5)

Polarnost struje	Aktivator	Karakter prenosa	Broj kapljica u sec.
Obrnuta	—	Kapljičast	30
Direktna	—	Kapljičast	28
Direktna	K ₂ CO ₃	Strujni	180
Direktna	(30 %-tni rastvor) K ₂ CO ₃	Strujni	160
Direktna	(40 %-tni rastvor) K ₂ CO ₃	Strujni	170
Direktna	(50 %-tni rastvor) CaECO ₃ +Na ₂ CO ₃	Strujni	210

Kod zavarivanja aktiviranom žicom kapljice elektrodnog metala su 3 do 5 puta manje nego pri analognom zavarivanju klasičnom žicom punog preseka (5).

2.2. Tehnološko poboljšanje

Kod zavarivanja aktiviranom žicom smanjuje se rasprskavanje kapljica, povećava se koeficijent topljenja () i koeficijent navarivanja () elektrodnog metala, u odnosu na klasičnu žicu punog preseka, što daje izvesno vremensko skraćenje procesa zavarivanja (6). Ti podaci su dati u tabeli 2.2.

Tabela 2.2. Vrednosti nekih tehnoloških parametara

Redni broj	Maseni sadržaj i tip aktivatora	Rasprskavanje γ (%)	Topljenje $\alpha_{\text{gr/Ah}}$	Navarivanje α_n (gr/Ah)
1.	Klasična žica	12 (8)	22,6 (14,3)	14,5 (13,1)
2.	0,2 % CaF_2	3 (4)	14,8 (13,8)	14,3 (13,2)
3.	0,8 % K_2CO_3	3 (4,5)	15,2 (13,8)	14,7 (13,2)
4.	2,0 % Na_2CO_3	3,5 (5)	15,0 (14,0)	14,5 (13,3)
5.	0,8 % BaCO_3	6 (6)	15,8 (14,2)	14,8 (13,3)
6.	1,5 % TiO_2	8 (7)	17,5 (18,9)	15,2 (13,2)
7.	1,5 % TiO_2 + 0,8 % K_2CO_3	2,5 (3,5)	16,2 (13,8)	15,8 (13,4)

U tabeli 2.2 prvi broj se odnosi na direktnu a u zagradi na indirektnu polarnost istosmerne struje. Zavarivanje aktiviranom žicom rezultira nizom prednosti u odnosu na klasičnu žicu punog preseka:

- pri zavarivanju se ostvaruje mirniji električni luk,
- sitno kapljičasti i strujni prenos elektrodnog metala karakterisan je stabilnošću i usmerenošću bez kratkih spojeva,
- smanjenje rasprskavanja kapljica dovodi do neznatnog gubitka dodatnog materijala i čistije zavarene delove. Pored toga, smanjenje pojave rasprskavanja kapljica umanjuje začepljenje mlaznice gorionika, čime se povećava mogućnost mehanizacije i automatizacije zavarivanja,
- poboljšavaju se osobine zavarenog spoja, naročito žilavost na sniženim temperaturama,
- šljaka se lako skida sa lica šava,
- dosta povoljnija geometrija šava,
- ostvaruje se veća produktivnost,
- može se primeniti u svim prostornim položajima i
- drugo.

Aktivirana žica je novi tip dodatnog materijala. Razvijena je u Institutu za elektrozavarivanje "Paton" iz Kijeva, Ukrajina. Osvojeno je više tipova aktivirane žice za zavarivanje niskougljeničnih i niskolegiranih čelika. Neke od njih su korištene u metaloprerađivačkoj industriji bivšeg SSSR-a. U Institutu za zavarivanje, Energoinvest-Sarajevo, vršeno je probno zavarivanje aktiviranom žicom AP-AN10, koja je dala dobre rezultate.

3. LITERATURA

1. S. Bajagić, M. Maslić, N. Bajić, B. Dačić, Aktivirana žica za mehanizirani elektrolučni postupak zavarivanja u zaštiti CO_2 gasa, Zbornik referata Međunarodnog savetovanja, Bor 1991.
2. B.E. Paton i N.M. Voropaj, Svarka aktivirovannim plavjaschinsja elektrodom v zaschitnom gaze, avtomaticheskaja svarka, 1 (310), 1979.
3. N.M. Voropaj, A.N. Alimov, V.I. Rogatjuk, Sastav metala i shlake na stadijah kapli i vannih pri svarke v CO_2 aktivirannoj provolokoj, avtomaticheskaja svarka, 5 (398), 1986.
4. B.L. Ibatullin, V.F. Muhin, Uslovia strujinogo perenos elktrodnogo metalla pri svarke v uglekislom gaze, Avtomaticheskaja svarka, 7 (328), 1980.
5. V.F. Muhin, B.L. Ibatullin, Tehnoloheskie karakteristiki procesa svarki v uglekislen gaze aktivirovannoj provolokoj diametrom 1,2 mm, avtomaticheskaja svarka, 10 (283), 1976.
6. N.M. Voropaj, N.I. Kostenjuk, Vlijanie sastava aktivirovannoj provolokoj na karakteristike processa svarki v uglekislom gaze, avtomaticheskaja svarka, 4, 1986.

OSVRT NA PROBLEME U PROJEKTOVANJU TEHNOLOGIJI IZRADE I KONTROLI KUGLIČNIH MLINOVA ZA PRERADU RUDE ZLATA - KM 32

dipl.maš.inž. Dragan Mitić, spec. za zav.

dipl.maš.inž. Slobodan Ristić

dipl.maš.inž. Ljubinko Nikolić, spec. za zav.

Preduzeće za usluge i promet sa p.o. "COLOR PARTNER" BEOGRAD

1.0 UVOD

Novi tehnološki procesi, koji se obavljaju u otežanim eksploatacionim uslovima, primoravaju projektante i tehnologe da zaoštravaju kriterijume pri izboru materijala, praćenju tehnologije izrade i kontrole, kao sveobuhvatnog sistema obezbeđenja kvaliteta. Pogreške u proizvodnji, ne samo da izazivaju zastoje, već je njihova sanacija mnogo složeniji problem. Zato pri izradi složenijih konstrukcija ili pri zavarivanju čeličnih livova većih debljina (100 mm) treba uzeti u obzir sve činjenice, koje mogu izazvati grešku, a samim tim i poskupljenje proizvoda.

Tako smo i mi pri konstrukciji kugličnog mlina za preradu rude zlata KM 32 po licenci KHD-a, susreli sa različitim problemima. Bilo je potrebno zavariti rukavac za čelo kugličnog mlina. Materijal rukavca i čela mlina je ČL. 0501.

Red.br.	Šarža br.	C%	Mn%	Si%	P%	S%
1	1569/70	0,30	1,04	0,31	0,035	0,020
2	1654/5	0,32	1,17	0,38	0,038	0,022
3	1698/9	0,27	0,55	0,34	0,030	0,035

Na osnovu hemijskog sastava i mehaničkih karakteristika ČL 0501 a koje se razlikuju od atestnih karakteristika proizvođača odlivaka, određena je vrsta dodatnog materijala.

Kako je dokumentacija bila licencna, tip žljeba je bio određen i zahtevao je zavarivanje pod praškom u uskom žljebu. Mi nismo imali adekvatnu opremu, pa smo predložili dvostruki asimetrični "U" žljeb.

Radilo se REL-postupkom bazičnom obloženom elektrodom DIN E55 75 2Ni Mo B, komercijalne oznake EVB 2,5 Ni Mo o 4.0 i o 5.0 mm.

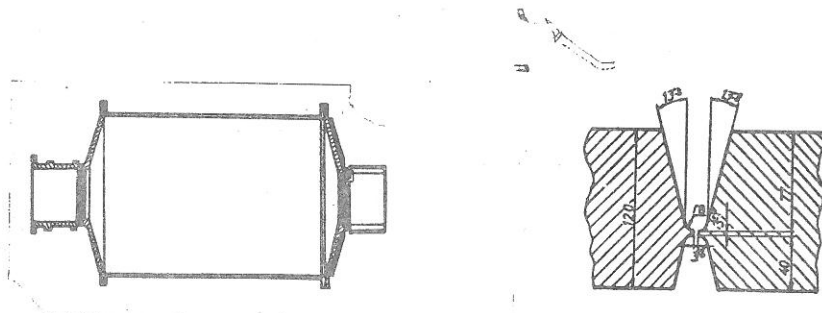
Hemijske i mehaničke karakteristike dodatnog materijala

EVB 2,5 NiMo	C%	Si%	Mn%	Ni%	Mo%	$\sigma_{0.2}$ N/mm ²	$\sigma_{0.5}$ N/mm ²	δ_5	ψ_{v-20}
Ø 4,0 mm	0,06	0,45	1,15	2,3	0,40	650-750	590	20	47
Ø 5,0 mm	0,06	0,45	1,15	2,3	0,40	650-750	590	20	47

Predgrevanje je vršeno elektrotpornim grejačima na temperaturi od 473 K. Nakon proizvodnje prvog komada ustanovili smo greške u zavarenom spoju tipa vruća prslina i tada su počele analize propusta u radu.

Pri projektovanju potrebno je da se znaju sledeći zahtevi, da bi kod naručivanja odlivka od proizvođača, odlovak ispunjavao te uslove.

- da sadržaj C% ne prelazi 0.25%
- da je sadržaj S% manji od 0.010%
- da je kontrakcija veća od 15%



KM 32 Asimetrični dvostruki "U" žljeb

Pošto čelični livovi ČL.0501 u normalnoj narudžbi nemaju garantovani hemijski sastav, potrebno je sve ovo posebno zahtevati. Vidi JUS-II Tehnički uslovi za izradu i isporuku - crna metalurgija str. 230 tačka 4.3. napomena 4 Svi čelični livovi namenjeni za zavarivanje odgovornih konstrukcija, trebaju se ispitati ultrazvukom prilikom prijema odlivaka, a da bi se ispitali, treba

odrediti klasu odlivka. Poznato je da JUS ne sadrži ovakve klase odlivaka, pa se u ovakvim slučajevima oslanjamo na neke strane propise, na primer SEL 072-77 (Stahl-Eisen liefer bedingungen) izdanje 1977 god. Ovo je potrebno zbog toga što prilikom ispitivanja nehomogenosti zavarenog spoja, postojeće greške u odlivku se indentifikuju kao novonastale greške u samom zavaru. Ultrazvučnim ispitivanjem, mi smo smanjili mogućnost pojavljivanja greške u zavarenom spoju.

Kod asimetričnog dvostrukog "U" žljeba, obavezna je mašinska obrada, ne samo zbog toga što bi se žljebljenjem ARC-AIR-om vršilo naugljeničenje ivica spojeva, a samim tim i mogućnost pojave prslina u zavarenom spoju, već zbog toga što su čelo mlina i rukavac velikih dimenzija, pa je potrebna veća tačnost u pripremi ivica žljeba. Poznato je da kod ovakvih debelozidnih odlivaka postoje lunke, pa ako bi se žljebilo ARC-AIR-om, došlo bi do njihovog međusobnog spajanja (prslina) zbog velikog unosa toplote.

U tehnologiji zavarivanja je bila propisana temperatura predgrevanja kao i način njenog održavanja za ČL 0501, međutim ona je morala biti izračunata za svaki odlivak posebno zbog toga što se naknadnim ispitivanjem hemijskog sastava utvrdilo da je procenat ugljenika veći, %S, kao i prisustvo hroma nikla i molibdena u većim iznosima nego što dozvoljava JUS. Obrazac za izračunavanje temperature predgrevanja uzet je iz knjige "Tehnologija zavarivanja" od Seferijana i po preporuci Međunarodnog instituta za zavarivanje. Mi smo uzimali redukovanu debljinu $d_r = 2/3d$ kada je $d > 100$ mm.

Sve ovo je uticalo pa smo morali da promenimo tehnologiju zavarivanja, kao i tehnologiju sanacije nastalih prslina.

-Tehnologija sanacije prslina u zavarenom spoju sastoji se u predgrevanju na 473 K elektrotpornim grejačima, pokriti spoj staklenom vunom najmanje debljine 100 mm prema skici 1 (zbog povećanog energetskeg stepena korisnosti).

-Žljebljenje izvršiti ARC-AIR-om s tim što se nakon toga žljebi profilisanom glodalom

NAPOMENA: Primena ARC-AIR-a procesa žljebljenja kod srednje ugljeničnih čelika čije su empirijske karakteristike na granici zavarljivih i uslovno zavarljivih čelika, je dopustiva. ARC-AIR proces žljebljenja- ocena primena u žljebljenju uslovno zavarljivih čelika. N.Filipović-Zavod za zavarivanje Beograd.

Kod ovakve vrste čeličnog liva sa više od 0.35% ugljenika, 1% mangana, 0.53% hroma, 0.17% molibdena i 0.3% nikla postoji opasnost otvrdnjavanja ZUT-a, tj. do pojave prslina u ZUT-u. Zbog svega toga, kao i zbog povezivanja korenskog dela zvara upotreбили smo austenitni dodatni materijal. On štiti ZUT od krtosti a svojim mehaničkim karakteristikama može da primi povećane unutrašnje napone i tako spreči pojavu prslina. Stranice žljeba oblažu se austenitno-feritno rutilnom elektrodom JUS C.H3.017 E 29.9 R26, komercijalne oznake INOX R29/9 Ø4.0 mm, proizvođač: "Železara" Jesenice.

Oznaka	C%	Mn%	Cr%	Ni%	$\sigma_{0.2}$ N/mm ²	$\sigma_{0.5}$ N/mm ²	Lo=5d %
INOX R29/9	0,15	1,2	29	9	750-840	500	20

Stranice žljeba oblažu se u dva sloja, a koren vara do visine od 20 mm, nakon čega se ispituju penetrantima na vruće.

Posle oblaganja ivica žljeba, spoj ispuniti bazičnom elektrodom DIN-8529 E 55 75 2NiMo B o 5.0 mm.

Oznaka	C%	Mn%	Si%	Ni%	Mo%	δ m	δ v	δ 5	ρ v-20°C
EVB 2,5 NiMo	0,06	1,15	0,45	2,5	0,40	650-750	590	20	47

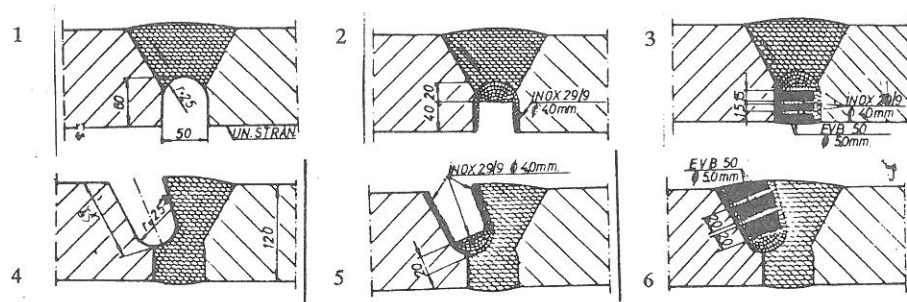
Posle zavarivanja sloja od 15 mm ispitati penetrantima na vruće, a onda zavariti jedan amortizujući sloj austenitnog dodatnog materijala, zbog boljeg vezivanja, kao i zbog unutrašnjih napona u samom zavaru. Nakon toga nastaviti ispunu sa EVB 2.5NiMo.

Zahteva se neprekidni rad do završetka svih radova, što je za zimske uslove rada u kojim smo mi radili izazivalo dodatne teškoće. Zaštitili smo radno mesto šatorom od promaje a i zbog manjeg odvođenja toplote, jer je predmet rada neprekidno zagrevan. Elektroda je žarena na temperaturi od 693 K u trajanju od jednog časa.

INOX 29/9 o 4.0 mm: I=110-140 A, U=22 V, V=12-14 cm/min EVB 2,5NiMo o 5.0 mm: I=170-220 A, U=23-25 V, V=14-16 cm/min

Žljebi se prvo sa unutrašnje strane i to samo 1/3 obima zavarenog spoja. Posle zavarivanja 1/3 žljebi se sledeći deo a nakon zavarivanja s unutrašnje strane, žljebi se i zavaruje sa spoljašnje strane po istom rasporedu. Sve vreme rukavac i čelo mlina su oslonjeni na pozicionere.

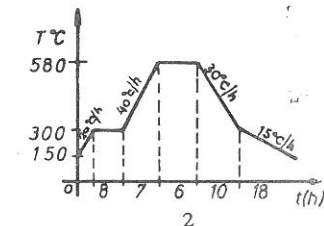
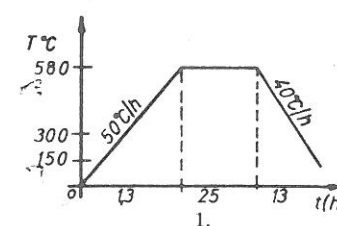
Redosled žljebljenja i zavarivanja je dat na sledećoj slici.



TERMIČKA OBRADA

Kod ovakvih vrsta čeličnih livova sa debljinom preko 100 mm može se pojaviti lamelarno cepanje na kraju ZUT-a iz greške tipa vruća prslina, zbog toga je potrebno propisati adekvatan režim termičke obrade. Pošto kolege i ja nismo stručnjaci iz oblasti metalurgije, potražena je pomoć od naših pretpostavljenih i oni su nam predložili rešenje stručnjaka Železare-Ravne.

Mi nismo zadovoljni predlogom rešenja pa smo i sami dali svoj predlog.



Nakon ovoga usledila je analiza i jednog i drugog rešenja. Najveća razlika u dijagramu termičke obrade bila je u vremenu trajanja mekog žarenja i to njihov predlog je iznosio 25 časova a naš samo 6 časova. Tako smo u analizi pošli od parametra povišene tvrdoće ispod šava tzv. Holloman-Jaffe-ov parametar.

$HP = T(20 + 10 \lg t) \times 10^3$, gde je T-temperatura naponskog žarenja, t-vreme naponskog žarenja.

$$HP_1/HP_{sub2} = \frac{20 + 10 \lg t_1}{20 + 10 \lg t_2} = \frac{20 + 10 \lg 25}{20 + 10 \lg 6} = 1.03 \text{ što iznosi samo } 3\%$$

Ovo znači da smanjeno vreme naponskog žarenja ne utiče bitni na kvalitet termičke obrade. Postavlja se pitanje tako dugog držanja čela mlina na temperaturi naponskog odžarivanja, zbog opadanja mehaničkih karakteristika. Za ovakve vrste čeličnog liva očekuje se pad čvrstoće od 10-20 MPa, što znači duže vreme, veći pad, kao i mogućnost pojave krtosti liva zbog sadržaja molibdena, što je veoma bitno kod ovakvih dinamičkih konstrukcija. Dugo držanje ne odgovara i zbog toga što u metalu šava imamo dvofaznu strukturu, tj. imamo austenitni dodatni materijal, koji nije sposoban da izdrži tako dugo vreme naponskog žarenja.

KONTROLA

Kontrola zavarivanja debelozidnih čeličnih livova je još jedna nepoznanica, koja nas je pratila sve vreme rada. Posle svakog sloja od 15 mm bilo je potrebno da se zavar ispita tečnim penetrantima "Super cheek" Helingove proizvodnje, koji se upotrebljavaju na povišenim temperaturama. Rad je bio neprekidan i na temperaturi od 473 K u zavarenom spoju, ali je bilo neophodno obučiti kontrolore, jer je vreme razvijanja razvijача mnogo manje nego kod klasičnih penetranata.

Radiografsko ispitivanje je vršeno izotopom-kobalt 60, ali je radigram bio dosta zatamljen. Kod ovako zatamljene slike teško je uočiti nehomogenost kod odlivaka, a kamoli kod zavarenog spoja i na ovakvim poslovima rade specijalno obučeni ispitivači.

Jedino adekvatna kontrola za ovakve debelozidne čelične livove je ultrazvučna kontrola, ali se nije moglo stopostotno verovati nalazima ispitivača, jer do tada nisu radili sa odlivcima debljine preko 100 mm, a i metal šava se sastojao od dve vrste dodatnih materijala, od čega je jedan austenitni dodatni materijal. Stoga je potrebna stalna obuka ispitivača, kao i njihova specijalizacija za rad sa debelozidnim odlivcima.

I pored svih teškoća u projektovanju, tehnologiji izrade, tehnologiji sanacije i kontroli izrade kugličnih mlinova za preradu rude zlata, oni su urađeni na vreme i kvalitetno. Prošlo je tri godine od kako su isporučeni kupcu u Burmi, a za to vreme nije bilo nikakvih primedbi kod montaže istih, kao i na njihov rad.

CONSLUSION

The paper deals with the problems in design and welding procedures of ball mills for gold ore processing. Namely, it refers to welding of mill front journals made of thick walled ($d=120\text{ mm}$) steel castings. The points such as choice of steel cast grade, welding procedures and restore to soundness technology including types of filler metal, welding regimes and sequence, preheating temperatures, heat treatment with analyzed operating regime, are indicated in the paper. Finally, the problems in the examination of welded joints in thick walled steel castings, particularly examination by penetrants, X-ray and ultrasonic examination are dealt with.

ANALIZA KVALITETA NAVARA IZVEDENOG OBLOŽENOM ELEKTRODOM SA ČELIČNIM PLAŠTOM

*Sabo B. , Šidanić L. , Gerić K.
FTN , Institut za proizvodno mašinstvo, Novi Sad*

REZIME

Povećanje produktivnosti REL navarivanja postiže se primenom obloženih elektroda sa visokim stepenom iskorišćenja. Kod navedenih elektroda (sa Fe prahom u oblozi) stepen iskorišćenja je obično do 150 %. Projektovanjem i izradom obložene elektrode sa čeličnim plaštom, na Institutu za proizvodno mašinstvo, postignut je stepen iskorišćenja preko 300 %. U radu je prikazana analiza navara sa aspekta geometrije poprečnog preseka, strukture i uključaka. Rezultat analize treba da pokaže da li se ova visokoproduktivna elektroda može primeniti u proizvodnji.

QUALITY ANALYSIS OF THE FACING WELD BY COVERED ELECTRODE WITH STEEL ENVELOPE

SUMMARY

The increase of the MMA welding productivity is attained by the application of the covered electrodes with recovery ratio. This ratio of the covered electrodes (with iron powder in the cover) is up to 150 % usually. The covered electrode with steel envelope is projected and made in the Institute for the productional engineering which recovery ratio is over 300 %. In this paper it is shown the analysis of the facing weld from the aspect of cross section geometry, microstructure and nonmetallic inclusions. The analysis result shows that the high productional electrode is applicable in the regular production.

1. UVOD I CILJ RADA

Istraživanja povećanja produktivnosti REL zavarivanja odvijala su se paralelno u dva pravca. Jedan pravac je istraživao mogućnosti automatizacije postupka /1/ a drugi primenu specijalnih elektroda sa visokim stepenom iskorišćenja ili dubokim uvarom /2/. Elektrode sa visokim stepenom iskorišćenja su našle veću primenu u praksi.

Kod navedenih elektroda (sa Fe prahom u oblozi) stepen iskorišćenja je obično do 150 %. Projektovanjem i izradom elektrode sa čeličnim plaštom postignut je stepen iskorišćenja od preko 300 %. Navedena elektroda je izrađena na Institutu za proizvodno mašinstvo. Od šest varijanti vezivanja polova izvora struje za istraživanje je usvojena varijanta koja je najpovoljnija za navarivanje /3/.

Kod primene ove elektrode može se javiti problem vezan za nedovoljnu zaštitu rastopa od nepovoljnog uticaja okolne sredine.

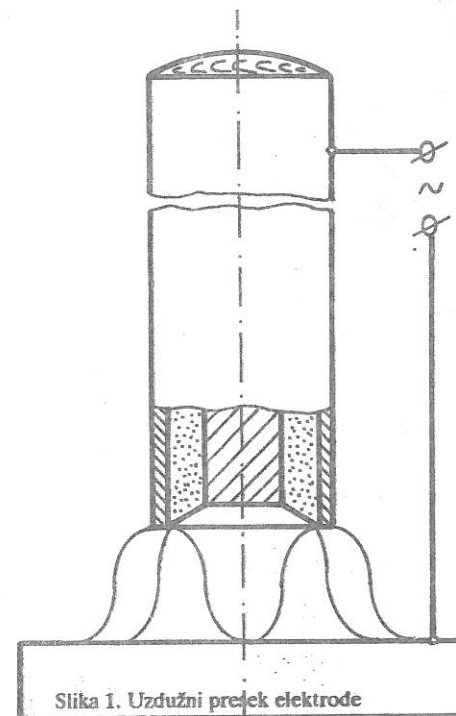
Cilj rada se sastojao u detaljnoj analizi navara izvedenog obloženom elektrodom sa čeličnim plaštom, sa aspekta geometrije poprečnog preseka, strukture i uključaka. Rezultati analiza treba da pokažu da li se ova visokoproduktivna elektroda može primeniti u proizvodnji za navarivanje istrošenih delova.

2. OPIS ELEKTRODE

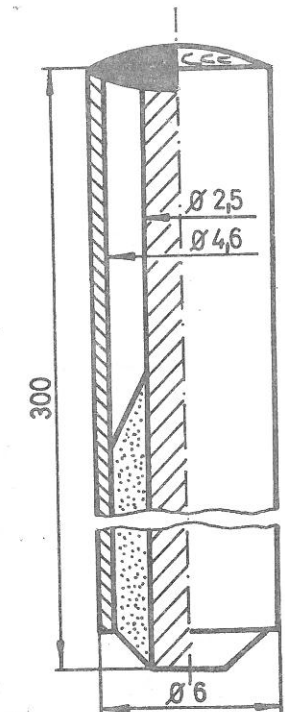
Obložena elektroda sa čeličnim plaštom je konstruktivno izvedena tako što je u tankozidnu čeličnu cev utisnuta obložena elektroda malog prečnika. Između obložene elektrode i čeline cevi dodate su mineralne materije u cilju poboljšanja kvaliteta zaštite rastopa. Na jednom kraju je jezgro obložene elektrode zavareno za čeličnu cev. Drugi kraj elektrode je zaliven vodenim staklom u cilju sprečavanja isticanja dodatnih mineralnih materija. Na slici 1. prikazan je uzdužni presek obložene elektrode sa čeličnim plaštom.

3. EKSPERIMENT

Na pločice od Č.0361 dimenzija 100x100x8 mm izvršeno je navarivanje obloženom elektrodom sa čeličnim plaštom. Navarivanje je izvršeno naizmjeničnom strujom. Način vezivanja polova izvora struje daje prenešeni luk, jezgro + plašt - osnovni materijal. Na slici 2. prikazan je oblik zavarivačkog luka /4/. Za vreme navarivanja je merena struja (amper kleštima) i aktivno vreme navarivanja (hronometrom). Masa pločica je izmerena pre i posle navarivanja. Posle izvršenog navarivanja izmerene su dužine navara. Struja navarivanja je iznosila 250 A. Navarivanje je izvedeno bez poprečnog klanjenja elektrode. Nagib elektrode prema osnovnom materijalu iznosio je 80 stepeni. Dužina luka je bila oko 6 mm. Sastav čistog navara određen je na osnovu udela obložene elektrode (30 %) i čeličnog plašta (70 %). Za metalografsku analizu izrezan je uzorak poprečno na navar. Na slici 3. prikazan je poprečni presek navara.

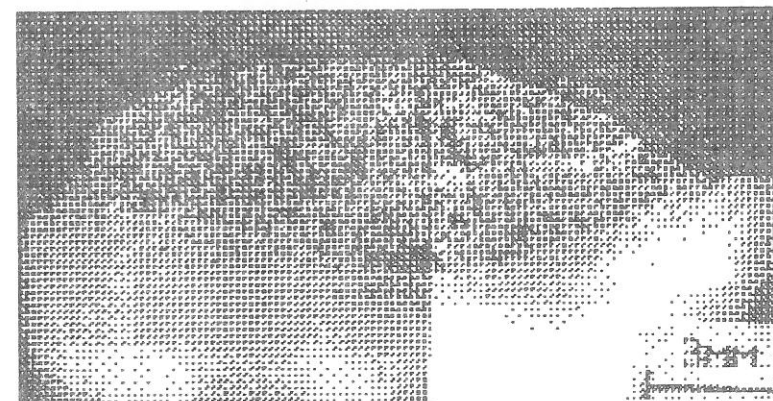


Slika 1. Uzdužni presek elektrode

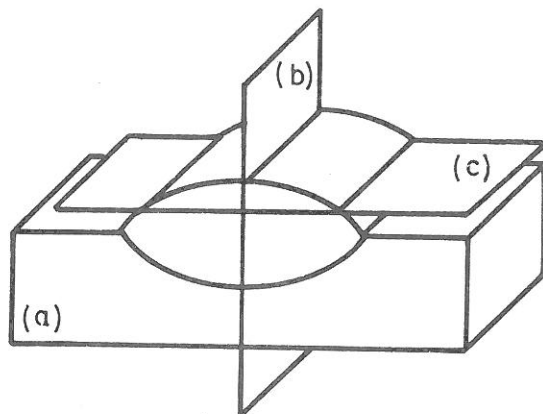


Slika 2. Oblik zavarivačkog luka

Za kontrolu mikrostrukture navara korišćen je LEITZ-ov svetlosni mikroskop. Da bi se dobila indirektna informacija o uticaju uslova očvršćavanja na mikrostrukturu po zapremini navara, mikroskopsko ispitivanje je vršeno na više preseka: poprečni (a), uzdužni (b) i horizontalni (c). Na slici 4. je prikazana šema ispitivanih preseka. Na uzorcima je primenjena konvencionalna tehnika pripreme, a uzorci su ispitivani u nenagriženom i nagriženom stanju.



Slika 3. Poprečni presek navara



Slika 4. Šema ispitivanih preseka navara

4. REZULTATI I DISKUSIJA

Važnije tehničke karakteristike obložene elektrode sa čeličnim plaštom, određene eksperimentalno, su:

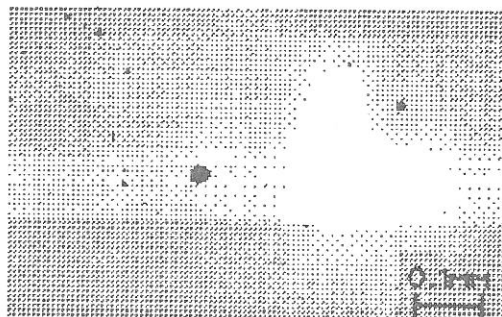
- hemijski sastav čistog navara: 0,08 % C; 0,12 % Si; 0,39 % Mn,
- stepen iskorišćenja: 310 % ,
- koeficijent topljenja: 18 g/Ah .

Prosečna brzina zavarivanja je iznosila oko 3,2 mm/s (11,5 m/h) Dimenzije poprečnog preseka navara su: $h_u=2,5$ mm ; $b=16,5$ mm; $c=3,5$ mm.

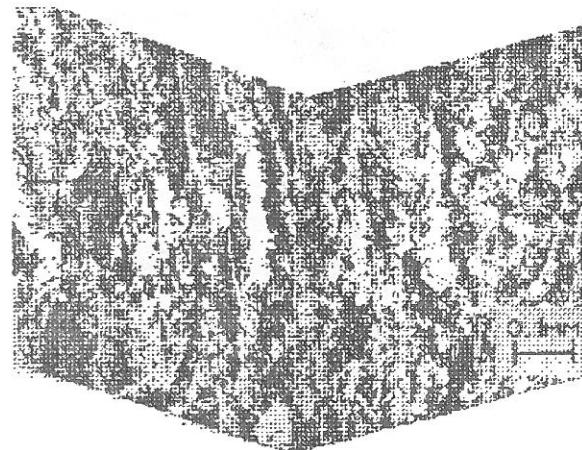
Na osnovu navedenih vrednosti smatra se da geometrija poprečnog preseka navara zadovoljava.

U navaru su prisutni nemetalni uključci koji po JK-skali odgovaraju tipu i klasi D-2 (oksidni nemetalni uključci). Defekata u navaru nema, a najveći identifikovani nemetalni uključak je prečnika 25 mm (slika 5.).

Mikrostruktura na poprečnom i uzdužnom preseku navara prikazana je na slici 6 a na poprečnom i horizontalnom preseku na slici 7. Prisutni su: alotriomorfni ferit (slobodni ferit izlučen po granicama predhodnih austenitnih zrna), acirkularni ferit i globularni bainit sa izrazitom usmerenošću sekundarne faze (slike 8. i 9.).



Slika 5. Raspored i veličina oksidnih nemetalnih uključaka (nenagrižen uzorak)



Slika 6. Mikrostruktura navara u preseku (a) i (b)

Prisustvo oksidnih nemetalnih uključaka u navaru, koji su identifikovani da pripadaju po JK-skali tipu i klasi D-2 je zadovoljavajuće, a za specifične uslove navarivanja prihvatljivo.

Mikrostruktura navara koja sadrži mikrokonstituente kao što su alotriomorfni ferit, acirkularni ferit i globularni bainit je mikrostruktura koja je tipična za dobar zavareni spoj u termički neobrađenom stanju [5], [6].



Slika 7. Mikrostruktura navara u preseku (a) i (c)



Slika 8. Mikrostruktura navara
u preseku (a)



Slika 9. Mikrostruktura navara
u preseku (c)

5. ZAKLJUČAK

Na osnovu rezultata istraživanja smatra se da obložena elektroda sa čeličnim plaštom može da se primenjuje u proizvodnji za reparaturna navarivanja u cilju regeneracije istrošenih delova od nis kougleničnog čelika.

6. LITERATURA

- /1/ Gillemot L.: SZERKEZETI ANYAGOK TECHNOLOGIAJA-HEGESZTES, Budapest, 1965.
- /2/ Palić V.: ZAVARIVANJE, Novi Sad, 1987.
- /3/ Sabo B., Alanović J.: REL ZAVARIVANJE I NAVARIVANJE OBLOŽENOM ELEKTRODOM SA METALNIM PLAŠTOM, ZAVARIVANJE, br. 5-6, Zagreb, 1991.
- /4/ Sabo B.: PATENT BR. P-690/91, SAVEZNI ZAVOD ZA PATENTE, Beograd, 1991.
- /5/ GUIDELINES FOR CLASSIFICATION OF FERRITIC STEELS WELD METALS MICROSTRUCTURAL CONSTITUENTS USING THE LIGHT MICROSCOPE, IIW DOC. NO. IX-1377-85 (IXJ-102-85).
- /6/ H. K. D. -H. BLADESHIA, MATERIALS SCIENCES AND TECHNOLOGY, Feb. 1992. vol. 8. 123.-133.+

SANACIJA ZAVARIVANJEM OŠTEĆENIH DELOVA CENTRIFUGE ZA ODVAJANJE PROPILENA

Boško Aleksić, Antun Fertilio
DP "HIP-AZOTARA" Pančevo

1. UVOD

U "HIPOL"-u Odžaci tokom eksploatacije došlo je do oštećenja donjeg ležaja rotora centrifuge za odvajanje propilena, (L-201B), što je dovelo do mehaničkih oštećenja konusnom delu rotora i cilindra. Uvidom na licu mesta oštećenih delova centrifuge i analizom uticajnih faktora, došlo se do konstatacije da je najverovatniji uzrok oštećenja dodir-trenje u toku rada između konusnog dela rotora i konusnog dela cilindra centrifuge.

Izvršenom rekonstrukcijom kod ležaja i boljom tehnološkom disciplinom ovaj problem je eliminisan.

Studioznim prilazom i na osnovu dosadašnjih iskustava na sličnim problemima zaključeno je da se pristupi sanaciji oštećenih delova zavarivanjem. Sanaciji je predhodila defektaža i dijagnostika oštećenih delova centrifuge.

U cilju obezbeđenja optimalnog kvaliteta, sve faze izvođenja sanacije oštećenih delova centrifuge su bile pod nadzorom stručnjaka odgovarajućih specijalnosti. Sve aktivnosti vezane za defektažu i dijagnostiku su planirane tako da centrifuga bude u zastoju što kraće vreme. Programom dijagnostike i sanacije oštećenih delova rotora (puža) i cilindra centrifuge su predviđene sledeće aktivnosti:

- Mehaničko i hemijsko čišćenje spoljnih površina rotora i unutrašnjih površina cilindra.
- Obeležavanje repernih tačaka za dimenzionu kontrolu i izradu odgovarajućih skica.
- Demontaža rotora i cilindra. Odvajanje cilindričnog od konusnog dela cilindra.
- Vizuelni pregled radnih elemenata centrifuge i izrade izveštaja sa fotografijama.
- Fotografisanje karakterističnih mesta na osnovu nalaza vizuelne kontrole.
- Dimenziona kontrola cilindra.

- Dimenziona kontrola konusa, rotora i cilindra.
- Dimenziona kontrola rotora.
- Merenje hrapavosti na cilindru.
- Merenje hrapavosti na sredini i kraju puža rotora.
- Izrada radioničke dokumentacije rotora i cilindra.
- Analiza rezultata dimenzione kontrole.
- Tehnologija zavarivanja za sanaciju oštećenih delova.
- Izbor izvođača radova.
- Kontrola izvođenja sanacije zavarivanjem.
- Kontrola nakon izvršenja zavarivanja i mašinske obrade.
- Poliranje rotora i cilindra.
- Vizuelna kontrola i merenje hrapavosti nakon izvršene obrade i poliranja.
- Uravnoteženje centrifuge.
- Vraćanje rotora i centrifuge sa obrade.
- Ugradnja cilindra i rotora.
- Puštanje centrifuge u rad i kontrola radnih parametara.
- Izrada programa i dinamičkog plana kontrole u toku dalje eksploatacije.

2. DEFEKTAŽA I DIJAGNOSTIKA

Vizuelnom kontrolom radnih elemenata centrifuge su uočena sledeća karakteristična oštećenja delova puža, cilindra i konusnog dela:

- Čelo puža rotora centrifuge je znatno oštećeno u konusnom i donjem cilindričnom delu. Dužina oštećenja zahvata sedam zavojnica puža koje treba sanirati.
- Cilindrični deo centrifuge je u zadovoljavajućem stanju i nije potrebno vršiti sanaciju.
- Konusni deo cilindra je jako oštećen na unutrašnjim površinama, te je potrebno izvršiti sanaciju.

Dimenzionom kontrolom zavojnice puža, izveštajem je dat grafički prikaz stanja vrhova zavojnice puža. Može se konstatovati da je oštećen srednji i donji deo cilindra rotora kao i konusni deo rotora centrifuge.

Ispitivanjem tečnim penetrantima nisu otkrivene površinske greške tipa prslina.

Snimanjem elemenata izrađeni su crteži i pripremljena je sva potrebna dokumentacija za izvođenje sanacije.

3. SANACIJA OŠTEĆENIH DELOVA CENTRIFUGE (L-201B)

Na osnovu izveštaja o dijagnostici oštećenih delova centrifuge izrađena je tehnologija sanacije i kontrole. Izvođenje sanacije je bilo pod stalnim nadzorom specijalista.

Na cilindru centrifuge, u okviru sanacije je izvedeno poliranje unutrašnjih površina. Dublji zarez (mehaničko oštećenje) je brušenjem zaobljen i nakon toga je izvršeno poliranje.

Konusni deo cilindra je odsečen ispod prirubnice kod žljeba za zaptivač. Novi prsten je izrađen od lima i zavaren po propisanoj tehnologiji za oštećeni deo konusa, a zatim je izvršeno zavarivanje oštećenih unutrašnjih površina konusnog dela cilindra. Svi zavareni spojevi su kontrolisani vizuelno i penetrantima pri čemu nisu uočene greške.

Nakon zavarivanja i kontrole izvršena je mašinska obrada struganjem i poliranjem i na kraju je izvršeno urezivanje žljebova.

Sanirani cilindar i konus su povezani zavarivanjem i podvrgnuti balansiranju u cilju uravnoteženja masa. Zaostala neuravnoteženost prema propisima VDI 2056 je zadovoljavajuća i nalazi se granicama "dobrtog" dela.

Sanacija rotora centrifuge je izvršena tako što je prvo izvršena predobrada čela puža na konusnom delu a nakon toga zavarivanje TIG postupkom pod zaštitom argona. Debljina zavarenog sloja je podešena tako da se nakon mašinske obrade obezbede početne mere i oblik definisani crtežom.

Nakon završene mašinske obrade rotor centrifuge je balansiran, a zatim je centrifuga kompletirana i izvršena provera ispravnosti i "mirnoće" rada.

4. ZAKLJUČAK

1. Preporuka licencera i proizvođača je bila da se oštećeni deo zameni novim što je iziskivalo velika devizna sredstva i dug rok isporuke.

2. Sanacija po navedenom postupku se praktično uklopila u vreme planskog remonta.

3. Od ugradnje sanirani delovi su oko godinu dana u eksploataciji, što ukazuje da je sanacija uspešno izvršena.

OTKRIVANJE PRSLINA I NJIHOVA SANACIJA TOKOM EKSPLOATACIJE NA SFERNOM REZERVOARU OD MIKROLEGIRANOG ČELIKA ZAPREMINE 2000 m³

*Antun Fertilio, Boško Aleksić, Jano Kurai, Branislava Vujović- Đorđević,
DP HIP "AZOTARA" Pančevo*

REZIME

Tokom redovnog pregleda i ispitivanja metodama bez razaranja sfernog rezervoara za vinilhlorid monomer (VCM), zapremine 2000 m³ sa unutrašnje strane u zoni zavarenih spojeva, otkriven je veliki broj prslina različitog usmerenja i dubina. U cilju daljeg bezbednog rada sfernog rezervoara studioznim razmatranjem i testiranjem utvrđen je optimalni postupak sanacije i zavarivanja za tipične slučajeve oštećenja. U referatu su dati rezultati kontrole i postupak sanacije brušenjem i zavarivanjem.

1. UVOD

Sferni rezervoar od 2000 m³ je predviđen za skladištenje VCM-a, koji se dalje preko utovarne rampe pretače u vagon cisterne i otprema do korisnika. Pre punjenja VCM-om sferni rezervoar se mora inertizovati i držati pod određenim pritiskom azota. Pri prvom punjenju se ispušta azot i istovremeno puni sa 30-50 tona tečnog VCM-a. Nakon toga dolazi do otparivanja ("Flešovanja") tečnog VCM-a, usled čega dolazi do hlađenja tečnog VCM-a i sfernog rezervoara. Za vreme početnog uvođenja VCM-a, u donjem delu sfera temperatura je od minus 10 do minus 15 °C. Zavisno od spoljne temperature i vlažnosti može doći do kondenzacije atmosferske vlage i stvaranja ledenog sloja na spoljnoj površini sfernog rezervoara. Obzirom da sfera nije izolovana, pritisak u sferi je u funkciji ambijentne temperature (npr. pri +10 °C pritisak je 1,51 bar, a pri +35 °C pritisak je 4,43 bar).

Sferni rezervoar je sastavljen od 24 segmenta, dva danca na dnu i vrhu sfere debljine 20 mm. Oni su međusobno spojeni zavarivanjem i to podužnim varovima (ukupno 483 m), EPP (50%) i REL (50%) postupkom, a radijalni varovi (ukupno 120 m) izvedeni su REL postupkom. Sfera je oslonjena na 12 oslonaca (stubova).

Kvalitet materijala sfernog rezervoara je NIOVAL 47 hemijskog sastava: 0,18-0,19% C; 0,44-0,45% Si; 1,42-1,43% Mn; 0,012-0,015% P; 0,009-0,014% S; 0,048-0,055% Nb i 0,08% V i mehaničkih karakteristika: $\delta m = 63,9-66,0 \text{ N/mm}^2$; $\delta 0,2 = 47,0-50,6 \text{ N/mm}^2$; $\delta 5 = 25-27\%$ i žilavost na $0^\circ \text{C} = 12-16,6 \text{ mKp/cm}^2$. Dodati materijal za zavarivanje bio je kvaliteta EVB-60 (AWS E8018-G) Željezare Jasenice.

Sferni rezervoar je u eksploataciji od 1977. godine (15 godina).

2. REZULTATI KONTROLE I ISPITIVANJA

Od montaže sfernog rezervoara izvršeno je sledeće:

- Novembar 1976-I hidrottest (120 N/cm²)-nije registrovano propuštanje
 - Septembar 1977-Sferni rezervoar pušten u eksploataciju
 - Septembar 1983-II hidrottest-nije registrovano propuštanje
 - April 1987-III hidrottest-nije registrovano propuštanje
 - Nakon puštanja u eksploataciju sa spoljašnje strane je izvršena ultrazvučna kontrola (kosim sondama) dva radijalna spoja (RI i RII).
 - Oktobar 1989-IV hidrottest (vanredni pregled po uputstvu nadležnog inspektora parnih kotlova) nije registrovano curenje.
 - Sledi brušenje nadvišenja vara sa unutrašnje strane
 - Kontrolom magnetnim česticama i ultrazvukom registrovan je veliki broj prslina (podužne i poprečne) u šavu koje su bile različitih dužina i dubina.
 - Nakon sanacije brušenjem i zavarivanjem izvršena je kontrola magnetnim česticama i ultrazvukom, pri čemu više nije bilo indikacija prslina.
 - Mart 1990.-V hidrottest-(vanredni pregled) nije registrovano propuštanje.
 - Kontrolom magnetnim česticama i ultrazvukom, registrovan je veliki broj prslina (podužne i poprečne) u šavu koje su bile različitih dužina i dubina.
 - Nakon sanacije brušenjem i zavarivanjem izvršena je
 - Kontrola magnetnim česticama i ultrazvukom, pri čemu više nije bilo indikacija prslina.
- Na osnovu rezultata kontrole i ispitivanja u martu 1991. godine konstatovane su prsline podužne i poprečne na zavarenim spojevima.(331-no mesto) sa unutrašnje strane sfernog rezervoara.

U tabeli 1. su dati lokacija, broj i usmerenje prslina registrovanih pre i posle hidrottesta (HT) kao i dužine žljeba dubljih od 5 mm koji su sanirani zavarivanjem.

Tabela 1.

Oznaka vara	Broj prslina pre (posle) HT			Dužina žljeba za zavarivanje (m)
	podužne	poprečne	Ukupno	
RI	2 (3)	9 (2)	11 (5)	0,53 (0,50)
R II	36 (3)	85 (-)	121 (2)	12,89 (0,25)
R III	109 (35)	- (12)	109 (47)	19,56 (0,16)
R IV	6 (10)	- (-)	6 (10)	0,52 (0,08)
L I/II	33 (106)	5 (-)	38 (106)	2,36 (0,74)
L II/III	29 (2)	17 (8)	46 (10)	- (-)
L III/IV	- (-)	- (-)	- (-)	- (-)
UKUPNO:	215 (158)	116 (22)	331 (180)	36,84 (1,73)

3. SANACIJA BRUŠENJEM I ZAVARIVANJEM

Registrovane prsline u sfernom rezervoaru su brušene i pri tome je kontrolisano magnetnim pločama njihovo vadenje.

Do dubine 5 mm (minimalne debljine 17 mm) sanacija je vršena samo brušenjem tako što je osa rotacije brusnog kamena bila normalna na podužnu osu zavarenog spoja. Brušenjem je obezbeđen blag prilaz, bez oštih zarez a i žljebova prema osnovnom materijalu.

Za sanaciju zavarivanjem bile su prsline koje su prodirale u dubinu više od 5 mm. U tom slučaju osa rotacije brusnog kamena je bila u pravcu pružanja indikacije prslina. Brušenjem je formiran žleb za zavarivanje. Zavisno od dubine prslina sanacija je izvođena sa jedne ili obe strane sfernog rezervoara.

U tabeli 2. je dat broj prslina po načinu sanacije.

Oznaka vara	Sanacija prslina pre (posle) HT		
	Samo brušenjem	Jednostranim zav.	Dvostranim zav.
R I	5 (-)	6 (-)	- (-)
R II	15 (-)	87 (2)	19 (-)
R III	36 (45)	58 (2)	15 (-)
R IV	- (-)	5 (1)	1 (-)
L I/II	12 (101)	25 (5)	1 (-)
L II/III	34 (10)	12 (-)	- (-)
L III/IV	- (-)	- (-)	- (-)
UKUPNO:	102 (165)	193 (14)	36 (1)

Na slici 2. je prikazan postupak sanacije jednostranim zavarivanjem plićih (a) i dubljih (b) žljebova, a dvostranim zavarivanjem (c) kada je dubina prslina bila veća od $2/3$ debljine.

Sanacija zavarivanjem je izvedena elektrolučnim ručnim zavarivanjem (REL) sa elektrodom kvaliteta AWS E 8018-G i prečnika 3, 25 mm. Proračunata minimalna temperatura predgravanja je iznosila 142°C i u toku rada je stalno kontrolisana.

Pri zavarivanju grejači su uvek bili postavljeni sa suprotne strane.

Redosled zavarivanja i popuna žljeba su izvedeni striktno po propisanoj tehnologiji. Na kraju je nanešen "zavar za žarenje" koji je posle kontrolisanog hlađenja obrušen (šrafiran deo na slici 3.). Pri zavarivanju mikrolegiranih čelika od bitnog značaja je izračunavanje i određivanje granične vrednosti debljine (dg) koja označava prelaz sa trodimenzionalnog na dvodimenzionalno odvođenje toplote. Zavisno od dg dolazi se do zaključka o vremenu hlađenja ($t_{8/5}$) u području od 800°C do 500°C koje utiče na strukturu materijala i mehaničke osobine. Kada je vreme hlađenja ($t_{8/5}$) kratko, može se očekivati pojava hladnih prslina, a kada $t_{8/5}$ traje dugo, postoji opasnost da vrednosti žilavosti budu male.

Izračunate vrednosti prema standardu JUS C.T3.102 u našem slučaju su sledeće: $dg=19,4\text{ mm}$ i $t_{8/5}=4,83\text{ s}$.

U toku sanacije pri zavarivanju je merena temperatura kontaktnim elektronskim meračem na ivici žljeba sa unutrašnje strane sfernog rezervoara, a zatim izračunato vreme hlađenja $t_{8/5}=7,5\text{ s}$. Ova vrednost ukazuje da su propisani parametri zavarivanja dobro odabrani i sa tog stanovišta ne treba očekivati pojavu hladnih prslina i slabu žilavost.

Nakon sanacije zavarivanjem i brušenjem nadvišenja, izvršeno je ispitivanje magnetnim česticama i ultrazvukom.

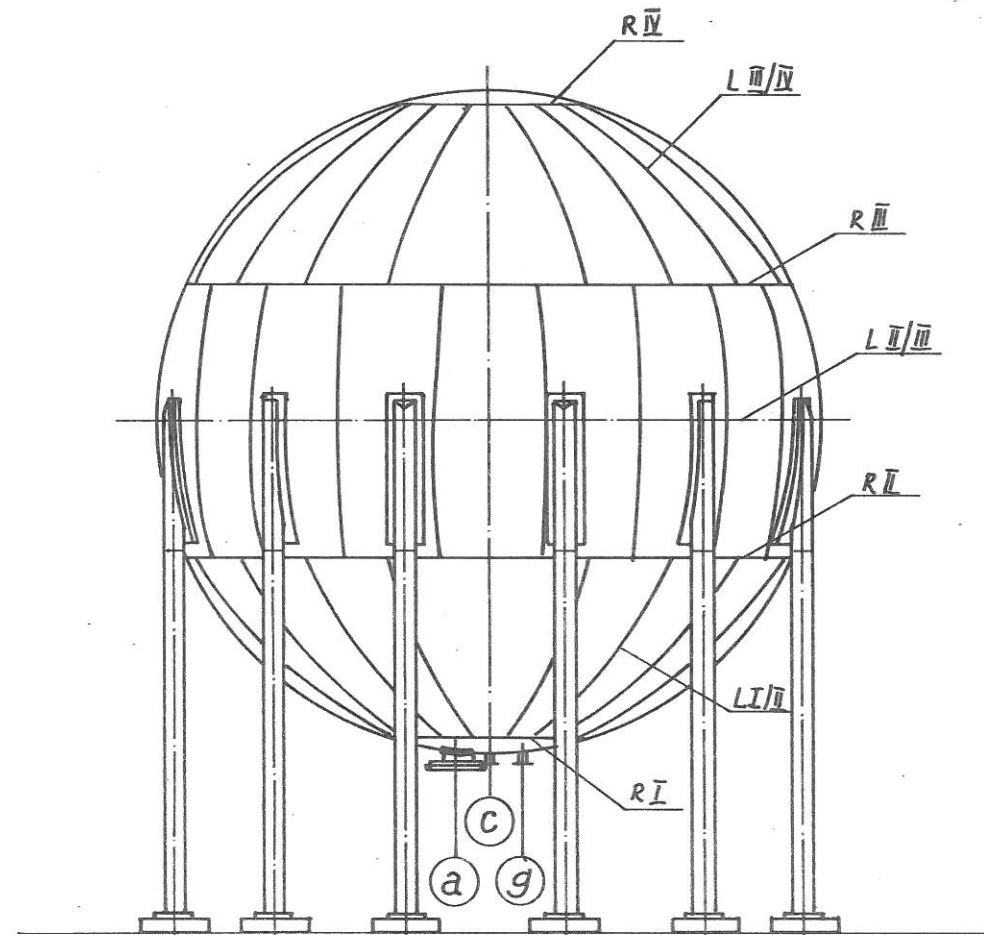
Pri tome nisu otkrivene indikacije prslina i drugih nedopustivih grešaka. Periodičnom ultrazvučnom kontrolom sa spoljašnje strane saniranih mesta zavarivanja, tokom proteklih godinu ipo dana nije bilo promena.

4. ZAKLJUČAK

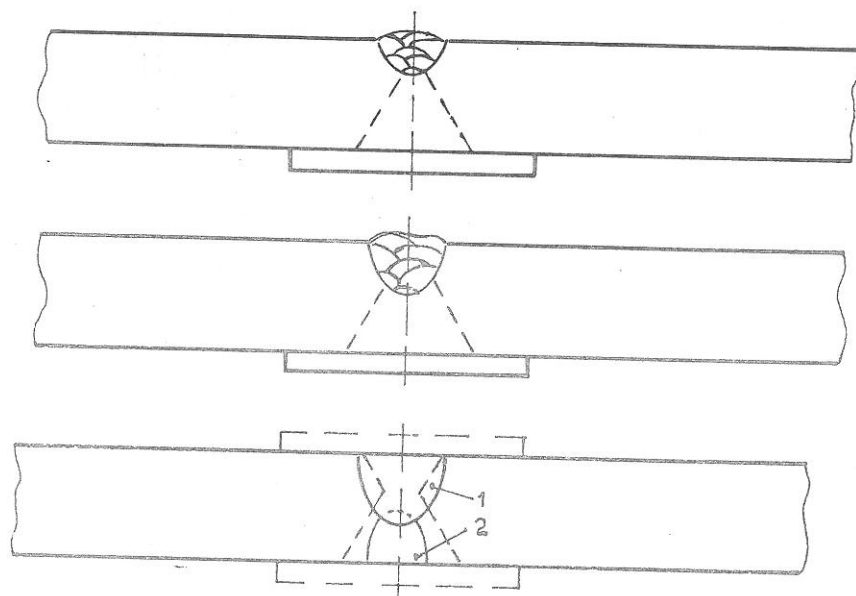
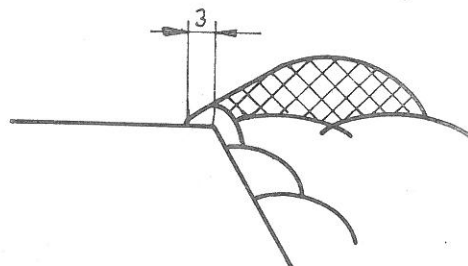
1. U toku eksploatacije nakon određenog vremena kod sfernih rezervoara izrađenih od mikrolegiranih fino zrnatih čelika, sa unutrašnje strane u zoni zavarenih spojeva se pojavljuju prslina različitog usmerenja, dužine i dubine.

2. Hidrotest u toku eksploatacije, kada se izvodi sa probnim pritiskom, istim kao i pri prvoj probi pre puštanja u rad, evidentno utiče na pojavu novih prslina na zavarenim spojevima koji su bili u eksploataciji, dok kod novih zavarenih spojeva izvedenih pri sanaciji nema indikacija prslina.

3. Reparturnim zavarivanjem po datoj tehnologiji su postignuti dobri rezultati i u toku dalje eksploatacije (1,5 godina) ultrazvučnim ispitivanjem sa spoljašnje strane nisu registrovane prslina.



Slika 1. Šematski prikaz zavarenih spojeva sfernog rezervoara (T411 A i B), 2000 m³



Slika 2. Tipični slučajevi sanacije zavarivanjem: - a-jednostrano; -b-dvostrano

METALOGRAFSKA KONTROLA KOROZIONIH OŠTEĆENJA U PROCESNIM INSTALACIJAMA HEMIJSKE I PETROHEMIJSKE INDUSTRIJE

*Dragan Dukanović,
Ljiljan Bogdanović
DP HIP "AZOTARA" Pančevo*

U procesnim instalacijama hemijske i petrohemijske industrije prilikom eksploatacije često dolazi do destrukcije konstrukcionih materijala. Destrukcija konstrukcionih materijala je najčešće posledica poremećaja radnih uslova u kraćem ili dužem vremenskom periodu, a najčešće se ispoljava kao opšta, mestimična, tačkasta, interkristalna, naponska, vodonična korozija itd. Uticaj povišene temperature i termošokovi mogu dovesti, na površini i po preseku materijala, do oksidacije granice zrna ili pojedinih faza, karbonizacije, dekarbonizacije, izdvajanje karbida ili sigma faze, kao i rekristalizacije mikrostrukture.

Svi navedeni vidovi korozionih ili mikrostrukturnih oštećenja bitno utiču na slabljenje mehaničko-tehnoloških karakteristika konstrukcionih delova postrojenja. Stoga je veoma bitno blagovremeno otkrivanje i lokalizovanje oštećenja bilo prilikom redovnih planiranih remontnih aktivnosti ili neplaniranih zastoja.

Metalografska kontrola, laboratorijka ili terenska je naročito pogodna za utvrđivanje stanja konstrukcionih materijala u pogledu navedenih defekata. Metalografija se takođe koristi i za identifikaciju konstrukcionih materijala i vrste termičke obrade, probe zavarljivosti materijala prilikom reparacija industrijske opreme i izradi novih delova.

Terenska metalografija se koristi za ispitivanje opreme u radu i na licu mesta bez razaranja delova opreme. Za razliku od drugih metoda kontrole, terenskom metalografijom se mikrostrukturne i korozione promene mogu registrovati neposredno, na licu mesta ili putkm uzimanja replika, što je posebno pogodno za nepristupačne delove opreme.

Postupak metalografskog ispitivanja na licu mesta se izvodi u pet faza:

GRUBO BRUŠENJE

Neophodan uslov za mikroskopsko ispitivanje metala i legura je izrada ravne i glatke površine. Za uklanjanje zaprljanja, rde, okalina, premaza i raznih neravnina koristi se električna brusilica sa brusnim kamenom od silicijumkarbida.

FINO BRUŠENJE

Električnom bušilicom sa gumenim diskom na koji se lepe brusni papiri razne finoće, vrši se priprema za metalografsko poliranje.

METALOGRAFSKO POLIRANJE

Metalografsko poliranje se vrši električnom bušilicom sa gumenim diskom koji se oblaže mekom vunenom tkaninom. Kao sredstvo za poliranje koristi se glinica Al_2O_3 ili MgO u vodenoj suspenziji odnosno dijamantska pasta za osetljive materijale. U upotrebi je i elektropoliranje naročito za laboratorijska ispitivanja.

RAZVIJANJE MIKROSTRUKTURE

Za neka metalografska ispitivanja dovoljno je posmatrati ispolirani uzorak, najpre golim okom zatim pomoću lupe i na kraju pri većim ili manjim uvećanjem mikroskopa. Na ispoliranim uzorcima mogu se uočiti, početci korozije nemetalni uključci, naprsline usled kaljenja i naprezanja itd. Za razvijanje mikrostrukture, granice zrna ili pojedinih faza koristi se odgovarajuć hemijski reagens u zavisnosti od vrste materijala i legura. Takođe je u upotrebi i elektrolitičko nagrivanje.

METALOGRAFSKO ISPITIVANJE

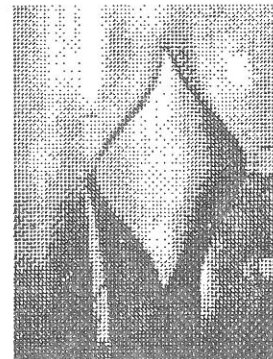
Mikrostruktura se ispituje nekim mobilnim svetlosnim mikroskopom koji ima mogućnosti različitih uvećanja. Mikroskop treba da ima specijalno postolje podesno za ravne ili okrugle površine i foto uređaj za snimanje. Alternativno se mikrostruktura može preneti na omekšalu plastičnu traku "repliku", koja se ispituje u laboratorijskim uslovima. Ovaj postupak je naročito podesan za ispitivanje nepristupačnih površina.

Karakteristični primeri metalografskog ispitivanja iz prakse:

PRIMER 1.

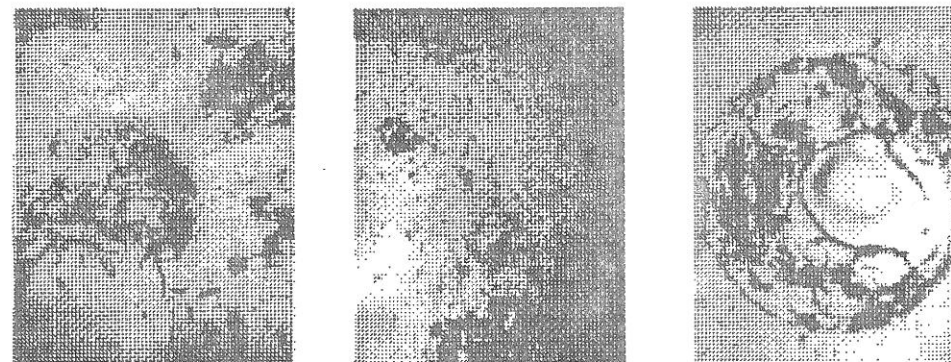
Na makrosnimku, slika 1., prikazan je detalj havarisane cevi predgrejača pare visokog pritiska, 105 bar.

Usled nepodešenosti brenera i lokalnog pregrevanja zida cevi, konstrukcioni materijal, niskolegirani Cr-Mo čelik - ASTM A335 P11, pretrpeo je trajne strukturne promene, što je dovelo do slabljenja mehaničko-tehnoloških karakteristika materijala, odnosno pucanja cevi.



Slika 1. Metalografija detalja havarisane cevi

Metalografskom analizom preseka zida cevi konstantovane su degradacije mikrostrukture materijala, ispoljene u vidu interne oksidacije, dekarbonizacije, rekristalizacije i precipitacije karbida (slika 2. a, b i c)



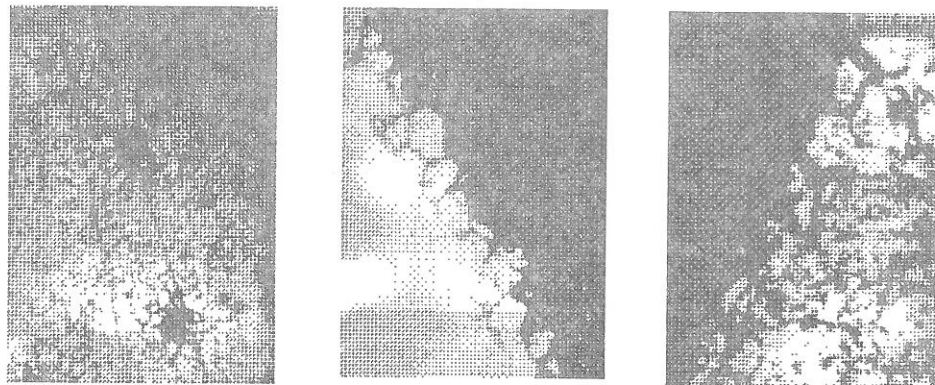
Slika 2. Degradacija materijala zida cevi usled lokalnog pregrevanja; nagriveno; uvećanje 75X

PRIMER 2

U ovom primeru data su karakteristična oštećenja koja se javljaju na cevima peći za krekovanje nafte. Cevi su izrađene od čelika (5% Cr i 0,7% Mo) tipa ASTM A335 P5.

Naime, tokom procesa sa unutrašnje strane cevi dolazi do taloženja koksa. Naslage koksa smanjuju razmenu toplote sa fluidom unutar cevi, što rezultira njihovim lokalnim pregrevanjima i oštećenjima mikrostrukture materijala.

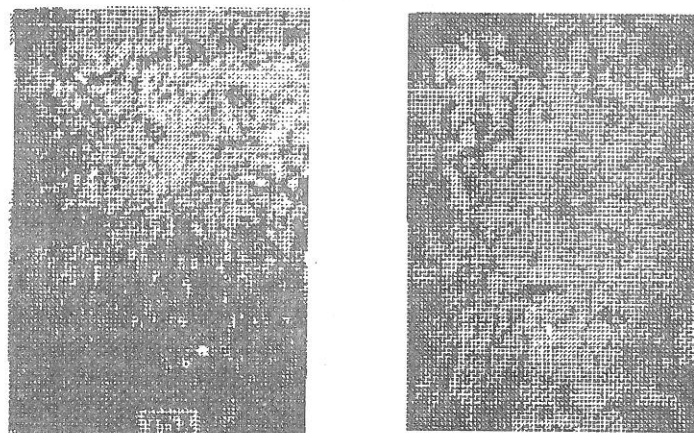
Na slici 3. a, b i c date su mikrofotografije karakterističnih oštećenja koja se javljaju na spoljnoj i unutrašnjoj površini cevi.



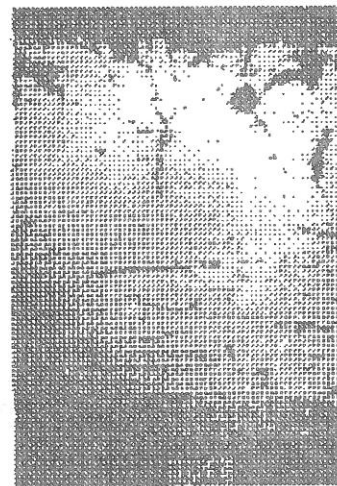
Slika 3. a) Oštećenja na spolnjoj površini cevi; b) i c) Oštećenja na unutrašnjoj površini cevi; nagriženo; uvećano 100X

PRIMER 3

Na slici 4. data je mikrofotografija uzorka čelika tipa 310 (ASTM; 24% Cr i 20, 5% Ni), koji je u procesu proizvodnje stalno izložen visokim temperaturama cca 1000 °C (zaštitni lim vatrostalne obloge). U ovim uslovima dolazi vremenom do koagulacije karbida koji se izdvajaju u vidu traka, po granicama zrna, i dekarbonizacija površine lima (slika 5.). Ovi defekti dovode do interkristalnog razaranja materijala (slika 6.).

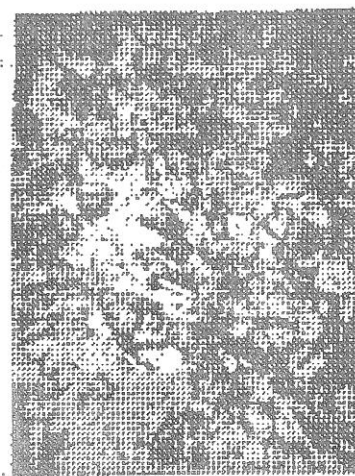


Slika 4. Koagulacija karbida; nagriženo

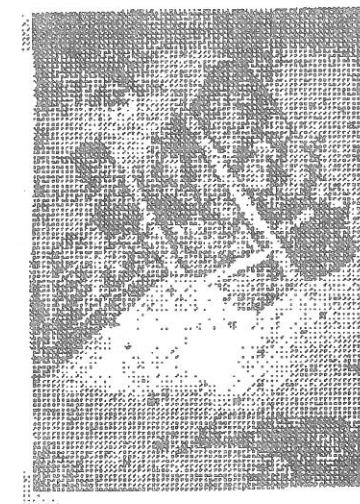


Slika 5. Koagulacija karbida, dekarbonizacija i interkristalno razaranje materijala; nenagriženo

U istim eksploatacionim uslovima koriste se i ankeri 0 8 mm od čelika tipa 310 (ASTM), kao nosači vatrostalne obloge. Posle dužeg vremena eksploatacije materijal je izgubio mehaničko-tehnološke karakteristike i postao krh. Metalografskom analizom je konstatovana rekristalizacija mikrostrukture, odnosno enormni rast kristalnih zrna. Mikrofotografije na slici 6. i slici 7. ilustruju mikrostrukturu novog (slika 6.) i polomljenog ankera (slika 7.).



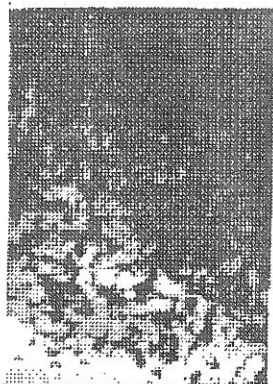
Slika 6. Austenitna mikrostruktura novog ankera; nagriženo; uvećanje 75X



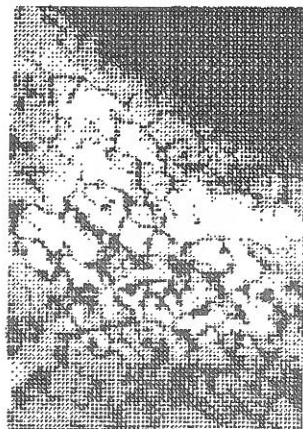
Slika 7. Austenitna mikrostruktura polomljenog ankera; nagriženo; uvećanje 75X

PRIMER 4

Razugljeničenje površine metala i rekristalizacija mikrostrukture dovodi do promena (slabljenja) mehaničko-tehnoloških osobina materijala. Ova pojava utvrđena je metalografski na "ekranskim" cevima parnog kotla, izrađenim od čelika St 35.8-1. U sredini zida struktura materijala je neizmenjena (feritno-perlitna) i karakteristična za ovaj čelik (slika 8.), a kristalna zrna ravnomerne veličine. Na spoljašnjoj površini zida cevi, na višim temperaturama, cementit iz površinskih zona se razlaže i nastali ugljenik difuzijom dospeva na površinu. U oksidacionoj atmosferi ugljenik prelazi u CO i CO₂ i napušta čelik. Ovim mehanizmom dolazi do razugljeničenja površinske zone (slika 9. a i b). Usled dužeg delovanja visoke temperature takođe dolazi i do znatnog rasta kristalnih zrna u površinskoj zoni, što se jasno uočava na mikrofotografijama - slika 9. a i b.



Slika 8. Mikrostruktura materijala St 35.8-1



Slika 9. Dekarbonizacija i rekristalizacija; nagriženo

LITERATURA

- /1/Schumann H. - "Metallographie", 1981.
- /2/Fontana G.M. - "Corrosion engineering", 1967.

PRASKANJE U GORIONIKU I POVRATNI UDAR PLAMENA

*Dr Ratko Lučić, docent
Mašinski fakultet, Kraljevo*

1. UVOD

Pri upotrebi gorionika za zavarivanje, zagrevanje i rezanje mogu se desiti dve vrste eksplozije: praskanje u gorioniku i povratni udar plamena. Ovi pojmovi ne smeju se pobrkati, oni su potpuno različiti.

Praskanje u gorioniku nije ozbiljna stvar i dešava se uvek tu i tamo. Povratni udar plamena je jako ozbiljan problem i pošto su čovekove mogućnosti za brzim trčanjem (bežanjem) ispod brzine sagorevanja na primer acetilena (24,9 km/h ili 6,9 m/s). Bolje je da budemo svesni činjenica i sprečimo svaku neprijatnost u proizvodnim pogonima i opitnim centrima.

Kad sveća gori, fitelj održava plamen a vosak se ispod njega topi i obrazuje lokvicu težnosti koja zasićuje fitelj i napaja plamen. Gorenje i sagorevanje voska i fitilja je progresivno i stalno. Slično, kad se struja smeše kiseonika i gorivog gasa upali na vrh mlaznice gorionika za zavarivanje, zagrevanje ili rezanje, brzina sagorevanja smeše gorivi gas - kiseonik je ujednačena i stalna. Zbog toga ona ne eksplodira. Smeša kiseonik - gorivi gas gori unazad upravo onako brzo kako gas izlazi iz jednog otvora u mlaznici gorionika za zavarivanje ili iz mnogih otvora za predgrevanje oko središnjeg otvora za kiseonik u mlaznici gorionika za rezanje.

Brzina kojom zapaljivi gas gori, je stalna samo za datu grupu uslova. Ova brzina sagorevanja menja se kad se promeni smeša gas - kiseonik i kad se brzina protoka ovih gasova poveća ili smanji. Ako je neki prostor zatvoren i pun velike količine kiseonika i gorivog gasa i odjednom upalimo ovu smešu, dobićemo eksploziju. Gorionici za zavarivanje i rezanje su konstruisani da regulišu i smanje uticaj ovih parametara tako da dobijamo plamen a ne eksploziju.

Gorionici za zavarivanje, zagrevanje i rezanje svrsishodno drže kiseonik i gorivi gas u odvojenim cevima do trenutka pre nego što su spremni da sagore. Samo u ovom momentu gasovi se međusobno pomešaju, upravo pre nego što napuste gorionik. Jedino mesto gde smeša kiseonik gorivo sagoreva je u vrlo tankom sloju na kraju mlaznice gorionika.

Bilo koja vrsta sagorevanja može se vršiti sporo pod pažljivo regulisanim uslovima ili najedanput, što znači eksplozivno. Fino samleveno pšenično brašno npr., ima dovoljnu eksplozivnu energiju da razori silos ako se veže sa odgovarajućom količinom kiseonika pod odgovarajućim uslovima i neko unese varnicu.

Creva za gorivi gas i kiseonik pri zavarivanju imaju čvrstoću rasprskavanja veću od 2,1 MPa. Znamo kako eksplozivno prska automobilska guma, a ona je napunjena samo pritiskom do oko 0,21 MPa. Ako sada zamislimo prasak debelo - zidnog creva koje se rasprsne pri deset puta većoj sili od one koja izaziva eksploziju automobilske gume, pridaćemo veći značaj tehničkim upustvima koja sprečavaju da dođe do ovakve pojave. Posebno kod acetilena eksplozija i plamen mogu nastaviti širenje kroz crevo i ući u redukcionni ventil, razarajući ih pojedinačno. Plamen i eksplozija mogu čak preći u bocu acetilena i eksplozijom razoriti sve. Nezgode ovakve prirode ne smeju nikada da se dogode, one se mogu potpuno izbeći. Upotreba nepovratnih ventila (osigurača protiv povratnog udara plamena) kao i pravilno ispiranje creva za kiseonik i gorivi gas znatno će doprineti sprečavanju ovakvih neprilika.

2. PRASKANJE U GORIONIKU

Ako se paljenjem u gorioniku izazove sagorevanje veće zapremine smeše gorivi gas - kiseonik (vazduh), a da pri tome ne usledi udarni talas, onda se radi o pojavi posebnog vida sagorevanja. Praskanje u gorioniku praskanje puh-puh-puh prasak, je dosadna stvar prouzrokovana

nepравilnim rukovanjem gorionikom, kojim se pregreje mlaznica. Istu stvar će ponekad učiniti i zaprljana mlaznica. Potrebno je sprečiti pregrevanje mlaznice ili je očistiti.

Kad se desi praskanje u gorioniku, plamen trenutno gori unazad u gorionik i neposredno zatim iskoči vani uz prasak sa zvukom čiji je domet od malog praska do jakog treska. Praskanje u gorioniku je prouzrokovano dodiranjem mlaznice sa komadom (čime se ne samo prekida protok gasa već takođe pregreje mlaznica i ograniči količina kiseonika iz vazduha koja je potrebna za potpuno sagorevanje u plamenu). Zapušavanje otvora mlaznica sa malo troske ili prljavštine takođe će progrijati mlaznicu i dovesti do iste pojave. Postavljanje čela mlaznice ravno na komad prouzrokuje praskanje u gorioniku kao i pregrejavanje mlaznice njenim držanjem suviše dugo unutar velikog, zagrejanog spoja metala.

Ponekad će plamen izlaziti van kad se pojavi praskanje u gorioniku. Ako se mlaznica pregreje gorionik će proizvoditi zvukove sličnim nizu petardi sve dok se gas koji dolazi kroz njega ne isključi ili se mlaznica ne ohladi.

Ako se gorionik ugasi i ne može se ponovo sam od sebe upaliti (zagrejani radni komad često će ponovo upaliti gorionik):

- Odmah zatvoriti ventil gorionika za kiseonik
- Zatvoriti ventil gorionika za gorivi gas
- Očistiti mlaznicu
- Obavezno najpre isključiti kiseonik, onda gorivi gas.

Ako se prvo isključi ventil goriva na gorioniku, plamen će se ugasi. No moguće je da niste zaokrenuli ventil da on bude potpuno zatvoren. Ako je ventil kiseonika još uvek malo

otvoren to nije tako opasno kao to da ventil goriva bude malo otvoren, što stvara uslove za moguću eksploziju.

Analizom dijagrama na sl.1 ovi stavovi postaju mnogo jasniji. Na njima se za acetilenu oćavaju dva neeksplozivna područja: prvo od 0 do 3 % i drugo 2,5 puta šire to jest od 93 do 100 %. Ovo drugo područje dakle više smanjuje mogućnost ulaska u eksplozivno područje, tj. u prisustvu velike količine gasa (preko 93%) i male količine kiseonika (ispod 7%). Zato je mnogo opasnije ako se gorivi gas ne zatvori potpuno a ostane kiseonik u tom momentu otvoren, nego da se kiseonik ne zatvori do kraja a ostane gas otvoren u tom trenutku.

Na kraju treba prokontrolisati mlaznicu gorionika iglom za čišćenje da se bude sigurno da su otvori u njoj slobodni od prljavštine i troske. Ovo su naročito oblikovane igle za čišćenje mlaznice. Nikad za ovu svrhu ne treba koristiti neadekvatne materijale, kao npr. staru žicu koja je u blizini.

3. POVATNI UDAR PLAMENA

Povratni udar plamena je ozbiljna stvar. Ako se jednom dogodi, treba zaustaviti ceo posao da bi se ustanovilo šta ga prouzrokovalo. Povratni udar plamena znači da plamen gori unazad, unutar samog gorionika a ne samo u mlaznici. Plamen gori unazad brže nego što gas izlazi vani. Povratni udar plamena može izgoriti držač gorionika, rasprsnuti crevo i sagoreti ili čak probiti rupu na debelo-zidnom redukcionnom ventilu od mesinga.

Ako se dogodi povratni udar, najpre treba isključiti ventile kiseonika na gorioniku a zatim ventile za gorivi gas. Potom ako se smatra da se ima vremena, zatvoriti ventile kiseonika i gorivog gasa na njihovim bocama, tako se naravno opet najpre isključi boca kiseonika pa boca gorivog gasa. Naravno navedenih opštih pravila treba se pridržavati samo onda ukoliko nije drukčije propisano od strane proizvođača konkretne opreme.

Povratne udare plamena prouzrokuje nekoliko osnovnih grešaka kao što su: neispravni pritisci gasova za opremu, neuvrnete čvrsto mlaznice gorionika, stvaranje petlji na crevnim vodovima čime se zaustavlja protok gasa, zapušena mlaznica prljavštinom, držanje mlaznice gorionika duboko u zagrejanom spoju suviše dugo ili iznad rastopljenog metala šava gde ona inače ne treba da bude. Eliminacijom ovih pojava i korišćenjem nepovratnih ventila (koji predstavljaju posebne male ventile sa jednosmernim protokom a koji se postavljaju između creva i gorionika ili creva i redukcionog ventila) izbeći će se ova opasna pojava.

Inače, pri normalnim, pravilnim uslovima, plamen ne može ući u mlaznicu gorionika, gorionik ili crevo zbog toga što je brzina izlaženja gasa iz opreme najmanje jednaka brzini kojom plamen gori unazad uzduž stuba smeše gorivog gasa kiseonika. Izlazeći gas često odgurne plamen nešto malo od kraja mlaznice. Zbog toga se praskanje u gorioniku i povratni udar plamena neće desiti ako se koristi ispravan protok ili podesi vrednost pritiska za onu vrstu opreme koja se koristi i posao koji se obavlja.

4. BRZINA SAGOREVANJA

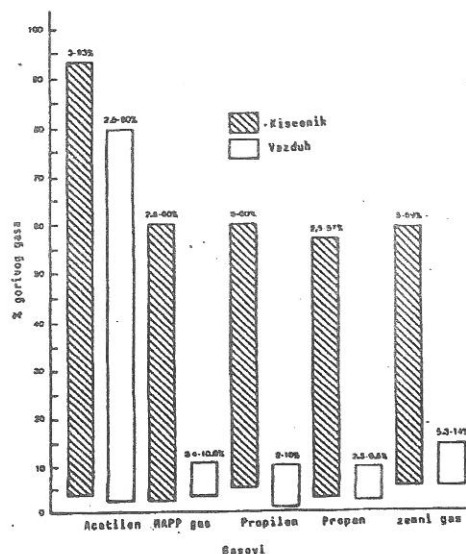
Eksperimenti su pokazali da se plamen širi veoma brzo u smeši kiseonik - gorivi gas. Brzina napredovanja plamena može biti izuzetno velika. To zavisi od odnosa gorivog gasa prema

kiseoniku u smeši, temperature gasne smeše i drugih pojedinosti. Brzina sagorevanja acetilena u čistom kiseoniku je, npr. 6,9 m/s (24,9 km/h).

MAPP gas (stabilizovani metilacilenpropadijen) sagoreva u kiseoniku brzinom 4,7 m/s, skoro jednako kao što je brzina sagorevanja propana 4,6 m/s. Propilen sagoreva u kiseoniku oko 4,6 m/s. Zemni gas sagoreva mnogo sporije u kiseoniku, brzinom oko 3,7 m/s. Zato nije slučajnost da je baš acetilen, koji ima najveću brzinu širenja plamena u kiseoniku, gas najviše sklon pojavi praskanja u gorioniku i povratnom udaru plamena.

5. GRANICE EKSPLOZIVNOSTI GORIVIH GASOVA

Postoji vrlo dobar razlog da se prvo isključi kiseonik pre nego se isključi gorivi gas, ne samo ako se dogodi povratni udar plamena, već takode svak put kad se isključuje gorionik. Različiti gorivi gasovi obrazuju eksplozivne ili zapaljive smeše sa kiseonikom (ili sa vazduhom). Moguće je imati tako mnogo gorivog gasa u kiseoniku ili vazduhu a da se gas neće upaliti. Takode je moguće imati tako malo gorivog gasa u kiseoniku ili vazduhu a da se ne dobije eksplozivna smeša.



Sl.1 Gornje i donje granice eksplozivnosti gorivih gasova u vazduhu i čistom kiseoniku. Vertikalni stubovi pokazuju opseg eksplozivnih smeša

Ako se najpre isključi ventil gorivog gasa na gorioniku, smeša gasova koja izlazi iz mlaznice ima verovatnoću da ostane unutar granica eksplozivnosti gorivog gasa koji se koristi makar i za sasvim kratko vreme (sl.1). Ako se isključi prvo ventil kiseonika, smeša gasova će proći kroz opseg eksplozivnosti tako brzo da to nije značajno, jer u isto vreme plamen nastavlja da gori na kraju mlaznice tako da se time potroši svaka eksplozivna smeša putem njenog sigurnog sagorevanja. Ako se prvo isključi ventil gorivog gasa, plamen će moći da izlazi van, ali će se gasna smeša ponovo upaliti pomoću zagrejanje mlaznice sa jednim vrlo jakim praskom.

Na sl.1 takode se vidi da su procenti gorivih gasova, pri kojima oni postaju eksplozivni u smeši sa kiseonikom, za propan, propilen, zemni gas i MAPP gas, približno isti i skoro jednaki onim za smeše sa vazduhom. Medutim, acetilen ima dosta šire granice eksplozivnosti nego drugi gorivi gasovi. Ustvari, granice eksplozivnosti za acetilen su skoro iste kao one za vodonik. Ovo je drugi razlog zašto acetilen sa više verovatnoće može da prouzrokuje povratni udar plamena nego drugi gasovi.

6. ZAKLJUČAK

Pojava praskanja u gorioniku i povratni udar plamena pri radu ukazuju na nepridržavanje parametara tehnološkog postupka, jer bilo koja vrsta sagorevanja može se vršiti sporo pod pažljivo regulisanim uslovima ili najedanput što znači eksplozivno.

Velika brzina sagorevanja acetilena u čistom kiseoniku (6,9 m/s), kao i njegova široka granica eksplozivnosti (3 - 93 %) su razlozi zašto acetilen sa više verovatnoće može da prouzrokuje povratni udar plamena nego drugi gasovi. Takode su opširno dati razlozi koji mogu da uzrokuju navedene neželjene pojave, kao i konkretni postupci koje treba preduzeti ako do njih dođe.

7. LITERATURA

1. SMITH D.: Welding skills and technology, McGraw-Hill, New York, 1986., 25.
2. STOJANOVIĆ O., STOJANOVIĆ N., KOSANOVIĆ Đ.: Hemijsko-tehnološki priručnik, Štetne i opasne materije, Rad, Beograd, 1984., 65.
3. SOKOLOV I. I.: Gazovaja svarka i rezka metalov, Visšaja škola, Moskva, 1986., 30.

SUMMARY

BACKFIRES AND FLASHBACKS

In this article are explained conditions of regulated and explosive burning; given data about burning velocity and explosive limits of fuel gases. In addition, it has been discussed difference between backfires and flashback as well as what is the cause of these occurrences and how to prevent them.

ВОЈВОЂАНСКА БАНКА



БАНКА УНИВЕРЗИТЕТА У НОВОМ САДУ