

**INSTITUT MAŠINSKOG FAKULTETA
NOVI SAD, Vladimira Perića-Valtera 2, tel. 55-622**

**ZBORNIK SAOPŠTENJA
VII SAVETOVANJA PROIZVODNOG MAŠINSTVA
Novi Sad, 5—6. V 1971.
III knjiga — MATERIJALI U MAŠINSTVU**

Novi Sad, 1971.

INICIATOR SAVETOVANJA:

Zajednica jugoslovenskih naučnoistraživačkih institucija
proizvodnog mašinstva

ORGANIZATORI SAVETOVANJA:

Institut Mašinskog fakulteta, Novi Sad
Udruženje proizvodjača alata "ALAT", Beograd
Fabrika alata "JUGOALAT", Novi Sad
Poslovno udruženje proizvodjača alatnih mašina "PAM", Ada
Industrija motornih delova i odlivaka "27 MART", Novi Sad

POKROVITELJ SAVETOVANJA:

Pokrajinska privredna komora, Novi Sad

PОČASNI ODBOR:

Prof. Ž. Čulum, dekan Mašinskog fakulteta, Novi Sad
Prof. E. Čupić, predsednik Saveta Mašinskog fakulteta, Novi Sad
Prof. D. Dimković, rektor Novosadskog univerziteta
S. Dodić, sekretar za industriju Pokrajinske privredne komore, N. Sad
Dj. Gvozdenović, predsednik Pokrajinske privredne komore, Novi Sad
D. Ilijević, predsednik Skupštine opštine, Novi Sad
Prof. J. Kimer, Mašinski fakultet, Novi Sad
A. Ladišić, direktor "FAM", Novi Sad
A. Mora, direktor "Potisje", Ada
M. Pađić, direktor LTŽ, Kikinda
Prof. J. Peklenik, Fakulteta za strojništvo, Ljubljana
A. Petronić, direktor "Jugoalat", Novi Sad
P. Rajković, direktor "Mađevica", Bačka Palanka
Prof. V. Šolača, Mašinski fakultet Beograd, direktor IAM, Beograd

ORGANIZACIONI ODBOR:

Z. Bešanić, saradnik Saveta za preradu metala i elektroindustriju
Pokrajinske privredne komore, Novi Sad
N. Čabdarić, sekretar Saveta za preradu metala i elektroindustriju
Pokrajinske privredne komore, Novi Sad
Prof. Dr. D. Jakšić, direktor Instituta Mašinskog fakulteta, Novi Sad
J. Rekecki, dipl. ing., predavač Mašinskog fakulteta, Novi Sad
S. Sekulić, dipl. ing., docent Mašinskog fakulteta, Novi Sad
D. Zelešović, dipl. ing., predavač Mašinskog fakulteta, Novi Sad

S A D R Ž A J

MATERIJALI	Strana
J. Pirš, Doprinos istraživanjima plasticiteta metala	M.01.01.
I. Katavić, Upotreba lijevanog bijelog željeza legiranog kromom i niklom u mlinovima za proizvodnju cementa	M.02.01.
L. Karbić, Primjena visokotemperaturne metalografije na praćenje migracije granica zrna	M.03.01.
L. Karbić, Nasljedjene karakteristike gvozdenih ljevova	M.04.01.
A. Povrzanović, F. Kovačićek, Mjerenje koeficijenta kontaktnog trenja kod provlačenja traka od legure Al Cu Mg 4	M.05.01.
D. Vlahović, Vlastita iskustva u primjeni poliamida kao materijala u mašinstvu	M.06.01.
D. Vlahović, Poliamidi kao materijal u mašinogradnji i konstruiranje sa njima	M.07.01.
A. Razinger, Osvajanje obdelovalnih jekel - ogljikovih in nizkolegiranih - legiranih s svincem	M.08.01.
A. Vučetić, O. Muftić, Analiza eksploracionih uvjeta rada željezničkih tračnica	M.09.01.
I. Alfrević, Elastična svojstva ortotropnih materijala	M.10.01.
B. Devedžić, Prilog razrešavanju dileme oko izbora najrelevantnijeg oblika koeficijenta normalne anizotropije materijala	M.11.01.
R. Jelatancev, Neki problemi magnetskih i nemagnetskih materijala te ispitivanje magnetskih stega sa keramičkim materijalima	M.12.01.
M. Stupnišek, Prilog rješavanju problema izbora optimalne tehnologije toplinske obrade pri izradi zupčanika	M.13.01.
V. Vujović, Promjena tvrdoće i mikrostrukture materijala pri obradi rotacionim kovanjem	M.14.01.
F. Vodopivec, L. Kosec, R. Brifah in B. Wolf, preiskava vzrokov poškodb na lopaticah parne turbine	M.15.01.
A. Smolej, A. Podgornik, Vpliv metalurških faktorjevih zlitin	M.16.01.
J. Rodič, dipl.ing. J. Pšeničnik - Železarna Ravne,	
R. Vujović, dipl.ing. - Industrija alata Trebinje,	
D. Sinobad, dipl.ing. - Tvornica vijaka Knin, osvajanje novog alatnog čelika Č.4850 - OCR12 VM	M.17.01.

- N. Babin, Uticaj smanjenja mase nosača mostovskog krana na njegovo kretanje u procesu dizanja M.18.01.
- R. Zgaga, Ovisnost žilavosti sivog lijeva o kemijskom sastavu M.19.01.
- B. Liščić, Kontinuirani žilavi lijev, nitriran postupkom tenifer, kao materijal za seriju proizvodnju zupčanika M.20.01.
- M. Novosel, Primjenjivost visokog popuštanja na ledeburitne ledeburitne alatne čelike za hladni rad M.21.01.
- R. Zgaga, M. Novosel, M. Stupnišek, Utjecaj toplinske obrade dvaju alatnih čelika na žilavost i otpornost prema trošenju. M.22.01.
- P. Jagodić, Promene osobina pri zavarivanju konstrukcija pri izboru toplotno očvršćujućih aluminijskih legura M.23.01.
- J. Reisner, Današnje možnosti razvijanja in preizkušanja dinamično obremenjenih strojnih elementov M.24.01.
- Z. Smolčić-Žerdik, J. Indof, Prilog ocjenjivanju proizvoda od duroplasta M.25.01.
- M. Jarić, Analiza konfiguracije grafita u sivom lijevu obzirom na sadržaj ugljika i silicija M.26.01.
- M. Novosel, Utjecaj izet obrade na mehanička svojstva nelegiranog niskougljičnog čelika M.27.01.
- S. Žukić, Analiza neelastičnog ponašanja metala primjenom električke tenzometrije M.28.01.
- V. Vujović, E. Lercher, Utjecaj strukture materijala na mogućnost obrade finim štancanjem M.29.01.
- B. Gligorić, M. Nedeljković, M. Pavlović, Ispitivanje trenja pri sporoj translaciji i habanja nekih visokotvrdih prevlaka M.30.01.
- L. Karbić, Mikrografsko praćenje postupka normalizacije M.31.01.
- M. Slavić, S. Turina, Ispitivanje zakonitosti i uzročnosti raspodjele učestalosti veličine matičnih zrna metalne strukture M.32.01.
- Lj. Polla-Tajder, S. Turina, Prilog poznavanju zakonitosti raspodjele učestalosti veličine zrna MnS u sivom lijevu M.33.01.
- K. Kuzman, Uporabnost tlačnega preizkusa za ugotavljanje nekaternih preoblikovalnih lastnosti jekel..... M.34.01.

- B. Liščić, V. Reich, Dosadašnji rezultati uvođenja tehnologije nitriranja postupkom tenifer u domaćoj industriji M.35.01.
- D. Dihajlović, A. Mihajlović, Uredjaj za merenje promene čvrstoće metala u toku periodično promjenljive plastične deformacije M.36.01.
- Z. Smolčić, M. Popović, Utjecaj punila na tehnološka svojstva plastičnih materijala M.37.01

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, ROVI SAD, 1971

J.Pirš *

DOPRINOS ISTRAŽIVANJIMA PLASTICITETA METALA **

1. Uvod

Plasticitet kristala može se protumačiti samo na osnovu nepravilnosti u rešetki, te se prema tome zadatak teorije plastičnosti sastoji u tome, da se pokuša plastične osobine metala protumačiti pomoću rasporeda i klizanja dizlokacija, kao i nepravilnosti na granicama mozaičnih cdlomaka. Historijski razvoj teorije plastičnosti povezan je sa razvojem postupaka za određivanje kristalne strukture, gdje se otkrivanjem nepravilnosti u kristalnim rešetkama, proširivala i teorija plastičnosti. U najnovije vrijeme na području teorije plastičnosti igra jako važnu ulogu i elektronska mikroskopija, kao pomoćno sredstvo za posmatranje i studij dizlokacija. Ta su ispitivanja omogućila detaljnu razradu teorije dizlokacija, koja je u praksi važna uslijed toga, jer nam omogućuje objašnjenje razlike između izmjerениh i izračunatih naprezanja, te omogućuje neposredno tumačenje i analizu prijeloma.

U tabeli 1 imamo prikazanu primjenu teorije dizlokacija na plastičnost kristala. Dijagram u tabeli 1 predstavlja utjecaj različitih veličina kristalnog zrna, odnosno visokih i niskih temperatura na krivulju učvršćenja.

U tabeli 2 imamo prikazanu primjenu elektronske mikroskopije na području ispitivanja kod teorije plastičnosti.

* Dr Jože Pirš, dipl.inž., izv.profesor Strojarskog fakulteta u Rijeci, predstojnik Zavoda za ispitivanje materijala

** Ovaj je rad obavljen u Zavodu za ispitivanje materijala Strojarskog fakulteta u Rijeci u suradnji sa tvornicom Torpedo, tvornica motora u Rijeci

Tabela 1. Primjena teorije dizlokacija na plastičnost kristala.

1948-1953	Razvoj opće teorije dizlokacija
1951	Frank - Read - ov izvor
od 1953 nadalje	Specijalne teorije : specijalne kristalne strukture (kubna plošno centrirana, heksagonalna, Na Cl, dijamant, kubna volumska centrirana) Naslagane griješke, prijelazi, medju-sobno djelovanje sa nečistoćama

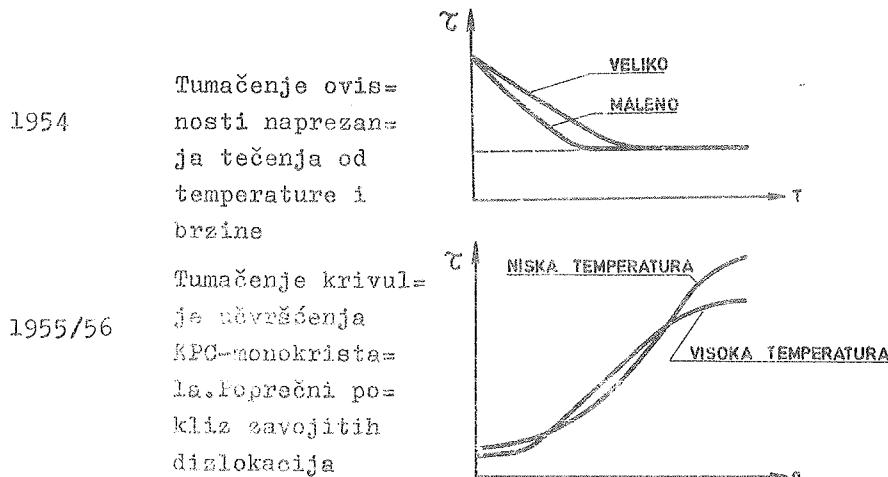
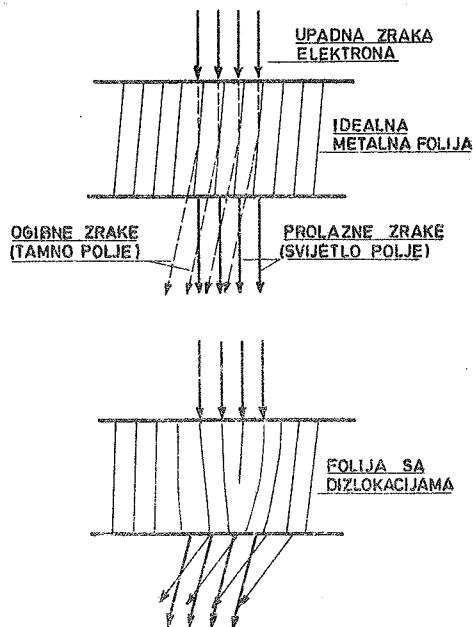


Tabela 2 . Primjena elektronske mikroskopije na plastičnost kristala

1956/57	Kvantitativna elektronska mikroskopija kliznih linija (predjeni putevi dizlokacije L , grupne veličine n)
1956	Promotrenje dizlokacija kod presvetljavanja u elektronskom mikroskopu

- od 1957 Kontrastna teorija
 od 1958 Ispitivanje deformiranih polikristala
 1961 Metode pripreme konzervacije
 1963 Fiksiran raspored dizlokalacija pomoću neutronskog zračenja
 1968 Fiksiran raspored dizlokalacija pod opterećenjem
 1969 Elektronska mikroskopija se jako visokim naponima



U ovom redu prikazujemo djelomične rezultate istraživanja površine prekida koja je nastala kao posljedica umora materijala. Rezultati koji su obrađivani na tom mjestu vezani su neposredno za teoriju plastičnosti i dobiveni su pomoću elektronske mikroskopije. Cjelovitiji prikaz objavljen je na drugom mjestu 1. Primjenjene metode ispitivanja, pogotovo pojedini postupci elektronske mikroskopije, pomoću presvjetljavanja i emisijone elektronske mikroskopije, takodjer su bile već predmet detaljnih opisa 2 - 4 .

Ispitivali smo prelomnu površinu koljenaste osovine dizel motora, gdje se prelom pojavio posle određenih sati rada motora.

2. Prekid koji je posljedica umora materijala

Kod naizmjeničnih opterećivanja nekog komada, n.pr. kolje = nasta osovina može se prelom pojaviti i onda kada najveće naprezanje nije prešlo čvrstoće materijala, pa čak ni gra =

nice elastičnosti.Pojave na površini preloma,u direktnoj su vezi sa tipom kristalne rešetke i iznosom deformacije.Usljed neizmjeničnih naprezanja,koja stalno mijenjaju smjer javljaju se obzirom na visinu i trajanje opterećenja u materijalu pojave elastičnih i plastičnih deformacija,koje dovode do strukturnih promjena i promjena u kristalnom stanju,do pojave pokliza i stvaranja pukotina.

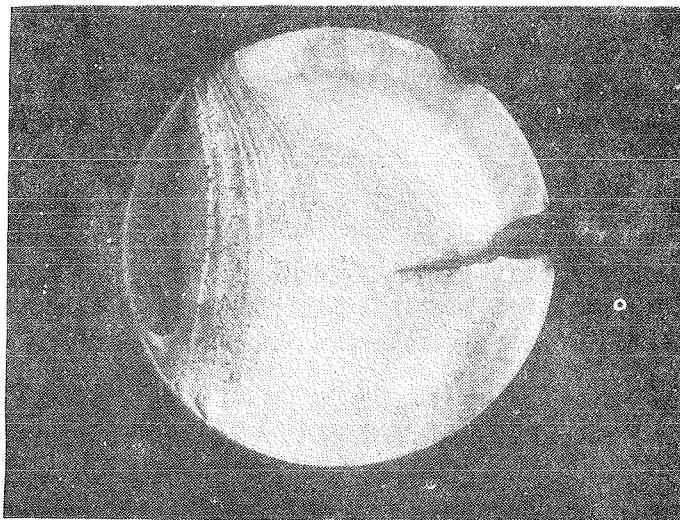
Površina na mjestu prekida,koja nastaje kao posljedica umora ima vrlo karakterističan izgled.Promotriti ćemo je na primjeru koljenaste osovine na slici 1,gdje zapažamo dva područja :

prvo područje,zagasiti i eventualno već oksidirano,valovito je izbrzzzano oko neke tačke,koja djeluje kao žarište.

To je područje žilastog prijeloma ;

drugo područje je svetlijie i pokazuje čak zrnatost,te ga nazivamo područje zrnatog prijeloma.

Karakter procesa prekidanja izmedju tih dvaju područja je različit; u žilastom području prekid nastupa uz prethodne plastične deformacije,a u zrnatom području bez prethodne deformacije.



Slika 1 : Prelom koljenaste osovine, posljedica umora.

3. Rezultati ispitivanja površine prekida

Površinu prekida koljenaste osovine dizel motora, koja je prikazana na sl. 1 ispitali smo pomoću fraktografske metode. Primjenjen je elektronski mikroskop firme Carl Zeiss iz Jene i uobičajena metoda pripreme površine prekida za fraktografiјu. Rezultati su prikazani na slici 2.



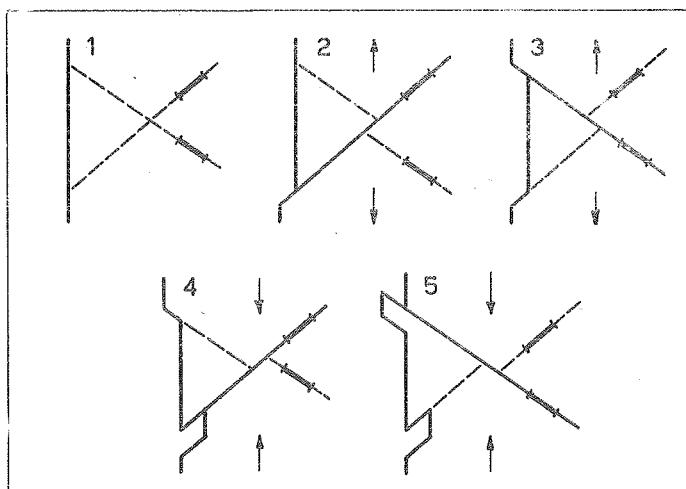
Slika 2 : Frakto=grafija površine prekida koljenaste osovine dizel mo=tor. Ekstruzije, početak pukotine.
Pov.: 12 000 x

Rezultati fraktografskih ispitivanja, koji su prikazani na slici 2, pokazuju početak pukotine, koja se kasnije, u sredini snimke udružuje sa već postojećom pukotinom, odnosno pokliznim područjem. Iz područja pokliza izlaze ekstruzije, tanki slojevi metala, koji imaju visinu do 10μ , a širinu od 1μ do substancialnog udjela promjera kristalnog zrna; očigledno iznosi debljina ekstruzije manje od 0.1μ .

4. Tumačenje rezultata

Ukoliko uzorak sa ekstruzijom elektropoliramo i nagrizamo, onda postaje vidljiva pukotina. Stoga je razumljivo mišljenje, da se stvorila praznina u unutrašnjosti metala, kada se stvori ekstruzija.

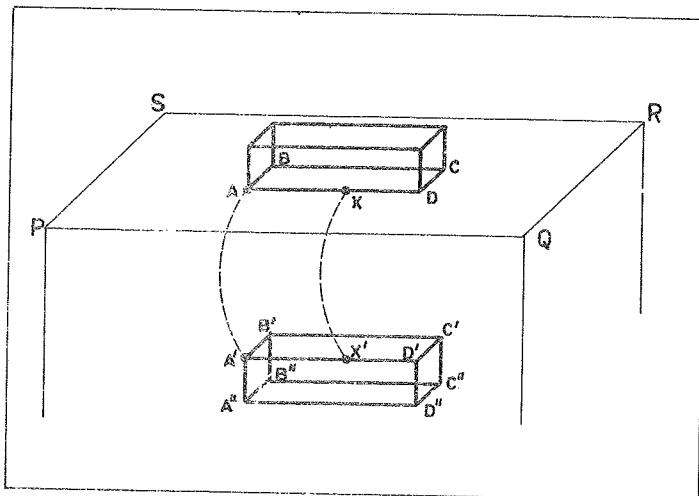
Za način nastanka ekstruzija bilo je predloženih nekoliko modela i objašnjenja. Cottrell i Hull 5 su predložili model na slici 3 gdje dva Frank - Read-ova izvora u dvije ravnine pokliza, koje se međusobno sjeku, međusobnim djelovanjem proizvode



Slika 3 :
Redoslijed
gibanja po=
kliza, koji
proizvodi
ekstruziju
i intruzi= =
ju
(Cottrell
i Hull)

par ekstruzija i intruzija na istoj strani. Ciklično djelovanje pokliza mijenjalo bi dubinu i dužinu, a ne širine obadvaju diskontinuiteta.

U novije je vrijeme predložio Mott 6 drugčiji mehanizam, koji se zasniva na tome, da zavojita dizlokacija može ponoviti svoj put kroz sredstvo pomoću poprečnog pokliza. Takav je slučaj prikazan na slici 4, koja prikazuje kako može doći do ekstruzije komada materijala pomoću tog procesa. Ta se teorija međutim ne može primjenjivati na materijale kod kojih se poprečni poklizi ne javlja. Istotako nije u stanju protumačiti pojave intruzija.

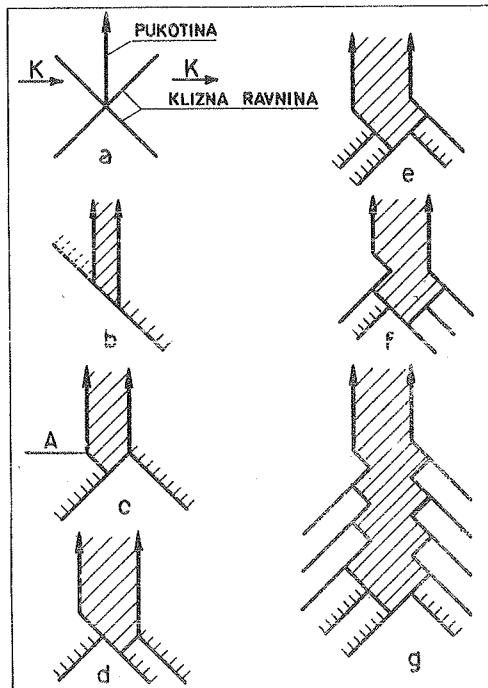


Slika 4 :
Gibanje diz=lokacije u kristalu za vrijeme tvor=be pukotine kod umora
(Mott)

Ostajemo još dužni odgovor na pitanje, na koji je način došlo do napredovanja pukotine. Model napredovanja pukotine po Neumann - u, koji je prikazan na slici 5, daje nam odgovor na pitanje, kako može simetrično izmjenično opterećenje prouzrokovati napredovanje pukotine samo u jednom pravcu. Kod toga učvršćenje materijala, uz povećan broj skupova dizlokacija u kristalu, nije u stanju zaustaviti procesa napredovanja pukotine.

Za prikaz modela predpostavljamo, da je stvorena pukotina normalno na smjer djelovanja sile i da paralelno ka $\pm 45^\circ$ leže dvije grupe kliznih ravnina sa njihovim Burgersovim vektorima u ravnini papira. Postojanje nekolicine kliznih sistema na vrhu jedne pukotine, kombinirano je samo sa jednim grubim poklizom.

Ukoliko raste naprezanje, za vrijeme faze zatezanjem, na vrhu pukotine, onda će se pojaviti početkom na mjestu maksimalnih poprečnih naprezanja, grobi klizni stepen. Taj sistem stvara se na nekim rijetkim ravninama jednoga od obadvaju kliznih sistema, i kod toga se pukotina otvara. Dodjemo od slike 5 a do slike 5 b. Stvaranje kliznog stepena na vrhu pukotine uslijedi pomakom dizlokacija. Dizlokacije jednog predznaka idu na vrh pukotine i napuštaju materijal, dok



Slika 5 :

5 a do 5 g
 Napredovanje pukotine samo u jednom smjeru, na bazi djelovanja simetričnog izmjeničnog opterećenja

dizlokacije sa drugim predznakom na kliznoj ravnini, putuju od pukotine u smjeru materijala i učvršćuju klizne ravnine. Kod ponovog vlačnog naprezanja stari je klizni sistem na vrhu pukotine već učvršćen, tako da se javlja novi i dodjemo do konfiguracije na slici 5 c. Samo uslijed grubog pokliza postaje moguće, da ostaje pukotina nasuprot otklizavanju materijala na vrhu, oštara. Kod daljnog napredovanja pukotine postaje bitno to da se stavljanjem u pogon jednog kliznog sistema vrh pukotine pomakne u položaj, gdje drugi sistem još nije učvršćen.

5. Zaključak

Na osnovu rezultata ispitivanja površine prekida koljenaste osovine dizel motora, pučnute uslijed umora, koji su dobiveni pomoću elektronskog mikroskopa, pokušalo se protumačiti karakteristične pojave plasticiteta metala. Karakteristični pojavi umora mogu se protumačiti na osnovu opisanih elementarnih procesa.

5. Literatura

- 1 Pirš, Study of crank shaft fractures by means of electron fractography, Jenaer Rundschau (1971)
- 2 Pirš, Primjena emisijone elektronske mikroskopije kod studija metala, I.Jug.simpozij o elektronskoj mikroskopiji,Ljubljana 1969
- 3 Pirš,Emission Electron microscope study of steel X 10 Cr Ni Mo 18 10.Predavanje na II godišnjem kongresu Međunarodnog metalografskog društva, San Francisco,Calif.1969
- 4 Pirš,Emission Electron microscope study of steel X 10 Cr Ni Mo Nb 18 10.Proceedings of the Second Annual Technical Meeting of the International Metallographic Society.Published in Los Alamos,New Mexico,1969.
- 5 Cottrell i Hull,Extrusions and intrusions by cyclic slip in copper,Proc.Roy.Soc.(1957) ,s.211.
- 6 Mott,Origin of fatigue cracks,Acta Met.(1958) s.195

J.Pirš

Beitrag zu Untersuchungen der Metallplastizität["]

Einführung in die Theorie der Metallplastizität, Anwendung der Versetzungstheorie auf die Kristallplastizität. Anwendung der Elektronenmikroskopie auf die Kristallplastizität. Bei wechselnder Beanspruchung werden Erscheinungen an der Oberfläche durch den Gittertyp und durch die Höhe der Verformung bestimmt. Infolge der hin und her gehenden Wechselverformung treten je nach Höhe und Größe der Beanspruchungen im Zeit - und Wechsel-Festigkeitsbereich im Werkstoff elastische und plastische Verformungsvorgänge auf, die Veränderungen im Kristall- oder Gefügezustand wie zu Gleitungen, und Rissbildungen führen. Charakteristische Merkmale der Ermüdung von Metallen werden auf Grund Elementarprozesse und der Modelle, bestimmt durch elektronen-mikroskopische Untersuchungen, beschrieben.

VIII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971

I. Katavić*

UPOTREBA LIJEVANOG BIJELOG ŽELJEZA LEGIRANOG KROMOM I NIKLOM
U MLINOVIMA ZA PROTZVODNU CEMENTA**

1. Uvod

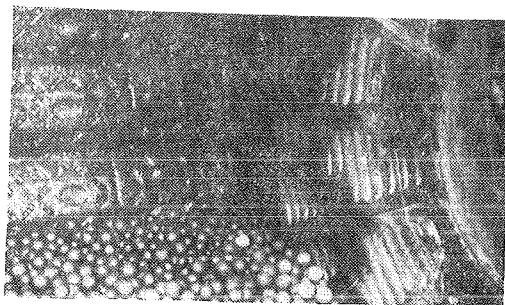
U tehnici mljevenja mineralnih sirovina i međuproizvedenata problem trošenja alata za mljevenje dobiva sva više na značenju. Povećanjem učinka i dimenzija mlinova dolazi do intenzivnijeg trošenja ovih alata. Troškovi izmjene dijelova i neizbjegni zastoje u proizvodnji, vezani za te izmjene, bili su od utjecaja na istraživanja, čija svrha je dobijanje novih, otpornijih materijala.

Mlinovi koji se upotrebljavaju u proizvodnji cementa imaju oblik cijevi, čija je unutrašnja površina obložena oklopnim pločama. Mlin je razdjeljen u dvije ili tri komore, koje su ispunjene cca 30% volumenski sa tijelima za mljevenje, kuglastog ili valjkastog oblika (Slika 1). U prvoj komori se klinker ili sirovina obrtanjem mlna grubo izmelje kuglama promjera 80-100 mm a zatim prolazi u sljedeće komore u kojima se vrši mljevenje kuglama promjera 20-60 mm i valjcima manjih dimenzija.

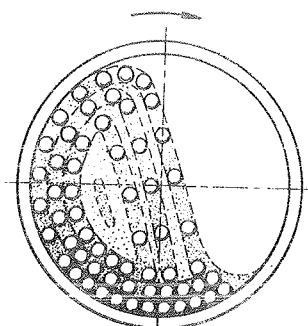
U procesu mljevenja je trošenje pretežno visoko napetostnog tipa. Abrazivno djelujući klinker se drobi izmedju dvije radne površine, koje se taru pod utjecajem dovoljno velikih sila. Djelovanje ovih sila se ispoljava na mikroskopsko malim površinama pa nastaju velike napetosti, koje uzrokuju odkidanje i drobljenje mikrostrukturnih krtih komponenata sa radne površine. Također djeluje i faktor udarnih opterećenja, čiji utjecaj raste sa povećanjem težine tijela za mljevenje i sa dimenzijama mline (vidi šemu kretanja kugala na slici 2).

*Ivo Katavić, dipl.ing., predavač, Strojarski Fakultet, Rijeka.

** Dio informacije se odnosi na ispitivanja koje je autor izvršio u Industrijском poduzeću Vulkan, Rijeka.



slika 1.



slika 2.

Na intenzitet trošenja kugala i oklopnih ploća u mlinovima za proizvodnju cementa djeluju različiti faktori i to: kvaliteta i krupnoća klinkera, stepen ispunjenosti mлина, dimenzije mлина, finoća meljave, brzina obrtanja. Radi toga se podatci o trošenju za pojedinu leguru mogu znatno razlikovati.
Na osnovi podataka iz različitih izvora 1 - 4, na tabeli I dan je pregled trošenja u mlinovima klinkera za najviše upotrebljane legure.

Tabela I. Trošenje u mlinovima za klinker

komora	legura	tvrdoća HB	trošenje u g/t klinkera	
			PC ⁺	CV ⁺⁺
I.	ugljični čelik	250-350	180-250	480-600
	nisko leg.čelik	300-400	150-200	450-550
	7,5%Cr-5,5%Ni Lž	550-650	30-60	150-200
	12CrMo Lž	600-700	20-50	130-200
	CrMo čelik	350-400	80-150	250-400
II.	ugljični čelik	250-350	120-180	350-400
	nisko leg.čelik	300-400	120-150	300-380
	1,5%Cr-3,5%Ni Lž	550-650	20-50	100-150
	12CrMo Lž	600-700	20-50	100-150
III.	ugljični čelik	350-400	130-180	250-350
	bijelo lijevano			
	željezo	400-450	80-100	200-300
	1,5%Cr-3,5%Ni Lž	600-650	20-30	

Oklopne ploče	12%Mn-čelik tvrdi lijev ugljični čelik 1,5%Cr-3,5%Ni LŽ	500-600 500-600 250-350 550-650	70-120 50-100 150-250 20-50
------------------	--	--	--------------------------------------

+PC..Portland cement

++CV.. Cement vis.peči

Iz tabelarnog pregleda je uočljiva velika razlika u trošenju izmedju legura sa visokom tvrdoćom (550-700 HB) i legura sa nižom tvrdoćom (250-400 HB). Posljednjih godina se opaža intenzivniji prelaz na upotrebu legura sa visokom tvrdoćom u mnogim evropskim cementarama. Kod upotrebe ovih legura u prvoj komori mlin-a nailazi se na pojavu loma kugala i oklopnih ploča. U vezi s tim se postavljaju naročiti zahtjevi na kvalitetu izrade ovih odljevaka. Ne toleriraju se površinske i unutrašnje griješke. Kemijski sastav se drži u strogo odredjenim granicama. Uobičajeni način upotrebe u prvoj komori mлина je slijedeći:

oklopne ploče 550-650 HB - kugle do 350 HB

oklopne ploče do 350 HB - kugle 550-700 HB

Daljna istraživanja treba da omoguće upotrebu para:

oklopne ploče 550-650 HB - kugle 550-700 HB

i u mlinovima većih promjera.

2. Karakteristike Cr-Ni bijelog željeza

Razvijen je veći broj legura bijelog željeza sa kromom i niklom, koje se pojavljuju pod različitim nazivima (Ni-Hard, Nicromax, Diamit, Elverit, Bf954). Za upotrebu u mlinovima se preporučuju legure sa slijedećim kemijskim sastavom :

1,5%Cr-3,5%Ni %	7,5%Cr-5,5%Ni %
C... 2,6-3,0	2,6-3,0
Si... 1,5-2,0	0,4-0,8
Mn... 0,4-0,7	0,3-1,0
P... 0,25 max.	0,30 max.
S... 0,12 max.	0,15 max.
Cr... 1,40-2,40	7,0-9,0
Ni... 3,30-5,0	5,5-6,5

Tvrdoća je za obe legure približno jednaka i iznosi 550-690 HB.

Tvrdoća unutar ovih granica zavisi od brzine ohladjivanja (lijevanje u kokile ili pijesak) i od termičke obrade. Udarna

čvrstoća je na probnom štalu od 30 mm Ø , bez zareza :

$$\begin{aligned} 1,5\%Cr-3,5\%Ni &\dots\dots 3,5 - 7,6 \text{ kpm} \\ 7,5\%Cr-5,5\%Ni &\dots\dots 3,0 - 6,9 \text{ kpm} \end{aligned}$$

Ovi podatci nemogu poslužiti za predskazivanje ponašanja navedenih legura pod uticajem ponavljajućih se udarnih opterećenja u mlinovima. Ispitivanja Dixona 5 su pokazala , da veći udio austenita u strukturi ovih legura, utječe na postizanje visokih rezultata za udarnu čvrstoću po Izodu ali slabih za trajna udarna opterećenja.

Mikrostrukture se sastoje iz karbida, martenzita i zapstalog austenita. Ovaj austenit se može odgovarajućom termičkom obradom transformirati u temperovani martenzit. Ove dvije legure se razlikuju u rasporedu i veličini karbidne faze. Masivni $(Fe,Cr)_3C$ karbidi, karakteristični za leguru 1,5%Cr-3,5%Ni su u leguri 7,5%Cr-5,5%Ni zamjenjeni sa diskontinuirano rasporedjenim karbindima $(Cr,Fe)_7C_3$. Inicijal i razvijanje raspuklina idu po karbidoj fazi. Prelom će lakše nastati ako je ova faza kontinuirana kao što je to kod legure 1,5%Cr-3,5%Ni.

Iz ovog razloga je upotreba legure 1,5%Cr-3,5%Ni ograničena uglavnom na drugu i treću komoru mлина.

Legura 7,5%Cr-5,5%Ni pokazuje radi svojih strukturnih karakteristika bolju otpornost na trajna udarna opterećenja. Malo je podataka o ispitivanjima ove legure u mlinovima za cement. Podatci iz tabele I za trošenje kugala iz ove legure su rezultat ispitivanja u talijanskim tvornicama cementa 2 .

Tehnološki postupak izrade kugala i ploča iz ovih legura treba da osigura dobru kvalitetu odljevaka, bez površinskih ili unutrašnjih griješaka. Odljevke treba termički obraditi radi eliminiranja zaostalog austenita.

Oklopne ploče treba da imaju dovoljnu debljinu koja zavisi od promjera mлина i promjera kugala 7 (tabela II).

Kod ploča visoke tvrdoće se mogu optimalni rezultati postići,ako se primjeni poboljšani način pričvršćavanja ploča na plasti mлина uz postavljanje elastičnih gumenih podloški izmedju ploče i plasti mлина 6 .

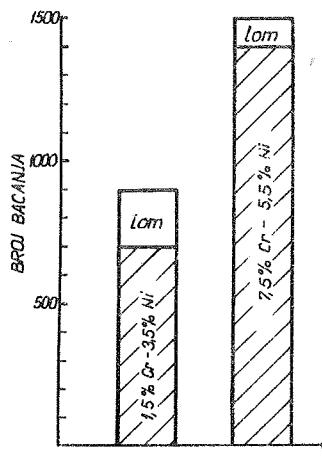
Tabela II. 7

Promjer mлина mm	Minimalna debljina ploče kod promjera kugle 25 mm	51 mm	76 mm	102 mm
1800	38	51	64	76
2400	44	57	70	83
3000	51	64	76	89

3. Ispitivanja

Nakon predhodnih ispitivanja, kojima je bio cilj utvrditi optimalnu tehnologiju izrade kugala, autor je izvršio uporedna ispitivanja na trajnu udarnu čvrstoću na kuglama promjera 100 mm, izradjenih iz legure 1,5%Cr-3,5%Ni i 7,5%Cr-5,5%Ni. Izabrano je bilo po 12 komada kugala od svake legure, proizvedenih iz šest šarži. Svaka kugla je bila ispitana izotopom i penetrantima. Radi uporedjenja otpornosti na trajna udarna opterećenja, izvršeno je ispitivanje bacanjem kugala sa visine od 10 m na vodoravno postavljenu ploču iz tvrdog lijeva. Registrirao se broj bacanja za svaku kuglu do pojave loma. Rezultat je prikazan na slici 3. Kugle iz legure 7,5%Cr-5,5%Ni su se lomile u intervalu od 1410-1500 bacanja, one iz legure 1,5%Cr-3,5%Ni u intervalu od 700-900 bacanja.

Ispitivanje kugala iz legure 7,5%Cr-5,5%Ni je nastavljeno u mlinu 8, u kojem se vrši mljevenje taljenog aluminatnog klinkera vrlo abrazivnih svojstava. Proizvedeno je kompletno punjenje kugala od 100 mm promjera za prvu komoru mлина.



slika 3

Karakteristike mлина :
Kuglični cijevni mlin sa 3 komore
Dužina mлина L= 11805 mm
Svetli promjer mлина D=1660 mm
Stepen punjenja 29% vol.

Punjjenje I komore:

318 kom. 100 mm Ø
880 kom. 90 mm Ø
1250 kom. 80 mm Ø

Kugle promjera 80 i 90 mm su bile iz kvalitete Če 4144 kovane (350 HB).

Oklopne ploče su bile iz legure 1,5%Cr-3,5%Ni talijanske proizvodnje, tvrdoće 550 HB.

U toku šestmjesečnog ispitivanja bila su izvršena 4 kontrolna vagonja kugala. Dobijen je slijedeći utrošak kugala promjera 100 mm u g/t samljevenog klinkera :

I	II	III	IV
55	66	49	43

Lom kugala ili ploća se nije opazio. Trošenje kugala 100 mm Ø iz 81.4 karbid-martenzit 120x čelika Če 4144 je u ovom mlinu 120 g/t pa je odnos trošenja:

$$\frac{120 \text{ g/t}}{43 \text{ g/t}} = 2,8$$

Ovaj je omjer još povoljniji za leguru 7,5%Cr-5,5%Ni, ako se uzme u obzir činjenica da se kugle iz ove legure jednakomjerno troše i zadržavaju kuglast oblik pa se mogu upotrebiti i u drugoj komori mлина. Na slici 4 je prikazana mikrostruktura, a na

slici 5 tvrdoća po presjeku jedne raspolovljene kugle 100 mm Ø iz legure 7,5%Cr-5,5%Ni. (Rockwell R_c)

4. Zaključak

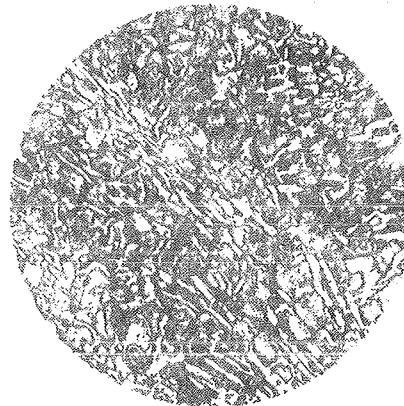
Martezitno bijelo željezo tipa 7,5%Cr-5,5%Ni pokazuje bolju otpornost na trajna udarna opterećenja od legure tipa 1,5%Cr-3,5%Ni. Ispitivanja pokazuju da se mogu upotrebiti kugle i oklopne ploče iz ovih legura u prvoj komori mлина manjih dimenzija i za mljevenje vrlo abrazivnih klinkera. Postižu se povoljni rezultati trošenja ovih kugala u odnosu na kugle niže tvrdoće.

slika 5

5. Literatura i drugi podatci

1 Peter H. Prüfung verschleissfester Werkstoffe für Zementrohrmühlen, Zement-Kalk-Gips, Nr.7 1965

2 Climax Molybdenum Abrasion-Resistant News, December 1968



- 3 Norman T.E., Röhrig K. Verschleissfeste martensitische Chromgusseisen , Aufbereitungs-Technik, Heft 6 Juni 1970
- 4 International Nickel Limited, Engineering Properties and Applications of Ni-Hard martensitic White Cast Iron, 1965
- 5 Dixon R.H.T. Some effects of heat treatment upon impact fatigue life of Ni-Hard grinding balls , J. Iron Steel Inst. 197 (1961), Januar,
- 6 Peter H. Neuere Panzerungen für Rohrmühlen , Zement-Kalk-Gips, Nr.8 1967
- 7 International Nickel Company 1963 The Production of Ni-Hard
- 8 Ispitivanje u mlinu tvornice cementa G.Revalante , Pula

I.Katavić

The use of nickel-chromium alloyed white cast iron in cement mills

The article deals with the problems regarding the use of balls and plates made of nickel-chromium alloyed cast iron in cement mills. Results of examinations carried out on the balls of 100 mm dia. in one mill are also shown.

The balls made of alloy Type 7,5%Cr-5,5%Ni show better impact fatigue life than the balls made of alloy Type 1,5%Cr-3,5%Ni. In the first compartment of the mill, grinding balls made of alloy Type 7,5%Cr-5,5%Ni gave a wear rate of 43 grams per ton of clinker ground. The balls made of low alloyed steel gave a wear rate of 120 grams per ton of clinker ground.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA, NOVI SAD, 1971.

L.Karbić*

PRIMJENA VISOKOTEMPERATURNE METALOGRAFIJE NA PRAĆENJE MIGRACIJE GRANICA ZRNA**

1. Uvod

Promatranje mikroskopom pri sobnoj temperaturi stara je i pouzdana tehnika u istraživanju metala. Novijeg je datuma visokotemperaturna metal-mikroskopija, koja omogućava direktno promatranje metala pri povišenim temperaturama. Ova tehnika nema za direktnu proizvodnju onaj značaj koji ima klasična mikroskopija, ali stručnjaku pruža mnogo zanimljivih informacija koje mogu doprinijeti boljem razumjevanju pojava u metalima kako tokom obrade tako i u eksploraciji.

primjena

U ovom se radu na jednom primjeru ilustrira visokotemperaturne mikroskopije u istraživanju metala.

2. Migracije granica pri faznim pretvorbama

Sl. 1 do 4 prikazuju promjenu mreže granica na istom mjestu površine izbruska od ugljičnog čelika, koji u izvornom stanju sadrži oko 1,2%C. Svako se stanje snimilo u visokotemperaturnom metal-mikroskopu "Vacutherm" pri 1200°C, te svakom predhodi ohlađivanje ispod temperature pretvorbe.

* Mr Luciano Karbić, dipl.inž, docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

** Saopćenje iz Instituta Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu-odjel za materijale.

Svako stanje predstavlja dakle mrežu granica zrna austenita, koji nastaje pretvorbom iz strukture nastale raspadom austenita iz prethodnog stanja.

Radi matematičke obrade ove pojave svako će se stanje prikazati matricom, koju gradimo na ovaj način: svako stanje prekrizjemo mrežom od 30 kvadrata koji nastaju presječanjem 5 redaka i 6 stupaca. U svaki kvadrat upišemo broj granica koje se u njemu nalaze. Na taj način dobivamo ove "matrice stanja":

stanje "a"	2	2	0	1	0	1
	1	3	1	1	0	3
	0	3	0	2	0	1
	3	1	2	0	3	2
	1	1	1	3	1	3

stanje "b"	2	1	1	2	3	3
	5	0	0	0	1	0
	1	1	0	0	1	0
	0	2	6	1	1	2
	3	2	1	1	0	3

stanje "c"	3	1	3	0	1	0
	0	0	1	0	1	0
	3	1	2	1	4	0
	3	0	0	0	2	3
	1	0	0	0	4	3

stanje "d"	2	1	3	0	0	1
	0	0	0	1	1	3
	0	0	0	1	2	1
	0	0	0	1	2	1
	1	1	3	0	0	3

Nakon što smo ovim matricama približno opisali strukturu prema sl.1 do 4 pokušat ćemo odrediti "vjerojatnosti prelaza" iz jednog stanja u drugo. Pri tom se rezonira ovako: najveća je vjerojatnost prelaza u jedno stanje iz onoga, koji neposredno prethodi; vjerojatnost prelaza u bilo koje stanje ovisi o njegovoj sličnosti s onim, koje neposredno slijedi to prelazno stanje.

U skladu s naprijed iznesenim vjerojatnosti se prelaza $p(a - a)$, $p(a - b)$, $p(a - c)$ dobivaju ovako: najveća je vjerojatnost prelaza $a - b$: vjerojatnost prelaza $a - c$ ovisi o sličnosti stanja c i b ; vjerojatnost prelaza $a - a$ ovisi o sličnosti a i b ; vjerojatnost prelaza $a - b$ ovisi o stupnju sličnosti stanja b sa samim sobom.

Tako na primjer vjerojatnost prelaza iz stanja "a" u stanje "c" iznosi $8/30$ jer matrice stanja "b" i "c" imaju 8 jednakih elemenata istog položaja; vjerojatnost prelaza iz stanja "a" u stanje "a" iznosi $5/30$ dok vjerojatnost prelaza iz stanja "a" u stanje "b" iznosi $30/30$.

Kako zbroj vjerojatnosti jednog retka treba biti jednak jedinici, zbroj ($5/30 + 30/30 + 8/30$) pomnožimo sa $30/48$.

Matrica vjerojatnosti prelaza izgleda prema tome ovako:

vjerojatnosti prelaza		slijedeće stanje		
		a	b	c
polazno stanje	a	$5/43$	$30/43$	$8/43$
	b	$5/43$	$8/43$	$30/43$
	c	$11/33$	$9/33$	$13/33$

Promatramo li ovu pojavu kao proces Markova možemo izračunati kako izgleda matrica vjerojatnosti nakon višestrukog ponavljanja. To se izvodi potenciranjem izvorne matrice.

U stabilno stanje dolazimo nakon dizanja na osmu potenciju:

$$\begin{vmatrix} 0,214 & 0,335 & 0,451 \\ 0,214 & 0,335 & 0,451 \\ 0,214 & 0,335 & 0,451 \end{vmatrix}$$

Testiranje t-testom pokazuje da nema signifikantne razlike između ove matrice i matrice

$$\begin{vmatrix} 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 \\ 1/3 & 1/3 & 1/3 \end{vmatrix}$$

Ovaj rezultat pokazuje da su sve strukture jasnako vjerojatne. Ako međutim suočimo početnu strukturu sa svima ostalima, koje nastaju uzastopnim ohlađivanjima ispod temperature pretvorbe i zagrijavanjima do neke temperature austenizacije, onda je vjerojatnost da će se opet pojaviti početna struktura $p = 1/n$, dok vjerojatnost pojavljivanja bilo koje druge strukture iznosi $p = (n-1)/n$, gdje je n broj ponavljanja. Za beskonačan broj ponavljanja, vjerojatnost da će se pojaviti početna struktura iznosi 0, a bilo koja druga 1.

Kao proces Markova, proces koji razmatramo može se stoga predočiti matricom vjerojatnosti:

vjerojatnosti prelaza		slijedeće stanje	
		a	b
polazno stanje	a	0	1
	b	1	0

Iz potenciranja ove matrice slijedi da su sve neparne potencije $\begin{vmatrix} 0 & 1 \\ 1 & 0 \end{vmatrix}$, a parne $\begin{vmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{vmatrix}$

To znači da uzastopne promjene stanja teku ovako:

$$a \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow a \rightarrow b \rightarrow$$

pri čemu se stanje "a" razlikuje od stanja "b" a svako se stanje "a" razlikuje od ostalih stanja "a".

Isto važi za sva stanja "b".

U našem slučaju znači da se međusobno razlikuju sve mreže granačica zrna austenita, koje nastaju uzastopnim ohlađivanjem ispod temperature pretvorbe i zagrijavanjem do neke temperature austenizacije. Nikad se jedno stanje ne ponavlja.

Naša istraživanja pokazuju da se isto dešava na relaciji austenit - ferit i ferit - austenit. U ovim se slučajevima međutim ne samo da se ne podudaraju mreže granica zrna ferita i austenita nego je srednja veličina zrna ferita manja od srednje veličine zrna austenita od kojeg nastaje, odnosno u koji se pretvara. Omjer srednjih veličina zrna austenita, koja su se formirala pri 1000°C , i zrna ferita koja od tog austenita nastaju iznosi oko 1,7. Isto toliko iznosi omjer srednjih veličina zrna austenita, koja se formiraju pri 1000°C , i zrna ferita iz polazne strukture nastale ohlađivanjem sa 1000°C .

3. Z a k l j u č a k

U ovom smo radu razmatrali pretvorbe na relaciji austenit - ferit - austenit. Pokušali smo pronaći odgovarajući matematički model, koji smo obradili promatrajući navedenu pojavu kao proces Markova. Račun pokazuje da treba očekivati da se mreže granica nikada ne ponavljaju u istom obliku prilikom uzastopnih pretvorbi na relaciji austenit - ferit - austenit. Mreže

se granica ne poklapaju ni na relaciji austenit - ferit, a također ni na relaciji ferit - austenit. Srednja veličina zrna ferita je pored toga manja od srednje veličine zrna austenita od kojih nastaju. Uslijed toga je ukupna dužina granica zrna ferita veća od ukupne dužine granica zrna austenita na istoj površini. Nepodudaranje mreže granica zrna kod različitih stanja objašnjava se činjenicom da granice djeluju kao klice prilikom faznih pretvorbi uslijed čega se mjesto, koje se nalazi na granici, nakon pretvorbe nalazi uglavnom u nutrini novonastalog zrna.

S obzirom da atomi na granicama posjeduju veću energiju nego atomi u unutrašnjosti kristala, iz činjenice da je mreža granica duža u slučaju feritne strukture možemo zaključiti da je kod feritne strukture raspored energije manje ujednačen nego u slučaju austenitne strukture.

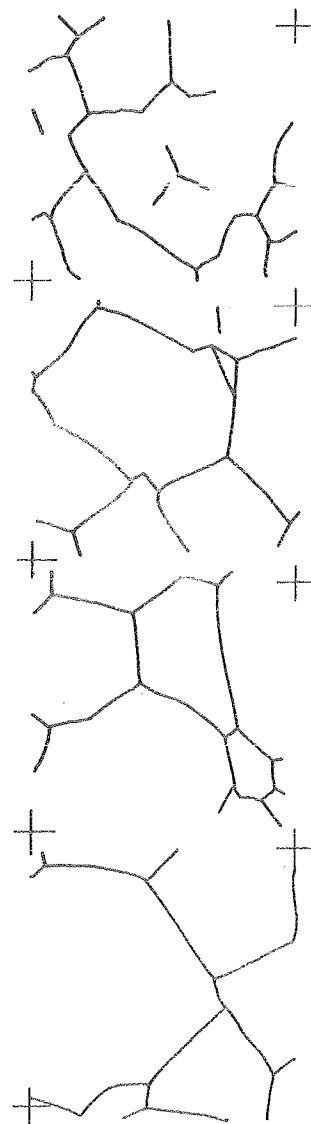
Izneseni primjer pokazuje da se visokotemperaturna površinska metal-mikroskopija može koristiti pri proučavanju pojave koje su od interesa i za proizvodno strojarstvo: na primjer može se proučavati djelovanje klica prilikom pretvorbi u kružnom stanju, što je zanimljivo s gledišta toplinske obrade, dok s druge strane proučavanje pretvorbi u krutom stanju može poslužiti kao model za izučavanje djelovanja klica prilikom promjene agregatnog stanja, posebno na relaciji taljevina - krutina, što je od interesa u proizvodnji odljevaka.

L. Karbić

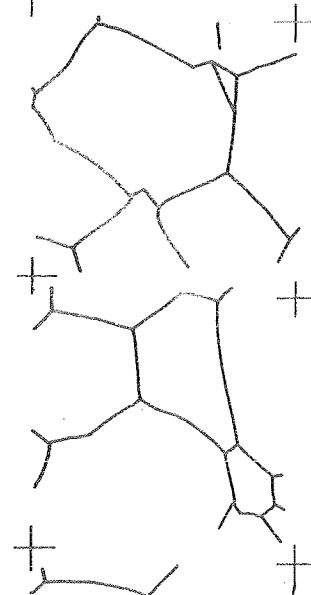
Die Anwendung der Hochtemperatur - Metallographie in der
Forschung der Korngrenzen - Bewegung.

Um die Ergebnisse der Forschung auf dem Gebiete der Hoch-
temperatur - Metallographie auswerten zu können, wird ein
geeignetes mathematisches Modell für eine Reihe Struktur-
bilder, die nacheinander entstehen, untersucht. Dieses ma-
thematische Modell ermöglicht die Phasen - Umwandlungen in
Eisenlegierungen in Form eines Markowschen Prozesses darzu-
stellen, dessen Entwicklung zeigt, dass ein Austenit -
Korngrenzen - Netz wiederholt sich nie wieder im Laufe der
Umwandlungen in Richtung Austenit - Ferrit - Austenit.

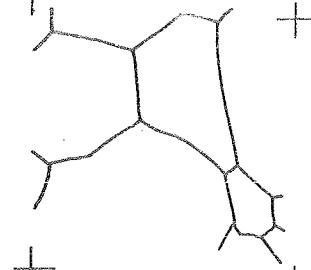
Sl. 1 - Stanje "a"
pri 1200°C



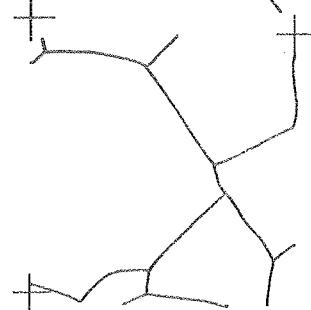
Sl. 2 - Stanje "b"
nakon ohlađivanja
ispod temperature
pretvorbe i ponov-
nog zagrijavanja
na 1200°C



Sl. 3 - Stanje "c"
nakon ponovnog ohla-
đivanja ispod tempe-
rature pretvorbe i
ponovnog zagrijavanja
na 1200°C



Sl. 4 - Stanje "d"
nakon ponovnog ohla-
đivanja ispod tempe-
rature pretvorbe i
ponovnog zagrijavanja
na 1200°C



VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA, NOVI SAD, 1971.

L.Karbić *

NASLJEDENE KARAKTERISTIKE GVOZDENIH LIJEVOVA **

1. Uvod

Danas se u proizvodnji strojeva postavljaju sve stroži zahtjevi. Kako su gvozdeni lijevovi - u prvom redu sivi i noviji žilavi - još uvijek osnova strojarske proizvodnje, nužno je upoznati se s faktorima koji utječu na kvalitet tih vrsta lijeova.

Sivo sirovo gvožđe glavni je i najvažniji sastavni dio zasipa za dobivanje sivog i žilavog lijeva, te njihova svojstva u znatnoj mjeri ovise o kvaliteti te dragocjene sirovine. U ovom se članku obrađuje utjecaj nasljednih karakteristika sivog sirovog gvožđa na mehanička svojstva lijeva drugog taljeњa.

Svrha je ovog izvještaja da na primjeru sivog sirovog gvožđa upozori na utjecaj koji nasljedne karakteristike metalnih sirovina vrše na svojstva strojograđevnih materijala. Odstupanja i kolebanja svojstava oko vrijednosti, koje se smatraju normalnim za određeni kemijski sastav i stanje obrade materijala, treba dobrim dijelom pripisati nasljednim karakteristikama sirovina.

* Mr Luciano Karbić, dipl.inž, docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

** Saopćenje iz Instituta Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu - Odjel za materijale.

2. Kriteriji za vrednovanje sivog sirovog gvožđa

Kriterij kemijskog sastava nije jedini na temelju kojeg se proizvođač sivog odnosno žilavog lijeva treba odlučiti za vrstu sivog sirovog gvožđa.

Ostali kriteriji su:

- 1) Ravnomjernost karakteristika sirovog gvožđa(po partijama i vremenski)
- 2) Izgled preloma hljebaca
- 3) Ponašanje pri skrućivanju
- 4) Svojstva lijeva i njihova kolebanja
- 5) Veličina i oblik hljebaca
- 6) Cijena
- 7) Geografski položaj, proizvodni kapacitet i pouzdanost proizvođača sirovog gvožđa od kojeg se očekuje također da bude dobar savjetnik u pitanjima primjene sirovog gvožđa.

Svojstva lijeva i njihova kolebanja ne ovise dakle – promatrano s gledišta sirovina – isključivo o kemijskom sastavu već i o nekim drugim faktorima, koji nisu ni izdaleka tako dobro definirani kao kemijski sastav. Te druge faktore predstavljaju izgled preloma hljebaca i ponašanje prilikom skrućivanja. Nedefiniranost tih svojstava zahtjeva da i proizvođač sirovog gvožđa učestvuje kao savjetnik u proizvodnji lijeva.

Dosta je rašireno mišljenje da lijev drugog taljenja (u našem slučaju sivi i žilavi lijev) nasljeđuje svoja svojstva na specifičan način, koji je imanentan vrsti sivog sirovog gvožđa. O tom nasljeđivanju na žalost se za sada ne zna mnogo.

3. Nasljeđivanje svojstava

W.Patterson i W.Standke (1) obradili su problem nasljeđivanja

kod sivog lijeva. U srednje frekventnoj indukcionoj peći ras-talili su preko 30 uložaka sa stupnjem zasićenosti od oko 0,9. Za sastavljanje uložaka poslužilo je 8 vrsti sivog sirovog gvožđa te lomljevina lijeva i čelika. Svaki je uložak sadržavao samo jednu vrstu sivog sirovog gvožđa. Udio sivog sirovog gvožđa bio je uglavnom razmjerno malen (0,20). Uljevanje šipki promjera 30 mm obavio se pri različitim pregrijavanjima; posljednji se ispust svakog uloška cijepio.

Vrednovanje rezultata pokazuje jasno različiti utjecaj pojedinih vrsta sivog sirovog gvožđa. Relativna tvrdoća (dureća relatiive - Härtegrad) DR varirala od uloška do uloška i do 15% ; njezina se veličina za svako pojedino taljenje мало mijenjala od ispusta do ispusta te je tako ispala tipičnom veličinom za svaki pojedini uložak. Oblik grafita i broj eutektičkih čelijskih ovisili su pretežno o procesu proizvodnje litine.

I sami smo pokušali da iz navedenog rada W.Pattersona i W. Standkea prosudimo o specifičnom utjecaju vrste sivog sirovog gvožđa na svojstva sivoga lijeva.

U dva smo navrata statistički ispitivali utjecaj dvaju faktora - sirovine i primjenjene tehnologije - na mehanička svojstva lijeva drugog taljenja. Interpretacija rezultata testiranja, koje smo proveli, je slijedeća:

- a) utjecaj vrste sirovina na svojstva lijeva je izrazit (značajan, signifikantan) (F_A veći od $F_{0,05}$). Sa vjerojatnošću 0,95 može se tvrditi da se specifični utjecaci promatranih vrsta sivog sirovog gvožđa (jedna hematitna vrsta i druga dobivena drvenim ugljenom) na svojstva sivoga lijeva signifikantno razlikuju;
- b) utjecaj tehnologije u jednom se slučaju očituje (F_B veći od $F_{0,05}$) dok se ne očituje u drugom slučaju (F_B manji

od $F_{0,05}$). Znači da se u prvom slučaju tehnologije razlikuju po svom efektu dok se u drugom slučaju ne razlikuju;

- c) Interakcije AB nisu signifikantne, Znači da se u ovom konkretnom slučaju odnos rezultata, koji se postizavaju različitim postupcima, ne mijenja u ovisnosti o upotrebljenoj sirovini a isto tako odnos rezultata, koji se postizavaju po jedinim sirovinama, ne ovisi o primjenjenom postupku.

Pitanjem nasljedivanja na relaciji sivo sirovo gvožđe – sivi lijev bavio se W.Wenzel (2). I ovaj autor ističe da u ljevaonica sivog lijeva prevladava mišljenje da postoji izvjesna specifičnost u pogledu prenošenja svojstava sivog sirovog gvožđa na sivi lijev. Ova se karakteristika ne može protumačiti isključivo pomoću utjecaja kemijskog sastava. Zato se kao emanacija te specifičnosti uzima izgled preloma. U navedenom radu W.Wenzel je istraživao mehanička svojstva i strukture šipki promjera 30 mm odljevenih od sivog sirovog gvožđa direktno iz visoke peći, odljevenih od sivog sirovog gvožđa pretaljenog u induktionskoj peći te od sivog lijeva s različitim zasipima.

Eksperimentiralo se pretežno ljevaoničkim sivim sirovim gvožđem proizvedenim uz velike količine troske u niskoj metalurškoj peći uz razmjerne hladan pogon (Željezara Calbe). Vršile su se također usporedbe s drugim vrstama sirovog gvožđa različitog porijekla.

Mehanička svojstva sirovog gvožđa željezare Calbe ne ovise o tome da li su se šipke dobile ulijevanjem direktno iz visoke peći ili nakon pretaljivanja u indupcionoj elektropeći. Međutim primarni se ferit u sekundarnoj strukturi pojavljuje već pri stupnju zasićenosti SZ = 1 u slučaju direktnog ispusta iz visoke peći, dok se nakon pretaljivanja u indupcionoj elektropeći primarni ferit javlja tek nakon SZ = 1,1.

Mi smo obavili statističku analizu nekih podataka iz navedenog rada W.Wenzela.

Usporedili smo ljevaoničko sivo sirovo gvožđe željezare Calbe sa sivim sirovim gvožđem dobivenim drvenim ugljenom. Stupanj zasićenosti varira između 0,95 i 1,10.

Analiza varijance s jednim faktorom pokazuje da između dva tipa sivog sirovog gvožđa postoji signifikantna razlika.

Testirali smo također utjecaj kemijskog sastava (izraženog po-moću stupnja zasićenosti) i zasipa u slučaju tri vrste ljevaoničkog sivog sirovog gvožđa željezare Calbe. Korelacioni račun pokazuje da u navedenom slučaju čvrstoća odvojeno odljevane šipke promjera 30 mm NE ovisi o stupnju zasićenosti: u intervalu stupnja zasićenosti od 0,65 do 0,95 čvrstoća sivog lijeva koleba oko srednje vrijednosti od oko 29 kp/mm^2 u rasponu od $\pm 4 \text{ kp/mm}^2$.

Analiza varijance s jednim faktorom pokazuje da ne postoje signifikantne razlike između triju vrsta ljevaoničkog sivog sirovog gvožđa željezare Calbe.

Na temelju statističkog testiranja može se zaključiti da između nekih vrsta sirovog gvožđa postoji razlika u ponašanju a između nekih drugih opet ne. Pogotovo ne bi trebalo očekivati razlike između sirovih gvožđa koja se u istoj željezari proizvode po približno istom postupku.

Razlike do kojih kod različitih autora dolazi u vrijednostima koeficijenata u formuli, koja povezuje čvrstoću i kemijski sastav sivoga lijeva,

$$\text{čvrstoća} = A - B \cdot SZ$$

treba dobrim dijelom pripisati utjecaju sirovog gvožđa.

Izrazi li se ovisnost čvrstoće sivoga lijeva o kemijskom sastavu dijagramski - u vidu pravca "čvrstoća = konstanta" u koordi-

natnom sistemu Si - C (3) (4) - tada će se ustanoviti da različitim tehnološkim cjelinama pripadaju različiti dijagrami. Jedan od utjecajnih faktora je bez sumnje i u ovom slučaju također sivo sirovo gvožđe.

Pitanje nasljeđivanja postavlja se i kod žilavog lijeva. U slučaju žilavog lijeva utjecaj kemijskog sastava je složeniji i oštriji: ugljik i silicij trebaju biti u određenim granicama, svi ostali elementi - osim eventualnih legirajućih - u što manjoj količini, pogotovo antiglobulatori čiji sadržaj treba biti ispod one granice, iznad koje oni sprečavaju ili bar otežavaju izlučenje grafita u obliku kuglica; oligoelementi djeluju i na sekundarnu strukturu žilavog lijeva i to čak i tada kada ih ima tako malo da ne utječu negativno na primarnu kristalizaciju. Međutim ni u slučaju žilavog lijeva ne može se sve svoditi na kemijski sastav. Naša iskustva (5) pokazuju da se primjenom iste tehnologije postizavaju različiti rezultati sa vrstama specijalnog sivog sirovog gvožđa različitog porijekla, koja se pred toga proizvode na različiti način.

Kako se to različito ponašanje ne može pripisati isključivo kemijskom sastavu uopće i oligoelementima posebno, očito je da ovdje dolaze do izražaja jedan ili više zasada nedefiniranih faktora, za koje se koristi nejasan termin "nasljedne karakteristike" sirovina.

4. Z a k l j u č a k

Svojstva gvozdenih lijevova i njihova kolebanja ne ovise isključivo o kemijskom sastavu već dobrim dijelom i o nekim za sada nedovoljno definiranim karakteristikama sivog sirovog gvožđa. Od sivog sirovog gvožđa gvozdeni lijevovi nasljeđuju svojstva na specifičan način, koji je imantan vrsti sivog sirovog gvožđa. O navedenim karakteristikama sivog sirovog gvožđa više se na-
M.04.06.

slućuje nego što se zna. One se ne mogu ni izdaleka tako dobro definirati kao neke druge, kao što su na pr. kemijski sastav, struktura ili mehanička svojstva. Za sada se pokušava predstavljati ih izgledom preloma hljebaca i, u novije vrijeme, ponasanjem prilikom skrućivanja.

U svakom slučaju primjer sivog sirovog gvožđa upozorava na utjecaj koji naslijedne karakteristike metalnih sirovina vrše na svojstva strojograđevnih materijala. Odstupanja i kolebanja svojstava oko vrijednosti, koje se smatraju normalnim, treba dobrim dijelom pripisati oligoelementima i naslijednim karakteristikama sirovina.

5. Literatura

1. W.Patterson, W.Standke: Einfluss der Einsatzstoffe, der Schmelzführung im Induktionsofen und der Impfbehandlung auf das Gefüge und die mechanischen Eigenschaften von Gusseisen mit Lamellengraphit - Giesserei TWB 15(1963) Heft 1, 1/24.
2. W.Wenzel: Untersuchungen an Giessereiroheisen im Hinblick auf seine Verwendung für die Erzeugung von Gusseisen mit Lamellengraphit - Giessereitechnik 14 (1968) Heft 7, 202/07.
3. L.Karbić: Ovisnost čvrstoće odvojeno odljevene epruvete promjera 30 mm o kemijskom sastavu sivoga lijeva - Ljevarstvo 1966/5-6, 83/92.
4. L.Karbić: Die Streuung der Zugfestigkeitswerte als Merkmal des Produktioniveaus - 36. međunarodni kongres ljevarstva, Beograd 1969.
5. S.Turina, N.Malešević, L.Karbić, Z.Bonačić, S.Žukić: Utjecaj malih količina elemenata na formiranje kristala u sivom lijevu - Zagreb 1969.
Rad prema ugovoru sa Republičkim fondom za znanstveni rad.

L.Karbid

Geerbte Merkmale der Gässe auf Eisenbasis.

Ausser der chemischen Zusammensetzung und dem Bearbeitungszustande, auf die Eigenschaften des Gusses zweiten Schmelzens übt sich auf spezifischer Weise der Einfluss des Roheisens aus.

Die Abweichungen und die Streuung der Resultate um den Werten, die für eine bestimmte chemische Zusammensetzung und Bearbeitungszustand als normal gelten, können mit grosser Wahrscheinlichkeit auf die Erbeigenschaften des Roheisens zurückgeführt werden.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA, NOVI SAD, 1970

A. Povrzanović, F. Kovačićek *

MJERENJE KOEFICIENTA KONTAKTNOG TRENJA KOD PROVLAČENJA TRAKA
OD LEGURE Al Cu Mg 4 **

Provlačenjem metalne trake kroz posebno izrađenu koničnu matri-
cu postavljenu na mjernu napravu moguće je izmjeriti koeficient
kontaktnog trenja u deformacionoj zoni. Ovakav način mjerenja
smatra se "direktnim" određivanjem veličine μ , kako se to na-
vodi u literaturi, gdje se nalaze podaci o veličini koeficiente
kontaktnog trenja za slučajeva provlačenja bakarne žice, čelič-
ne i aluminijske šipke te čelične trake (4-4). Češći i eksperi-
mentalno lakši je slučaj "indirektnog" određivanja μ zasnovan
na mjerenju deformacionih sila kojih se veličine, uz poznavanje
ostalih bitnih parametara, uvrštavaju u jedan od analitičkih iz-
raza sa svrhom izračunavanja μ . Ovako dobiveni rezultati (5-8)
često daju diskutabilne veličine koeficijenata kontaktnog trenja
zbog ograničene pouzdanosti analitičkih izraza i nedovoljne tač-
nosti određivanja ostalih parametara.

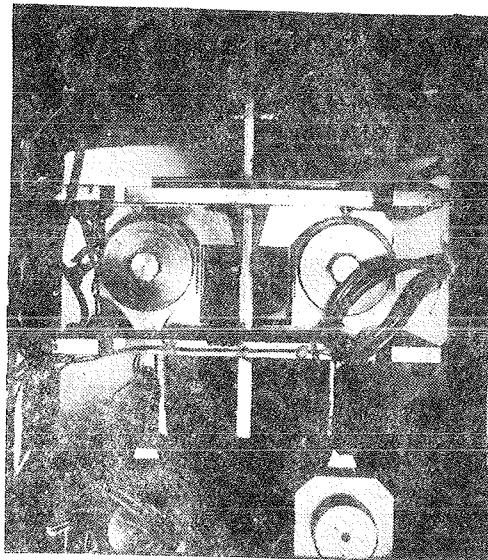
Posebno građena laboratorijska naprava originalne konstrukcije
(9, 10) omogućava istovremeno provlačenje i vršenje potrebnih
mjerenja. Matrica za provlačenje načinjena je od dviju izmjenj-
ljivih deljnosti uloženih u dvodjelni blok. Oba dijela bloka su
međusobno povezana mjernim stremenima. Ovakova izvedba omoguća-
va provlačenje varirajući redukcije i kuteve matrice. Na mjer-
nim stremenima i okomitim ovjesnim štapovima naljepljene su
tenzometrijske mjerne trake. Naprava je prikazana na slici 1.

* Mr Aleksandar Povrzanović, dipl.ing., docent Fakulteta stro-
jarstva i brodogradnje, pom. direktora Instituta FSB Zagreb;

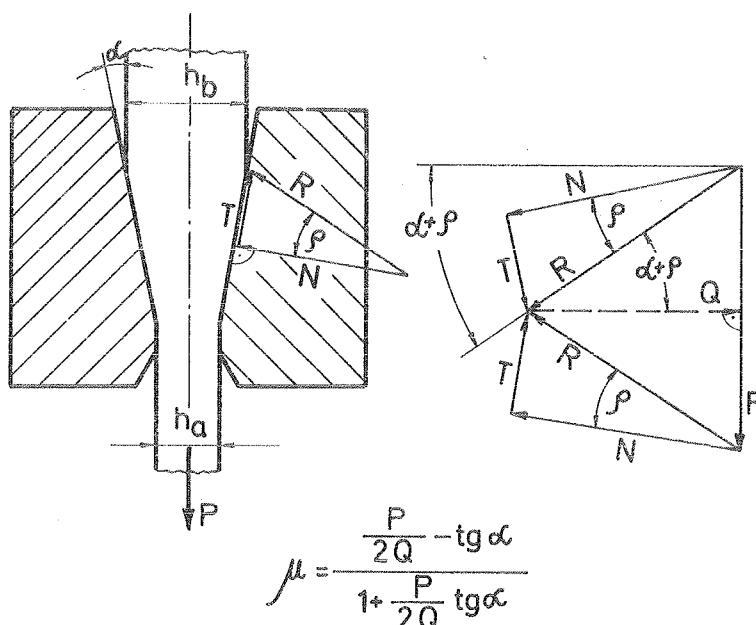
Mr Franjo Kovačićek, dipl.ing., asistent, FSB Zagreb

** Saopćenje s Katedre za plastičnu obradu metala FSB Zagreb.

Princip određivanja koeficijenta kontaktnog trenja pomoću opisane naprave slijedi iz uvjetata ravnoteže djelujućih sila u matrići, kako to pokazuje slika 2. Mjerni stremeni omogućavaju mješenje poprečne sile Q a ovjesni štapovi sile provlačenja P . Pri tom se redukcija postiže na račun debljine trake α ne i širine, što u dobroj aproksimaciji i odgovara stvarnom stanju provučene epruvete.



Slika 1



Slika 2

Meko odžarcene trake debljine 10 mm i širine 20 mm od standardne legure Al Cu Mg 4 provlačene su kroz matrice $\alpha = 9^\circ$ i 6° .
M.05.02.

Ovo su samo nominalne veličine koje, prema slici 2 označavaju polukut matrice. Veličine tačno izmjerena polukuteva dane su u tablici 1. Načinjene su tri serije pokusa provlačenja s tri različita maziva a sve za dvije različite redukcije imajući u vidu faktorski plan pokusa 2^3 . Upotrebljena su maziva: hipoidno mineralno ulje SAE 90, ulje Molykot KF 20 i cinkov stearat (prah). Ulja su na epruvete nanošena kistom a cinkov stearat blagim utrljavanjem rukom. Veličine koeficijenta kontaktnog trenja dobivene ovim pokusima dane su u tablici 1.

Tablica 1

Epruveta broj	Polukut matrice α°	Redukcija $\gamma \%$	Koef. kont. trenja μ
<hr/>			
HIPOIDNO MINERALNO ULJE SAE 90			
27	6° 20°	22,05	0,0344
1		22,05	0,0373
64		5,88	0,0344
36		6,30	0,0338
47	9° 29°	22,55	0,0331
57		23,90	0,0314
2		6,80	0,0302
21		5,88	0,0291
<hr/>			
CINKOV STEARAT			
18	6° 20°	22,55	0,0344
16		23,30	0,0325
56		6,36	0,0158
69		6,36	0,0196
48	9° 29°	22,50	0,0311
40		22,10	0,0304
7		5,88	0,0182
25		5,39	0,0192
<hr/>			
MOULKOT KF 20			
53	6° 20°	23,30	0,0491
14		23,30	0,0608
4		6,86	0,0364

nastavak na slijedćoj strani!

M.05.03.

nastavak tablice 1

Epruveta broj	Polukut matrice α°	Redukcija $\psi \%$	Koeff. kont. trenja μ
38	6° 20°	6,36	0,0352
54	9° 29°	23,05	0,0454
41		22,50	0,0505
13		6,37	0,0315
43		5,88	0,0325

Podaci iz tablice 1 dobiveni su na temelju faktorskog plana potkusa 2^3 koji je prikazan slijedećim matricama podataka.

		Redukcija cca 23 %		Redukcija cca 6 %	
		Ulje SAE 90	Zn stearat	Ulje SAE 90	Zn stearat
$\alpha = 6^\circ 20^\circ$		0,0344 0,0373	0,0344 0,0325	0,0338 0,0358	0,0158 0,0196
$\alpha = 9^\circ 29^\circ$		0,0331 0,0314	0,0311 0,0304	0,0302 0,0291	0,0182 0,0192

		Redukcija cca 23 %		Redukcija cca 6 %	
		Ulje SAE 90	Molykot KF 20	Ulje SAE 90	Molykot KF 20
$\alpha = 6^\circ 20^\circ$		0,0344 0,0373	0,0491 0,0608	0,0338 0,0338	0,0364 0,0352
$\alpha = 9^\circ 29^\circ$		0,0331 0,0314	0,0454 0,0505	0,0302 0,0291	0,0315 0,0325

Analiza varijance obiju matrica pokazuju s obzirom na veličinu koeficiente kontaktnog trenja dominantan utjecaj redukcije, maziva te interakcije redukcija-mazivo, pri čemu je faktor redukcija na prvom mjestu. Polukut matrice je najmanje utjecajan a isto tako su malog utjecaja i interakcije u kojima se on javlja.

Pored mjerjenja veličine koeficiente kontaktnog trenja i određivanja dominantnih parametara mjerena je i hrapavost površine epruveta prije i poslije provlačenja. Rezultati ovih mjerjenja dati su u tablici 2.

Tablica 2

	U smjeru provlačenja		Okomito na smjer provlačenja	
	R_t μmm	R_a μmm	R_t μmm	R_a μmm
Površina deformacione zone matrice 6°	$< 0,5$	$< 0,05$	$< 0,5$	$< 0,05$
Epruveta br. 64 prije provlačenja	3,2 do 4,2	$\leq 0,5$	2,4 do 4,7	$\leq 0,5$
Epruveta br. 64 poslije provlač.	0,12 do 0,16		0,3 do 0,75	0,025 do 0,050

Mjerenje hrapavosti matrice i epruvete prije provlačenja izvršeno je metodom Perth. Mjerenje hrapavosti poslije provlačenja načinjeno je optičkom metodom i to svjetlosnim presjekom i interferencijom. U posljednjem slučaju određen je R_t a R_a je dobićen na osnovu postojeće korelacije. Zbog premalenih vrijednosti R_t u smjeru provlačenja na ovaj način nije bilo moguće odrediti R_a . Rezultati mjerenja hrapavosti površine deformacione zone matrice 9° i ostalih epruveta na kojima su pokusi vršeni nisu posebno prikazani jer su istog reda veličine kao i kod prikazanih reprezentanata. Na temelju ovog moguće je zaključiti da već i kod malih redukcija dolazi do zaglađenja 4.05.05.

koje odgovara klasi hrapavosti 2 (do 3) po JUS M.A1.o25 a da pri tom nije primijećen nikakav utjecaj upotrebljenih maziva.

Literatura

- 1 Wistreich J.G., Investigation of the Mechanics of Wire Drawing, Proc. Inst. Mech. Eng., 169 (1955), p. 654/665
- 2 Towned & Broscomb, isto kao 1, p. 666/676
- 3 Majors H. jr., Determination of Friction Coefficient, Trans. Amer. Soc. Mech. Eng., (1956), Vol. 78, p. 79/87
- 4 Pawelski O., Ein neues Gerät zum Messen des Reibungsbeiwertes bei plastischen Formänderungen, Stahl und Eisen, (1964), H. 20, S. 1233/1242
- 5 Lueg & Pomp, Der Einfluss des Gegenzuges beim Ziehen von Stahldraht, Stahl und Eisen, (1943), H. 12, S. 229/236
- 6 Baron H.G. & Thompson F.C., Friction in Wire Drawing, Journ. of the Inst. of Met., (1950/51), Vol. 78, p. 415/462
- 7 Maclellan G.D.S., Some Friction Effects in Wire Drawing, Journ. of the Inst. of Met., (1952/53), Vol. 81, p. 1/13
- 8 Hribar J., Određivanje koeficijenta trenja i utroška unutarnje radnje kod hladnog provlačenja šipki i cijevi od lakinih metala, Zbornik radova Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb (1969)
- 9 Povrzanović A., Mjerenje koeficijenta trenja kod provlačenja aluminijskih traka, Zbornik saopćenja na X Jug. kongresu rac. i primj. mehanike, Beograd (1970)
- 10 Povrzanović A., Problem trenja i deformacionih sila kod provlačenja aluminijskih traka u hladnom stanju, Zbornik radova Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb (1970)

A. Povrzanović, F. Kovačícek

Measurement of Friction Coefficient in Strip Drawing Al Cu Mg 4
Alloy

A short description of a new design of friction measurement device with measurement of longitudinal and transverse drawing force is given. Experiments in strip drawing are made using different lubricants as hypoid mineral oil SAE 90, light oil Molykot Kf 20 and Zn stearate. Given values of friction coefficient are measured in dependence on lubricant, deformation and approach angle of the die. No influence of the used lubricants on the surface roughness is noticed.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD 1971

D. Vlahović

VLASTITA ISKUSTVA U PRIMJENI POLIAMIDA KAO MATERIJALA U MAŠINSTVU

1. Uvod

Početkom 1967. godine, u vidu rezervnih djelova ugrađeni su prvi elementi mašina iz poliamida u našim pogonima. Primjena ovog materijala je u samom početku išla vrlo obazrivo, sporo. Razlog je bio nepoznavanje mogućnosti ovog materijala. Literatura je vrlo oskudna, čak i na jezicima industrijski razvijenih zemalja, a na našem je ni danas praktično nema. Naše poteškoće u tom pogledu su bile u tome, što nije bilo mogućnosti za ispitivanje, a literatura koju smo pribavili u tom periodu, nije tretirala niti pričinjeno slična područja primjene, a niti uvjete rada u kojima je trebao raditi ovaj materijal.

Vrlo neprikladno je u valjaoničkim pogonima ispitivati primjenu nekog noviteta, pa ma koliko on obećavao, ako se za ugradnju treba zaustaviti pogon. Normalno se ispitivani elemenat može ugraditi prilikom planskog stajanja. Ne uspije li, neminovno je zaustavljanje pogona za njegovu demontažu i ugradnju odgovaraajućeg elemenata. Vrijeme stajanja, zbog izmjene, neuporedivo više košta od ispitivanog elementa. Vrijeme stajanja se osjetno produžuje, ako je neophodno prilagođavanje (rekonstrukcija) elemenata koji ulaze u zahvat, pa se u slučaju neuspjeha moraju i oni izmijeniti.

Dobrašin Vlahović dipl. inž. stariji inž. tehnolog u Željezari Sisak.

Saopštenje iz radne organizacije, prema iskustvima sa primjenom mašinskih elemenata i poliamidnih profila (pleča, štapova i cijevi), obrađenih skidanjem strugotine.

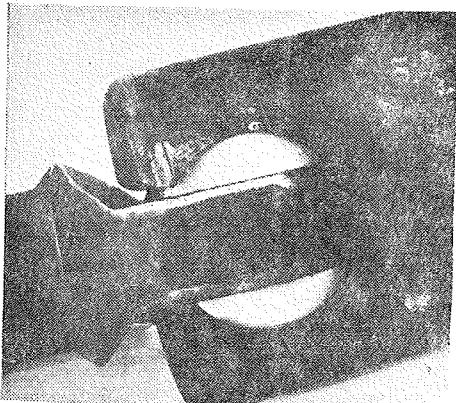
Sve do nedavno, materijal je bio isključivo uvozni, pa primjenom poliamida pogon se vezao za uvoz i dosta duge rokove nавe. Sve su to činioci koji su prisiljevali na obazriva primjenu.

Prve primjene poliamida dale su tako povoljne rezultate, neko-liko puta jeftinije elemente, a više puta duži vijek trajanja i sigurniji rad pogona. Već nakon prvih primjena, još u toku 1967. godine pomoću poliamida potraženo je rješenje za ona mesta koja su bila djelomično riješena, izazivala česte prekide proizvodnje, a osim toga i znatna sredstva za česte izmjene. Budući su skoro svi ovi pokušaji uspjeli, poliamidi su u pogonima korišteni uglavnom samo za ona mesta za koja nije bilo nekog drugog prikladnog rješenja. Primjena se ipak brzo proširila i po-red ovog tako reći ograničenja, tako da sada postoji nekoliko desetina pozicija koje se isključivo izvode iz poliamida. U prošloj godini ugrađeno je oko 12 t poliamida u pogonima Željezare Sisak i to uglavnom u dva područja: elementi za prenos udarnog opterećenja i elementi sa trenjem klizanja.

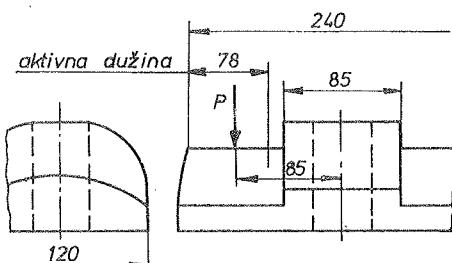
2. Elementi za prenos udarnog opterećenja

Izraziti primjeri ove grupe su uložci u zglobnim (kardanskim) spojkama valjsioničkih stanova. Valjaonica bešavnih cijevi opremljena je sa pilger stanovima triju dimenzija. Kako su stanovi dobavljeni od istog proizvodača dimenzionirani su po istom principu, pa su i uložci u spojkama približno jednako opterećeni po jedinici površine. Prije primjene poliamida, uložci su izvedeni od bronce, a vijek trajanja uložaka iznosio je u prosjeku 6 do 8 dana. Prilikom prelaza na poliamidne uložke, nije postojala mogućnost povećanja dimenzija uslijed osnog razmaka, pa poliamidni uložci rade pod potpuno istim uvjetima.

Slika 1 prikazuje jedan ovakav spoj, a slika 2 skicu uložaka pilger stana lake pruge. Dva pilger stana lake pruge pogonjena su zajedničkim motorom snage 650 kW. Radni broj okretaja valjaka je u području 175 do 235 u min, a najčešće rade sa oko 200 okretaja u minuti.



Slika 1



Slika 2

Nazivni moment torzije po jednom pilgeru 158000 kp cm.

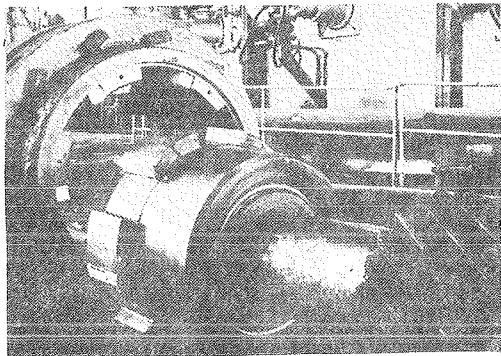
Uz predpostavku da se sila jednoliko rasporeduje po aktivnoj površini pilgera, krak obodne sile iznosi 8,5 cm, a aktivna površina 4 uloška 374 cm^2 , pa je pritisak uslijed nazivnog momenta 50 kp/cm^2 .

Dinamički faktor prema literaturi za pilger stanove iznosi 6 do 8, te se maksimalni pritisak kreće u području (300 do 500) kp/cm^2 . Ovako visok pritisak se javlja u svakom okretaju valjaka, što znači sa frekvencijom od 200 udaraca u minuti. Izraz "udarac" nije zabunom primjenjen, jer postupak pilgerovanja nije u stvari ništa drugo do kovanje.

Primjenom uložaka iz poliamida njihov vjek trajanja produžen je za više od dva puta. Izbjegnuto je njihovo drobljenje, smanjeni zastoji, skoro u potpunosti izbjegnuto abanje zahvatnih površina. Sistem ima mirniji hod, a cijena uložaka po toni cijevi manja je za oko 4 puta.

Karakterističan je primjer isključnih spojki srednjeg i teškog pilger stana slika 3. Zahvatne površine uslijed udarnog opterećenja abale su se vrlo brzo. Za tri do šest mjeseci zračnost među zahvatnim površinama dosezala je (40 do 60) mm, a prilikom ugradnje nastojalo se izvesti sa kliznim dosjedom.

Svi pokušaji da se taj problem riješi izborom odgovarajućeg čelika ili navarivanjem, ostali su bez uspjeha, a mogućnosti za



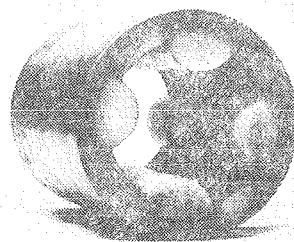
Slika 3

nazivnog momenta torzije izhosi 83 kp/cm^2 . Uzimajući u obzir dinamički faktor (6-8) maksimalni pritisak se kreće u području $(498-664) \text{ kp/cm}^2$, pri svakom okretaju valjaka. Primjena poliamida na ovom mjestu smatra se optimalnim rješenjem, jer izmjerena zračnost nakon



SLIKA 4

11 mjeseci rada iznosila je ispod 1 mm, a postignute su sve prednosti koje su navedene i u prethodnom primjeru.



Slika 5

Sličan je i primjer spojke na reducirnom stanu lake pruge sa profilom djeteline slika 5. Spojka je ranije bila izvedena iz čelika, ali je vijek njenog trajanja bio ispod 2 mjeseca. Osim toga nastupalo je i visoko abanje osovina, pa su po-pravljene nastavljavanjem ili zamjenjivane. Snaga motora je 300 kW , a radni broj okretaja valjaka u području $(150-250)$ u minuti. U ovom primjeru nije jednostavno dati realan podatak o pritisku, jer se taj moment raspodjeliće na 46 ovakvim spojkama, koliko je i valjaka istovremeno u pogonu, a opterećenje se ne raspodjeljuje jednolikom već prema stupnju redukcije i padu temperature cijevi. Jedino se može radi usporedbe navesti: da je vijek trajanja uložaka duži više od tri puta, ne mijenja se cijela spojka već samo uložci, da se osovine

M.06.04.

za povećanje zahvatnih površina nije bilo. Snaga motora 1500 kW radni broj okretaja valjaka 50 u min uz prenosni odnos $1:2$. Težina rotirajućih dijelova oko 92 t . Moment se prenosi preko 6 uložaka iz poliamida sa dimenzijama prema slici 4, na srednjem promjeru od 880 mm . Pritisak od

2 $(498-664) \text{ kp/cm}^2$, pri svakom okretaju valjaka. Primjena poliamida na ovom mjestu smatra se optimalnim rješenjem, jer izmjerena zračnost nakon

reduciranju stanu lake pruge sa profilom djeteline slika 5. Spojka je ranije bila izvedena iz čelika, ali je vijek njenog trajanja bio ispod 2 mjeseca. Osim toga nastupalo je i visoko abanje osovina, pa su po-pravljene nastavljavanjem ili zamjenjivane. Snaga motora je 300 kW , a radni broj okretaja valjaka u području $(150-250)$ u minuti. U ovom primjeru nije jednostavno dati realan podatak o pritisku, jer se taj moment raspodjeliće na 46 ovakvim spojkama, koliko je i valjaka istovremeno u pogonu, a opterećenje se ne raspodjeljuje jednolikom već prema stupnju redukcije i padu temperature cijevi. Jedino se može radi usporedbe navesti: da je vijek trajanja uložaka duži više od tri puta, ne mijenja se cijela spojka već samo uložci, da se osovine

M.06.04.

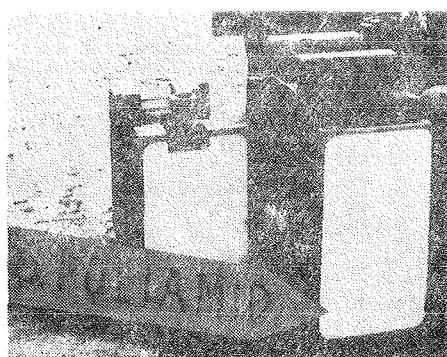
u usporedbi sa ranijim praktično ne abaju i da je cijena održavanja ovog spoja višestruko manja.

3. Elementi sa trenjem klizanja

Izraziti primjer povoljne primjene, kao materijala za klizne ležaje mogu se navesti ležaji pilger valjaka. Ležaji su izloženi udarnom opterećenju, podmazivanje je vodom, a nemože se spriječiti prodor okujine i druge prljavštine. Prije poliamida primjenjivan je tekstolit. Njegovi nedostatci su bili u tome što se dosta naglo trošio, a dolazilo je dosta često i do drobljenja. Srednji pritisak u ležaju iznosi 48 kp/cm^2 , ali pri svakom okretaju dolazi do udarnog opterećenja, kada pritisak naraste do područja od $(300-380) \text{ kp/cm}^2$. Obodna brzina rukavca pri valjanju iznosi 110 m/min, te u svakom slučaju p.v (umnožak pritiska i obodne brzine rukavca) prelazi dozvoljene granice koje se sretaju u katalozima proizvodača i u literaturi. Međutim dovoljni odvod topline, pomoći vode kojom se i podmazuju, omogućuje im zadovoljavajući vijek trajanja, za oko dva puta duži nego kod tekstolita, a izbjegnuto je i drobljenje. Osim toga rješen je i problem koji se pojavljuje kod tekstolita, da habanje naglo napreduje kada se načne površinski sloj, jer se povećavao osni razmak valjaka, a on određuje debljinu stjenke cijevi. Kao materijal primjenjivan je poliamid 6. i poliamid 6.6 sa dodatkom molibdenovog disulfida (MoS_2), ovaj zadnji ima bolje rezultate. Prikladan primjer su i ležaji na reducirnom stanu lake pruge. Umjesto blazinica iz bronze ugraduju se blazinice iz poliamida 6, i poliamida 6.6 sa dodatkom molibdenovog disulfida. Podmazivanje je mašcu, sa pumpom za centralno podmazivanje. Prilikom prelaza na poliamidne blazinice, zadržane su iste dimenzije blazinica, osim što je povećana zračnost u ležaju, a isto tako zadržan je i isti režim podmazivanja, prema tome blazinice iz poliamida rade pod istim uvjetima, pod kojima su radile i blazinice iz bronze. U ovom primjeru nije prikladno navesti pritisak u ležajima iz istog razloga kojeg i u predhodnom poglavljju za spojke profila djeteline. Međutim može se navesti da je vijek trajanja blazinica iz poliamida duži preko tri puta.

Zavidni rezultati su postignuti i u primjeni elemenata sa trenjem klizanja pri pravolinijskom kretanju. Ovih mjesta ima u metalurškim pogonima, a posebno u valjaonicama, veliki broj. U većini slučajeva ona nisu zaštićena od priljavštine, a podmazivanje je skoro redovito nedovoljno ili čak nikakvo. U ovim slučajevima nisu u pitanju velike brzine kretanja, a često puta ni previški pritisci, već strana tijela koja izazivaju brzo abanje. Jeden od ovakvih slučajeva su klizne šinje po kojima kliže potisni stroj pilgera lake pruge. Klizna površina je tih dimenzija da je pritisak manji od 8 kp/cm^2 , a kretanje svakih 3 - 5 minuta brzine oko 60 metara u minuti. Podmazivanje povremeno mašcu. Kako klizne površine nisu zaštićene od okujine koja prilikom valjanja otpada sa cijevi, to je abanje šinja iz bronze bilo toliko da su se šinje morale mijenjati nakon svakih 15-20 dana rada. Osim toga moralo se povremeno mijenjati i čelične pločušinje. Zamjenom brončanih sa poliamidnim šinjama, njihov vijek trajanja se produljio za više od 3 puta, a cijena održavanja smanjila za oko 6 puta. U ovom slučaju je došlo do izražaja svojstvo, da se tvrda okujina koja pri nalaženju nije zbrisana utisne u poliamid pa se njen utjecaj bitno umanji.

Karakterističan je i primjer vodilica ugrađenih na kućištima (nosačima) ležaja od pilger valjaka, Slika 6. Vodilice su ranije bile iz čelika, a abanje je nastupalo uslijed raskivanja i oštećenja uzrokovanih upadanjem okujine među klizne površine. Prilikom kretanja vodilice nisu pod pritiskom. Kretanje je nakon svake izvaljane cijevi i prilikom podešavanja osnog razmaka valjaka. Za vrijeme valjanja vodilice su izvrgnute udarnom opterećenju, ono je osnovni uzrok abanju. Ugradnjom vodilica iz poliamida, smatra se ovaj problem riješenim, jer je vijek trajanja produžen za više od 3 puta.



Slika 6

nije bile iz čelika, a abanje je nastupalo uslijed raskivanja i oštećenja uzrokovanih upadanjem okujine među klizne površine. Prilikom kretanja vodilice nisu pod pritiskom. Kretanje je nakon svake izvaljane cijevi i prilikom podešavanja osnog razmaka valjaka. Za vrijeme valjanja vodilice su izvrgnute udarnom opterećenju, ono je osnovni uzrok abanju. Ugradnjom vodilica iz poliamida, smatra se ovaj problem riješenim, jer je vijek trajanja produžen za više od 3 puta.

Prilikom izbora, opisanih primjera u ovom saopštenju, nastojava se da oni budu izraziti predstavnici, da predstavljaju projek postignutih rezultata, u pojedinim područjima primjene. Uzeti su iz onih područja u kojima je primjena u našim pogonima najšire zastupljena.

4. Postignute uštede

Poliamidi su ušli u naše pogone kao materijal pomoću kojeg se mogu postići bolja tehnička riješenja. Tek kasnije se uvidjelo kolike su ekonomske prednosti njihove primjene.

Cijena elementa iz poliamida niža je za oko 2 do 3 puta, od cijene za iste elemente iz uobičajenih materijala. Za sada nemamo niti jedno mjesto primjene da vijek trajanja nije preko 2 puta duži.

Za prvih lo mjeseci 1969. godine ugrađeno je u pogonima Željezare Sisak oko 8,5 t poliamida i postignuta ušteda na razlici u cijeni ugrađenih elemenata u odnosu na isto razdoblje u prethodnoj godini od 346 miliona starih dinara. U ovu uštedu nije uračunata ušteda u smanjenju zastoja, to jest porastu proizvodnje, a ona je višestruko veća od ove.

5. D. Vlahović

Die eigenen Erfahrungen hinsichtlich der Anwendung von Polyamiden

Mit der Anwendung von polyamiden im Maschinenbau, erzielt man eine Reihe von Vorteilen im Verhältnis zu den klassischen (üblichen) Materialien. Es ist mit Polyamiden ermöglicht, die verschiedenen technischen Probleme zu lösen waren. Extra Vorteile liegen in den hohen Ersparungen d.h. niedrigen Kosten und der Erhöhung der Betriebssicherheit durch die längere Zeit bzw. erhöhte Haltbarkeit der Teile.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD 1971

D. Vlahović

POLIAMIDI KAO MATERIJAL U MAŠINOGRADNJI I KONSTRUIRANJE SA NJIMA

1. Uvod

Pored već stoljećima poznatih i primjenjivanih materijala za izvedbu mašinskih elemenata, u novije se vrijeme pojavila i grupa materijala, koja bi se mogla nazvati zajedničkim nazivom "plastične mase". Izuzev nekoliko izuzetaka, svi ovi materijali su se razvili u zadnjih 25 godina. Ovdje se ne misli na njihovo laboratorijsko ostvarenje, već na njihovu industrijsku primjenu, a posebno na primjenu u mašinogradnji.

Lepeza ovih materijala je vrlo široka, ali kao materijali za izradu mašinskih elemenata javljaju se uglavnom: Poliamidi, poliacetali, policolefini, fenoli i fluorougljici.

U skoro svim ovim grupama javlja se niz podgrupa ili vrsta sa različitim svojstvima, te tako reći prekrivaju sva područja mašinogradnje.

Inozemni proizvođači nude ove materijale pod trgovačkim nazivima, koji najčešće nisu izvedeni iz naziva osnovnog materijala, a podaci za iste materijale se osjetno razlikuju. Oskudna literatura čak i na jezicima industrijskih razvijenijih naroda, te skoro potpuno pomanjkanje domaće literature, dovodi konstruktora koji želi primijeniti ove materijale u vrlo nezavidan položaj. Odras ovog činioca, te pomanjkanje domaće proizvodnje, dovelo je do toga da je naša mašinogradnja u primjeni ovih materijala praktično na samom početku, iako se vani već oko 15 godina obimno primjenjuju.

Dobrašin Vlahović dipl. inž. strojarstva, stariji inž. tehnolog u Željezari Sisak.

Saopštenje iz radne organizacije (Konstrukcionog biroa Željezare Sisak), prema iskustvima sa izradom mašinskih elemenata iz poliamidnih profila (ploča, štapova i cijevi) skidanjem strugotine.

2. Konstrukciona svojstva poliamida i područja primjene

Uobičajeno je razmatrati obim primjene jednog materijala sa stanovišta mogućnosti izrade pojedinih elemenata. Na primjer: zupčanika, ležaja, spojki, užnica, vijaka, zaptivnih elemenata itd. Ovaj oblik obrade u ovom slučaju ne bi bio prikladan, te bi široka mogućnost primjene zahtijevala mnogo prostora, jer praktično nema elementa koji se ne izvodi iz poliamida, ali za određene radne uvjete. Osim toga ponavljaljala bi se obrada istih svojstava kod pojedinih elemenata, pa je prikladnije obraditi prema onim svojstvima materijala koja im tu primjenu obezbjeđuju.

Mehanička svojstva poliamida su jedva zadovoljavajuća, čak nekoliko puta slabija od svojstava čelika ili bronce.

Materijal	Prekidna tvrdoća čvrstoća DIN 53455 kp/cm ²	Tvrdoća nakon lo sek VDE o3o2 kp/cm ²	Modul elastičnosti kp/cm ²	Dinamička žilavost cijeta DIN 53453 kp/cm ²	Produciranje nje do kidanja DIN 53455 kp/cm ²	Specif. težina DIN 53371
Poliamid 6	650	600	22000	27	150	1,14
" 6.6	750	720	24000	18	70	1,14
" 6.10	570	570	17000	28	60	1,08
" 11.	520	550	12000	10	110	1,04
" 12.	480	650	11000	10	150	1,02

Tabela 1. Mehanička svojstva poliamida

Kako je vidljivo iz tabele jedan, prema mehaničkim svojstvima ovi materijali nisu privlačan materijal za izvedbu mašinskih elemenata, ali sljedeća konstrukciona svojstva im omovućuju da na mnogo mesta zamjene bronzu, bijelu kovinu ili čak kvalitetne čelike:

- 1 otpornost na abanje i izlizavanje;
- 2 niski koeficijent trenja klizanja;
- 3 vrlo visoka žilavost i visoko svojstvo prigušenja udarnog opterećenja;
- 4 svojstvo, da mogu raditi pri manjkavom podmazivanju, odnosno i bez podmazivanja;
- 5 pri radu ne izazivaju buku;
- 6 niska specifična težina;
- 7 otpornost prema velikom broju kemikalija.

Navedena svojstva su omogućila široku primjenu poliamida jer niti jedan od uobičajenih materijala nije posjedovao tako izražena ova svojstva, uz zadovoljavajuća ostala mehanička svojstva.

Otpornost na izlizavanje, uz niski koeficijent trenja klizanja i mogućnost ~~ne~~ pri manjkavom podmazivanju, omogućili su primjenu ovih materijala na mjestima koja su do sada tako reći kompromisno rješavana, kao na primjer: ležaji u koje prodire voda, vodilice, klizne podloge kod kojih je podmazivanje manjkavo. Pribroji li se ovim svojstvima još i dosta niska tvrdoća, koja omogućava da se strano tijelo veće tvrdoće utisne, a na taj način njegovo djelovanje skoro neutralizira, znatno se proširuje ovo područje primjene. Ovime stiču prednost na mjestima gdje se ne može zaštитiti od prodora: okujine, pijeska, grube prašine i sličnih stranih tijela. Svakako da je u ovim slučajevima podmazivanje manjkavo ili nikakvo, što je još jedan činioc u prilog tome, da su poliamidi naj prikladniji materijal za ovakva mesta. Činjenica, da mogu raditi bez podmazivanja ili samo sa jednokratnim podmazivanjem, a da trenje ostane u dozvoljenim granicama, a time i abanje, uvela je poliamide na mesta gdje je nepoželjno podmazivanje, a takvih ima dosta u prehrambenoj i tekstilnoj industriji.

Žilavost, sposobnost prigušenja udarnog opterećenja i podatljivost, ne samo da su omogućili primjenu na mjestima gdje su izrazita, odnosno pretežna udarna opterećenja, kao na primjer kod uložaka na zglobnim spojkama valjaoničkih stanova, odbojnicima i slično, već su omogućena u ovom području pojedina rješenja, koja se uobičajenim materijalima nije bilo moguće postići.

Otpornost prema svim mazivima i gorivima, te prema većini kemijske industrije, omogućila im je primjenu u pumpama, armaturama cjevovoda (ventilima, zasunima, pipcima i slično), te na sličnim mjestima gdje je neminovan dodir sa ovakvim medijima.

Miran rad ovog materijala, sa minimalnom bukom i specifičnom težinom, uz ostala svojstva uveo je poliamide kao materijal u: tonske uređaje, kućanske aparate, uredske strojeve, tekstilnu industriju i slično.

Naprijed opisana svojstva se mogu smatrati prednost poliamida, ali osim njih javljaju se daljnja, koja su u većini slučajeva nedostatak ovih materijala:

- 1 loša toplinska vodljivost i visoki koeficijent toplinskog rastezanja,
- 2 upijanje vlage i promjena dimenzija pri tome,
- 3 svojstvo da ne mogu podnijeti visoko trajno kontinuirano (statičko) naprezanje, odnosno da podnose osjetno veće izmjenično ili promjenljivo naprezanje,
- 4 podatljivost ovih materijala (niski modul elastičnosti), omogućava približno jednoliku raspodjelu dodirnog pritiska, ali u dosta slučajeva ona ima i nepovoljno svojstvo,
- 5 pri trenju klizanja neophodno je povesti računa o sparivanju materijala i kvalitetama obrade protukomada.

Određenim konstrukcionim zahvatima, upliv ovih svojstava može se u potpunosti izbjegći ili bar ublažiti. Uslijed toga neophodno je poznavanje, kako upliva ovih svojstava, tako i načina na koji se to rješava.

3. Konstruiranje sa poliamidima

Loša toplinska vodljivost i visoki koeficijent linearног toplinskog rastezanja su svakako bitni činioci o kojima se mora povesti računa pri konstruiranju. Tako se pojava priroda topline u jednom ležaju dvojako odražava. Uslijed loše vodljivosti, ležaj ulazi u sve više područje temperaturu, te sa te strane prijeti opasnost od oštećenja. Osim toga, uslijed visokog koeficijenta linearног toplinskog rastezanja, smanjuje se predviđena zračnost u ležaju, a time se pospješuje razvijanje topline. U oba slučaja, do pojave priroda topline, može doći, pa makar su sve konstrukcione preostrožnosti poduzete: zračnost u ležaju pravilno odabrana, podmazivanje zadovoljavajuće, opterećenje u dozvoljenim granicama. Samo ako nije obezbijedeno dovoljno odvodjenje topline, to jest ako nije obezbijedena toplinska ravnoteža pri maksimalnoj temperaturi u ležaju ispod $(80-100)^{\circ}\text{C}$.

Kako je vidljivo iz tabele 2. koeficijent linearног toplinskog rastezanja poliamida u odnosu na čelik i bronzu razlikuje se za oko 4 do 6 puta. Ovaj odnos se mora poštovati i kod određivanja zračnosti. Uobičajene tolerancije kod kliznih ležaja, na primjer H7 sa f8, ovdje ne bi bile održive. Sa strane proizvođača poliamida obično se preporučuje C11 sa h9, a naša iskustva

Svojstva	Jedi- nica mje- re	Čelik ne le- giran o,1%	Kosi- trena bronza	polia- mid 6	polia- mid 6.6	polia- mid 6.10
Koefficijent li- nearног toplin- skog rastezanja	1/ ^o C	1,2·10 ⁻⁵	1,8·10 ⁻⁵	7·10 ⁻⁵	7·10 ⁻⁵	8·10 ⁻⁵
Toplinska vod- ljivost	kcal h m ² / ^o C	51	47	0,24	0,21	0,19

Tabela 2. Usporedba toplinskih karakteristika

su pokazala da je optimalna zračnost u ležaju (0,6-0,8) % d, (d - svjetli promjer ležaja). Sa ovim zračnostima smo postigli najpovoljnije rezultate. U literaturi se srećaju preporuke sa osjetno širim područjem (0,4-1,5) % d. U svakom slučaju, kod izbora zračnosti neophodno je precizno poznavanje uvjeta rada ležaja: iznos trenja, mogućnost odvoda topline, vlažnost okoline i slično.

Zračnošću u ležaju se rješava promjena dimenzije okomite na os ležaja. U koliko je blazinica spriječena da se slobodno rasteže po dužini, moglo bi doći do njenog nabiranja na uštrbu zračnosti ležaja, a to bi doveo do oštećenja, pa se to ne smije zaboraviti. Napresavanje blazinice u kućište nije poželjno, jer se blazinica mora usred zagrijavanja proširiti i po obimu. Kod klasičnih materijala, ovaj problem nije postojao, jer su diletacije blazinice i kućišta bila istog reda veličina. Toplinska vodljivost blazinice je bila dobra (za oko dvije stotine puta veća nego kod poliamida), pa su temperature blazinice i kućišta bile približno izjednačene, a time i toplinska rastezanja.

Vrlo niska toplinska vodljivost poliamida djeluje kao toplinski izolator, izaziva koncentraciju topline na unutarnjoj strani blazinice (gdje se i razvija) njeno zagrijavanje, a time i šire-

nje. Ovaj ozbiljni nedostatak izbjegava se na više načina, a najsigurniji je intenzivno hlađenje protokom dovoljne količine maziva. Stanjenje stijenke blazinice do te mjere da omogući zadovoljavajući prolaz topline, to jest da na unutarnjoj strani blazinice pri trajnom radu temperatura ne pređe dozvoljenu granicu. Često puta se ova dva načina kombinirano primjenjuju.

Posljednji način, stanjenje stijenke blazinice, dovodi na primjeru plastifikacije, gdje se jednim od ovih postupaka nanosi sloj do 0,5 mm debljine. Plastifikacija se primjenjuje ili na unutarnjoj strani metalne blazinice ili na rukavcu. Povoljnije je na rukavcu, jer je normalno bolji odvod topline preko kućišta nego preko osovine. Debljina sloja se najčešće određuje prema empiričkom izrazu,

$$\delta = 0,0025 \cdot d$$

gdje je: δ = debljina sloja u cm,

p = srednji pritisak u ležaju u kp/cm²,

μ = koeficijent trenja,

d = promjer rukavca u cm.

Ovdje se isto pridržava pravila, da sloj ne bude deblji od 0,5 mm, niti tanji od 0,2 mm.

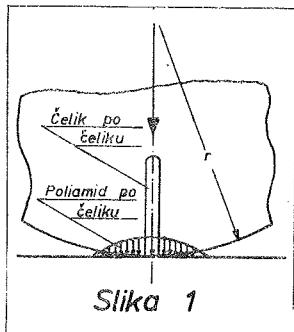
Proračun kliznog ležaja iz poliamida, ustvari se svodi na definiranje toplinske ravnoteže tog ležaja, s tim što pri toj ravnotezi maksimalna temperatura ne smije preći dozvoljenu granicu. Dimenzioniranje ležaja na osnovu p.v (umnožak pritiska i obodne brzine) krivulja, koje daju proizvođači poliamida ne daje zadovoljavajuće rezultate, jer u većini slučajeva ležaji su predimenzionirani.

Postotak upijanja vlage ovisi o više faktora: vlažnosti, okoline, temperaturi, dimenzijama komada i postotku kristaličnosti strukture. Poliamidi mogu primiti do zasićenosti velik postotak vode: poliamid 6. do 9 %, poliamid 6.6. do 7,5 posto i poliamid 6.10 do 3 %. Ovako veliki postotak oni mogu primiti samo u vrlo dugom vremenskom periodu i pod posebnim uvjetima. Pri ovom stanju, oni se linearno produlje: poliamid 6. za 2,3 %, poliamid

6,6 za 2 % i poliamid 6,10 za 0,7 %. Ovaj postotak vlage nije svojstven poliamidima, a time niti tako veliko produljenje.

Pri tehnološkom procesu proizvodnje, nakon ekstruzije, proizvođači "kondicioniraju" to jest zadržavaju profile u vodenoj pari temperature oko 100°C tako dugo dok ne prime sljedeći postotak vlage: poliamid 6 oko 3,5 %, poliamid 6,6 oko 3,4 % i poliamid 6,10 oko 1,8 %. Ovaj postotak vlage odgovara zasićenosti kod stajanja u zraku sa 65 % relativne vlažnosti i temperature od 20°C . Pri ovoj zasićenosti oni praktično ostaju kod normalnog skladištenja, te se njihove dimenzije neznatno mijenjaju.

Visoka žilavost i dosta niska tvrdoća omogućuju poliamidima svojstvo podavanja (deformacije) u području elastičnosti. Ovo svojstvo omogućuje prilagodavanje komada protu komadu, koji je najčešće iz čelika. Što znači da omogućava ako je površina protu

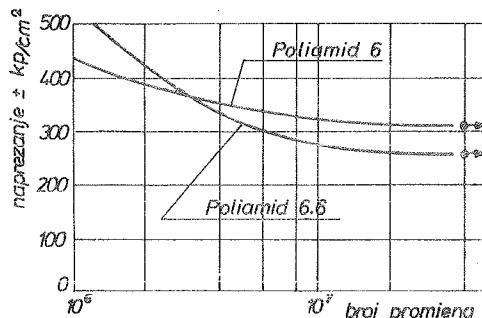


Slika 1

komada neravna da se prilagodi neravninama, a time izbjegne stvaranje ekstremnih pritisaka na izbočinama. Isto tako, ako je izведен točak iz poliamida 6, pa dosjeda po čeličnoj podlozi alika 1, pritisak će biti manji za oko (10-13) puta uz iste dimenzije i opterećenje, nego kod čelika po čeliku.

Ovo svojstvo daje niz prednosti kod izrade zupčanika, a pogotovo kod sparivanja poliamid čelik. Povećava se stepen sprezanja, umanjuje se utjecaj nepravilnosti obrade i ugradnje, povećava se površina zahvata odnosno smanjuje dodirni pritisak, umanjuje se osjetljivost na prođor prašine i drugih stranih tijela itd.

Posebnu pažnju treba obratiti na svojstvo, da poliamidi bolje podnose promjenljivo naprezanje nego konstantno (statičko) što je oprečno uobičajenim materijalima. Ovo se može zaključiti i iz Wöhler-ove krivulje slika 2, gdje se trajna čvrstoća od oko 320 kp/cm^2 postiže kod $(3-4) \cdot 10^7$ broja promjena i amplituda opterećenja dalje ne pada. Dok se kod statičkog opterećenja od 120 kp/cm^2 poliamid 6. već nakon 100 h produljio za oko 1,5 %, te je sa daljnjim porastom vremena produljenje naglo raslo.



Slika 2

Usljed toga se statično naprezanje od (100-120) kp/cm² može smatrati krajnje dozvoljenim, što je prema izmjeničnom ili udarnom naprezanju za oko 3 puta manje.

4. Literatura

- 1 Konstruieren mit Polyamidkunststoffen, A. Weber i H. Dreier iz časopisa Industrie-Anzeiger br. 92 1964. g.
- 2 Langzeitverhalten von Polyamiden, Dr. Ing. Anton Weber iz HDT - Vortragsveröffentlichungen, sveska 41.
- 3 Maschinenelemente aus Polyamiden; Dr. Ing. Hachmann iz časopisa Klepzig Fachberichte, sveska 1, 1964. g.

5. D. Vlahović

Die Polyamide als Material in Maschinenbau und Konstruieren mit ihnen

Die Eigenschaften der Polyamide ermöglichen dem Material eine breite Verwendbarkeit im Maschinenbau. Extra gute Ergebnisse erzielt man in Bereichen mangelhafter Schmierung, an den Stellen der Stoßbelastung, und in Bereichen in denen Teile dem schnellen Abreib und Korosion ausgesetzt sind. Um mit Polyamiden konstruieren zu können, muss es vorausgesetzt werden über die Polyamideigenschaften gute Kenntnisse zu haben. Extra ist es wichtig die Eigenschaften zu kennen, die sich von den Eigenschaften den üblichen Materialen unterscheiden; denn die Eigenschaften, ermöglichen die Möglichkeit der breiten Anwendung der Polyamide in Wirklichkeit.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971

A. Razinger^x

OSVAJANJE OBDELOVALNIH JEKEL - OGLJIKOVIH IN NIZKOLEGIRANIH -
- LEGIRANIH S SVINCEM^{xx}

1. Uvod

Iz stališča samega obdelovanca imata na obdelovalnost največji vpliv struktura in fizikalne lastnosti jekla. Vpliv strukture jekla na fizikalne lastnosti, predvsem plastičnost, strižno trdnost, utrditev pri deformaciji v hladnem in koeficient trenja je odločilnega pomena za obnašanje jekla pri odrezovanju. Kakšen je vpliv posameznih karakteristik jekla na različne vidike obdelovalnosti, je prikazano v tabeli 1.

Tabela 1. Vpliv karakteristik obdelovanca na obdelovalnost

Karakteristika	Vzdržnost orodja	Kvaliteta površine	Sile rezanja
Nižja strižna trdnost	podaljšuje	-	zmanjšuje
Nižja plastičnost	podaljšuje	boljša	zmanjšuje
Nižja trdota	podaljšuje	slabša	zmanjšuje
Manjša utrditev	lahko podaljšuje	slabša	zmanjšuje
Manj abrazivov	podaljšuje	boljša	-
Nižji koeficient trenja	podaljšuje	boljša	zmanjšuje

^x Anton Razinger, dipl.ing., višji strokovni sodelavec Raziskovalnega oddelka Železarne Jesenice

^{xx}Uvodno poročilo Raziskovalnega oddelka Železarne Jesenice

Na strukturo in fizikalne lastnosti jekel vplivajo kemična sestava ter tehnologija izdelave in predelave jekla. Verjetni efekti ogljika, avtomatskih dodatkov^x in predelave jekla na fizikalne lastnosti jekla in obdelovalnost so podani v tabeli 2.

Tabela 2. Vpliv ogljika, avtomatskih dodatkov in predelave na fizikalne lastnosti in obdelovalnost jekla

element	strižna trdnost	napetostna utrditev	trdota	koefficient trenja	vpliv na ob- delovalnost
ogljik	dviga	dviga	dviga		škodljiv
dušik	dviga	dviga	dviga		<0.010 izboljša
fosfor	dviga	dviga	dviga		<0.12 izboljša
žveplo	zniža			zniža	poboljša
svinec	zniža			zniža	poboljša
bizmut	zniža			zniža	poboljša
selen	zniža			zniža	poboljša
telur	zniža			zniža	poboljša
visoka temp.	zniža				
ogrev. in valjanja					
hlad. predel.	navadno	dviga	dviga		poboljša
	zniža				

2. Svinec kot avtomatski dodatek

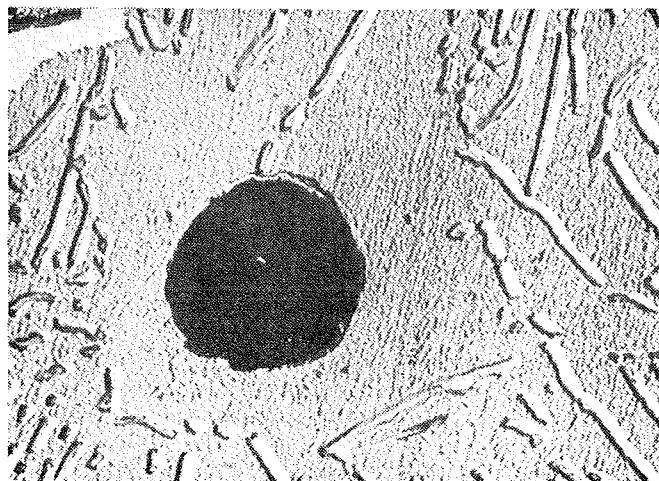
Najstarejši /od 1913 l./ in najbolj razširjen avtomatski dodatek je žveplo, ki se v strukturi jekla nahaja v obliki nemetalnih vključkov manganovega sulfida. Poleg ugodnega vpliva na obdelovalnost pa imajo vključki manganovega sulfida škodljiv vpliv na mehanske lastnosti, predvsem v prečni smeri valjanja, žilavost in korozionsko obstojnost jekla. Prav ta negativni vpliv žvepla omejuje njegovo uporabo na nelegirana jekla in deloma na nerjavna jekla, kvalitetnim konstrukcijskim jeklom pa se ne dodaja.

^x Z terminom "avtomatski dodatki" označujemo legirne elemente, ki jih jeklu dodajamo z namenom, da izboljšamo obdelovalnost.

Praksa je pokazala, da je prav svinec idealen avtomatski dodatek, ki močno poboljša obdelovalnost, zelo malo pa vpliva na mehanske lastnosti jekel.

Začetek osvajanja obdelovalnih jekel legiranih s svincem sega že v l. 1938, vendar pa je bilo potrebnih še dvajset let dela, da je bila v popolnosti osvojena tehnologija izdelave in predelave teh jekel in rešeni vsi higieniski problemi, ki spremljajo proizvodnjo zaradi nastajanja strupenih svinčenih par. Danes proizvajajo obdelovalna jekla, legirana s svincem v vseh industrijsko razvitih državah v velikih količinah.

Svinec se navadno dodaja v jeklo z injeciranjem čistega svinca v curek tekočega jekla med vlivanjem iz ponovce v kokile. Vsebnost svinca v jeklih se giblje med 0.10 - 0.35 %. Svinec v železu ni topen in se zato nahaja v strukturi jekla v obliki diskretnih in zelo drobnih kroglic, premera pod 10 μm /sl.1/.



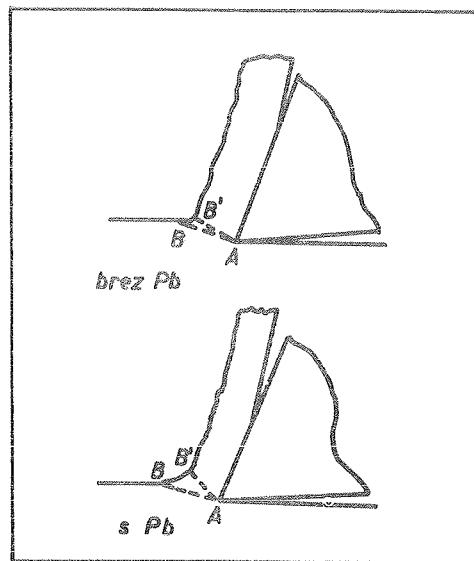
sl. 1 - 12000 x

sl. 1 - Vključek svinca v konstrukcijskem jeklu

3. Vpliv svinca na obdelovalnost in mehanske lastnosti jekla

Predpostavlja se, da zaradi topotnega širjenja kovine in svinca pride pri prerezu vključkov do brizganja svinca, ki je pod pritiskom. Izračunali so, da pri tem nastane na površini med ostružkom in orodjem zelo tanka masivna plast, debeline $2 \cdot 10^{-5} \text{ l}$.

Shaw in sodelavci^{2/} so filmali celoten potek rezanja jekla z dodatkom svinca in brez njega. Opazili so, da se pri jeklu z dodatkom svinca tvorijo tanjši ostružki pri večjem deformacijskem volumenu /večji strižni kot/. Shematično je to ponazorjeno na sl. 2.



Sl. 2 - Tvorba ostružka pri jeklu z dodatkom svinca in brez njega

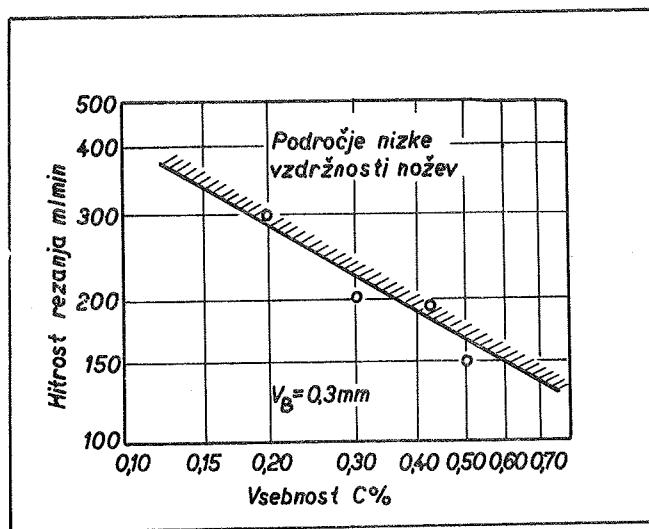
Ostružki, ki se tvorijo pri rezanju jekel z dodatkom svinca, imajo obliko kratkih zavojev ali kratkih špiral. Veliko lomljivost ostružkov pojasnjujejo tudi s tem, da se pri rezanju svinec rastali, s tem se poveča pritisk na stene vključka, kar poveča krhkost jekla. Ker je zavijanje ostružkov večje, se s tem zmanjša kontaktna ploskev med ostružkom in orodjem,

kar ima za posledico zmanjšanje sile trenja in nižjo temperaturo pri rezanju.

Dodatek svinca ugodno vpliva na vse vidike obdelovalnosti jekla.

- Zmanjša se obraba orodja
- Zmanjšajo se sile rezanja
- Poboljša se kvaliteta obdelave površine
- Tvorijo se ostružki ugodne oblike

Praksa je pokazala, da je ugoden vpliv svinca na obdelovalnost jekel omejen s trdnostjo le-teh. To omejitev si lahko razložimo s tem, da je pri jeklih z višjo trdnostjo odpor proti striženju tako velik, da proizvedena toplota na zmanjšani kontaktni ploskvi med orodjem in ostružkom povzroči lokalna pregretja na orodju in s tem pospešuje njegovo porušitev. Področje nizke vzdržnosti orodja pri rezanju konstrukcijskih jekel, legiranih s svincem z vsebnostjo 0,21 - 0,53 % C pri hitrosti rezanja od 100 - 400 m/min je prikazano na sl. 3.



Sl.3 - Področje nizke vzdržnosti orodja pri rezanju konstrukcijskih jekel

Kljub podobnemu delovanju je za izboljšanje obdelovalnosti svinec bolj efektiven kot žveplo. Pri enaki vsebnosti svinca ali žvepla v jeklu /n.pr. o.300 %/ znaša to izboljšanje v primerjavi z žveplovom ca. 20 %, s posebnimi dodatki pa celo do 50 %. Želo pomembno pri tem pa je dejstvo, da pri enaki vsebnosti svinca in žvepla volumen vključkov svinca znaša le 1/8 volumna sulfidnih vključkov. Če upoštevamo še manjšo razpotegnjenočnost svincenih vključkov v smeri valjanja, potem je razumljiv bistveno manjši vpliv svinca na mehanske lastnosti jekla. To pa je odločilna prednost svinca pred žveplovom in omogoča uvajanje avtomatskih dodatkov tudi na področje kvalitetnih ogljikovih in nizkolegiranih jekel, kar lahko zelo olajša večinoma zelo problematično in težavno obdelavo teh jekel z odrezovanjem na sorazmerno cenen način.

3.1 Superobdelovalna jekla za obdelavo na avtomatih

Kvalitetni trend razvoja kvalitete nizkoogljičnih jekel za obdelavo na avtomatih, katerih osnova je prav dodatek svinca, je prikazan v tabeli 3^{4/}. Navedeni podatki za obdelovalnost so rezultat proizvodnih testov s primerjalnim jekлом AISI B 1112 in se nanašajo na 8 urno vzdržnost rezalnega orodja iz brzoreznega jekla.

Tabela 3. - Trend razvoja kvalitete nizkoogljičnih jekel za obdelavo na avtomatih

jeklo	kemična sestava %				spec. dodat.	ocena obdelovalnosti % produktiv.	hitrost rez.
	C	S	N	Pb			
B1112	o.13 max.	o.16- o.23	o.010- o.016	-	-	100	100
1215	o.09 max.	o.26- o.35	dodan o.35	o.15- o.35	-	140	153
12L14	o.15 max.	o.26- o.35	dodan o.35	o.15- o.35	-	200	186
12L14Bi	o.09 max.	o.26- o.35	ni dodan	o.15- o.35	Bi o.35	240	241
12L14Te	o.09 max.	o.26- o.35	ni dodan	o.15- o.35	Te o.35	240	280

C 1215 - nizkoogljično avtomatsko jeklo na bazi S + P_{eq}, izdelano po najsodobnejši tehnologiji /Železarna Jesenice ATS 80 extra - Č 3990/. Jeklo 12L14 predstavlja v industrijsko razvitih državah že masovno jeklo za obdelavo na avtomatih in ga v eni ali več variantah vključujejo vsi novejši standardi teh dežel /n.pr. DIN 1651 - 9SMnPb28, 9SMnPb36/.

3.2 Kvalitetna ogljikova in nizkolegirana konstrukcijska jekla

Izboljšanje obdelovalnosti kvalitetnih ogljikovih in nizkolegiranih konstrukcijskih jekel z dodatkom svinca je odvisno tudi od oblike mikrostrukture in legirnih elementov. Splošno veljavnih pravil v pogledu izboljšanja obdelovalnosti zato ni mogoče postaviti. Po podatkih C.R. Funka dodatek svinca nizkolegiranemu Cr-Mo zviša obstojnost orodja celo do 16 krat.

Primerjava vpliva dveh glavnih avtomatskih dodatkov žvepla in svinca na mehanske lastnosti je prikazana na primeru kvalitetnega ogljikovega jekla za poboljšanje C_k 45. Primerjava je podana z razmerjem vrednosti, dobljenih v prečni in vzdolžni smeri - Tabela 4.

Tabela 4. - Vpliv avtomatskih dodatkov žvepla in svinca na mehanske lastnosti jekla C_k 45 %/

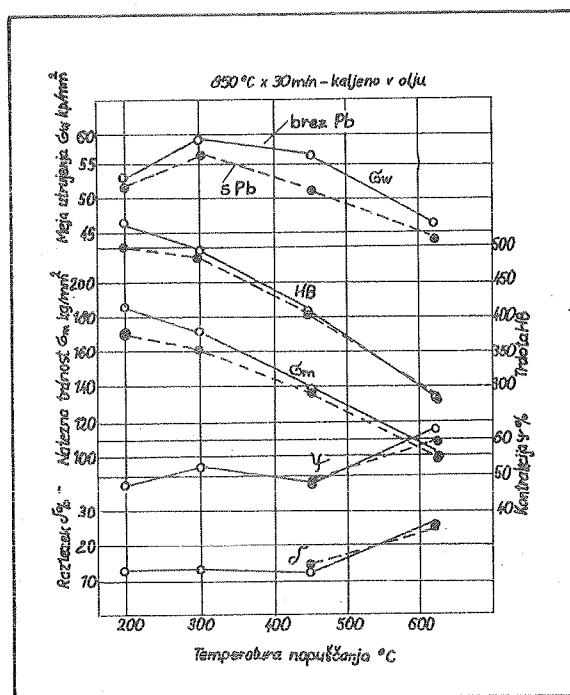
lastnost	nelegirano jeklo	jeklo z 0.204 % S	jeklo z 0.23 % Pb
raztezek	90	51.3	83
kontrakcija	89	31.0	71.6
žilavost	72.3	34.6	55.0
trajna trdnost	84.9	65.7	77.7

Obnašanje kvalitetnih nizkolegiranih konstrukcijskih jekel brez dodatka svinca in z dodatkom pri statični in dinamični obremenitvi ilustriramo s primerom Cr-Mo jekel japonskega izvora za industrijo motorjev SCM 35/.

Tabela 5. - Kemična analiza jekla SCM 3

jeklo	Vsebnost kem. elementov /%							
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Pb
SCM3	0.36	0.26	0.76	0.016	0.010	1.02	0.18	-
SCM3F	0.35	0.24	0.75	0.019	0.013	1.02	0.19	0.15

Mehanske lastnosti jekla SCM 3 v poboljšanem stanju so prikazane na sl. 4.



Sl. 4. - Mehanske lastnosti jekla SCM 3 v poboljšanem stanju

Zaznaven vpliv dodatka svinca je čutiti le pri dinamičnih obremenitvah, kar je posledica zareznega vpliva vključkov svinca. Po podatkih iz literature ^{6/} dodatek svinca ne zmanjšuje sposobnosti jekla za cementacijo in prekaljivost jekel.

4. Sklep

Prepričani smo, da bo uspešen razvoj novih vrst obdelovalnih jekel, legiranih s svincem v domačih železarnah veliko prispeval k poboljšanju storilnosti na obdelovalnih strojih naših tovarn. V ta namen je potrebno tesno sodelovanje med proizvajalci, uporabniki jekel in tehnološkimi instituti. Nove vrste obdelovalnih jekel, legiranih s svincem, mora tržišče sprejeti brez predsodkov, saj velika potrošnja teh jekel v industrijsko razvitih državah kaže, da se to še kako izplača.

5. Literatura:

- 1 Lewis K.G. Iron and Steel Eng. 1958, št. 3 str. 85-91
- 2 Shaw M.C. Trans Am.Soc. Tech. Eng. 1957/79/str.1143-54
- 3 Tetsuro J. Tetsu to Hagane 1961/10/str.1563-64
- 4 Aborn R.H. The Role of Metallurgy in the Machinability of Steels - ASARCO
- 5 Osawa M. Tetsu to Hagane 1958/9/str. 1094-1101
- 6 Kubiček V. AZNP Mlada Boleslav 1968

T. Razinger

Die Einführung der Kohlenstoff und niedriglegierten Automatenstähle - mit Blei legiert.

Das Blei kann vom Standpunkt der mechanischen Eigenschaften und der Zerspanbarkeit als idealer Legierungselement zu den Automatenstählen angesehen werden. Der Bleizusatz beeinflusst die gesamten Kriterien der Zerspanbarkeit der Stähle. Das Blei verbessert die Zerspanbarkeit der gesamten Kohlenstoffstähle und der niedriglegierten Stähle deren Brinellhärte kleiner als 350 kp/mm² ist. Blei ist das grundlegende Element bei der Entwicklung der Superautomatenstähle bei denen die Produktionsfähigkeit um 250 % grösser ist als bei den üblichen unberuhigten Automatenstählen.

Das Blei ist im Eisen nicht lösbar und befindet sich im Stahlgerüge in Form sehr kleiner Kugelchen mit einem Durchmesser unter 10 µm, welche sich bei der Verarbeitung des Stahles nicht verlängern, und die einen Rauminhalt von nur 1/8 des Rauminhaltes der sulfidischen Einschlüsse bei dem gleichen Schwefel und Bleigehalt besitzen. Aus diesem Grund ist der Einfluss vom Blei auf die mechanischen Eigenschaften vom Stahl kleiner als der des Schwefels. Das ist der entscheidende Vorteil des Bleies vor dem Schwefel und ermöglicht die Einführung der Automatenzusätze

auch auf dem Gebiet der qualitäten Kohlenstoff und niedriglegierten Stähle, was die üblicherweise sehr problematische und schwierige Zerspanbarkeit dieser Stähle durch die spanabhebende Verformung auf eine verhältnismässig billige Weise sehr verbessert.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971.

A. Vučetić, O. Muftić *

ANALIZA EKSPLOATACIONIH UVJETA RADA ŽELJEZNIČKIH TRAČNICA **

1. Uvod

Željeznički kolosjek odnosno tračnice, izložene su u eksploatacionim uvjetima djelovanjima horizontalnih i vertikalnih sila, koje su prvenstveno funkcije težine vozila, rasporeda kotača, brzine vozila, nagiba kolosjeka, polumjera zakrivljenosti kolosjeka i slično. Osim spomenutih opterećenja djeluju i opterećenja uslijed vibracija i udara, te niza nepravilnosti na tračnicama i gornjem stroju čije veličine zavise od kinematičkih i dinamičkih karakteristika sistema. Upotreba sve snažnijih i ujedno težih lokomotiva, kao i sve veći zahtjevi za povećanjem brzina ukazali su još više na potrebe za modernizacijom vozila i kolosjeka. U mehaničkom smislu željeznički kolosjek je vrlo složen s čak nelinearnim karakteristikama pojedinih elemenata, pa je dinamička analiza sistema: vozilo – kolosjek znatno otežana. Ne ulazeći dublje u probleme o ponašanju sistema, želja nam je da ovdje istaknemo vezu između eksploatacionih uvjeta rada i ocjene kvalitete čelika iz kojih su tračnice sačinjene.

Danas su propisi gotovo svih željezničkih uprava kao i propisi Medunarodne unije (UIC) u pogledu kontrole kvalitete tračnica svedeni na slijedeće rutinske tipove ispitivanja:

- vlačna proba čelika
- ispitivanje udarom
- ispitivanje tvrdoće
- ispitivanje makrostrukture

* Dr Antun Vučetić, dipl.inž., izv.profesor pri Katedri za mehaniku i nauku o čvrstoći Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

Mr Osman Muftić, dipl.inž., docent pri Katedri za mehaniku i nauku o čvrstoći Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zgb.

** Dio podataka u ovom radu proizlazi iz naučno istraživačkog projekta "Dinamička analiza željezničkog kolosjeka", koji je djelomično financiran od Republičkog Fonda za naučnoistraživački rad.

M.09.01.

Vrijednost informacija dobivenih ovim standardnim ispitivanjima je umanjena u velikoj mjeri iz slijedećih razloga:

- a) Ispitivanjima je podvrgnut vrlo mali dio metala u odnosu na onaj koji je u eksploataciji i
- b) Ispitivani objekti nemaju nikakvu sličnost u pogledu stanja naprezanja s onim u eksploataciji.

Zbog svega ovog evidentno je da se spomenuta ispitivanja mogu danas iskorištavati samo za kontrolu ujednačenosti tehnološkog procesa proizvodnje tračnica i za eventualnu relativnu ocjenu kvalitete čelika u odnosu na druge čelike.

2. O naprezanjima u tračnicama u eksploataciji

Naprezanja i deformacije koje se pojavljuju u tračnicama možemo podijeliti u dvije grupe i to:

- a) opća naprezanja i
- b) lokalna naprezanja.

Obadvije grupe naprezanja javljaju se kako pri statickim tako i dinamičkim uvjetima rada. Kod općih naprezanja razmatra se tračnica kao kontinuirani nosač na elastičnoj podlozi, pri čemu se analiziraju naprezanja na presjecima dovoljno udaljenim od mesta u kojim djeluju koncentrirana opterećenja.

Izključimo li iz razmatranja zaostala naprezanja, koja mogu nastati bilo kod proizvodnje bilo u eksploataciji, dobivamo očito sliku idealiziranog stanja. No obzirom da su, maksimalna naprezanja koja se pojavljuju kod razmatranja općih naprezanja redovito ispod granice elastičnosti, to se dobiveni rezultati ne mogu koristiti nego samo u komparativne svrhe.

Pod lokalnim naprezanjima ovdje se podrazumjevaju naprezanja koja se pojavljuju na području kontakta kao i na koncentracije naprezanja na mjestima prelaska iz glave u vrat ili vrata u stopalo, te okolo prvrta na vratu tračnice i elementa pričvršćenja tračnice za prag.

Obadvije grupe naprezanja u slučaju dinamičkih opterećenja cikličkog karaktera uzrokuju u materijalu pojavu zamornih procesa, zbog čega su tračnice u eksploataciji izvrsgnute mnogo oštrijim uvjetima nego što to proizlazi iz standardnih proračuna.

U okviru preliminarnih mjerena i analize dinamičkog ponašanja kolosjeka [1], došlo se je do zaključaka koji upućuju na to da se daljnja i detaljnija ispitivanja trebaju usmjeriti

ne na dobra, već na loša stanja kolosjeka, obzirom da u takvim uvjetima dolazi do jačih dinamičkih opterećenja tračnica i intenzivnijih procesa zamora materijala. Kako su takva stanja gotovo redovito prisutna na našim prugama, to će ti oštiriji uvjeti predstavljati realniju bazu za ocjenu izbora tračnica. Osim toga, utvrđeno je da se radi izrazite nelinearnosti u karakteristici otpora tla pojavljuju više ili manje intenzivna podrhtavanja pragova koja mogu podrazvati visokofrekventne vlastite vibracije praga, tračnice i pribora.

Isto tako u pogledu kontaktnih naprezanja, poznato je da se u području dodira dvaju elastičnih tijela pojavljuju vrlo složene fizikalne, mehaničke i kemijske pojave. Ovim problemima je posvećen niz rasprava, a pregled nekih najsvremenijih rješenja prikazan je u literaturi [4].

U eksploatacionom procesu pojavljuju se zagrijavanja, korozije, kontaktne zamorni defekata materijala i slično. Radi jasnoće u ocjenjivanju pojedinih karakteristika potrebno je u ovom slučaju razlikovati slijedeće probleme:

- a) termokontaktne probleme koji se odnose na analizu toplinske bilance i pojavu termonaprezanja u površinskim slojevima koji su izvrgnuti "ljuštenju"
- b) kontaktne korozione probleme, koji se uglavnom odnose na kemijske procese na površini
- c) kontaktne zamorne probleme, koji obuhvaćaju pojave zamora materijala koji proizlaze iz različitih režima rada i imaju različite fizikalne i geometrijske parametre
- d) mikrokontaktne probleme kod kojih se vrši analiza stanja naprezanja i deformacija u vezi s mikroneravninama, kvalitetom obrade i slično
- e) mikrokontaktne probleme kod kojih se razmatraju stanja naprezanja i deformacija cijelog objekta u uvjetima opterećenja. Ovdje se uglavnom proučavaju problemi utjecaja geometrijskih parametara detalja na stanje naprezanja cijele kontaktne zone.

Kod razmatranja naprijed navedenih veličina pojavljuju se daljnje poteškoće, obzirom da se geometrijski parametri kontaktne površine mijenjaju tokom eksploatacije. Osim toga

kod kontakta između tijela različitih elastičnih svojstava dijeli se dodirna površina u općem slučaju na područje zahvata i područje klizanja. Nažalost još do danas nije dovoljno izučen problem raspodjele tangencijalnih kontaktnih naprezanja, što u velikoj mjeri umanjuje mogućnost kontrole tih fizikalnih pojava.

Zbog lateralnog pomicanja kotača (zmajoliko gibanje vozila) mijenjat će se u lateralnom smjeru u svakom trenutku i mjesto kontakta kotača i tračnica što nas navodi na zaključak da bi u uvjetima eksploatacije bila opravdana statistička metoda analize naprezanja u tračnici i opterećenja kontaktnih površina.

Kako se iz gornjega može vidjeti, za povećavanje kontaktne nosivosti tračnica vrlo je važno proučavanje stanja naprezanja kao i mjerena deformacija i naprezanja u eksploatacionim uvjetima tj. na pruzi.

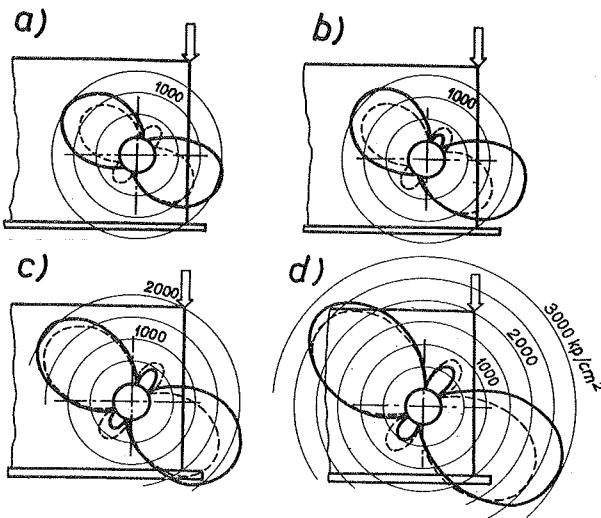
Analiza lokalnih naprezanja u obliku koncentracija naprezanja na mjestima promjene oblika ili oko različitih prvrta [2], [3], igra također vrlo važnu ulogu kod ocjenjivanja materijala tračnica.

Određivanje naprezanja uzrokovanih impulsnim opterećenjem ploča konačnih dimenzija s prvotom, vrlo je složen problem i koliko je poznato do sada ne postoji egzaktno riješenje. Raspodjelu naprezanja oko kružnog otvora u ploči prilikom prolaska tlačnog vala naprezanja (uslijed dijelovanja implusnog opterećenja) ispitivali su Durelli i Riley dinamičkom fotoelastичim metodom.

Zakonitosti promjene veličina sile dobivene su na temelju pojednostavljenog mehaničkog vibracionog sistema koji je bio simuliran na analognom računalu, a na koji je djelovao jedan strmi eksponencijalno padajući impuls. Uz ovo valja napomenuti da u skladu s hipotezom o proporcionalnosti između deformacija (u konkretnom slučaju pomaka sistema) i opterećenja, ovaj odnos predstavlja i zakonitost promjene sile od vremena.

Fotoelastimetricijski pokusi izvedeni na modelu tračnice [2], [3] pokazali su (sl. 1) da se u području oko prvrti pojavljuje slična razdioba koncentracija naprezanja kao i u slučaju aksijalno opterećene ploče.

Upravo na temelju ove sličnosti, poznavanja zakonitosti M.09.04.

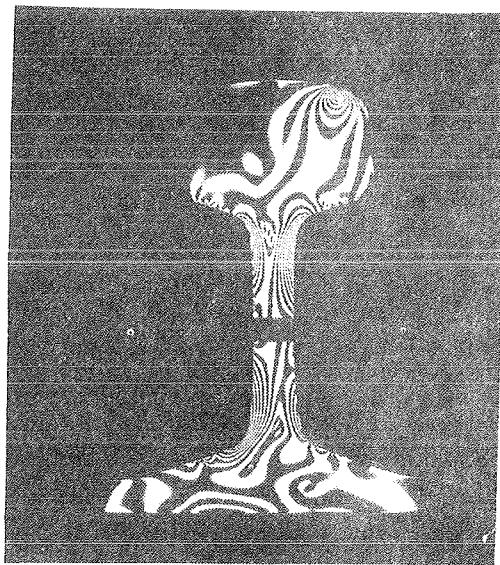


Slika 1.

promjene veličine sile u zavisnosti od vremena kao i rezultata pokusa koje su vršili Durelli i Riley dobiveni su dijagrami raspodjele naprezanja u raznim trenucima za vrijeme trajanja impulsa. Iz dobivenih dijagrama možemo zaključiti:

- Položaji u kojem naprezanja mijenjaju predznak prelaze iz tlaka u vlak) približno su isti kod dinamičkog i kod statičkog opterećenja;
- Tlačna dinamička naprezanja nešto su veća od statičkih, dok su u vlačnom području uvijek manja;
- Na padajućem dijelu impulsa dinamička su naprezanja i po položaju i po veličini slična statičkim, pa se stoga taj dio dinamičkog procesa ponaša kao statički.

Značajna lokalna naprezanja pojavljuju se i na mjestima naglih promjena u profilu tračnice pogotovo u slučaju ekscentričnog opterećenja (sl. 2). Iz slike je vidljivo da kod ekscentričnog opterećenja nastaju na spomenutim mjestima najveće koncentracije naprezanja, kao posljedica savijanja profila. Pri tome se mesta maksimalnih koncentracija naprezanja nalaze u suprotnim uglovima na vratu tračnice tj. u gornjem desnom prelasku vrata u glavu i u donjem lijevom prelasku prema nožici tračnice.



Slika 2.

3. Zaključak

Iz svega gornjeg vidljivo je da je standardno ispitivanje materijala tračnice neadekvatno za ocijenu upotrebljivosti tog materijala u eksploracionim uvjetima. Već na ovih nekoliko primjera jasno je, da su ti uvjeti daleko oštriji i raznovrsniji, kako po intenzitetu i vrsti opterećenja tračnice tako i po različitom reagiranju materijala na ta opterećenja (čvrstoća, zamor, žilavost, otpornost na koroziju, habanje itd.). Smatramo da je neophodno potrebno da se kod ispitivanja materijala za gradnju tračnica uzmu u obzir spomenuti uvjeti, time što bi se na neki način simulirala bar približno ona stanja koja vladaju u kolosjeku. Čini se logično, da se u lošim uvjetima koji vladaju na našim prugama orijentiramo na izbor adekvatnijih pa makar i skupljih tračnica.

4. Literatura

1. A. Vučetić, Mjerenje i analiza vibracija proizvedenih prometnim opterećenjem u elementima različitih tipova gornjeg stroja (koautorski rad s T. Bosancem). Referat održan na Simpoziju o suvremenom željezničkom kolosijeku 1969. u Zagrebu. Rad je objavljen u izdanju JAZU, Zagreb 1969.
2. O. Muftić, Analiza udarnog efekta kotača i tračnice u području sastava. Referat održan na X Kongresu za mehaniku u Baškom Polju 1970. Rad će biti objavljen u Zborniku radova Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.
3. O. Muftić, Dinamička naprezanja željezničkih tračnica u području stičnog spoja, magisterski rad; obranjen 6.XI 1969. na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.
4. S. Jecić, O nekim rješenjima dodira dvaju valjaka, Zbornik radova Fakulteta strojarstva i brodogradnje I, (1970) str. 191
5. M. Juvan, S. Đorđević, Razrada tehnologije proizvodnje željezničkih šinja visoke otpornosti iz čelika poboljšanog kvaliteta, Izvještaj o istraživanju br. 228 Metalurškog Instituta "Hasan Brkić", Zenica (1968).

5. Summary

Standard routine methods in testing rail materials are considered inadequate in view of the working conditions on the rail track. Several examples are given to show that the real conditions on the track are actually much more severe. Tests based upon simulation of rather bad working conditions encountered presently in our railways are proposed as more reasonable and adequate.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971.

I. Alfirević *

ELASTIČNA SVOJSTVA ORTOTROPNIH MATERIJALA **

1. Uvod

Izvodivost većine tehničkih projekata ovisi s jedne strane o dovoljnim izvorima energije, a s druge strane o materijalima. Otud velika važnost iznalaženja novih materijala sa sve boljim i kompleksinijim svojstvima. Mnogi zahtijevi koje postavljaju konstruktori na materijale ne mogu se postići klasičnim metalurškim postupcima: legiranjem, toplinskom i mehaničkom obradom.

Takva svojstva moguće je često postići sastavljanjem novog materijala iz dviju ili više komponenata s bitno različitim svojstvima. Zahtijeve koje postavlja avionska i raketna tehnika: velika čvrstoća, mala specifična težina, velika otpornost na ciklička opterećenja i velika sposobnost apsorbiranja energije mogu zadovoljiti materijali koji se sastoje od staklenih ili metalnih vlakana povezanih međusobno matricom iz raznih sintetskih smola.

Za tijelo s "idealnom" strukturom do loma materijala dolazi kad se atomi udalje za neku veličinu. Ovo se može izraziti na slijedeći način

$$\epsilon_L = \alpha E$$

* Mr Ivo Alfirević, dipl. ing. asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

** Dio projekta "Eksperimentalna analiza naprezanja u anizotropnim materijalima pomoću metode fotoelastične obloge", koji se izvodi na Katedri za mehaniku i nauku o čvrstoći FSB, Zagreb. U financiranju učestvuje Republički fond za naučni rad.

gdje je E Youngov modul elastičnosti, a σ_L prekidna čvrstoća materijala. Koeficijent α bi morao prema teorijskim istraživanjima iznositi oko 0,1. Zbog nepravilne strukture većina stvarnih materijala ima

$$0,001 \leq \alpha \leq 0,04$$

Eksperimenti pokazuju da se čvrstoća nekih materijala može povećati nekoliko desetaka puta i približiti se teorijskoj čvrstoći ako se materijali izvuku u tanke niti reda veličine jednog mikrona. Koristeći ovu činjenicu možemo ispredanjem vlakana iz snopa niti promjera nekoliko mikrona dobiti vlakna velike čvrstoće. Takva vlakna povezana međusobno matricom daju materijale vrlo velike čvrstoće i male specifične težine.

Kod većine materijala vlakna su poredana nekim redom što uvjetuje anizotropnost ovih materijala. Ako materijal ima tri međusobno okomite ravnine elastične simetrije on je ortotropan. Razvoj ovih materijala potakao je u posljednje vrijeme brži razvoj teorije elastičnosti anizotropnih tijela.

2. Hookeov zakon za anizotropna tijela

Za materijal čija elastična svojstva ovise o smjeru kažemo da je elastično anizotropan. Kod potpuno anizotropnog materijala svaka komponenta tenzora naprezanja ovisi o svakoj komponenti deformacije i obratno, tj.

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl} \epsilon_{kl} ; \quad \epsilon_{ij} = S_{ijkl} \sigma_{kl} \quad (1)$$

gdje C_{ijkl} predstavlja tenzor koeficijenata elastičnosti a S_{ijkl} predstavlja tenzor modula elastičnosti. Tenzori S_{ijkl} ; C_{ijkl} imaju općenito osamdeset i jednu različitu konstantu, ali radi simetričnosti tenzora deformacije i tenzora naprezanja i iz uvjeta da unutrašnji rad bude pozitivan broj nezavisnih

konstanti se svodi na 21.

Prikladno je izvršiti kontrakciju tenzora $\tilde{\epsilon}_{ij}$, ϵ_{ij} , C_{ij} i S_{ij} tako da je

$$\epsilon_p = C_{pr} \epsilon_r ; \quad \epsilon_p = S_{pr} \epsilon_r \quad (2)$$

gdje je $p, r = 1, 2, 3, 4, 5$ ili 6. Izraz (2) u razvijenom obliku glasi

$$\begin{aligned}\tilde{\epsilon}_1 &= \tilde{\epsilon}_{11} & \tilde{\epsilon}_4 &= \tilde{\epsilon}_{23} = \tilde{\epsilon}_{32} \\ \tilde{\epsilon}_2 &= \tilde{\epsilon}_{22} & \tilde{\epsilon}_5 &= \tilde{\epsilon}_{13} = \tilde{\epsilon}_{31} \\ \tilde{\epsilon}_3 &= \tilde{\epsilon}_{33} & \tilde{\epsilon}_6 &= \tilde{\epsilon}_{12} = \tilde{\epsilon}_{21} \\ \epsilon_1 &= \epsilon_{11} & \epsilon_4 &= 2\epsilon_{23} = 2\epsilon_{32} \\ \epsilon_2 &= \epsilon_{22} & \epsilon_5 &= 2\epsilon_{13} = 2\epsilon_{31} \\ \epsilon_3 &= \epsilon_{33} & \epsilon_6 &= 2\epsilon_{12} = 2\epsilon_{21}\end{aligned} \quad (3)$$

Za ploču iz ortotropnog materijala u kojoj vlada ravniško stanje naprezanja poopćeni Hookeov zakon glasi

$$\begin{aligned}\epsilon_1 &= S_{11} \tilde{\epsilon}_1 + S_{12} \tilde{\epsilon}_2 + S_{16} \tilde{\epsilon}_6 \\ \epsilon_2 &= S_{12} \tilde{\epsilon}_1 + S_{22} \tilde{\epsilon}_2 + S_{26} \tilde{\epsilon}_6 \\ \epsilon_6 &= S_{16} \tilde{\epsilon}_1 + S_{26} \tilde{\epsilon}_2 + S_{66} \tilde{\epsilon}_6\end{aligned} \quad (4)$$

Za slučaj kad se osi x_1 i x_2 poklapaju sa osima ortotropije koje leže u ravnini ploče, vrijedi $S_{16} = S_{26} = 0$. U ovom slučaju se izraz (4) reducira na

$$\begin{aligned}\epsilon_1 &= S_{11} \tilde{\epsilon}_1 + S_{12} \tilde{\epsilon}_2 \\ \epsilon_2 &= S_{12} \tilde{\epsilon}_1 + S_{22} \tilde{\epsilon}_2 \\ \epsilon_6 &= S_{66} \tilde{\epsilon}_6\end{aligned} \quad (5)$$

U tehničkoj praksi elastične konstante se definiraju tako da imaju fizikalno značenje i da se mogu lako mjeriti standardnim pokusima. Hookeov zakon sa tako definiranim elastičnim konstantama glasi

$$\begin{aligned}\epsilon_{xx} &= \frac{1}{E_L} \tilde{\epsilon}_{xx} - \frac{\nu_{LT}}{E_T} \tilde{\epsilon}_{yy} \\ \epsilon_{yy} &= -\frac{\nu_{LT}}{E_L} \tilde{\epsilon}_{xx} + \frac{1}{E_T} \tilde{\epsilon}_{yy} \\ \delta_{xy} &= \frac{1}{G_{LT}} \tau_{yx}\end{aligned} \quad (6)$$

OS x se podudara s uzdužnom osi ortotropije L,
 OS y se podudara s poprečnom osi ortotropije T,
 E_L i E_T su glavni Youngovi moduli elastičnosti,
 G_{LT} je modul klizanja za osi L i T,
 ν_{LT} i ν_{TL} su glavni Poissonovi koeficijenti.

Usporedbom jednadžbi (5) i (6) dobit ćemo odnose među konstantama elastičnosti i modulima elastičnosti

$$\begin{aligned} S_{11} &= 1/E_L \quad S_{12} = S_{21} = -\frac{\nu_{LT}}{E_T} = -\frac{\nu_{TL}}{E_T} \\ S_{22} &= 1/E_T \quad S_{66} = 1/G_{LT} \end{aligned} \quad (7)$$

Pomoću izraza za transformaciju tensora četvrtog reda dobiveni su izrazi (8) za transformaciju elastičnih konstanti. Koordinatni sistem xy zaokrenut je za kut φ prema koordinatnom sistemu LT.

$$\begin{aligned} \frac{1}{E_x} &= \frac{\cos^4 \varphi}{E_L} + \left(\frac{1}{G_{LT}} - \frac{2\nu_{LT}}{E_L} \right) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \frac{\sin^4 \varphi}{E_T} \\ \frac{1}{E_y} &= \frac{\sin^4 \varphi}{E_L} + \left(\frac{1}{G_{LT}} - \frac{2\nu_{LT}}{E_L} \right) \sin^2 \varphi \cos^2 \varphi + \frac{\cos^4 \varphi}{E_T} \\ \frac{1}{G_{xy}} &= \frac{1}{G_{LT}} + 4 \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi \left(\frac{1}{E_L} + \frac{1}{E_T} + \frac{2\nu_{LT}}{E_L} + \frac{1}{G_{LT}} \right) \\ \nu_{xy} &= \frac{E_x}{E_y} \left[\nu_{LT} - \cos^2 \varphi \sin^2 \varphi \left(1 + 2\nu_{LT} + \frac{E_L}{E_T} - \frac{E_L}{G_{LT}} \right) \right] \end{aligned} \quad (8)$$

$$\nu_{yx} = \nu_{xy} \frac{E_y}{E_x}$$

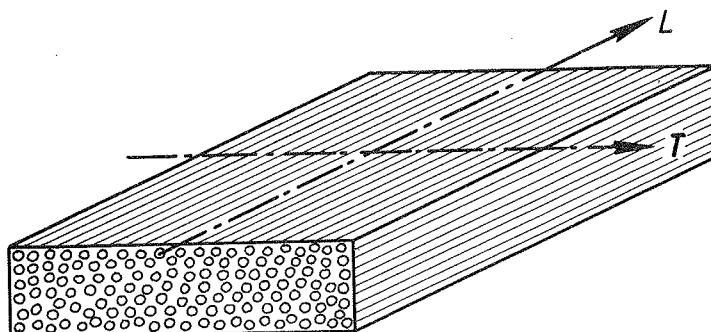
$$m_1 = 2 \cos \varphi \sin \varphi \left[\nu_{LT} + \frac{E_L}{E_T} - \frac{1}{2} \frac{E_L}{G_{LT}} - \cos^2 \varphi \left(1 + 2\nu_{LT} + \frac{E_L}{E_T} - \frac{E_L}{G_{LT}} \right) \right]$$

$$m_2 = 2 \cos \varphi \sin \varphi \left[\nu_{LT} + \frac{E_L}{E_T} - \frac{1}{2} \frac{E_L}{G_{LT}} - \sin^2 \varphi \left(1 + 2\nu_{LT} + \frac{E_L}{E_T} - \frac{E_L}{G_{LT}} \right) \right]$$

$$-\frac{m_1}{E_L} = S_{16} \quad ; \quad -\frac{m_2}{E_L} = S_{26}$$

3. Elastična svojstva složenog materijala prema elastičnim svojstvima komponenata

Ako poznamo elastična svojstva komponenata, možemo približno odrediti elastična svojstva složenog materijala. U tu svrhu promotrimo ploču izrađenu iz ortotropnog stakloplastika prema (sl. 1). Sva vlakna su medusobno paralelna i povezana matricom.



Slika 1.

Ako u ploči vlada jednoosno stanje naprezanja u smjeru uzdužne osi (sl. 2a) možemo pretpostaviti da je deformacija ista za sva vlakna i za matricu tj.

$$\epsilon_m = \epsilon_v = \epsilon \quad (9)$$

$$\sigma_m \cdot F_m + \sigma_v \cdot F_v = \sigma \cdot F \quad (10)$$

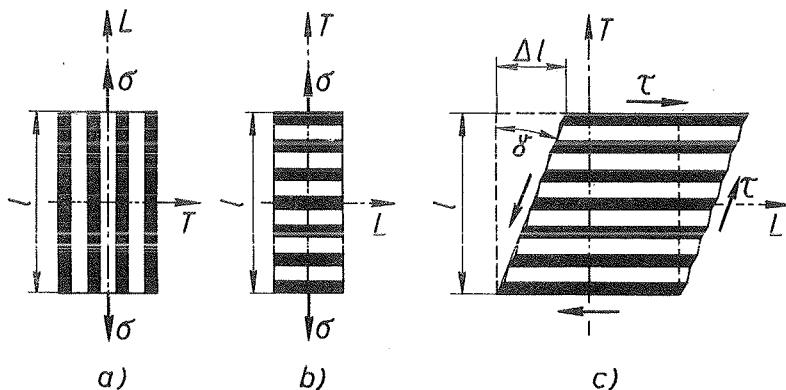
gdje je F poprečni presjek. Indeks m odnosi se na matricu, indeks v odnosi se na vlakno, a veličine bez indeksa odnose se na složeni materijal. Izraz (9) možemo napisati u obliku

$$\frac{\sigma_m}{E_m} = \frac{\sigma_v}{E_v} = \frac{\sigma}{E} \quad (9a)$$

Iz izraza (10) i (9a) dobivamo

$$E = E_L = E_m \cdot v_m + E_v \cdot v_v \quad (11)$$

Gdje je $v_m = F_m/F$ volumenski sadržaj matrice, a $v_v = F_v/F$ volumenski sadržaj vlakana.



Slika 2.

Opteretimo li ploču u smjeru poprečne osi T kao na (sl. 2b), raspodjela naprezanja bit će približno ista za matricu i vlakna.

$$\epsilon_m = \epsilon_v = \epsilon \quad (12)$$

$$\epsilon_m \cdot l_m + \epsilon_v \cdot l_v = \epsilon \cdot l \quad (13)$$

gdje je l_m duljina svih dijelova matrice, a l_v duljina svih dijelova vlakana tako da je $l = l_v + l_m$. Izraz (13) napisan u drugom obliku glasi

$$\frac{\epsilon_m}{E_m} l_m + \frac{\epsilon_v}{E_v} l_v = \frac{\epsilon}{E} l \quad (13a)$$

Pomoću (12) i (13a) možemo dobiti

$$\frac{1}{E} = \frac{1}{E_T} = \frac{v_m}{E_m} + \frac{v_v}{E_v} \quad (14)$$

Ako je element materijala opterećen na čisto smicanje kao na (sl. 2c), vrijedi

$$\Delta l = \Delta l_m + \Delta l_v \quad (15)$$

Pod predpostavkom da je γ konstantno po cijelom materijalu možemo dobiti

$$\frac{\tau}{G} \ell = \frac{\tau_m}{G_m} \ell_m + \frac{\tau_v}{G_v} \ell_v \quad \text{odnosno}$$
$$\frac{1}{G^+} = \frac{v_m}{G_m} + \frac{v_v}{G_v} \quad (16)$$

Ako je γ konstantno po cijelom materijalu imamo

$$G^{++} = G_m v_m + G_v v_v \quad (17)$$

Stvarna vrijednost leži između tj.

$$G^{++} \geq G_{LT} \geq G^+ \quad (18)$$

Sličnom analizom možemo dobiti izraz za Poissonov koeficijent

$$\nu_{LT} \approx \nu = \nu_v v_v + \nu_m v_m \quad (19)$$

4. Zaključak

Složeni materijali su većinom anizotropni, najčešće ortotropni. Za definiranje njihovih elastičnih svojstava u ravnini potrebne su četiri međusobno nezavisne konstante: dva Youngova modula elastičnosti, jedan Poissonov koeficijent i jedan modul klizanja. Ako su poznate glavne elastične konstante za osi ortotropije mogu se pomoći izraza za transformaciju odrediti konstante za bilo koje osi xy. Kod jednoosno armiranog materijala moguće je glavne konstante elastičnosti odrediti približno iz elastičnih svojstava komponenata.

5. Literatura

1. G. S. Holister i C. Thomas, Fibre Reinforced Materials, Elsvier Publishing Co. London 1966.
2. L. B. Greszczuk, Experimental Determination of Shear Moduli of Fiber - reinforced Anisotropic Materials, Referat na SESA Spring Meeting, Ottawa 1967, Kanada.

3. I.I. Goldenblatt, Soprotivlenie stekloplastikov,
Mašinostroenie, Moskva 1968.
4. Kompozicionie materiali voloknistogo stroenia,
Naukova Dumka, Kijev 1970.
5. I. Alfirević, Mjerenje konstanti elastičnosti
staklom ojačanih plastika. Zbornik Fakulteta
strojarstva i brodogradnje, Zagreb 1970.

6. Summary

The composed materials with arranged fibers are mostly orthotropic. Four independent elastic constants are necessary for the elastic definition of plane orthotropic materials: two Young's moduli E_L and E_T , shear modulus G_{LT} and Poisson's ratio ν_{LT} . The approximate values of these elastic constants can be calculated from elastic constants of the components.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971

B. Devedžić*

PRILOG RAZREŠAVANJU DILEME OKO IZBORA NAJRELEVANTNIJEG OBЛИKA KOEFICIЈENTA NORMALNE ANIZOTROPIJE MATERIJALA**

1. Uvod

Korišćenje različitih mehaničkih i drugih fundamentalnih karakteristika materijala kao pogodnih pokazatelja njegove obradivosti dubokim izvlačenjem nalazi u novije vreme sve širu primenu. Nesumnjivo je, međutim, da su mogućnosti u ovom smislu limitirane, kako nedovoljnom opštom relevantnošću izvesnih karakteristika u okviru razmatranog procesa deformacije, tako i eventualnom složenošću načina dubokog izvlačenja.

Ne ulazeći ovde u detaljnu analizu uticaja niza karakteristika materijala u pojedinačnim slučajevima (o čemu su, inače, publikovani brojni radovi), ukazaje se samo na neke specifičnosti u vezi sa koeficijentom normalne anizotropije, kao karakteristike koja je poslednjih godina postala predmet veoma širokog istraživačkog interesovanja.

Ovaj koeficijent, poznat takodje pod popularnim nazivom "r-faktor", po definiciji predstavlja odnos izmedju stvarne (logaritamski izražene) deformacije po širini epruvete pri standardnom ispitivanju materijala zatezanjem (ϵ_w) i deformacije u pravcu debljine epruvete (ϵ_t), tj.

$$r = \frac{\epsilon_w}{\epsilon_t} = \frac{\ln \frac{w}{w_0}}{\ln \frac{t}{t_0}} = \frac{\log \frac{w}{w_0}}{\log \frac{t}{t_0}} = \frac{\log \frac{w}{w_0}}{\log \frac{\ell_0 w_0}{\ell w}}$$

* Dr Branislav Devedžić, dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta u Beogradu - Odeljenje u Kragujevcu.

** Saopštenje sa Odeljenja Mašinskog fakulteta u Kragujevcu.

jer iz uslova o nepromenljivosti zapremine proizlazi

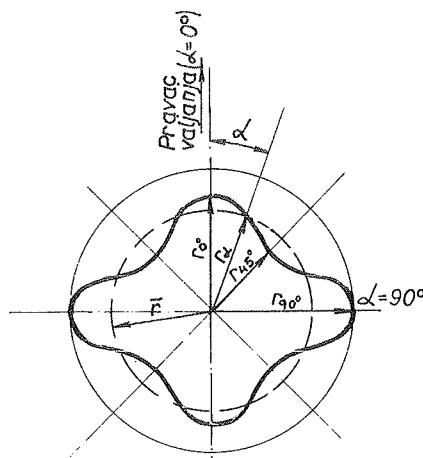
$$V = \text{const} = l_0 W_0 t_0 = l W t ; \quad \frac{t}{t_0} = \frac{l_0 W_0}{l W}$$

pri čemu oznake imaju sledeća značenja: l - merna dužina epruve (u trenutku merenja); w - širina; t - debljina. Indeksi o odnose se na početne dimenzije.

Poznato je, dalje, da iznos ovog koeficijenta ima veoma veliki uticaj na sposobnost materijala da se obraduje dubokim izvlačenjem, jer on, upršćeno govoreći, istovremeno predstavlja i indirektno merilo otpornosti materijala (lima) prema smanjenju njegove debljine.

Medjutim, stvarna veza izmedju r -faktora i obradivosti materijala dubokim izvlačenjem u širem smislu vrlo je kompleksna i varijabilna, pa stoga praktično poprima stohastički karakter. Dalji problem koji se javlja pri njegovom korišćenju jeste uticaj anizotropije materijala u ravni. Racionalno je da se ona posmatra u različitim pravcima, određenim uglom (α), koji oni zaklapaju sa pravcem valjanja lima. Prema tome, isecanjem epruve za ispitivanje materijala pod različitim uglovima u ravni lima mogu se dobiti odgovarajući koeficijenti normalne anizotropije r_{α} , koji su, u opštem slučaju, različiti medju sobom. Tipična šema zakonitosti promena ovih koeficijenata prikazana je na sl. 1., tj. uopšte je

$$r(\alpha) = r(\alpha + \bar{\alpha})$$



Sl. 1.

Očigledno je da ova okolnost neposredno nameće problem brojčanog izračavanja jedinstvene i reprezentativne vrednosti koeficijenta \bar{r} za neki određen materijal. U tom smislu činjeni su mnogi pokušaji, ali je opšte prihvaćeno da se merodavna srednja vrednost može uzeti u konvencionalnom obliku kao

$$\bar{r} = \frac{1}{4} (r_{0^\circ} + 2r_{45^\circ} + r_{90^\circ})$$

Medjutim, postoje i mišljenja da bi trebalo očekivati nešto bolju korelaciju između r i ove obradivosti ukoliko bi se umesto srednje vrednosti za r koristila minimalna r_{\min} (prema prednjem, r_{45°).

Ma da problem utvrđivanja pogodnijeg oblika izgleda sasvim jednostavan, u literaturi se o tome mogu sresti veoma oprečna mišljenja, zasnovana na odgovarajućim eksperimentalnim podatcima. Stoga je korisno u tom smislu nastaviti sa istraživanjem i doprineti sticanju pouzdanijeg i sveobuhvatnijeg uvida u čitav problem.

2. Koreacioni odnosi

U okviru ovog rada izvršeno je iznalaženje koeficijenta korelacije između srednje i minimalne vrednosti koeficijenta normalne anizotropije r , sa jedne strane, i nekih karakterističnih pokazatelja obradivosti dubokim izvlačenjem, sa druge. Ispitan je malougljenični čelični lim kvaliteta St.14.05 (prema standardu DIN 1623), pri čemu je formiran statistički uzorak od 100 elemenata - različitim partijama lima (iz svake partije je uziman poseban uzorak za laboratorijsko ispitivanje).

Jedna serija opita odnosi se na uspostavljanje koreacione zavisnosti između koeficijenta normalni anizotropije i jednog od pokazatelja obradivosti čistim dubokim izvlačenjem - u ovom slučaju Engelhardt-ovog broja (potencijala dubokog izvlačenja). U okviru ove serije istovremeno je ispitivan i Erichsen-ov broj, ma da je opšte poznata njegova relativno slaba zavisnost od koeficijenta r . Ipak, ovo je bio kontrolni postupak, proveden radi provere kasnije izvedenog zaključka o uticaju rotacionog oblika tela na korelaciju sa \bar{r} odnosno r_{\min} .

U drugoj seriji ustanovljena je slična zavisnost sa pokazate-
ljem industrijske obradivosti (presovanja) složenih delova ka-
roserija putničkih automobila.

2.1. Korelacija r-T (T-Engelhardt-ov broj)

Engelhardt je uveo originalnu karakteristiku obradivosti materi-
jala čistim dubokim izvlačenjem u obliku

$$T = \frac{F_M - F_m}{F_M} \cdot 100\%]$$

gde je F_M - najveća sila na izvlakaču koju bi materijal još mogao
podneti neposredno pre razaranja; F_m - najveća sila koja se na iz-
vlakaču stvarno pojavljuje u toku procesa izvlačenja tela slede-
ćih standardnih dimenzija: $D_0 = 52\text{mm}$ (početni prečnik razvijene
ploče), $d = 30\text{mm}$ (prečnik izvučenog cilindričnog dela), $\delta = 4\text{mm}$
(poluprečnik zaobljenja ivice čela izvlakača).

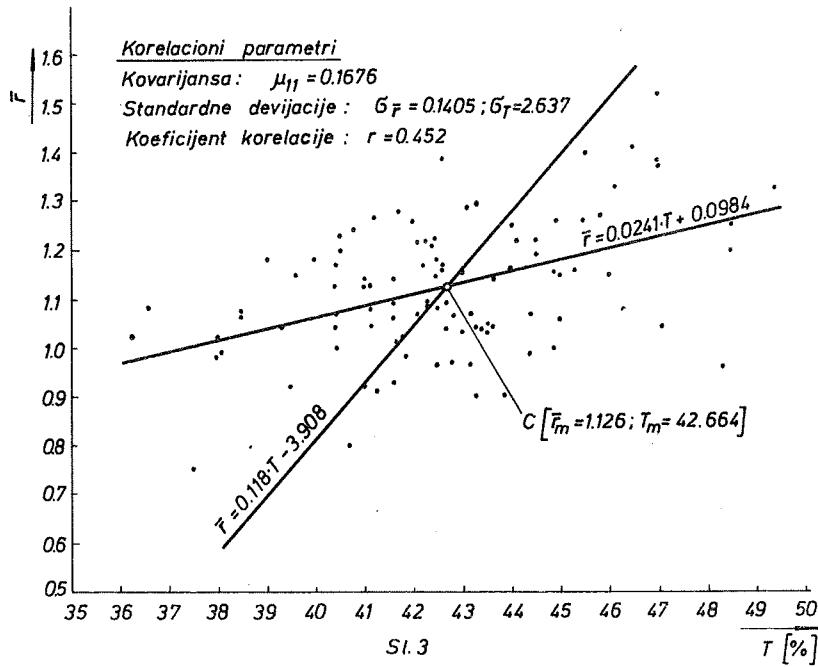
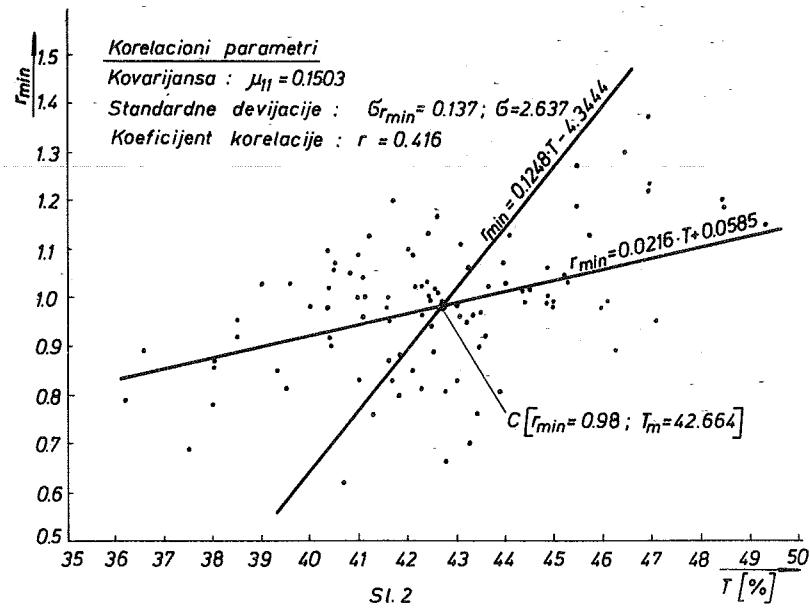
Na sl. 2. prikazan je skup $[r_{\min}, T]$, kao i regresione linije
i koeficijent korelacije između ovih stohastičkih promenljivih.
Istovetni podatci za skup $[\bar{r}, T]$ dati su na sl. 3.

Napomena: slični grafički prikazi skupova $[r_{\min}, E]$ i $[\bar{r}, E]$ ni-
su dati, već se navode samo koeficijenti korelacije - za prvi
slučaj 0,313, a za drugi 0,381.

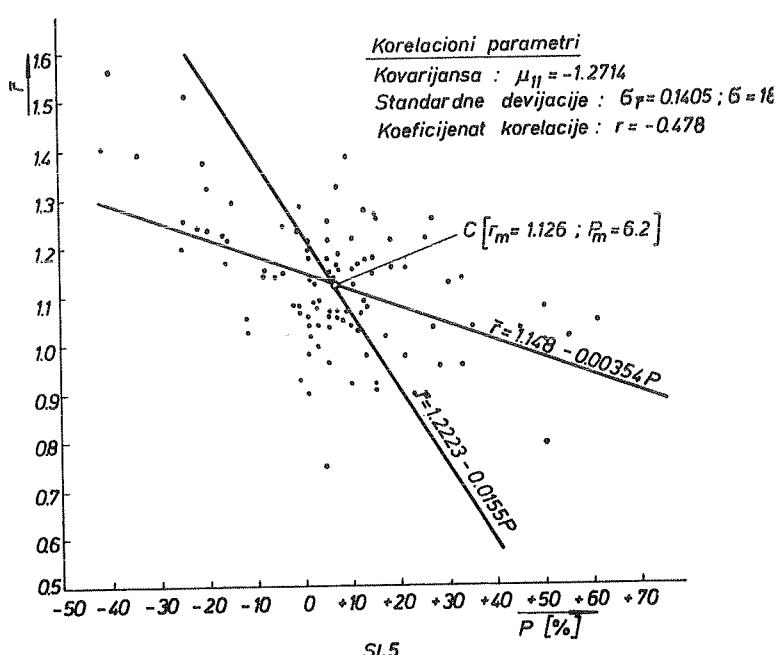
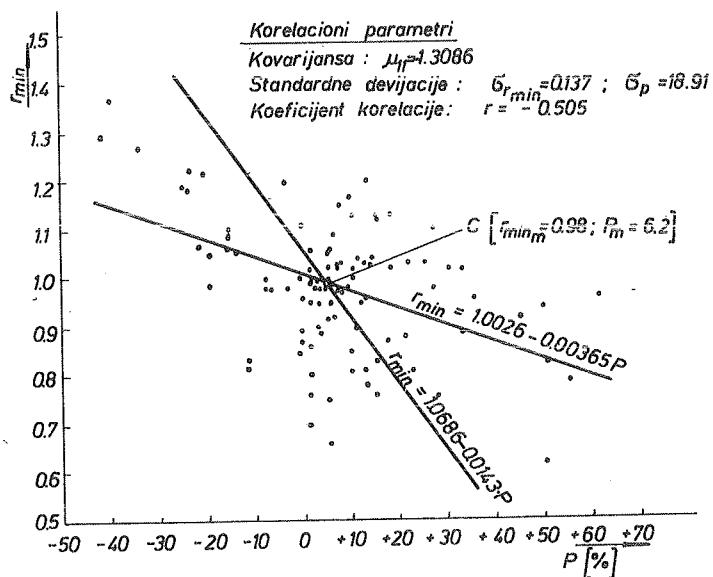
2.2. Korelacija r-P (P-pokazatelj industrijske obradivosti)

Jedna od osnovnih odlika većine tipičnih delova karoserija put-
ničkih automobila jeste njihova geometrijska nepravilnost, re-
lativna složenost oblika i medjusobna raznovrsnost, tako da oni
na izvestan način mogu reprezentovati i niz drugih složenih de-
lova (otpresača). Ovo, međutim, znatno komplikuje mogućnost
objektivne procene stvarne industrijske obradivosti veće koli-
čine materijala, namenjene izradi više različitih karoserijskih
(ili drugih) delova. Sa druge strane, potreba za ovakvom proce-
nom je od prvorazrednog tehnološkog i ekonomskog interesa.

Kao pokazatelj ponašanja materijala u proizvodnji (P) u ovom
slučaju korišćen je procenat neispravnih otpresača u pojedinim
proizvodnim serijama. S obzirom da ima i serija u kojima se ne
pojavljuju neispravni delovi, logično je zaključiti da je tada
kvalitet materijala, više ili manje, iznad kritičnog iznosa, tj.
da postoji i izvesna "rezerva" u kvalitetu. Stoga je uveden po-



M. 11.05.



jam "negativnog procenta" neispravnih otpresaka, čije su brojčane vrednosti dobijane po metodologiji razradjenoj u ranijim radovima autora [4].

Uopšte su vrednosti pokazatelja P registrovane u toku praćenja proizvodnih rezultata presovanja 10 tipičnih i međusobno tehnološki sličnih karoserijskih delova (smišljeno odabranih). One su, dalje, dovodjene u vezu sa odgovarajućim laboratorijskim rezultatima (\bar{r} i r_{min}) dobijenim od uzoraka iz istih serija. Na taj način su formirani statistički skupovi $[\bar{r}, P]$ i $[r_{min}, P]$. Korelacione karakteristike za oba slučaja prikazane su na sl. 4. i 5.

3. Zaključak

Uporedjenjem dobijenih rezultata zapaža se da je u prvom slučaju (čisto duboko izvlačenje cilindričnog tela) dobijena bolja korelacija pri korišćenju srednje vrednosti \bar{r} nego minimalne r_{min} , a u drugom je rezultat upravo obrnut. Nesumnjivo je da to može biti predmet dalje analize i proučavanja stvarnih odnosa. Međutim, nezavisno od toga, izvesna opšta rasudjivanja i zaključci su mogući već na osnovu ovih rezultata.

Pre svega, pri izvlačenju cilindričnog tela (ili uopšte tela rotacionog oblika) zone materijala koje padaju u pravce koji odgovaraju koeficijentu normalne anizotropije r_{min} nalaze se pod neposrednim uticajem susednih zona - sa većim vrednostima r . Ovaj uticaj je neizbežan, kako zbog postojećeg metalnog kontinuiteta, tako i zbog cilindričnog oblika dela. Treba očekivati da će on biti u toliko veći u koliko je intenzivniji porast r prema ostalim ekstremnim vrednostima (r_0^o i r_{90}^o), odnosno u koliko su ove vrednosti veće u odnosu na r_{min} . Kako konvencionalni oblik \bar{r} uzima u obzir sve ove tri karakteristične vrednosti, on u ovom slučaju ostaje, ipak, reprezentativnija karakteristika nego r_{min} (koja, dakle, ignoriše postojeće razlike u iznosima koeficijenta r u ostalim pravcima). Ovakav zaključak potvrđuju takođe i rezultati dobijeni paralelnim ispitivanjem r i dubine utiskivanja po Erichsen-u, jer je i tu morao doći do izražaja rotacioni oblik izvučenog dela, bez obzira na upadljivo nižu opštu korelaciju izmedju r i obradivosti razvlačenjem (ko-

je je, zapravo, osnovni vid deformacije pri ispitivanju po Eri-chenu).

U slučaju složenih i nepravilnih delova usmereni pravci najnepovoljnijih naprezanja u toku obrade često se sasvim podudaraju sa najnepovoljnijim pravcima s obzirom na koeficijent r (45° , odnosno 135°). Pri tome znatniji uticaj susednih, drukčije orijentisanih, zona može sasvim izostati (ili ne mora biti znatan). To dolazi otuda što kritična zona može biti, na primer, pravolinijski usmerena (kao što je slučaj sa savijenim i pretežno pravim podužnim ivicama i sl.), a uz to su često pojedina mesta na njoj relativno dosta udaljena od onih delova materijala koji su drugojačije (i povoljnije) orijentisani, tako da se njihov uticaj praktično ne može ni ostvariti. Drugim rečima, uticaj stvarnih iznosa r_{90° i r_0° može biti irelevantan, pa je i srednja vrednost \bar{r} takodje bez posebnog značaja. Svakako da isključiva razinsost od r_{\min}° ne treba očekivati u svim slučajevima jer je ona kod brojnih, komplikovanih i raznovrsnih delova vezana za odgovarajuću verovatnoću da se kritični pravci najvećih i najnepovoljnijih naprezanja podudare sa najnepovoljnijim pravcima u materijalu. Kako ona, šire posmatrana, ne može ni biti naročito velika, dobijeni brojčani iznosi koeficijenata korelacije međusobno se mnogo ne razlikuju. Istina, ovako malim razlikama doprinosi i činjenica da izmedju vrednosti \bar{r} i r_{\min}° takodje postoji relativno dobra usaglašenost. Tako je koeficijent korelacije izmedju njih u ovom slučaju dobijen u iznosu od 0,890 (grafički prikaz nije dat).

4. Literatura

1. R.Hill: "The Mathematical Theory of Plasticity" - Oxford, 1950.
2. M.Atkinson: "Assessing Normal Anisotropic Plasticity of Sheet Metals" - Sheet Metal Industries, March, 1967.
3. Working Group 2 of I.D.D.R.G.: "The Plastic Anisotropy Ratio " r " and the work-hardening Exponent "n" in Relation to the Drawability of Sheet Metal" - Sheet Metal Industries, August, 1967.
4. B.Devedžić: "Prethodna procena proizvodnih performansi karoserijskog lima pomoću kompleksnog laboratorijskog pokazatelja" - disertacija, Kragujevac, 1969.

B. Devedžić

A contribution to loosening the problem of choice of the most relevant form of normal anisotropy material coefficient

This paper deals with influence of normal anisotropy coefficient to materials drawability. It is being pointed at the specificity of such an indicator in varied cases of drawability. Special attention has been devoted to the variation of this characteristic considering anisotropy of materials in a plane. As in literature you could come upon quite contradictory conclusions about whether formability of materials should be estimated in accordance with minimal or mean values of normal anisotropy coefficient, the author has done a series of tests connecting both these values with some other indicators. In one case they were Engelhardt's and Erichsen's value, and in another percentage of output by pressing parts of car bodies. The achieved results show that in the cases of pure drawability (tests according Engelhardt) and drawability after Erichsen, somewhat better correlations are being attained, by the use of mean values for coefficient r , while for the case of complex pressings correlation is better when instead of normal anisotropy coefficient its minimal value is being used.

At the end to add the opinion that to this difference leads primarily the possibility that in the second case the most inconvenient directions, when considered r , conform with those of the most inconvenient stresses, with which the influence of otherwise orientated zones may fail to come. Meanwhile, for the case of drawing rotational parts, always is unavoidable direct influence of these more convenient orientated zones, what makes the mean value of coefficient r more important.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD 1971.

R. Jelatancev^{x/}

NEKI PROBLEMI MAGNETSKIH I NEMAGNETSKIH MATERIJALA TE ISPITI-
VANJE MAGNETSKIH STEGA SA KERAMIČKIM MATERIJALIMA^{xx/}

1. Uvod

Saopćenje iz područja magnetskih stega, objavljeno na V savjetovanju, urodilo je plodom: "Prvomajska" se je odlučila da prisupi izradi prototipova nove familije magnetskih steznih naprava, a IAS je dobio zadatak da izradi konstruktivnu i tehnološku dokumentaciju za neke veličine ploča sa keramičkim magnetima.

Idejno je problem bio rješen prije V savjetovanja proizvodnog strojarstva: Treba preći na keramičke materijale; elementarni magnetski sistem nove familije ploča treba biti Π -oblika, a za skidanje izratka treba koristiti metodu neutralizacije. Međutim sve ostalo tj. kako tehnički realizirati te ideje, trebalo je tek riješiti. Neki od tih problema koji su se javili prilikom izrade dokumentacije magnetskih stega i ispitivanja ovih stega iznijeti su u ovom saopćenju.

2. Problemi magnetskih i nemagnetskih materijala

Problem tvrdo magnetskog materijala bio je ključni. Proučavanjem kataloških karakteristika ovih materijala od nekoliko proizvođača, došlo se do zaključka da u obzir dolazi dosta uski spektar materijala sa vrlo visokim vrijednostima H_c , još uvijek značajnim vrijednostima B_r i linearnom karakteristikom skoro u cijelom drugom kvadrantu.

^{x/}Rastislav Jelatancev, dipl.ing., suradnik Instituta za alatne strojeve, Zagreb, Đure Salaja 1

^{xx/}Saopštenje iz Instituta za alatne strojeve - Zagreb obrađuje najvažnije probleme kod konstrukcije i ispitivanja magnetskih stega za alatne strojeve tvornice "Prvomajska".

Konstruktivno bi najidealniji oblik takvog magneta trebao biti relativno velik /npr. 24 x 200 mm i veći/ i tanak /npr. 6 mm/. Međutim takav oblik zadovoljavajuće tačnosti mogao bi se dobiti praktički samo izrezivanjem iz bloka takvog materijala. Dobivanje otpresaka takvih oblika i zadovoljavajuće tačnosti praktički nije moguće: prilikom izrade dolazilo bi do nedopustivog vitoperenja pločica. Obradivati ovako izvitoperene pločice bilo bi skuplje nego izrezivati ih iz bloka. Osim toga za jednu prizmatičnu magnetsku stegu treba nekoliko dimenzija takvih magneta, a za okruglu znatno više. Za izradu svakog takvog oblika trebao bi posebni vrlo skupi alat, a za veće komade može biti u pitanju i veličina preše. Izrezivanje pak ovakvih ploča iz bloka vezano je sa problemom dobivanja potrebnog keramičkog materijala u bloku te problemom izrezivanja tankih ploča iz takvog materijala. Iz literature smo doznali da su ovi problemi tehnički rješivi. Međutim obzirom da nismo bili u mogućnosti da izvršimo takve eksperimente, odlučili smo se da na drugi način rješimo problem keramičkih magneta. Naime dobivanje jednodjelnih magneta svih oblika koji se pojavljuju u familiji stega očito je vezano s tehnikama tehničke i ekonomske naravi, pa se nameće pitanje, što onda ako magnet nije jednodjelan? Ako se gleda magnet izdvojeno onda tu ne samo da nema problema nego je situacija povoljnija: povećanjem dimenzije magneta iznad određene uz istu debљinu /u magnetskom pogledu to je "dužina"/ i iste ostale uslove, radna tačka magneta spušta se ispod koljena krivulje razmagnetiziranja; prema tome za manje magnete /odnosno dijelove jednog većeg magneta/ ova se opasnost automatski smanjuje. Međutim, ti manji magnetički trebaju u magnetskom sistemu ploča sačinjavati veće mafete. Da bi se dobila što manja, što jeftinija stega sa što boljim karakteristikama, dijelove magneta treba što više približiti jedan drugom sa što manje prostora između njih. Problemi kod toga su slijedeći: nemagnetizirani dijelići magneta se međusobno odbijaju; da bi ih se približilo treba savladati njihovu silu odbijanja. Prilikom njihova približavanja javlja se opasnost da im se radna točka spusti ispod koljena. Svaki magnet stega nalazi se između dviju meko-magnetskih ploča. Zbog međusobnog držanja, krutosti i zaptivenosti ploča, dijelovi magneta se ljepe za prilježeće meko-magnetske ploče, a preostale šupljine

se zaljevaju. Kod toga treba voditi računa da keramički materijali imaju osjetno manji koeficijent toplinskog istezanja od metala. Nameće se ideja da se nemagnetizirane dijelove magneta prvo nalijepi na pripadnu meko-magnetsku ploču i zatim izvrši magnetiziranje. Na taj način bi se adhezione sile željezo - ljepilo - keramički materijal suprostavile silama odbijanja između dijelova magneta. Opasnost od spuštanja radne točke magnetske ispod koljena krivulje demagnetiziranja bi praktički otpala, zbog djelomičnog zatvaranja magnetskog kruga kroz željezo. No, sad se pojavljuje problem magnetiziranja. Magnetiziranje magnetskih steznih ploča u sastavljenom stanju ne dolazi u obzir zbog toga što bi se kroz polne nastavke specijalno građenog uređaja za magnetiziranje trebalo progurati polje koje bi znatno premašilo tačku zasićenja željeza $\sim 40 \text{ kA/m}$. Naime za ispravno magnetiziranje upotrebljenog keramičkog materijala potrebno je polje cca 800 kA/m . Osim toga za različite stege polni nastavci uređaja za magnetiziranje trebali bi biti različiti po dimenzijama i međusobnom razmaku. Problem bi u suštini ostao i onda kada bi pokretni i nepokretni blok stege magnetizirali posebno. Moguće bi bilo magnetizirati pojedine magnete /sastavljeni iz dijelova/ zajedno s magnetski mekom pločom na koju bi ovi bili naljepljeni. No, u jednoj familiji stega, veličina i oblik takvih ploča bili bi brojni, a po svom obliku nezahvalni za izgradnju jednog ekonomski opravdanog uređaja za magnetiziranje. No, postoji li bolje rješenje? Da li se magnetizirani dijelovi magnetsa mogu dovesti na svoje mjesto u magnetskom sistemu steg? U potrazi za odgovorom na to pitanje našao se pozitivni odgovor! Ako se od meko-magnetskog materijala napravi čvrsta rešetka, onda se u odgovarajuće procjeye ove može ubacivati magnetizirane dijelove magneta, koji se prethodno zajedno s mekim željezom premažu odgovarajućim ljepilom, a nakon toga neispunjeni prostor - šupljine još zaliju.

Čvrsta rešetka je poželjna i zbog krutosti same ploče, no ako se uzme u obzir tehnički opravdana toleranca magnetskih pločica, meko-magnetskog materijala i elemenata koji će osiguravati dobivanje rešetke pojavljuje se štetan raspor između meko-magnetskog materijala i keramičkih magneta. Mislimo da smo ovaj i još neke za to vezane probleme također rješili. No, definitivnu po-

tvrdu toga dat će tek izrada prvih stega koja je u toku. Eksperimentirati, nažalost, ni ovdje nismo imali mogućnost.

No, pored problema: jednodjelni /ili višedjelni/ keramički magneti u magnetskim stegama, trebalo je naći odgovor na pitanje obradivosti tog materijala.

U oskudnoj literaturi iz tog poaručja nađeni su slijedeći podaci:

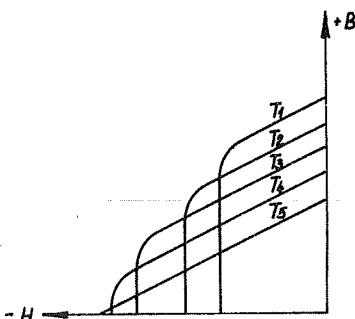
Rezanje se vrši dijamantskim pločama na strojevima za rezanje optičkog stakla, univerzalnim oštrilicama i dr. strojevima koji osiguravaju potrebnu brzinu rezanja. Režim rezanja: brzina 35 - 40 m/s; širina reza: 0,8 - 1,2 mm; posmak urezivanja

90 - 100 mm/min; hlađenje: obilno, sa 2% emulzijom. Za obradu dosjednih polnih ploha koristi se postupak lepovanja ili brušenja.

Za maloserijsku proizvodnju /do 1000 kom/seriji/ primjenjuje se postupak lepovanja kao najprikladniji. Ovaj postupak garantira vrlo visoke tačnosti dimenzije izradaka obrađenih odjedanput što može biti od posebnog interesa kada je magnet višedjelan. Frašak koji se koristi kod ove obrade: zeleni silicij-karbidi; vashladno sredstvo: voda. Proizvodnost ovisi o specifičnom pritisku i veličini zrna praška; postignuta proizvodnost: 700 mm³/min.

Za masovnu izradu koristi se brušenje sa brusnim pločama iz zelenog silicij karbida veličine zrna 40 - 16 /GOST 3647-59/ tvrdoće M3 do SM2 najbolje sa bakelitnim vezivom. Režim brušenja: brzina ploče: 30 - 35 m/sek; brzina izratka /-uzdužni posmak/: 15 - 25 m/min; dubina brušenja: 0,01-0,05 mm; poprečni posmak: 0,5-2 mm/hodu. Obilno hlađenje sa 2 do 5% emulzijom u vodi. Kod završene obrade treba smanjiti dubinu brušenja i brzinu ploče.

Kod korištenja keramičkog magnetskog materijala posebna se pažnja treba posvetiti utjecaju temperature na ovaj materijal odnosno, u konkretnom slučaju, na pritezanje magnetskih ploča. U odnosu na ljevane magnete, keramički magneti su osjetljiviji na utjecaje temperature. Karakterističan dijagram za temperaturno ponašanje ovih materijala dan je na slici 1. Tačka Br sa padom temperature /hlađenjem/ penje se u područje veće indukcije; točka Hc kod toga se pomiče u desno, a s njom i koljeno krivulje demagnetiziranja dolazi u područje manje apsolutne jakosti polja.



Slika 1

Krivulja demagnetiziranja kod različitih temperatura / $T_1 < T_2 < T_3 < T_4 < T_5$ /

Obzirom da je spuštanje radne točke magneta na koljeno ili čak ispod koljena krivulje demagnetiziranja vezano s nepovratnim gubitkom magnetiziranosti, ova okolnost sa svoje strane postavlja uslove pod kojima treba biti izrađena stezna ploča iz keramičkog materijala.

Kvantitativno se pomak točke Br i Hc daju pomoću tzv. temperaturnih koeficijenata remanence α_{Br} odnosno koerciviteta α_{Hc} .

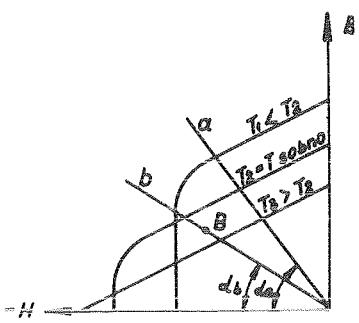
$$\alpha_{Br} = \frac{\lim_{T \rightarrow 0} d Br}{Br d T} \%/{^\circ}\text{C} = -0,2\%/{^\circ}\text{C}$$

$$\alpha_{Hc} = \frac{\lim_{T \rightarrow 0} d Hc}{Hc dt} \%/{^\circ}\text{C} = +0,5\%/{^\circ}\text{C}$$

Sa stanovišta gotove ploče tj. njenog korištenja iz dijagrama na sl. 2 vidimo da povišene temperature izazivaju reverzibilni pad sile pritezanja. Naša ispitivanja su međutim pokazala da je osciliranje sile zbog variranja temperature ploče, u granicama koje se u praksi pojavljuju, skoro u granicama tačnosti mjerjenja, pa se u praksi u većini slučajeva ovo osciliranje može zanemariti.

Više nas je zabrinjavala pojava pomicanja koljena krivulje razmagnetiziranja u desno kod hlađenja zbog opasnosti ireverzibilnog razmagnetiziranja uključene ploče bez izratka. Naša ispitivanja su pokazala da kod gotovih ploča nema ove opasnosti zbog toga što je radna točka magneta, kod niskih okolnih temperatura koje dolaze u obzir kod transporta i eksploracije /do $-30 {^\circ}\text{C}$ /, još uvijek iznad koljena krivulje razmagnetiziranja.

Polazeći sa stanovišta izrade ploče ovaj moment međutim treba uzeti u obzir. Ovo je ilustrirano sa slikom 2.



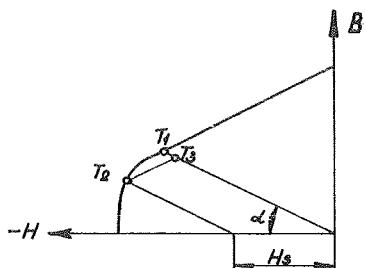
Slika 2
Radna točka kod različitih temperatura

Radne točke za različite temperature magneta u prostoru određene vodljivosti nalaze se sve na randomom pravcu /-pravac kroz ishodište u sistemu B-H definiran koeficijentom razmagnetiziranja: $B = -k \operatorname{tg} \alpha /$. Radna linija "a" siječe krivulje demagnetiziranja za najvišu $/T_z/$ i najnižu $/T_1/$ radnu temperaturu magneta iznad koljena ovih krivulja, to znači da će promjene magnetizma magneta biti reverzibilne. Međutim radna

linija "b" siječe krivulje demagnetiziranja za najnižu radnu temperaturu $/T_1/$ ispod koljena, što znači da se magnet nakon što se ohladi na T_1 i ponovno zagrije na sobnu temperaturu neće naći u polaznoj točci nego niže /točka B na sl. 2/.

Iz gornjeg proističe važnost da se uz krivulje razmagnetiziranja za pojedine keramičke materijale naznači temperature kod koje su snimljene. Obično je to 20°C /krivulje u saopštenju na V savjetovanju odnose se na ovu temperaturu/.

Kad je riječ o raznim uticajima na radnu tačku magneta treba spomenuti i uticaj stranih /demagnetizirajućih/ polja. Ako je npr. radni pravac magneta definiran kutem α kao na slici 3, i ako na njega djeluje strano razmagnetizirajuće polje jakosti H_s , tada se radni pravac pomiče paralelno sebi do tačke $-H_s$ na apscisi.



Slika 3

Posljedica djelovanja stranog razmagnetizirajućeg polja

Na taj način dobijemo novu radnu tačku T_2 /sl. 3/. Ova pojava može biti od interesa npr. kod transporta i manipulacije magneta magnetiziranih prije ugradnje u sistem. Naime ako je radna točka takvog magneta blizu koljena krivulje demagnetiziranja kao na slici 3, tada pojava jačeg demagnetizirajućeg polja dovodi do irreverzibilnog gubitka magnetizma.

Nestane li naime demagnetizirajućeg stranog polja tada se u gornjem primjeru radna točka T_2 neće više vratiti u polaznu tačku T_1 već po pravcu povrata /definiranu povrativim permeabilitetom μ_{rev} / do presjecišta sa polaznim radnim pravcem u tačku T_3 . Da bi se izbjegla takva nepoželjna pojava treba ili spriječiti da dođe do uticaja jačih demagnetizirajućih polja na magnete ili se osigurati sa njihovom radnom točkom dovoljno visoko iznad koljena. Zbog sigurne manipulacije i tehnologije ugradnje polovi slobodnih magneta se bojadaju.

Problem meko magnetskog materijala kod magnetskih stega je, kao što će se iz donjeg izlaganja vidjeti u prvom redu ekonomski naruvi. Osnovni zahtjevi koji se postavljaju na ovaj materijal su: da u magnetskom pogledu bude što mekši /što manji Hc /, da mu zasićenje i maksimalna permeabilnost budu što veći, a da u mehaničkom pogledu bude što otporniji habanju /izlizivanje/. Obzirom da u pogledu čvrstoće i krutosti ovaj materijal čini osnovu magnetskih blokova to su i odgovarajuće mehaničke karakteristike značajne. Iz ovih se razloga keo i ekonomskih u ove svrhe danas u svijetu koristi samo meko-magnetsko željezo. Najštetniji utjecaj na magnetske osobine željeza imaju primjese ugljika, a zatim kisika, sumpora, dušika, kroma, bakra i mangana. Si utječe štetno samo kod vrlo čistog željeza. Inače Si djeluje korisno na primjese kisika u željezu, te pridonosi rastu zrna, tako da se ovaj u tehnički čistom željezu smatra korisnom primjesom. Najveća propustljivost dobije se kod 6,5% Si, ali se zbog teškoće kod valjenja obično ne ide preko 4,5% Si. Iako se Hc smanjuje sa dodavanjem Si, magnetsko zasićenje opada, stoga se kod upotrebe u stalnim poljima sa dodatkom Si ide do 3%.

Svi oblici plastične deformacije pogoršavaju magnetska svojstva tehnički čistog željeza. Željezo se naročito visokim magnetskim svojstvima za polja $10 \sim 20$ Oe mora se poslije obrade rezanjem, savijanjem i sl. odžariti kako bi mu se snizila koercitivna sila.

Krupp proizvodi 5 podvrsta meko-magnetskog nelegiranog materijala pod nazivom "Hyperm 0" sa garantiranim Hc ispod 1,5-0,2 Oe, te Hyperm 0 za automate sa $Hc < 1,8$ Oe; pored toga proizvodi legirane /2,5 -4% Si/ vrste pod nazivom Hyperm 4 i 7. Češće korišteno i jeftinije meko-magnetsko željezo je Siemens-Martenovsko željezo tipa "Armco" /vidi tablicu/:, najviše se inače koristi

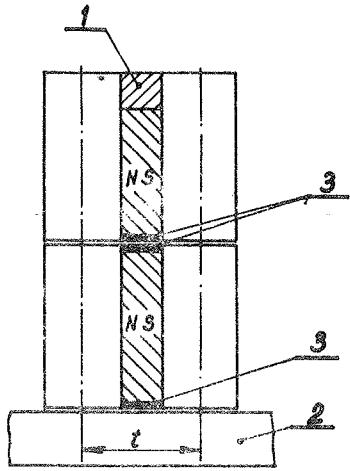
	GARANTIRANO PRIMJESA DO (%)						GARANTIRANE MAGNETSKE OSOBINE			
	C	P	S	Cu	Mn	Si	B _{res} (T)	B _r (T)	μ _{max rel.}	Hc (A/m)
Armco	0,025/0,04	0,015/0,025	0,025/0,03	0,15	0,035/0,2	0,03/0,2	~ 2,13	10 - 15	$\geq 3,2 \cdot 10^3$	≤ 100
Konstruk. čelik 10	0,07-0,16				0,35-0,65	0,17-0,37	2,13		$2-3 \cdot 10^3$	70-130
Rabogaji čelik SY 3	≤ 0,25	0,05	0,055				~ 2,1			75-140
Hyperm 0							2,15		$6,2 \cdot 10^3$	45,9-120

za duboko izvlačenje kod sobne temperature. Kad se koristi kao magnetski materijal važno je da pored minimalnih količina C i S sadrži što manje kisika, dok sadržaj 0,1 - 0,2 Si i Mn te 0,03-0,1 Al može biti koristan.

Kad zahtjevi u pogledu magnetskih osobina nisu naročito strogi mogu se upotrijebiti meki čelici do 0,2% C oznaka St.1,2 i 3. Konstrukcioni čelik lo te 20 i nešto lošiji 30, nešto su slabiji u magnetskom pogledu od Armco, ali se koriste zbog povišene tvrdoće i mogućnosti cementacije; za magnetske vodiče se koristi u mekom obliku, a za djelove koji su izloženi trošenju - cementiran.

Ostale pristupačne vrste meko-magnetskog željeza ne proizvode se odgovarajućih dimenzija /u prvom redu debljine/ potrebne za predmetne uređaje. Nedostatak tehnički čistih vrsta željeza je njihova sklonost starenju tj. porastu Hc i padu μ_r /osobito ako se izraci poslije žarenja izvrgnu brzom hlađenju na zraku/. Dodatak 0,1 - 0,2% Al u potpunosti uklanja ovu pojavu.

Obzirom da su diamagnetski i paramagnetski materijali za svrhe magnetskih ploča ekvivalentni ovdje ćemo ih nazivati "nemagnetskim materijalima". U elementarnom magnetskom sistemu stezne ploče sa keramičkim magnetima nemagnetski materijal dolazi za ispunjavanje prostora iznad keramičkih magneta te ispod donjeg magnetskog bloka /slika 4/. Rečeno je već da se keramički materijal nalijepi na željezne ploče, a preostale šupljine se zaliju zbog veće nepropusnosti i krutosti. Ljepilo i punilo također spadaju u nemagnetske materijale. Ostali nemagnetski materijali su konstruktivne naravi i ovise o konstruktivnom rješenju.



Slika 4

Elementarni magnetski sistem
1 i 2 - nemagnetski materijal
3 - žaljevna masa

Visina nemagnetskog umetka iznad magneta predstavlja dimenziju za koju se magnetska ploča tokom svoje životne dobi može prebrušavanjem stanjiti. Zbog univerzalnijeg korištenja ploče katkada se taj dio stezne ploče izvodi kao posebni dio. U tom slučaju interesantno je za istu steznu ploču imati nekoliko tih tz. adaptivnih ploča koje se svojim oblikom mogu adaptirati za razne specijalne izratke. Obzirom da taj materijal predstavlja dio radne plohe steznih ploča, nastoji se da bude na izlizivanje otporan /bar/ toliko koliko i meko-

-magnetski materijal koji predstavlja preostali dio radne plohe, te da ima što veći koeficijent trenja. Najčešće se u te svrhe koristi aluminij i njegove legure, zatim mesing, bronca i zljevna plastična masa otporna na habanje. Mesing i bronca imaju najbolja mehanička svojstva, otporni su na izlizivanje pa se koristi tamo gdje se ovi umeci koriste i kao konstruktivni elementi steznih ploča za postizanje veće čvrstoće i krutosti ploče. Negativna strana im je skupoća i smanjeni koeficijent trenja klijanja. U posljednje vrijeme susreću se magnetske ploče koje koriste plastične mase kao nemagnetski materijal. U te svrhe došli bi u obzir razni ekrilati i epoksilati. Dobre osobine ovih su: dobra ljevačka svojstva, otvrđivanje bez primjene pritiska, u većini slučajeva kod sobne temperature; dobra adhezija prema različitim materijalima; kemijska postojanost i otpornost na vlagu emulzije i ulja; laka obradivost rezanjem; relativno visoka mehanička svojstva, otpornost na habanje. Rusi su za poziciju 1 i 3 slike 4 iskoristili stirakril /HB 18-19 kp/mm²/.

Obzirom na različite koeficijente toplinskog istezanja keramičkog materijala /8,5 · 10⁻⁶/°C/, mekog željeza i mesinga

/18 . $10^{-6}/^{\circ}\text{C}/$, treba za međusobno ljepljenje ovih različitih materijala koristiti ljepila koja osiguravaju elastični spoj. Kod konstrukcije treba imati na umu to da keramički materijali znatno bolje podnose tlačno naprezanje /70 kg/mm²/ nego vlačna /5 kg/mm²/ . Prije ljepljenja materijala ovaj treba pripremiti: pridati im određenu hrapavost i počistiti od nečistoća, masnoće i čestica materijala npr. u otapalu u ultrazvučnoj kupelji. Poslije ispiranja dijelova treba ih na odgovarajući način osušiti.

Umjesto podložne ploče /pozicija 2, slika 4/ može se pomoću opružnih odstojnika-pritisika korisiti zrak kao nemagnetski materijal.

3. Ispitivanje sile pritezanja magnetske ploče

Pogledamo li izradak na magnetskoj ploči prilikom njegova brušenja, glodanja i blanjanja vidimo da je najčešće glavna komponenta sile rezanja usmjeren na izazivanje smičnog naprezanja između izratka i magnetske ploče.

Pođe li se od iskustvenog izraza da je sila trenja koja se suprotstavlja smicanju jednaka μP , gdje su μ koeficijent trenja mirovanja, a P normalna komponenta sile pritiska između izratka i ploče, dolazi se do zaključka da je sila smicanja direktno proporcionalna koeficijentu trenja, dakle jednoj promjenljivoj veličini koja se u tehničkoj praksi za svaki konkretni slučaj eksperimentalno određuje, te sili P koja je kod prizmatičnih ploča sastavljena od komponente težine izratka i od magnetske sile privlačenja između izratka i ploče.

Iz ovog jednostavnog i kratkog razmatranja slijedi da je ispitivanje sile P /tj. $-P$ /, ono ispitivanje kod magnetskih stega koje će nas u prvom redu interesirati, i koje nam pod određenim uslovima može poslužiti kao osnov za usporedbu kvalitete ploče.

Prema matematičkoj definiciji magnetska sila jednaka je derivaciji energije magnetskog polja po koordinati koju sila nastoji promijeniti:

$$P = \frac{d W_m}{d \delta}$$

Magnetska energija elementarnog prostora V u kojem je polje u M.12.10.

svim točkama jakosti H, a indukcije B je:

$$W_m = \frac{BH}{2} \cdot V = \frac{B^2}{2\mu_0} S \delta$$

uz pretpostavku da je $V = S \delta$.

Uvrštanjem ovog izraza u gornju formulu i uzimajući za $\mu_0 = 4 \pi \cdot 10^{-7}$ grN/m i izražavajući S u cm^2 te množeći izraz sa 0,102 zbog dobijene sile u kg, dobijamo izraze za силу које često koristimo:

$$P = 4,06 B^2 S$$

ili specifičnu силу /po 1 cm^2 /: $p = 4,06 B^2$.

Iz gornjeg izvoda vidimo da dobiveni izrazi za P i p vrijede uz pretpostavku da je polje /između stezne ploče i izratka/ homogeno i da ga izvan tega područja nema. Obzirom da u stvarnosti ove pretpostavke nisu ispunjene, a integralni oblik izraza koristimo samo onda kada je potreban točniji račun /zbog teškoće da se matematički obuhvati stvarna slika polja/, ne smijemo to zaboraviti kod operiranja sa tako dobivenim rezultatima.

Kod izračunavanja specifične силе "p" dobijemo силу по 1 cm^2 po la magnetske ploče. Od ove vrijednosti treba razlikovati specifičnu силу $p' < p$ dobivenu tako da se ukupna сила P podjeli sa cijelom dodirnom plohom između ploče i izratka. Uz gornje izračunavanje neka bude napomenuto još i slijedeće: dvije na oko glavke i ravne plohe u stvari su hrapave i neravne, a polje se raspoređuje uvijek tako da u blizini uglova dolazi do naročite nejednoličnosti /koncentracije silnica/.

Iz gornjeg slijedi da je specifična pritezna сила izratka k ploči proporcionalna kvadratu indukcije između ploče i izratka. A sada si zamislimo neki izradak na ploči pa razmotrimo o čemu sve ovisi indukcija između ploče i izratka. Brzo dolazimo do zaključka da bi do pritezanja uopće došlo izradak u magnetskom polju treba sam postati magnet tj. mora biti iz feromagnetskog materijala. No, ni svi feromagnetiци nisu jednaki, najbolji će se privlačiti oni koji se najlakše magnetiziraju tj. meko-magnetski materijali koji pružaju najmanji specifični otpor magnetskom polju. No, ni za najbolji meko-magnetski materijal nije svejedno

kakve će debljine biti, jer ukupni magnetski otpor ovisi o debljini. U ovisnosti o konstrukciji ploče privlačne sile rasti će sa debljinom prvo brzo, a zatim sve sporije. Povećanje debljine izratka iznad neke određene za jednu ploču praktički neće uticati na priteznu silu.

No za smanjenje magnetskog otpora u magnetskom krugu ploča - izradak i time povećanja indukcije tj. sile pritezanja nije svejedno ni kakav će zračni raspor biti između ploče i izratka. Raspor će biti minimalni, a prema tome i pritezna sila najveća, što su hrapavosti ploče i dodirne ploče izratka manje, te što su više prilagođene oblikom jedno drugom, što u klasičnom primjeru znači, što ravniju ploču i ravniju dodirnu plohu izratka. No obzirom na to da magnetski tok izlazi iz ploče u izradak praktički samo iz polova ploče očito nije svejedno ni kako će se izradak staviti na ploču. Nadalje nije svejedno da li je promatrani izradak sam na ploči ili ih je više i konačno nije svejedno na kojem se dijelu stezne ploče izradak nalazi /zbog konačnih dimenzija ploče/. Da bi rezultati ispitivanja raznih magnetskih ploča mogli poslužiti ocjeni kvalitete ovih ploča treba sve gore navedene uticaje na silu privlačenja eliminirati ili obuhvatiti.

Naše nastojanje da pronađemo nekakve standarde završili su ubjedenjem da ti danas još u svijetu ne postoje. Pojedini proizvođači imaju interne propise koji su međutim većinom tek mali broj faktora utjecaja na rezultat uzeli u obzir. Mi se priključujemo prijedlogu O.Ja. Konstantinova iz Lenjingrada koji rezimiran glasi:

Ispitne pločice trebaju biti:

- po duljini takve da potpuno prekriju dužinu pola, odnosno ukoliko ova dužina ispada prevelika /u odnosu na širinu i apsolutno/ uzeti kraću /npr. kvadratičnu/ ispitnu ploču,
- po širini takve da prekrivaju polovicu dvaju susjednih polova suprotnih polariteta,
- po debljini trebaju biti najmanje polovina širine pola; prava debljina pločice definirat će se potrebnom krutošću /obzirom na naprezanja kod ispitivanja/

Ispitna ploča treba imati odgovarajuću ušicu za prihvatanje otkidnog uređaja. Materijal ispitne ploče treba biti meko željezo npr.

Č.0345.5.

M.12.12.

Dodirne površine ispitnih pločica trebaju biti u pogledu hrapavosti i neravnosti iste kao i radne plohe staznih ploča, koje treba u tu svrhu izjednačiti.

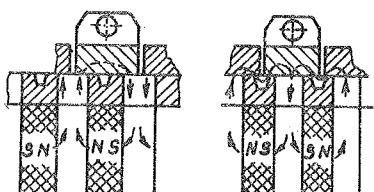
Da bi se eliminirao utjecaj susjednih polova na rezultat ispitivanja, utjecaj da li na ploči ima više ili samo jedan izradak, ispitna ploča se "uokviri" tj. napravi se zaslon u obliku jedne veće ploče sa prozorom oblika ispitne ploče povećanim za 1-2 mm kod obiju dimenzija. Ovaj prozor može se ostvariti i pomoću dva para odgovarajućih ploča. Debljina, materijal i obrada ovih ploča najbolje da su isti kao za ispitnu ploču.

Specifična sila pritezanja magnetske ploče računa se po izrazu:

$$P = \frac{G}{F} \text{ kp/cm}^2$$

P = sila otkidanja; G = težina ispitne ploče; F = dodirna površina isp.ploče

U skladu s ovim u IAS-u je izrađen uređaj za ispitivanje sile držanja magnetskih staznih ploča. Na slici 5 prikazan je pravilan i nepravilan položaj ispitne pločice kod ispitivanja stazne ploče koja ima i pomoćne polove.



Slika 5
Pravilno i nepopravljeno postavljanje ispitne pločice

4. Literatura

- 1 R.Jelatancev: Primjena novijih magnetskih materijala u konstrukciji magnetskih naprava - V savjetovanje proizvodnog mašinstva, Kragujevac x/
- 2 Katalog: "Magnetic materials" - Philips 1970.

x/ U ovom saopštenju dat je opširniji popis literature

Р. Елатанцев

"Некоторые проблемы магнитных и немагнитных материалов и испытаний магнитных приспособлений с керамическими материалами".

В статье обсуждаются некоторые вопросы постройки магнитных приспособлений и их испытаний. Основное внимание уделяется проблеме постройки приспособлений из нецельных магнитов, влиянию температуры и размагничивающих полей на характеристики магнитов и приспособлений.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971.

M.Stupnišek ⁺

PRILOG RJEŠAVANJU PROBLEMA IZBORA OPTIMALNE TEHNOLOGIJE
TOPLINSKE OBRADE PRI IZRADI ZUPČANIKA⁺⁺

1. Uvod

Kod zupčanika od čelika za cementiranje postoje problemi pri izboru potrebne dubine cementiranog sloja. Radi toga se često kod proračuna zupčanika propisuje potrebna dubina cementiranog sloja na osnovu različitih empirijskih preporuka iz literature ili na osnovu subjektivnog iskustva.

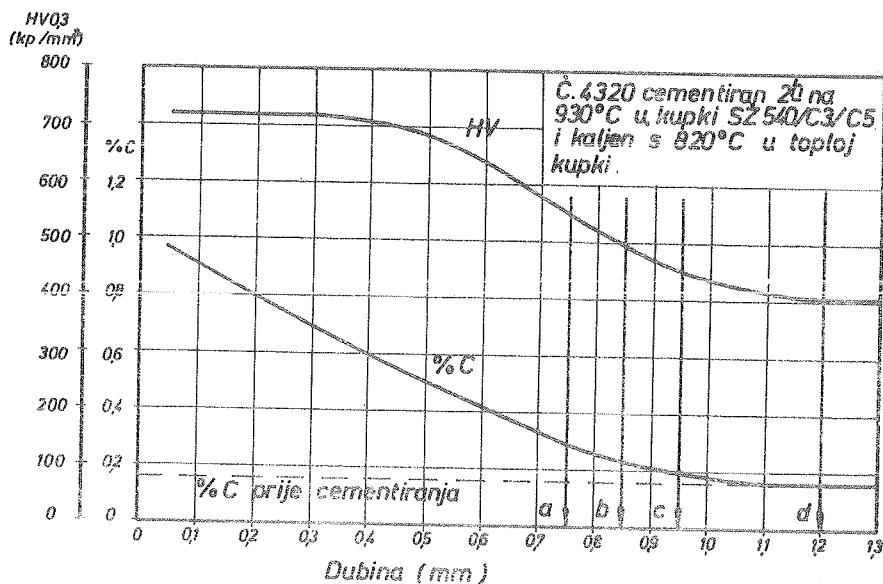
Poteškoće za ispravno propisivanje potrebne dubine cementiranog sloja polaze još od tumačenja samog pojma "dubina cementiranog sloja". Naime, taj pojam nije standardima jednoobrazno definiran, tako da postoji nekoliko kriterijova za njegovu ocjenu. Vrijednosti dubina dobivenih ocjenama po različitim kriterijima međusobno se znatno razlikuju. Na slici br.1 u dijagramima toka tvrdoće i sadržaja ugljika po dubini, prikazani su položaji dubina, koje su ocijenjene prema slijedećim kriterijima:

- a/ Dubina cementiranja na prelomu
- b/ HV 0,3 = 500 kp/mm²
- c/ Metalografski odredjena dubina
- d/ Dubina pougljičenja ocijenjena na osnovu kemijske analize

Iz ovog se primjera vidi, da se dobivene vrijednosti međusobno znatno razlikuju. Međusobni odnosi ovako odredjenih dubina nisu uvijek isti, jer zavise o vrsti čelika, uvjetima cementiranja i uvjetima kaljenja [1].

⁺ Mladen Stupnišek, dipl.ing., šef Laboratorija Tvornice alatnih strojeva "Prvomajska" Zagreb.

⁺⁺ Saopćenje iz Tvornice alatnih strojeva "Prvomajska" Zagreb.



Sl. 1

Osim navedenih kriterija za ocjenu dubine cementiranog sloja, postoje još i slijedeći: 50 HRC, HV1 = 610 kp/mm², HV1=500 kp/mm², HV1=550 kp/mm², 80% od najviše tvrdoće HV, 75% od najviše tvrdoće HV i dr. Razne tvornice prema vlastitim načijenju odabiru svoj kriterij dubine cementiranog sloja. Ovaj pojam nije standardiziran ni po JUŠ-u, tako da i u našoj zemlji ne postoji jedinstvena tumačenja.

U literaturi koja se u strojogradnji najčešće koristi kod proračuna zupčanika, propisane su dubine cementiranog sloja u zavisnosti o modulu ozubljenja. U slijedećoj tablici su navedene dubine za čeone zupčanike s ravnim zubima modula 2 do 6 mm, koje navode različiti autori.

Iz tablice se vidi, da se vrijednosti dubina za iste module kod različitih autora najčešće razlikuju. Niti u jednoj navedenoj knjizi ne spominje se na koju dubinu cementiranog sloja se odnose navedene vrijednosti, a u prethodnom objašnjenju je ukazano, koliko je važno definiranje tog pojma.

Tablica 1: Dubine cementiranog sloja u mm za zupčanike modula
2 do 6 mm

Autor	Modul /mm/				
	2	3	4	5	6
Thomas [2] / $m_{n1}=0,15-0,25$ / mm	0,3-0,5	0,45-0,75	0,6-1,0	0,75-1,25	0,9-1,5
Niemann [3] $m_n = 0,25 \cdot m_n$ za $m_n = 1,5-4$ mm $m_n = 0,5 \cdot m_n$ za $m_n = 4-30$ mm	0,5	0,75	1,0	1,1	1,2
Henriet [4]	0,3	0,45	0,6	0,75	0,9
Šipetić [5]	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2

2. Proračun potrebne dubine cementiranog sloja

Kod proračuna mehaničke otpornosti zupčanika, osim proračuna otpornosti na savijanje zuba, vrši se i proračun otpornosti boka zuba. Zupčanici izradjeni od različitih vrsta čelika i s odgovarajućom toplinskom obradom, mogu kod određenih eksploatacijskih uvjeta izdržati različite specifične pritiske na bok zuba. U jednostavljenoj djejanju specifičnog pritiska na bok zuba, ispod površine nastaju smična naprezanja, čija veličina se mijenja po dubini. Prema Föppl-u maksimalno smično naprezanje iznosi $0,3 \cdot p_{cmax}$, a na dubini od $0,78 \cdot a$ ispod površine, pri čemu je "a" polovina širine kontaktne površine. Ako maksimalno naprezanje prekorači smičnu dinamičku izdržljivost na odgovarajućoj dubini, prilikom rada zupčanika dolazi do pojave rupljenja na boku zuba./pitting/. Na osnovu saznanja o nastanku naprezanja ispod površine boka zuba, Wolkenstein je razvio proračun, kojim se određuje dubina i tvrdoća na toj dubini koji su potrebni za određene uvjete opterećenja boka zuba [6][7]. Rezultirajuća se smična čvrstoća izračunava po formuli:
 $T_{rez} = Sp \cdot 0,4 \cdot p_{cmax} / kp/mm^2$

Sp...faktor sigurnosti koji se za zupčanike od čelika za cementiranje uzima 1,7 do 1,9.

P_o max...maksimalni specifični pritisak po Hertz-u.
Konstanta 0,4 osim smičnog naprezanja obuhvaća još i dodatna
naprezanja koja nastaju uslijed trenja.

Iz smične se čvrstoće izračuna potrebna vlačna čvrstoća množe-
njem s faktorom $\frac{G_m}{T_{din}}$ koji za legirane čelike za cementiranje
iznosi 2,2 do 2,4, a iz čvrstoće se dalje izračuna potrebna
tvrdoća, izražena na pr.po Vickersu na osnovu poznatih odnosa.

Dubina na kojoj još treba postići potrebnu tvrdoću, izračunava-
se po formuli: $T = \frac{Sp \cdot P_o \text{ max} \cdot Q_m}{7800}$

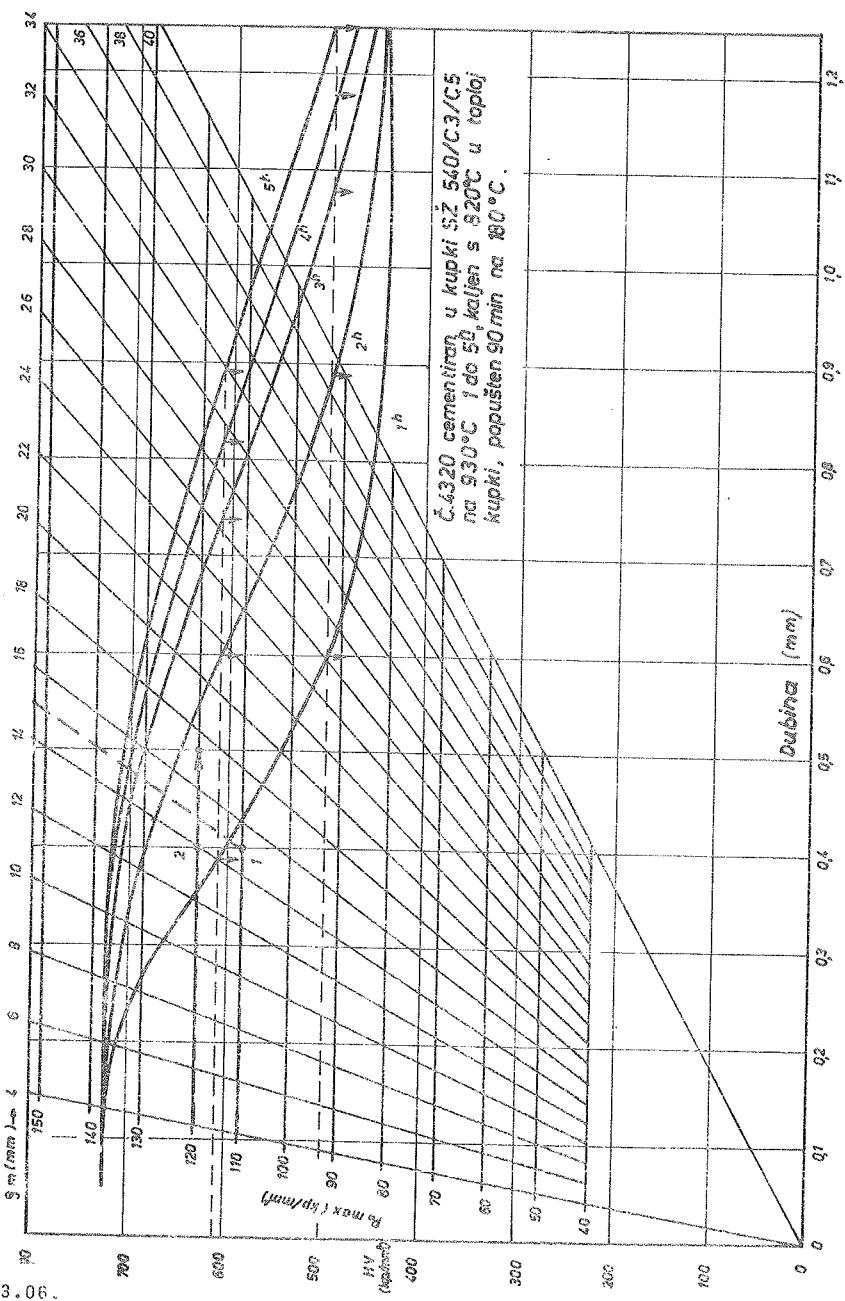
Pored već ranije korištenih vrijednosti Sp i P_o max u formuli
je i Q_m , koji odgovara srednjem radiusu zakrivljenja boka zuba.
Tako dobivene vrijednosti tvrdoće i njen položaj ispod površine
boka zuba /dubina/ uporedjuju se s dijagramima toka tvrdoće po
dubini i određuje potrebna dubina cementiranog sloja po odabra-
nom kriteriju. Navedeni proračuni pored poznatih odnosa koje je
postavio Föppl, temelje se i na upotrebi jednog iskustvenog fak-
tora sigurnosti Sp , kojim su obuhvaćeni i faktori, kojih je
utjecajnost nemoguće direktno računski izraziti. U automobilskoj
se industriji gotovo do maksimuma iskorištavaju mehanička svoj-
stva zupčanika i zato se proračun boka zuba temelji na rezulta-
tima simuliranih ispitivanja pod uvjetima, koji su identični
eksplatacionim [8]. Takvim ispitivanjima dobivaju se krivulje
maksimalnih Hertz-ovih pritisaka kod različitih brojeva ciklusa
opterećenja, koje izdrže zupčanici, koji su pod različitim uvje-
tim cementirani i kaljeni, koji imaju različitu kvalitetu obr-
ade površine i koji se podmazuju različitim kvalitetama ulja.
Dobiveni se podaci o izdržljivosti boka zuba uporedjuju s dij-
gramima snimljenih stvarnih opterećenja zuba zupčanika u eksplo-
ataciji. Na osnovu toga određuje se izbor optimalne vrste če-
lika, uvjeti cementiranja i kaljenja, kvaliteta površine i uvje-
ti podmazivanja. Ovakav postupak je najispravniji, međutim ri-
jetki su proizvodjači zupčanika, koji imaju mogućnost snimanja
stvarnih opterećenja i provodjenja potrebnih ispitivanja. Pro-
izvodjači zupčanika u općoj strojogradnji nisu u mogućnosti bar
za sada provoditi ovakav postupak određivanja optimalnih uvjeta
toplinske obrade zupčanika, pa je zato ranije opisani postupak
proračunavanja za njih prikidan s tim da se ostali utjecaji
obuhvate iskustvenim faktorom sigurnosti.
M. 13.04.

3. Pojednostavljenje proračuna

U svrhu odredjivanja optimalnih režima toplinske obrade za veliki broj zupčanika, cijeli smo postupak pojednostavnili izradom prikladnih diagrama, iz kojih se za odgovarajuće specifične pritiske, srednje radiuse zakrivljenja i faktor sigurnosti 1,9 dobiju potrebne vrijednosti tvrdoće i dubine. /sl.2 na str.6/. U isti su diagram unešene krivulje tvrdoća za čelik Č.4320 koji je cementiran 1 do 5 sati, kaljen i popušten. Cementiranje je vršeno u kupki s potencijalom 0,90%C, pa su dobivene vrijednosti najniže koje se mogu postići kod uobičajenog održavanja kupke. Mjerenja su izvršena na uzorcima promjera 10 mm s HV1, a zatim rezultati prepočinuti na makro-tvrdoću. Upotreba ovih diagrama prikazana je na primjerima 1 i 2. Kod primjera 1 za $P_{o \max} = 110 \text{ kp/mm}^2$ i $Q_m = 15 \text{ mm}$ potrebna je tvrdoća $HV = 585 \text{ kp/mm}^2$ na dubini 0,4 mm što se postiže cementiranjem u trajanju jednog sata i kaljenjem pod opisanim uvjetima. U drugom primjeru za $P_{o \max} = 120 \text{ kp/mm}^2$ i $Q_m = 14 \text{ mm}$ uz dodatak za brušenje 0,1 mm po boku zuba treba nakon cementiranja i kaljenja biti tvrdoća $HV = 630 \text{ kp/mm}^2$ na dubini 0,5 mm, što se sa sigurnošću postiže cementiranjem u trajanju dva sata. Osim odredjivanja optimalnog vremena cementiranja iz dijagrama se mogu očitati i odgovarajuće dubine cementiranog sloja po odabranom kriteriju na primjer $HV = 500 \text{ kp/mm}^2$ ili $HV = 610 \text{ kp/mm}^2$.

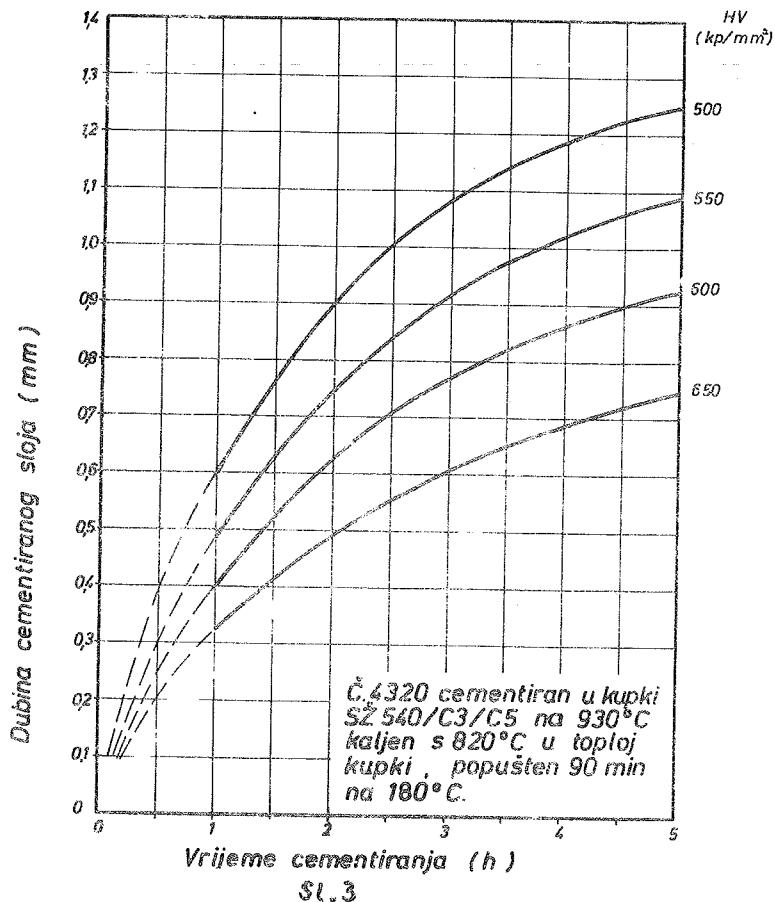
4. Zaključak

Dubina cementiranog sloja je vrlo važna veličina, jer o njoj зависи otpornost boka zuba. Pojam dubine cementiranog sloja treba propisima jednoznačno definirati, jer različito tumačenje istog utječe na i onako nerasčištene odnose kod odredjivanja optimalne toplinske obrade zupčanika od čelika za cementiranje. Primjenom navedenih proračuna i dijagrama, dokazano je, da dubina cementiranog sloja ne može isključivo zavisiti o modulu ozubljenja, nego ona treba da zavisi prvenstveno o specifičnom pritisku i srednjem radiusu zakrivljenja boka zuba. Odredjivanje optimalnih režima cementiranja je potrebno, kako radi postizanja potrebne otpornosti boka zuba, tako i radi smanjenja troškova suviše dugotrajnog cementiranja.



M. 13.06.

Iz dijagrama na slikama 2 i 3 vidi se, da intenzitet cementiranja, a tako i opada kod dugih vremena i da malo smanjenje potrebne dubine cementiranog sloja omogućuje znatno skraćenje vremena cementiranja, a time i smanjenje troškova izrade zupčanika.



5. Literatura

- 1 Winterer K.: Untersuchungen über die Zusammenhänge zwischen Bruchbeanspruchungstiefe, metalographisch gefundener Einsatzhärztetiefe Durferit Hausmitteilungen 27 /1954/ 13-26.
- 2 Thomas A.K.: Die Tragfähigkeit der Zahnräder, str.44.
Carl Hanser Verlag, München 1966.
- 3 Nieman G.: Maschinenelemente II
Springer Verlag, Berlin-Göttingen-Heidelberg 1960.

- 4 Henriot G.: Einfluss der Oberflächenbehandlung auf die Tragfähigkeit den Zahnrädern. Internationaler Peddinghaus Erfahrungsaustausch 1969.
 - 5 Šipetić K.: Zupčanici u praksi I dio, str.53 "Veselin Maslaša" Sarajevo 1953.
 - 6 Wolkenstein: Zur Ermittlung der erforderlichen Härtetiefe an Zahnrädern. Konstruktion -/5 /1968/.
 7. Liščić B.: Termička obrada zupčanika. "Termička obrada čeli-ka" 3 /1969/ 13. "Metalbiro" Zagreb 1969.
 - 8 Brugger H.: Problemi izbora materijala i toplinske obrade u gradnji mjenjača za vozila. Referat na Savjetovanju o to- plinskoj obradi metala 1970. u Zagrebu.
-

M.Stupnišek

Beitrag zur Lösung der Auswahlfragen des optimalen Wärmebehandlungsverfahrens bei der Zahnradherstellung

In dieser Arbeit ist die Frage der Einsatzhärtungstiefemessung an den Zahnradzähnen bearbeitet. Es wird eine Übersicht der verschiedenen Erklärungen dieses Begriffes gegeben, welche Erklärungen die Unklarheiten bei der Bestimmung der zweckmässigsten Einsatzzeit verursachen. Verschiedene diesbezügliche Empfehlungen der ausländischen Fachliteratur werden angeführt und zwar in der Abhängigkeit der Zahnradmodulen. Das Berechnungsverfahren der notwendigen Einsatzhärtungstiefe wird beschrieben und zwar in Verbindung mit der Erscheinung der Scherbeanspruchungen in der Zahnflankentiefe wegen der Einfluss des Hertzschen Druckes. Anhand dieser Berechnung sind Schaubilder ausgearbeitet zwecks der unmittelbarer Bestimmung der zweckmässigsten Einsatzzeiten ohne Berechnung bei dem Salzaufkohlen.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD 1971.

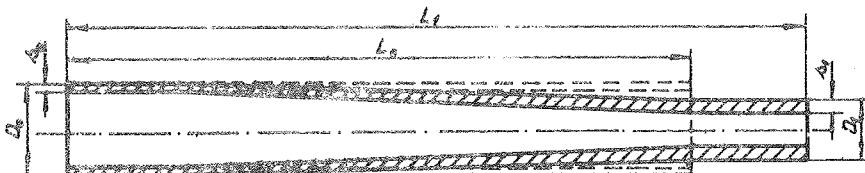
V. Vujović^{x/}

PROMJENA TVRDOĆE I MIKROSTRUKTURE MATERIJALA PRI OBRADI ROTACIONIM KOVANJEM^{xx/}

1. Uvod

Proces rotacionog kovanja u uvjetima potpune hladne deformacije, tj. kad je $T_o < (0,2 \div 0,3) T_n$, gdje je T_o – apsolutna temperatura obrade i T_n – apsolutna temperatura topljenja, stvara promjenu tvrdoće i svojstava plastičnosti metala. Ove pojave su posljedica deformacija i promjena u mikrostrukturi.

Pokusni rotacionog kovanja vršeni su na cjevastim obratcima iz čelika i legure Al Mg Si 1. Ovim postupkom su cilindrični cjevasti oblici reducirani u manji promjer uz povećanje debljine stijenke i dužine.



Slika 1. Promjena oblika rotacionim kovanjem

Komponentne jedinične deformacije u ovom slučaju definirane su slijedećim odnosima:

^{x/}Mr Vlado Vujović, dipl.ing., naučni suradnik Instituta za alatne strojeve, Zagreb Bule Salaja 1.

^{xx/}Saopćenje Instituta za alatne strojeve Zagreb, dio je teme koju sufinancira Republički fond za naučni rad SRH.

- aksijalna $\varepsilon_e = \frac{L_1 - L_0}{L_0}$,
- tangencijalna $\varepsilon_t = \frac{R_1 - R_0}{R_0}$ i
- radijalna $\varepsilon_r = \frac{\Delta_1 - \Delta_0}{\Delta_0}$

Putem geometrijskih mjerena i mjerena tvrdoće dobiveni su podaci iz pokusa o promjeni tvrdoće i veličinama deformacija.

Pored utvrđivanja veze između promjene tvrdoće i tangencijalne deformacije, putem analize određenog broja metalografskih snimaka mikrostrukture u raznim presjecima prije i posle deformacije, učinjen je pokušaj povezivanja svih tih promjena.

2. PROMJENA TVRDOĆE

U tabeli 1 daju se rezultati mjerena tvrdoće na različitim mjernim mjestima i raznim uzorcima.

Mjerno mjesto označeno sa nulom daje podatke o tvrdoći polaznog materijala prije procesa rotacionog kovanja. Ostala mjerna mjesta nose podatke o tvrdoći na različitim stepenima redukcije promjera cjevi, da bi mjerno mjesto 7 dalo podatke o tvrdoći na najmanjem promjeru.

TABELA 1

BR. OBRAĆA ŠIFRA POKUSA		TVRDOĆA Hv 10							
		0	1	2	3	4	5	6	7
		2.0.1.1.1	124	128	130	136	136	146	147
3	"	127	133	136	144	146	149	148	125
10	0.0.1.1.1	105	109	111	117	120	128	136	125
11	"	105	112	113	116	124	134	134	131
12	"	104	109	113	117	117	125	136	132
16	0.0.1.1.1	114	114	114	120	120	128	133	132
17	"	105	115	117	120	122	128	134	136
18	"	107	111	113	118	121	124	129	136
25	0.0.1.1.1	104	106	112	118	118	125	128	138
26	"	105	110	117	121	128	129	135	135
27	"	107	110	125	121	126	131	136	136

Pri ispitivanju ovisnosti promjene tvrdoće o tangencijalnoj deformaciji uzeta je karakteristična veličina $\frac{R}{R_0}$, koja se naziva stepenom redukcije. Odnos $\frac{R}{R_0}$ se direktno dovodi u vezu sa izrazom za tangencijalnu deformaciju. Lako je pokazati da vrijedi izraz

$$\frac{R}{R_0} = \varepsilon_t + 1 \quad . \quad (1)$$

Ispitivanje se vrši putem korelacione analize na taj način da se promatrana ovisnost aproksimira paraboličnom funkcijom, čiji se koeficijenti određuju podacima iz pokusa uz uslov da suma kvadrata odstupanja bude minimalna.

Na temelju korelacione analize dviju slučajnih varijabli (x_i , y_{ij}) dolazi se do sistema jednadžbi

$$\left. \begin{aligned} \sum_j f_{ij} \cdot y_{ij} &= a \cdot \sum_i f_i \cdot x_i^2 + b \cdot \sum_i f_i \cdot x_i + N \cdot c \\ \sum_j f_{ij} \cdot x_i \cdot y_{ij} &= a \cdot \sum_i f_i \cdot x_i^3 + b \cdot \sum_i f_i \cdot x_i^2 + c \cdot \sum_i f_i \cdot x_i \\ \sum_j f_{ij} \cdot x_i^2 \cdot y_{ij} &= a \cdot \sum_i f_i \cdot x_i^4 + b \cdot \sum_i f_i \cdot x_i^3 + c \cdot \sum_i f_i \cdot x_i^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Sistem (2) određuje koeficijente a, b i c parabolične funkcije drugog reda koja glasi

$$Y = a X^2 + b X + c \quad , \quad (3)$$

Funkcija (3), koja ima koeficijente a, b i c odredene sistemom (2), zatovoljava uvjet da je suma kvadrata odstupanja minimalna. U ovom slučaju varijable su $X = \frac{R}{R_0}$ i $y =$ povećanje tvrdoće.

Vrijednosti za izračunavanje varijable x_i uzete su iz dnevnika pokusa kao podaci geometrijskih mjerjenja, dok su podaci za varijablu y_{ij} dati u tabeli 1. U analizu je uključeno 11 izradaka, svaki sa po 6 mjernih mjesta, dakle, 66 podataka. Mjerna mjesta za varijablu x_i i y_{ij} su ista.

Polazni podaci za korelacionu analizu daju se u tabeli 2. To su podaci dobiveni na osnovi mjerjenja. U zaglevlju tabele nalaze se vrijednosti varijable x_i , dok se u njenoj unutrašnjosti nalaze, za svaku vrijednost varijable x_i , 11 vrijednosti varijable y_{ij} – povećanje tvrdoće.

TABELA 2

ŠIFRA POKUSA	$\frac{BR.}{X_i}$	0,900	0,816	0,743	0,678	0,593	0,525
Δ CI A1	2	4	6	12	12	22	33
"	3	6	8	14	18	22	19
Δ CI B1	10	4	6	12	16	23	21
"	11	7	9	11	19	29	29
"	12	8	10	16	18	24	35
Δ CI A1	16	0	0	6	6	14	19
"	17	10	12	15	17	23	29
"	18	4	6	12	14	17	22
Δ CI B1	25	2	8	14	14	24	24
"	26	5	12	16	23	23	30
"	27	3	10	14	19	24	29

Podaci u tabeli 2 nisu pogodni za daljnju statističku obradu, radi čega se oni sreduju u tabeli 3 u razrade i po frekvencijama. Usvojena je širina razreda 4. Prema rasponu kretanja varijable y_{ij} , u tabeli se nalazi ukupno devet razreda za vrijednosti od 0 do 36.

TABELA 3

\diagdown	0,900	0,816	0,743	0,678	0,593	0,525
0 - 4	6	1				
4 - 8	4	6	1	1		
8 - 12	1	3	4	1		
12 - 16			6	3	1	
16 - 20		1		5	1	2
20 - 24				1	8	3
28 - 32					1	4
32 - 36						2

Potrebne sume za rješenje sistema jednadžbi (2) izračunavaju se tabelarno pomoću tabele 4. Na temelju podataka iz ove tabele sistem (2) dobiva konkretni oblik

$$\left. \begin{array}{l} 960,0 = 34,26 \cdot a + 46,78 \cdot b + 66,00 \cdot c \\ 612,2 = 25,84 \cdot a + 34,26 \cdot b + 46,78 \cdot c \\ 408,2 = 20,04 \cdot a + 25,84 \cdot b + 34,26 \cdot c \end{array} \right\} \quad (4)$$

Rješenje sistema (4) izvodi se pomoću determinanti, pri čemu je
M.14.04.

TABELA 4

$X_i \backslash Y_j$	0,900	0,816	0,743	0,678	0,593	0,523	f_{ij}	$\sum f_{ij} \cdot X_i$	$\sum f_{ij} \cdot Y_j$	$\sum f_{ij}$	
0 - 4	2	6	1				7	6,816	14	28	
4 - 8	6	4	6	1	1		12	11,717	72	432	
8 - 12	10	1	3	4	1		9	6,988	90	900	
12 - 16	14			6	3	1	10	7,131	140	1960	
16 - 20	18		1		5	1	2	9	5,033	162	2316
20 - 24	22				1	8	3	12	6,937	264	5808
28 - 32	30						4	5	2,693	150	4500
32 - 36	34					1	2	1,050	72	2312	
f_i	11	11	11	11	11	11	66			18888	
$\sum f_{ij} \cdot Y_j$	46	86	130	170	235	290	360				
$f_i \cdot X_i$	9,80	8,96	8,46	7,46	6,52	5,78	46,78				
$f_i \cdot X_i^2$	890	7,96	6,05	5,08	3,86	3,03	34,26				
$f_i \cdot X_i^3$	8,00	6,02	4,50	3,43	2,29	1,60	25,84				
$f_i \cdot X_i^4$	7,26	4,92	3,34	2,33	1,36	0,93	20,04				
$X_i \cdot \sum f_{ij} \cdot Y_j$	44,40	70,20	36,60	45,00	14,00	152,00	612,20				
$X_i^2 \cdot \sum f_{ij} \cdot Y_j$	37,30	57,50	74,60	59,20	83,60	60,60	408,80				
\bar{Y}_i	4,18	7,84	11,82	13,45	21,62	28,40					

$$\Delta_s = \begin{vmatrix} 34,26 & 46,78 & 66,00 \\ 25,84 & 34,26 & 46,18 \\ 20,04 & 25,84 & 34,26 \end{vmatrix} = -4,23; \Delta_a = \begin{vmatrix} 960,0 & 46,78 & 66,00 \\ 612,2 & 34,26 & 46,78 \\ 408,2 & 25,84 & 34,26 \end{vmatrix} = -451,27$$

$$\Delta_b = \begin{vmatrix} 34,26 & 960,0 & 66,00 \\ 25,84 & 612,2 & 46,78 \\ 20,04 & 408,2 & 34,26 \end{vmatrix} = 598,65; \Delta_c = \begin{vmatrix} 34,26 & 46,78 & 960,0 \\ 25,84 & 34,26 & 612,2 \\ 20,04 & 25,84 & 408,2 \end{vmatrix} = -464,86$$

odakle izlazi

$$a = \frac{\Delta a}{\Delta s} = 106,8; b = \frac{\Delta b}{\Delta s} = -213 \quad i \quad c = \frac{\Delta c}{\Delta s} = 110,$$

pa jednadžba (3) prelazi u oblik

$$Y = 106,8 \cdot X^2 - 213 X + 110. \quad (5)$$

Parabola (5) zadovoljava uvjet da je suma kvadrata odstupanja ove funkcije od rezultata dobivenih pokusom minimalna. Radi grafičkog prikaza izračunavaju se karakteristične tačke prema (5) i daju u tabeli 5.

Tabela 5

X	0,900	0,816	0,743	0,678	0,597	0,525
Y	4,60	7,70	10,40	15,00	21,00	24,40

Na slici 2 grafički je prikazana funkcija (5) punom linijom, a crtano je prikazano kretanje aritmetičkih sredina povećanja tvrdoće. Račun je izведен samo za područje $0,25 < X < 0,90$ i strogo uvezši ne bi se smjela krivulja produžiti do $X = 1$, jer u korelacioni račun nije uzimana ta vrijednost. Polazna tvrdoća iznosi 109,5 HB, što predstavlja aritmetičku sredinu rezultata mjerjenja na obratcima prije rotacionog kovanja. Trebalo bi i ovo variranje unjeti u korelacioni račun, ali je radi pojednostavljenja ispušteno. Ipak krivulja je aproksimativno produžena do vrijednosti $X = 1$, jer je normalno da je polazno stanje povećanja tvrdoće $Y_0 = 0$.

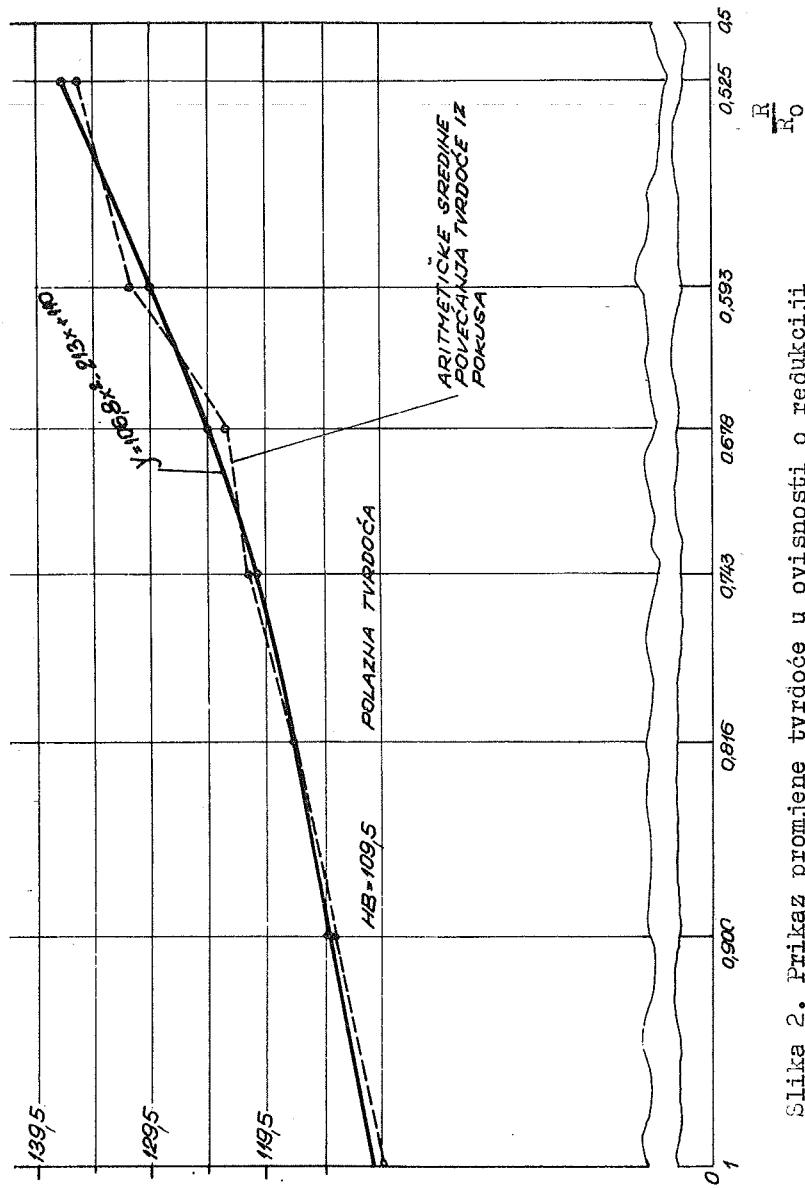
U cilju utvrđivanja stupnja ovisnosti varijable y od varijable x, tj. stupnja stohastičke veze, izračunava se indeks korelacije R_{xy} . U tu svrhu koriste se vrijednosti ordinata parabole y_i , koje su izračunate za svako razmatrano x_i , a zatim produkti $f_i \cdot y_i$ i $f_i \cdot y_i^2$ da bi se izračunale varijance G_y i G_{y^2} , jer je

$$R_{xy} = \frac{G_y}{G_{y^2}}. \quad (6)$$

Podaci za izračunavanje varijanci daju se u tabeli 6.

Tabela 6

x_i	y_i	f_i	$f_i y_i$	$f_i y_i^2$
0,900	4,60	11	50,60	232,76
0,816	7,70	11	84,70	662,19
0,743	10,40	11	114,40	1189,76
0,678	15,00	11	165,00	2475,00
0,593	21,00	11	231,00	4851,00
0,525	27,40	11	301,40	8258,36
Σ			947,10	17669,07



Slika 2. Prikaz promjene tvrdoće u ovisnosti o redukciji
promjera

M. 14. 07.

Iz tabele 6 izračunavaju se

$$Y = \frac{1}{N} \sum_i f_i Y_i = 44,34; \quad \sigma_Y^2 = \frac{1}{N} \sum_i f_i Y_i^2 - \bar{Y}^2 = 61,860$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{N} \sum_i f_i Y_{ij} = 44,55; \quad \sigma_{\bar{Y}}^2 = \frac{1}{N} \sum_i f_i Y_{ij}^2 - \bar{Y}^2 = 74,10.$$

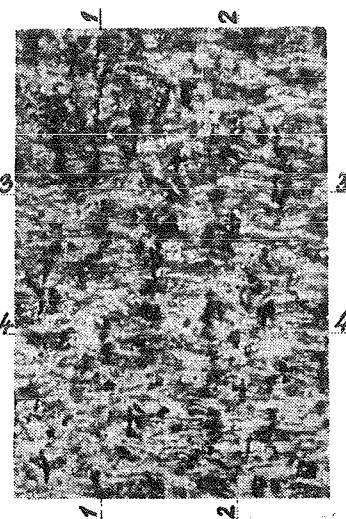
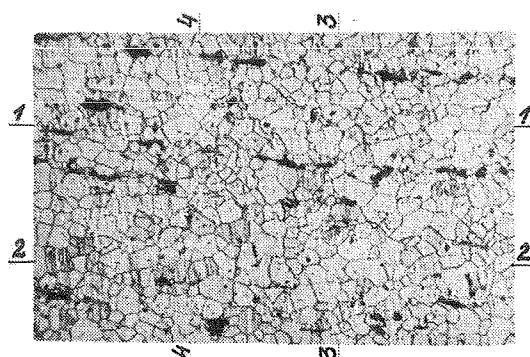
Na temelju ovoga dobiva se traženi indeks korelacije

$$R_{xy} = \sqrt{\frac{\sigma_Y^2}{\sigma_{\bar{Y}}^2}} = \sqrt{0,832} = 0,912.$$

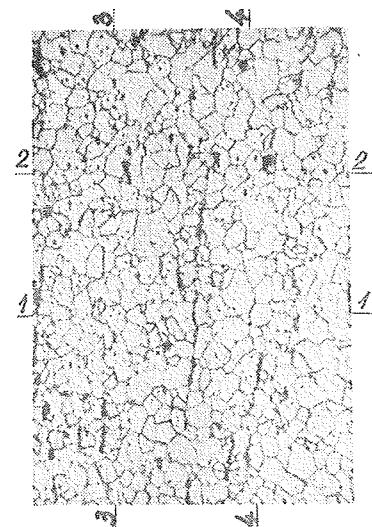
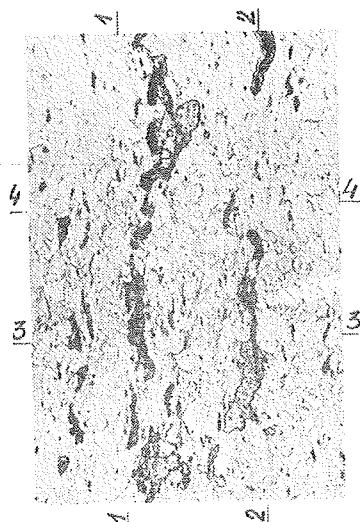
Prema vrijednosti indeksa korelacije zaključuje se da je stupanj stohastičke veze između varijabli visok i blizak funkcionalnoj ovisnosti prikazanom parabolom, jer je iz statističke teorije poznato, ukoliko je indeks korelacije bliži jedinici, to je veza između varijabli "čvršća", a za vrijednost 1 ta veza je funkcionalna, odnosno ako je $R_{xy} = 0$ varijable su nezavisne. Drugim rečima ovisnost povećanja tvrdoće o redukciji promjera cijevi bliska je funkciji (5).

3. Promjena mikrostruktture

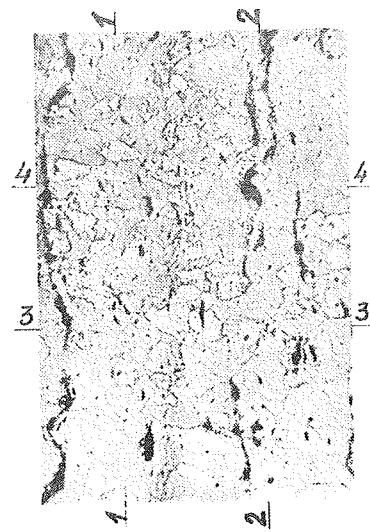
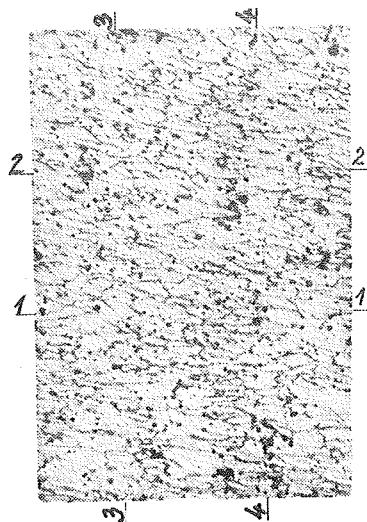
Promjena mikrostrukture ustanavljava se sa metalografskim snimka. Uzorci na kojima su izrađeni metalografski snimci uzeti su posebno iz nedeformiranog dijela (slika 3, 6 i 9) i iz deformiranog dijela sa radijalnog presjeka (slika 4, 7 i 10) i aksialnog presjeka (slika 5 i 8).



Slika 3.Uzorak 11, nedeformirano Slika 4.Uzorak 11 deformirano,
radijalni presjek



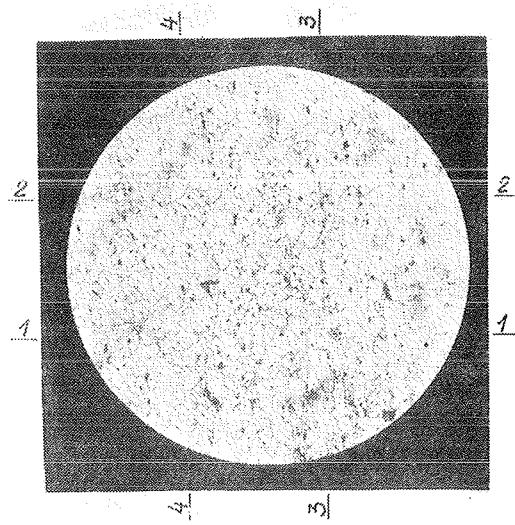
Slika 5. Uzorak 11, deformirano Slika 6.Uzorak 12, nedeformi
aksijalni presjek rano



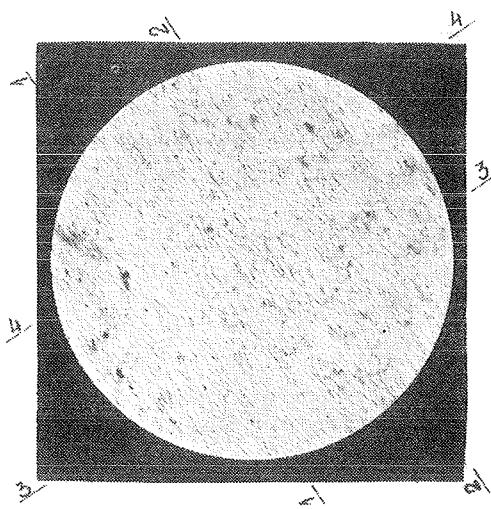
Slika 7. Uzorak 12, deformirano radijalni presjek

Slika 8. Uzorak 12, deformirano aksijalni pre-
sjek

Metalografski snimci prikazani na slikama 3 - 8 snimljeni su
na metalografskom mikroskopu sa povećanjem 100x.



Slika 10. Uzorak Lj, ne deformirano.
Slika y. Uzorak Lj, ne deformirano.
Povećanje 240x



Slika 10. Uzorak Lj, deformirano.
Slika z. Uzorak Lj, deformirano.
povećanje 240x

Na metalografskim snimcima vršena su mjerena veličina kristalnih zrna u dva ortogonalna pravca prema oznakama na slikama. Izvršeno je mjerjenje u četiri pravca na svakom metalografskom snimku, dakle, ukupno u 32 položaja. Rezultati mjerjenja veličine kristalnih zrna daju se u tabeli 6. nakon statističkog sredivanja i obrade.

TABELA 6.

MATERIJAL	PRAVAC MJERENJA	SREDNJA VRIJEDNOST VEĆINE ZRNA [μm]		VARIJANCA		STANDARDNA DEVIJACIJA		KOEFICIJENT VARIJACIJE	
		PRIJE OBRADE	NAKON OBRADE	PRIJE OBRADE	NAKON OBRADE	PRIJE OBRADE	NAKON OBRADE	PRIJE OBRADE	NAKON OBRADE
Al Mg Si 1	TANGENCIJALNI	2,620	3,940	1,290	5,000	1,135	2,230	0,430	0,566
	RADIJALNI	2,525	1,360	2,870	0,820	1,691	0,905	0,670	0,665
	AKSIJALNI	—	3,195	—	3,800	—	1,950	—	0,612
Al Mg Si 1	TANGENCIJALNI	2,200	5,320	0,830	7,400	0,910	2,720	0,414	0,512
	RADIJALNI	1,975	1,571	1,190	0,740	1,080	0,860	0,554	0,546

Napominje se da podaci u tabeli 6 reprezentiraju 751 mjerjenje veličine zrna (na mjerenim pravcima nalazi se ukupno 751 kristalno zrno). Iz navedenih rezultata uočavaju se bitne promjene u veličini kristalnih zrna nakon obrade rotacionim kovanjem. Dok su srednje vrijednosti kristalnih zrna prije rotacionog kovanja relativno ujednačene pri mjerjenjima u raznim pravcima i kod obe vrste materijala - kreću se između 19,75 i 26,20 μm , nakon deformacije nastaju bitne razlike u raznim pravcima i površinama materijala. Kod čelika je srednja veličina zrna između 13,60 i 39,40 μm , a kod legure Al Mg Si 1 između 15,71 i 53,20 μm . Nastaje promjena i površina kristalnih zrna.

Sumarni rezultati mjerjenja promjena mikrostrukture i tvrdoće uz uključivanje i jediničnih makro deformacija daju se u tabeli 7.

TABELA 17.

ČELIK							
PROMJENA DULJINE ZRNA			STEPEN DEFORMACIJE	PROMJENA TVRDOĆE ČE		PROMJENA POVRŠINE	
PRAVAC	(μm)	%	(MAKRO) [%]	HV	%	POPREČNI PR.	AKSIJALNI PR.
AKSIJ.	5,75	22,00	7,40				
RADIJ.	11,65	46,20	103,25	28	27,2	-126 μm^2 ; 19 %	+114 μm^2 ; 17,2 %
TANG.	13,20	50,40	48,4				

LEGURA AlMgSi 1							
AKSIJ.	-	-	7,12				
RADIJ.	4,04	20	135,00	17,9	30,5		
TANG.	33,2	150	48,40			401 μm^2 ili 92,3 %	

4. Zaključak

Proces hladnog rotacionog kovanja izaziva bitne promjene u metalu, kako mehaničkih svojstava tako i mikrostrukture. Očvršćavanje cjevastih izradaka pri rotacionom kovanju može se neposredno povezati sa redukcijom vanjskog promjera. U razmatranom slučaju pri redukciji promjera za cca 50%, povećanje tvrdoće iznosi cca 25%. Gubljenje svojstava plastičnosti uslijed hladne deformacije predstavlja ograničavajući faktor ovog procesa.

Nazire se neka povezanost između očvršćavanja makrodeformacija i promjena mikrostrukture. U vezi toga dati su samo rezultati nekih mjerjenja, dok su za utvrđivanje međusobnih veza i utjecaja tih pojava nužna daljnja istraživanja.

Literatura

1. Ljubvin V.I., Obrabotka djetaljej rotacionim obžatijem, Moskva 1959.
2. Vuk Č., Obrabotka metalov bez snjatija strana, Moskva 1965.
3. Cottrell A.H. Dislocations and Plastic Flow in Crystals, Oxford 1958.
4. Rogers A. The Nature of Metals, Cambridge 1965.
5. Musafija dr.B. Obrada metala plastičnom deformacijom I dio, Sarajevo 1965.

6. Pavlić mr I. Statistička teorija i primjena, Zagreb 1965.
7. A. Hald, Statistical Theory with Engineering Applications, New York, 1962.

Anderung der Härte und Mikrostruktur des Materials beim Rundkneten:

Durch Versuche beim Rundkneten von Rohren sind Härten in Abhängigkeit von der Reduktion der Aussendurchmesser ermittelt worden.

Die Korrelationsanalyse ergab den Grad des stochastischen Zusammenhangs zwischen diesen Variablen Grössen. Die metallographischen Aufnahmen zeigen die Mikrostruktur-änderungen. Messungen der Grösse der Kristalkörner auf Aufnahmen in undeformiertem und deformiertem Zustand geben Angaben der Korngrösse in tangentialer, radialer und axialer Richetung. Durch weitere Messungen sind Deformationen in Diesen Richetungen ermittelt worden. Abschiesslich sind zusammenfassend Angaben der Änderung von Härte, Mikrostruktur und Makrodeformation erhalten worden.

VII. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA
F.Vodopivec, L.Kosec, R.Brifah in B.Wolf^x

PREISKAVA VZROKOV POŠKODB NA LOPATICAH PARNE TURBINE^{xx}

1. Uvod

V modernih napravah za proizvodnjo energije morajo jekleni deli prenašati velike toplotne in mehanične obremenitve. Zato sta pravilna izbira in ravnanje z jeklenim osnovnim pogoja za trajno in zanesljivo obratovanje naprave. Investitorji se zavedajo važnosti jeklenega gradiva, zato poskrbijo, da se kontrolirajo mehanske lastnosti, homogenost in videz polproizvodov (npr.: cevi, pločevin, ulitkov itd.) in varjenje, zgodi pa se, da se pre malo pazi na druge posege, ki lahko ob nestrokovnem delu slabo vplivajo na delovne lastnosti jeklenih delov. Tem spregledom je vzrok lahko nepoznavanje morebitnih škodljivih vplivov takih posegov, lahko pa tudi prevečeno zaupanje dobavitelju opreme, ki je navadno po pogodbah dolžan skrbeti za kakovost gradiva. Ko se kmalu po začetku obratovanja pojavijo napake in pride do zaustavitev se da s primernimi metalurškimi preiskavami dokazati krivda dobavitelja opreme, na osnovi ekspertiz se da tudi izterjeti stroške za popravila in zamenjavo slabih delov, praktično nikdar pa se ne zgodi, da bi dobavitelj plačal tudi izgubljeno proizvodnjo. Zato končni izračun pokaže, da je investitor na izgubi za mnogo več, kot bi znašali stroški za to, da bi med gradnjo usposobljena inštitucija ne samo kontro lirala mehanske lastnosti gradiva in videz polproizvodov ter postopek varjenja, ampak pazila tudi, da drugi navidezno manj važni posegi ne bi imeli škodljivih posledic za delovne lastnosti gradiva.

Opisali bomo primer poškodb na zadnji stopnji nizkotlačnega dela parne turbine neke naše termocentrale in pokazali kako je spajkanje pokvarilo dobro jeklo.

2. Opis poškodbe in mehanične preiskave jekla

Parna turbina je bila ustavljenata zaradi prevelikih vibracij. Pri pregledu se je opazilo, da se na številnih lopaticah nizkotlačnega dela ob

^x Dr.Franc Vodopivec, dipl.ing; mag.Ladislav Kosec, dipl.ing;
Roman Brifah, dipl.ing. in Bogomir Wolf, dipl.ing. - samostojni
raziskovalci

^{xx} Prispevek iz Metalurškega inštituta v Ljubljani

stabilizacijskih čepih razpoke pravokotno na os lopatice (slika 1). Potrebno je bilo dognati naravo in poreklo teh napak. Po podatkih iz strokovne literature se take lopatice izdelujejo iz legiranega kromovega jekla, ki ima po JUS standardih označbo Č.4171, v katalogu naših železarn pa ima oznako Prokron 2, po DIN pa oznako X15Cr13. Predpisi zahtevajo, da ima to jeklo 0,12 do 0,20 % C, 12-14 % Cr in standardne vsebnosti drugih legirnih elementov in nečistoč. Kemijska analiza je pokazala, da so lopatice iz jekla z 0,20 % C in 13,3 % Cr, to je da sestava ustreza predpisom, pri čemer je vsebnost ogljika na zgornji meji, kar pomeni, da je jeklo že precej kaljivo. Vzorci iz treh različnih lopatic so pokazali naslednje poprečje mehanskih lastnosti: trdnost $76,8 \text{ kp/mm}^2$, meja plastičnosti $60,8 \text{ kp/mm}^2$, raztezek delta₅ 18 %, kontrakcija 64 % in žilavost v vzdolžni smeri $7,6 \text{ kp/cm}^2$. Predpisane lastnosti so: trdnost $70-85 \text{ kp/mm}^2$, meja plastičnosti najmanj 50 kp/mm^2 , raztezek delta₅ najmanj 10 %, kontrakcija najmanj 55 % in vzdolžna žilavost 8 kp/cm^2 . Kljub temu, da je žilavost nekoliko pod predpisano vrednostjo, smo smatrali, da je jeklo v redu in da pomankljive mehanske lastnosti ne morejo biti razlog za pojav razpok.

Poprečna trdota, poprečje zelo številnih meritev na petih lopaticah, je bila 227 HV 10, dovoljeni interval je 190-240 HV. Na dveh lopaticah smo izmerili trdoto po celi površini. Ta preizkus je pokazal, da je trdota po vsej lopatici precej enakomerna, razen ob čepih, z ali brez razpok. Tu je merjenje trdote po bolj gosti kvadratni mreži pokazalo močno lokalno povečanje trdote (slika 2). V primerjavi s trdoto preostalega dela lopatice je bilo povečanje trdote mestoma večje od 100 %.

Jedkanje je pokazalo, da je na mestu povečane trdote makrostruktura jekla drugačna od makrostrukture normalnega dela lopatice. To polje drugačne makrostrukture se je pokazalo pri vseh čepih približno na istem mestu, razlikovalo pa se je po velikosti.

3. Metalografska in mikrofaktografksa preiskava

Iz poškodovanih lopatic in iz neuporabljenih rezervnih lopatic smo izrezali vzorce za mikroskopsko preiskavo na različnih značilnih mestih. Dognali smo, da ima jeklo malo vključkov in mikrostrukturo iz popuščnega martenzita, ki je na tanjših presekih nekoliko bolj fin kot na debelih (slika 3).

Mikrostruktura na trših poljih ob čepih pa je bistveno drugačna in je sestavljena iz drobnozrnatega kalilnega martenzita, ki ima ob kristalnih mejah bolj ali manj razvito karbidno mrežo (sliki 4 in 5). V mikroskopu se je jasno videlo, da potekajo glavna razpoka in njene stranske veje prav po karbidni mreži.

Taka mikrostruktura, kalilni martenzit in karbidna mreža, je zelo krhkka, je metalurško nedopustna in očiten dokaz, da je nepravilno ravnanje pokvarilo spočetka dobro jeklo. Taka struktura lahko nastane samo, če jeklo ogrevamo pri dovolj visoki temperaturi dovolj dolgo, da pride do transformacije martenzita in karbidov v avstenit in ga nato počasi ohlajamo ali pa zadržujemo pri nekoliko nižji temperaturi, da nastane karbidna mreža zaradi zmanjšane topnosti ogljika, nato pa jeklo ohladimo dovolj hitro, da pri ohlajanju nastane fino zrnati kalilni martenzit. Po faznem diagramu Fe-C-Cr je za jeklo Prokron 2 pričakovati premeno alfa-gama pri temperaturah med 850-900 °C, praktični preizkus na vzorecih jekla, izrezanih iz lopatic, pa je pokazal, da nastane karbidna mreža, če se jeklo počasi ohlaja v intervalu 800-850 °C. To se ujema s preje omenjenim faznim diagramom, ki kaže, da je v tem temperaturnem intervalu trifazno področje obstojnosti ferita, avstenita in karbidov. Gotovo je zato, da je nastala karbidna mreža zaradi zadrževanja jekla približno v tem temperaturnem intervalu.

4. Analiza eksperimentalnih podatkov

Z metalografskimi preiskavami in merjenjem trdote je nedvomno dokazano, da je pri levanju čepov na lopatice prišlo do nedopustnega lokalnega previsekga segrevanja jekla, kar je imelo za posledico nastanek krhkke martenzitne-karbidne mikrostrukture. To pa je zvezano še z enim neprijetnim pojavom. Lokalno segrevanje in ohlajanje in nastanek martenzita povzročijo zaradi volumskih sprememb močne notranje napetosti. S pomočjo merilnih trakov, je bilo eksperimentalno ugotovljeno, da so v zaletani nerezpokani lopatici ob robu polja temičnega vpliva natezna notranje napetosti. Ob robu lopatice, kjer so bile razpoke in približno v osi lopatice, so bile izmerjene največje napetosti 14,3 kp/mm², na novi lopatici pa na istem mestu in na isti smeri pa le 2,9 kp/mm².

Lahko upravičeno predpostavimo, da so napetosti v mikroskopskem merilu še večje, saj volumske spremembe zaradi lokalnega ogrevanja, ohlajanja in transformacije, lahko povzročijo notranje napetosti, ki presegajo mejo plastičnosti jekla, ali pa celo presegajo njegovo trdnost, dokaz za to so kalilne razpoke.

Vse to kaže, da so razpoke nastale zato, ker je zaradi nepazljivega spajkanja čepov prišlo istočasno do nastanka velikih notranjih napetosti in krhkke mikrostrukturi. Pojavilo pa se je vprašanje, kdaj so razpoke nastale, ali so nastale v praktično polni velikosti naenkrat nekdaj med obratovanjem turbine ali pa so se počasi širile iz začetne mikrorazpoke zaradi vibracij v obremenitvi turbine med obratovanjem in so zato utrujenostnega porekla. Na prelomnih površinah ni bilo makroskopskih značilnosti na osnovi katerih bi lahko opredelili način širjenja razpok in dognali njihovo poreklo. Zato smo na prelomnih površinah napravili preiskavo z elektronskim mikroskopom po mikrofraktoografski metodi. Po tej metodi je mogoče na osnovi mikroskopskih značilnosti zagotovo opredeliti način širjenja razpoke in s tem njeno naravo. To je neveda mogoče le v primeru, če korozija prelomnih površin ni preveč poškodovala. Tega se ni bilo treba bati, ker so lopatice iz nerjavnega jekla in so prišle v stik le z vodo in vodno paro. Z zaporednimi odtisi v zmehčani redoni so prelomno površino očistili, nato pa pripravili indirektne ogljikove replike. Opazovanje v elektronskem mikroskopu je pokazalo na prelomni površini na posameznih mestih periodičnost v topologiji preloma, kar je značilen znak, da je razpoka nastala s postopnim širjenjem, t.j., da je utrujenostnega porekla.

5. Sklep

Na osnovi opisanih rezultatov preiskave smo lahko z gotovostjo postavili naslednji sklep: Nepravilno ogrevanje pri spajkanju čepov je lokalno pokvarilo jeklo z dobrimi začetnimi lastnostmi in ustvarilo notranje napetosti ter krhkko mikrostrukturo. Na posameznih mestih, kjer so bile notranje napetosti največje, so se zato pojavile pri ohlajanju po lotanju ali pa zaradi vibracij med obratovanjem turbine drobne mikrorazpake. Med tem obratovanjem so se zaradi omenjenih vibracij razpoke širile po mehanizmu, ki je značilen za širjenje razpok utrujenostnega porekla.

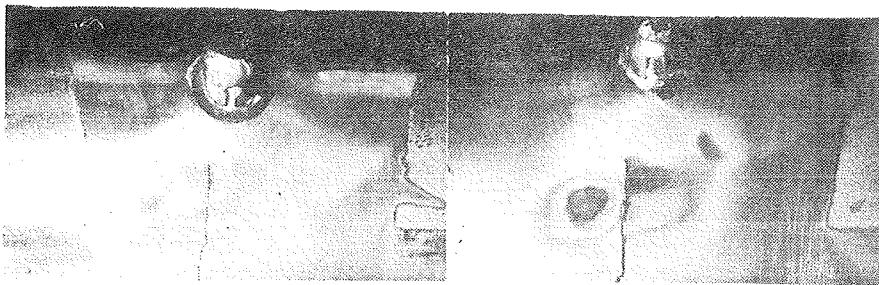
Opisanih poškodb jekla Č.4171 ni mogoče popraviti z nobenim drugim posegom kot s ponovno termično obdelavo lopatic, kar je bilo nemogoče napraviti. Zato je bilo potrebno vse lopatice, ki so bile od spajkanja poškodovane, zamenjati z novimi in za lotanje uporabiti trdo spajko z nižjim tališčem, ki ne zahteva, da se jeklo segreje na tako visoko temperaturo, da lahko pride do alfa-gama premene.

Rezume

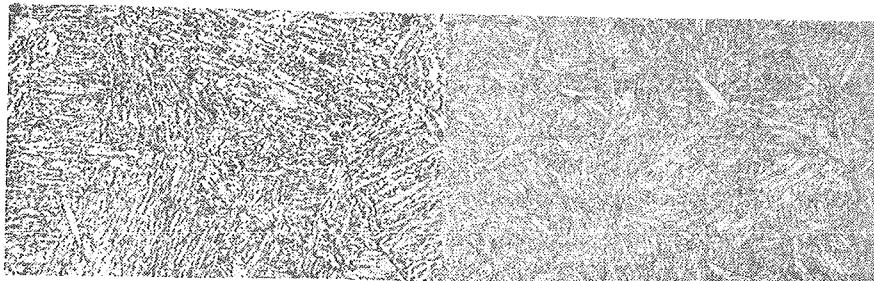
Ob zaledanih čepih so se pri pregledu opazile razpoke. Preiskava je pokazala, da ustrezajo kemična sestava in mehanske lastnosti predpisom za jeklo Č.4171, iz katerega so bile lopatice izdelane. Pač pa se je pokazalo, da je na večjem ali manjšem področju ob zaledanih čepih trdota jekla anormalno povečana, začetna normalna mikrostruktura iz popuščenega martenzita, pa spremenjena v mikrostrukturo iz drobnega kalilnega martenzita in karbidne mršče po mejah kristalnih zrn. S pomočjo merilnih trakov je bilo ugotovljeno, da so precejšnje notranje napetosti tangencialno na področje spremenjene mikrostrukture in povečane trdote in približno v smeri osi lopatice. Na osnovi vsega tega je bilo mogoče sklepati, da je vzrok nastanka razpok poškodba jekla zaradi previsoke temperature lokalnega ogrevanja pri lotanju čepov na lopatice. S pomočjo mikrofraktografije smo dalje dognali, da razpoke niso nastale naenkrat v registrirani velikosti, ampak, da so se iz začetne mikrorazpoke širile po mehanizmu, ki je značilen za širjenje razpok pri menjajočih se obremenitvah.

Analyse des origines des fissures sur des ailettes d'une turbine à vapeur

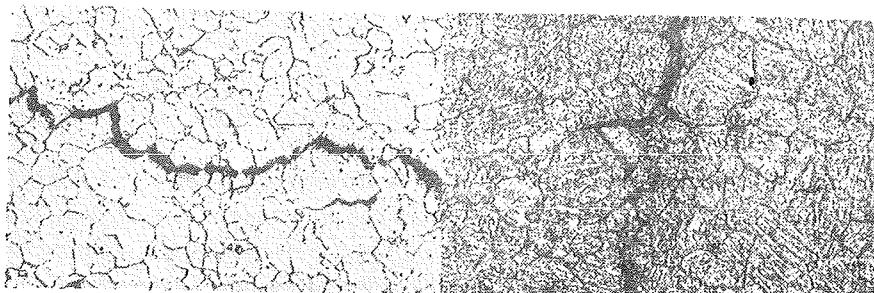
Des résultats d'essais mécaniques, d'examens micrographiques et microfractographiques ainsi que des mesures de tensions internes montrent que l'origine des fissures est le rechauffage local de l'acier lors du brasage des éléments de stabilisation. Ce chauffagé a formé une microstructure en martenmite et réseau de carbure, ainsi que des tensions internes importantes.



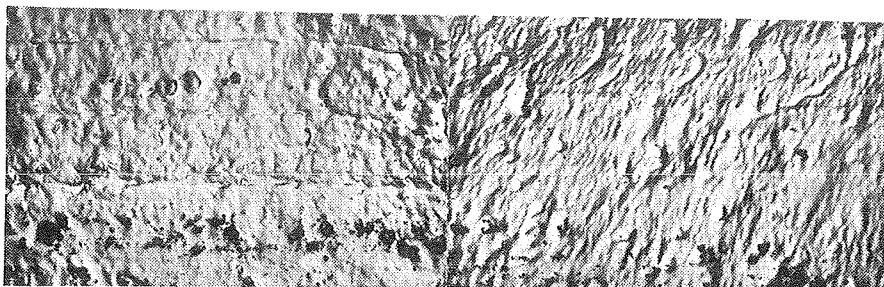
Slika 1. x0,7. Makroskopsko jedkano. ($\text{FeCl}_3+\text{HCl+ethyl.alk.}$). Razpoke ob drugem čepu dveh lopatic



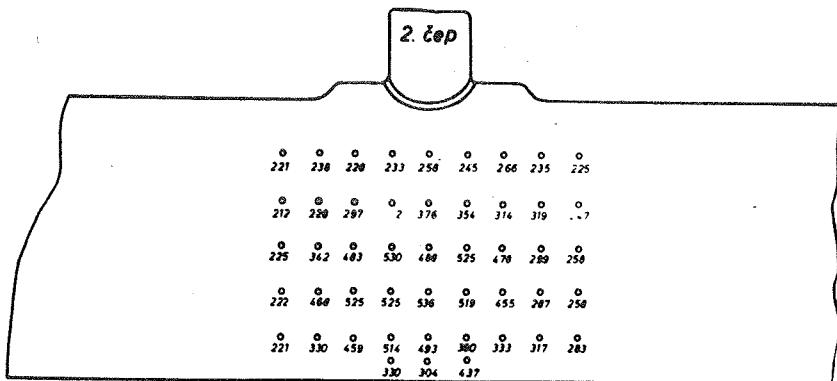
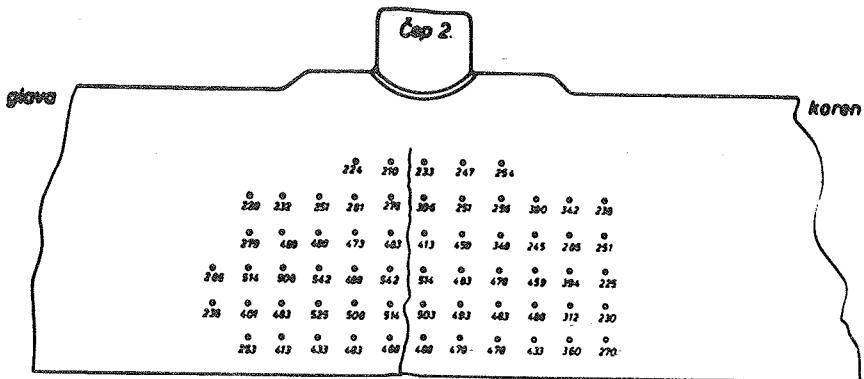
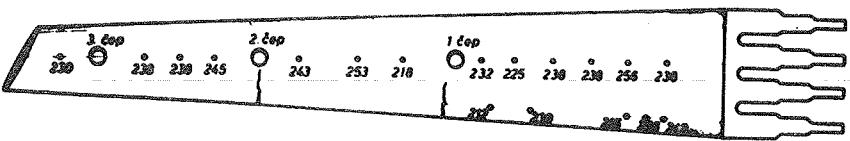
Slika 3. x500. Jedkano ($\text{FeCl}_3+\text{HCl+ethyl.alk.}$). Mikrostruktura na debeljšem in na tanjšem preseku



Slika 4. x200. Levo jedkano z Na-pikratom, desno ($\text{FeCl}_3+\text{HCl+ethyl.alk.}$). Karbidna mreža in razpoke na dveh lopaticah.



Slika 5. x6000. Dvostopenjska replika (plastična snov-oglje). Mikrotopografske značilnosti prelomne površine M.15.06.



Metalurški institut
Ljubljana

Slika 2. Trdota (HV 10) po osi lopatice, ob razpoki
in čepu brez razpoke

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971

A. Smolej, A. Podgornik[†]

VPLIV METALURŠKIH FAKTORJEV NA OBDELovalnost ALUMINIJEVIH ZLITIN⁺⁺

1. Uvod

Aluminijeve zlitine so na stružnicah slabo obdelovalne. Pri struženju nastanejo dolgi, vibasti ostružki. Obdelovalnost zlitin izboljšamo z legiranjem elementov kot so koster, svinec, bizmut in podobni, ki so v aluminiju praktično netopni. Ti elementi so v aluminijskih zlitinah v obliki globularnih vključkov, ki povzročajo dodatno diskontinuirnost strukture osnovne matice. Na mestih vključkov je možnost preloma večja, zato je tudi obdelovalnost takih zlitin boljša.

Raziskovali smo vpliv elementov svinec in bizmuta v doslej tehnično najpomembnejši zlitini AlCu5PbBi (ASTM 2011) na velikost in porazdelitev globularnih vključkov ter na obdelovalnost zlitin.

2. Struktturna porazdelitev svinec in bizmuta v zlitini AlCu5PbBi

Enakomerna in drobna porazdelitev svinec in bizmuta v zlitini pogojuje nastanek lahko lomljivih ostružkov. Vprašanje je, kako se razdelita oba elementa, če ju legiramo v zlitino AlCu5 v različnem kvantitativnem razmerju.

Preiskave z mikrosendo so pokazale, da sta svinec in bizmut v kvaternernem sistemu vrste AlCu5PbBi v ulitem in predelanem stanju prisotna vedno v mikroskopsko majhnih vključkih in sicer v razmerju, ki ustreza njuni povprečni analitski vsebnosti. Vselej sta razmešana skladno s faznim diagramom. Samostojni vključki čistih komponent svinec in bizmuta niso znani (sl. 1), l.

3. Statistična ocena porazdelitve in velikosti vključkov svinec in bizmuta v zlitini vrste AlCu5PbBi

Vključke svinec in bizmuta smo statistično ocenili v zlitinah vrste AlCu5PbBi z različno vsebnostjo obeh elementov. Pri tem delu smo se po-

[†] Anton Smolej, dipl.ing., asistent FNT
dr. Anton Podgornik, dipl.ing., izredni profesor FNT

⁺⁺ Izdelano na Metalurškem inštitutu v Ljubljani in v laboratorijskih Odseka za metalurgijo Fakultete za naravoslovje in tehnologijo

služevali metode kontaktne mikroradiografije. Preslikani in na milimetrski papir projicirani mikroradiografski posnetki vzorcev omogočajo najlažje štetje vključkov ob istočasni porazdelitvi na velikostne razrede. Vključke, prisotne v enoti volumna, smo statistično ocenili po naslednjih kriterijih:

1. Porazdelitev mase svinca in bismuta v vključkih posameznih velikostnih razredov.
2. Porazdelitev števila vključkov svinca in bismuta na posamezne velikostne razrede.
3. Komulativna frekvenca mase in števila vključkov svinca in bismuta.
4. Koeficienti variacije velikosti vključkov v posameznih zlitinah.

Koeficient variacije velikosti vključkov svinca v zlitini AlCu5Pbl je največji (56 %) v primerjavi s koeficienti variacij velikosti vključkov v ostalih zlitinah. Vključki so najbolj raztroseni okoli svoje srednje aritmetične vrednosti velikosti vključkov in nehomogeno porazdeljeni v osnovi masi zlitine AlCu5Pbl, kar kaže slika 2. Zlitine s tako porazdelitvijo vključkov so slabše strojno obdelovalne.

Bizmut v zlitini AlCu5Bil je enakomerno porazdeljen v približno enako velikih vključkih, kar potrjuje koeficient variacije (22 %) in mikroradiografski posnetek (sl. 3).

Vključki svinca in bismuta v zlitinah AlCu5PbO₅BiO₂ do AlCu5PbO₅BiO₅ imajo približno enake koeficiente variacij (od 31 % do 35 %) in podobno homogeno porazdelitev vključkov obeh težkih elementov kot vključki čistege bismute v zlitini AlCu5Bil (sl. 4).

Histogrami porazdelitve mase svinca in bismuta v vključkih na posamezne velikostne razrede kažejo, da je masa svinca približno enakomerno porazdeljena na vse velikostne razrede, medtem ko je največ bismuta v zlitini AlCu5Bil prisotnega v najmanjših vključkih (sl. 5).

Histogrami porazdelitve števila vključkov svinca in bismuta na posamezne velikostne razrede pa kažejo, da je približno 2 % vključkov zlitine AlCu5Pbl velikega velikostnega reda, ki jih pri ostalih zlitinah ne zasledimo. V teh vključkih je približno 30 % vse mase legiranega svinca. Najmanj velikostnih razredov je pri zlitini AlCu5Bil (sl. 6).

4. Poizkus razlage lomljenja ostružkov

Raziskave faznih premikov težkih elementov in njihova porazdelitev v lažji osnovni matici so zanimive predvsem iz metalurškega stališča, ker na-
M. 16.02.

kazujejo najprimernejšo sestavo zlitine, pri kateri se faze težkih elementov najenakomerneje porazdele v osnovni zlitini, kar povečuje možnost preloma ostružkov. Nepojasnjen pa ostane mehanizem preloma ostružkov. Nekateri avtorji trde, da se vključki med struženjem raztalijo, kar naj bi olajšalo struženje. Raziskave so pokazale, da temperature pri struženju ne presegajo tališča zlitin sistema svinec-bizmut pri hitrostih struženja do 300 m/min in podajanju od 0,04 do 0,12 mm, 2. Obstaja torej druga možnost, da so mehanske in fizikalne lastnosti vključkov težkih elementov odločujoče za nastanek lahkolomljivih ostružkov. Delni odgovor na to vprašanje so nam dale raziskave mehanskih lastnosti in mehanizma preloma zlitin binarnega sistema svinec-bizmut in kvaternernega sistema AlCu5PbBi pri prostorskih in povišanih temperaturah.

Žilavost zlitin binarnega sistema svinec-bizmut je največja v območju med 20 % do 30 % bizmuta, najmanjšo žilavost pa imajo evtektske in nadevtektske zlitine (sl. 7). Mikrofraktografski posnetki prelomnih površin zlitin z največjo žilavostjo kažejo mehanizem plastičnega preloma (sl. 8), medtem ko se evtektske in nadevtektske zlitine lomijo krhkko transkristalno in interkristalno (sl. 9). Iz teh podatkov lahko presojamo trenutek dogajanja, ko zadene nož stružnice vključek težkih kovin.

Mehanizem preloma ostružkov lahko opazujemo na modelih t.j. žilavostnih epruvetah. Izdelali smo več zlitin vrste AlCu5PbBi z enakimi količinami svineca in bizmuta kot v poglavju 3. Zlitine smo prelomili pri različnih temperaturah (sl. 10).

Rezultati kažejo, da imajo največjo žilavost zlitine AlCu5PbI pri vseh poskusnih temperaturah, kar je posledica nehomogene porazdelitve svineca in plastičnega karakterja vključkov svineca. Najnižjo žilavost imajo zlitine AlCu5Pb0,5Bi0,5 s približno evtektično sestavo svineca in bizmuta v vključku, kar je posledica homogene porazdelitve krhkikh vključkov. Diagram kaže, da je relativni padec žilavosti pri zlitini AlCu5Pb0,5Bi0,5 v območju med 110 °C in 150 °C, ko sta svinec in bizmut raztaljena v primerjavi z relativnim padcem žilavosti kot funkcije vsebnosti bizmuta v zlitini veliko manjši, kar potrjuje domnevco, da je sestava vključka važnejša od temperature struženja.

Ker se preiskane zlitine sistema svinec-bizmut lomijo enako, četudi so prisotne kot težki vključki v zlitini AlCu5, lahko ugotovitve apliciramo tudi na lomljenje ostružkov pri odrezovanju, časti pa še zato, saj je pri Charpyjevem poskušu, kakor tudi pri rezanju obremenitev vključka podobna.

5. Zaključek

Pri enem prejšnjih del smo ugotovili vpliv povečanja svineca in bismuta na obdelovalnost (sl. 11). Raziskave tega dela nakazujejo vzroke, zakaj do takšnega povečanja obdelovalnosti sploh pride. Če dodajamo svinec bismut, odnosno zamenjamo del svineca z bismutom, se zmanjša velikost težkih vključkov. Stopnja disperznosti se poveča, vključkov je več ter so manjši in enakomernejši, njihove mehanske lastnosti pa se istočasno močno zmanjšajo. Lomljenje vključkov je v primeru povečanega deleža bismuta transkristalno in interkristalno, vedno pa je prelom krhok. To dejstvo je nedvomno odločujoče za hitro lomljenje ostružkov.

6. Literatura

1. A.Podgornik, F.Vodopivec: Versuch einer quantitativen Darstellung der Gefügeanordnung des Bleis und des Wismuts in der Legierung AlCu5PbBi, Aluminium, 9 (1970), 614/617.
2. H.Zollner, G.Enzler, I.C.Fornerod: Über die Zerspanbarkeit von Aluminiumlegierungen, 5. Internationale Leichtmetalltagung, Leoben, 1968, Aluminium-Verlag GmbH, Düsseldorf, str. 283/289.

A. Smolej, A. Podgornik

Einfluss der metallurgischen Faktoren auf die Bearbeitbarkeit der Aluminiumautomatenlegierungen

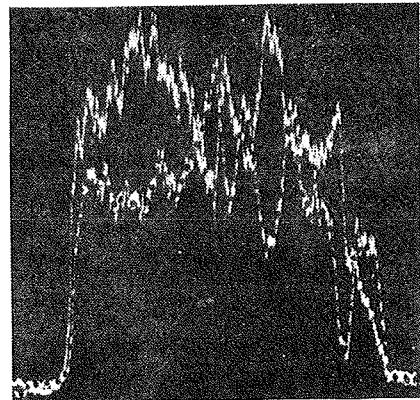
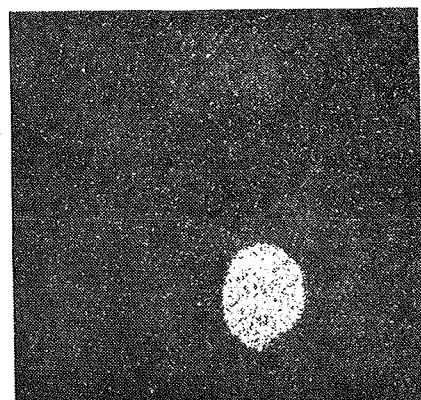
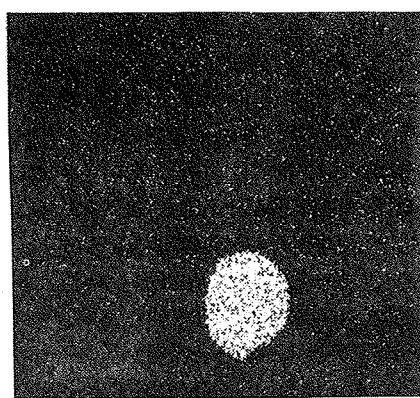
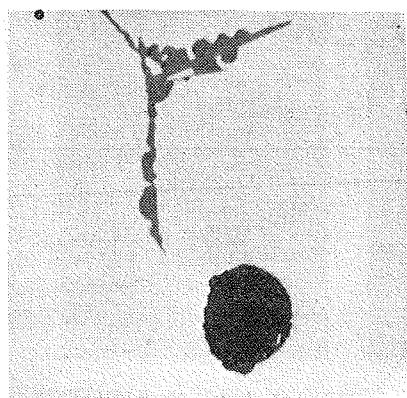
In einer der früheren Arbeiten wurde festgestellt, dass die Zerspanbarkeit der Legierung AlCu5 auf Drehautomaten durch Blei- und Wismutzugabe verbessert wird. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen erklären die Ursachen, warum zu einer solchen Verbesserung der Bearbeitbarkeit der Legierung kommt. Die Wismutzugabe, beziehungsweise das Legieren des Wismuts anstatt eines Teils von Blei, verkleinert die Größe der schweren Einschlüsse. So vergrößert sich der Dispersiongrad der Einschlüsse und deswegen entstehen mehrere kleinere Einschlüsse, die gleichmässiger verteilt sind. Gleichzeitig verkleinern sich auch ihre mechanischen Eigenschaften. Das Brechen der Einschlüsse ist im Fall des vergrößerten Teils des Wismuts transkristallin und interkristallin, aber immer ist ein spröder Bruch vorhanden. Diese Tatzeche ist für die Zerspanbarkeit der Legierungen ohne Zweifel entscheidend und günstig.

E. S.

450x

Pb

450x



Bi

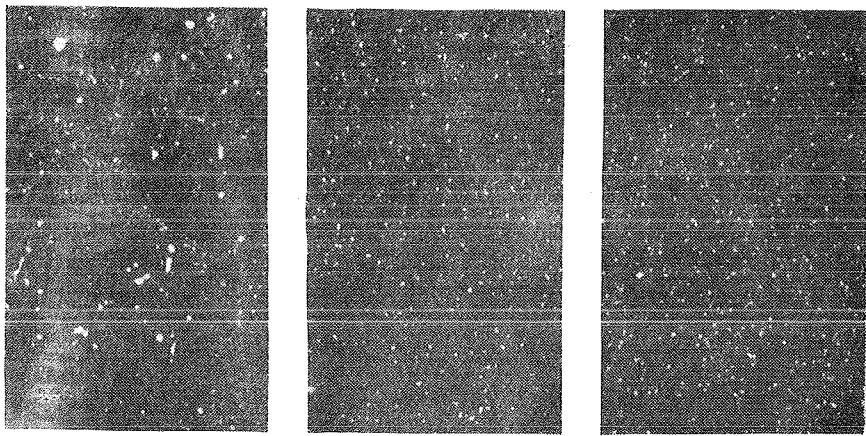
450x

E.Č.A.

1750x

Pb - bel, Bi - točke

Sl. 1. Elektronska slika sestave (E.S.), scanning slike posameznih elementov (Pb ...) in elektronska črtna analiza (E.Č.A.) zlitine AlCu5Pb2Bi2.



Sl. 2. Mikroradiografski posnetek vključkov svinca v zlitini AlCu5Pb1.

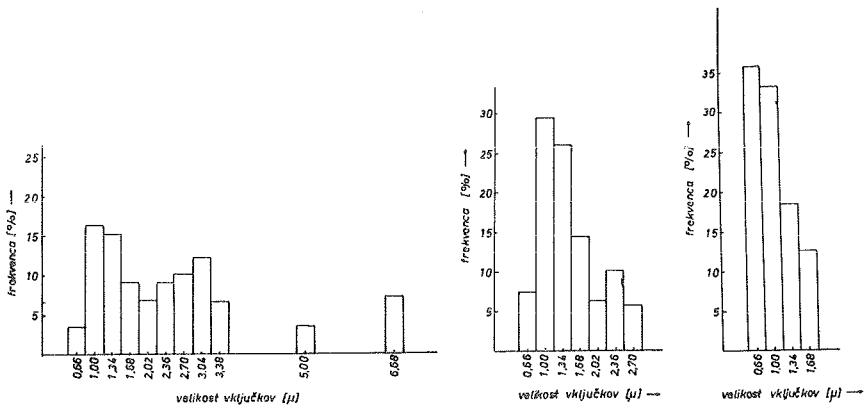
Debelina lamele je 300μ . 350x.

Sl. 3. Mikroradiografski posnetek vključkov bizmuta v zlitini AlCu5Bi1.

Debelina lamele je 470μ . 350x.

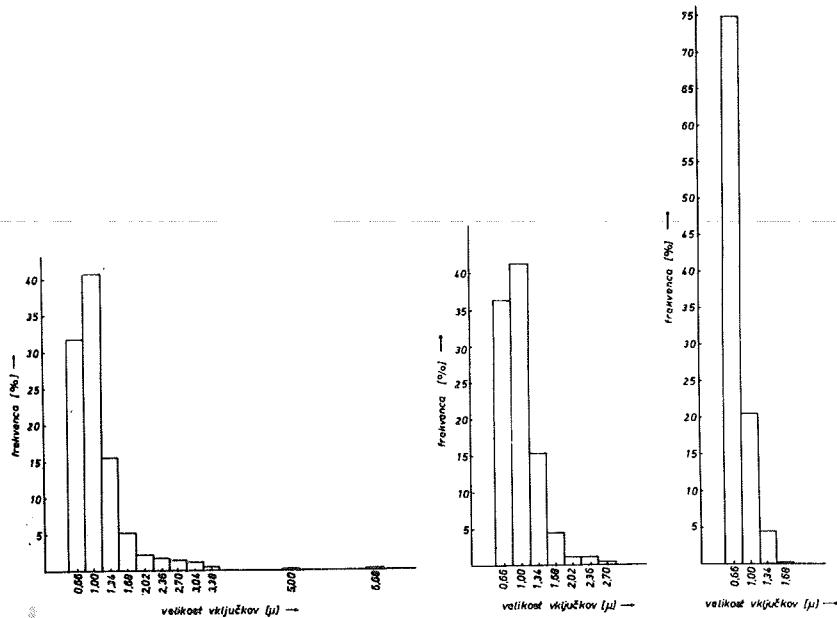
Sl. 4. Mikroradiografski posnetek vključkov svinca in bizmuta v zlitini

AlCu5Pb0.8Bi0.2 . Debelina lamele je 200μ . 350x.

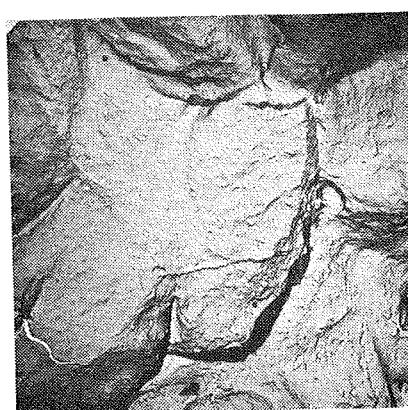


Sl. 5. Histogram porazdelitve mase svinca in bizmuta v vključkih zlitin

AlCu5Pb1 , AlCu5Pb0.8Bi0.2 , AlCu5Bi1 .

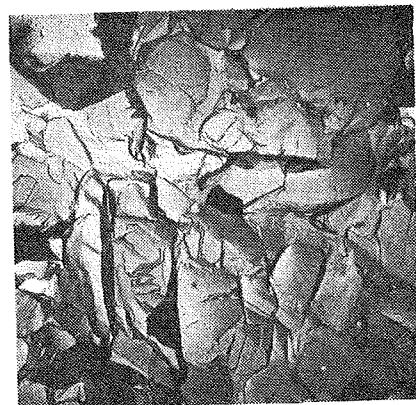


6. Histogram porazdelitve števila vključkov svinca in bizmuta v zlitinah AlCu5Pb1; AlCu5Pb0.8Bi0.2; AlCu5Bi1 na posamezne



Sl. 8.

4800x

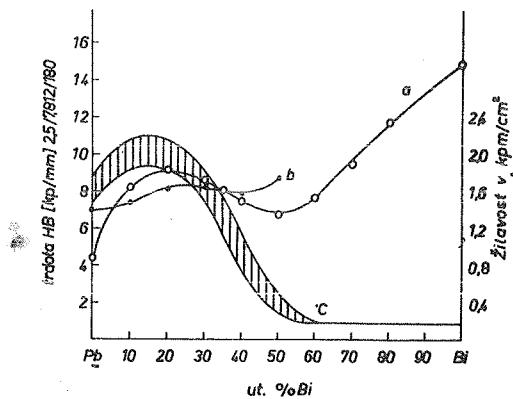


Sl. 9.

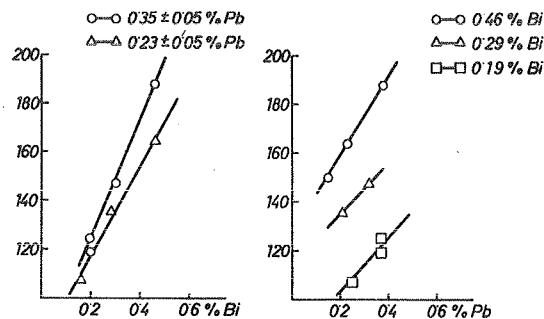
4800x

Sl. 8. Mikroradiografija prelomne površine zlitine (75%Pb+25%Bi)

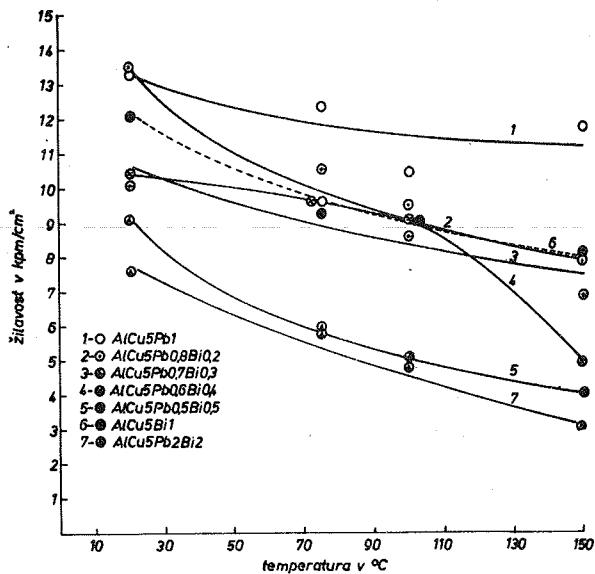
Sl. 9. Mikroradiografija prelomne površine zlitine (50%Pb+50%Bi)



Sl. 7. Trdote in žilavosti zlitin sistema svinec-bizmut; (a) krivulja trdote, (b) krivulja trdote po Thompsonu, (c) vrednosti žilavosti v temperaturnem območju med 20 °C in 100 °C.



Sl.11. Določitev obdelovalnosti zlitin AlCu5PbBi z metodo konstantnega podajnjega pritiska.



Sl.10. Žilavosti zlitin vrste AlCu5PbBi v odvisnosti od koncentracije bismuta in temperature.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MASINSTVA, NOVI SAD, 1971

J. Rodić, dipl. ing., J. Pšeničnik - Železarna Ravne
R. Vujović, dipl. ing. - Industrija alata Trebinje
D. Sinobad, dipl. ing. - Tvornica vijaka Knin

OSVAJANJE NOVOG ALATNOG ČELIKA Č.4850 - OCR 12 VM

**/REZULTATI ZAJEDNIČKOG RADA - ŽELEZARNE RAVNE, IA TREBINJE,
TVIK KNIN - NA POBOIJŠAVANJU KVALITETA PLOČA ZA VALJANJE
VIJAKA/**

1. Uvod

Tvornica vijaka Knin /dalje TVIK/ u poslednjim godinama u većoj količini upotrebljavalala je ploče za valjanje vijaka izradjene u Industriji alata Trebinje /dalje IAT/ iz alatnog čelika Č.4750 - OCR 12 ex. proizvodnje Železarne Ravne /dalje ŽR/. ŽR isporučivala je kovane ploče i otkivke u žarenom stanju, a IAT vršila je kompletну mehaničku izradu i termičku obradu alata. TVIK je sve češće izražavao nezadovoljstvo u vezi sa kvalitetom ovih alata, uporedjujući ih sa alatima renomiranih zapadno-evropskih proizvodjača. Preko proizvodjača alata prenosilo se ovo nezadovoljstvo i na proizvodjača čelika, pri čemu su traženi uzroci loše izdržljivosti alata u opštem kvalitetu čelika, a naročito u rasporedu karbidnih segregacija ovog ledeburitnog alatnog čelika. Iz mnogih istaknuta u ŽR poznato je, da ovakvo parcijalno rešavanje problematike vrlo rijetko dovodi do uspjeha i zadovoljavajućih rezultata. Zato je u aprilu 1969 došlo do predloga, da svi partneri TVIK, IAT i ŽR zajednički pristupe dokumentiranom analiziranju kvalitetnog stanja alata i planiranom razvojnom radu, koji bi kompleksno obuhvatio sve moguće utjecajne faktore, od kojih može zavisiti kvalitet alata.

2. Dokumentacija o kvalitetu i izdržljivosti alata

Pregled dokumentacije pokazao je, da dobije TVIK za ploče iz uvoza od proizvodjača, sa kojim su imali najbolja iskustva, garanciju izdržljivosti s obzirom na vrstu kvaliteta valjanih vijaka. U praksi je ova garantirana izdržljivost u glavnom realizirana, a u odnosu na kvalitet vijaka kreće se izmedju 500.000 do 700.000 komada vijaka. Evidencija izdržljivosti domaćih alata gore pomenutog izvora pokazala je, da je bilo vrlo rijetko izvaljanih sa jednim kompletom više od 100.000 komada vijaka. Izvršena je bila i detaljna analiza svih grešaka, koje se najčešće pojavljuju pri upotrebi alata. Najbolje, prosječne i najgore ploče, kao i one sa karakterističnim greškama, podvrgli smo detaljnem ispitivanju uključujući i metalografske pregledе po čitavom presjeku.

Na osnovu rezultata ovih uvodnih ispitivanja bio je izradjen program daljeg razvojnog rada na tom području, a izmedju partnera bila su podeljena tačno definirana zaduženja.

Odmah bila je uvedena evidencija za svaku ploču odnosno komplet sa podacima od proizvodnje čelika, izrade i termičke obrade alata do praćenja ponašanja alata u eksploataciji. Podaći, koji su praćeni i evidentirani, dati su na formularima u prilogu /karta kompleta – podaci o čeljustima i karta kompleta – podaci o izdržljivosti/.

3. Program osvajanja i istraživanja

Prema zajedničkom dogovoru kompleksan program osvajanja ploča za valjanje vijaka bio je podeljen u više faza sa tačno preciziranim zaduženjima svih partnera. Prva faza programa osvajanja bila je namenjena pre svega traženju najpogodnijeg načina kovanja otkivaka za ploče kod konstantnih uslova termičke obrade. Težište druge faze programa bilo je u osvajanju najpogodnijeg načina termičke obrade za otklanjanje grešaka krzanja ivica ploča i drugih nedostataka. Na osnovu rezultata

prve dvije faze prema planu bila bi donešena odluka o eventualnoj potrebi osvajanja nove vrste čelika specijalno modificiranog sastava za izradu ovih alata. Karakteristika treće faze programa bilo je i praćenje izdržljivosti ploča kod valjanja vijaka u različitim kvalitetima i kod tačno preciziranih uslova ispitivanja. Paralelno bila su planirana sva potrebna istraživanja karakterističnih osobina nove vrste čelika Č.4850 - OCR 12 VM.

Pojedine faze ovog plana bile su detaljno razradjene po tematici, po zaduženjima izvodjača kao i po podeli troškova.

Zbog kompleksnosti i veoma opširnog programa istraživanja, neobhodno potrebne koordinacije radova svih partnera i njihovog velikog medjusobnog udaljenja po lokaciji bilo je potrebno za vodenje i kontrolu izraditi PERT - mrežni plan i terminski plan svih aktivnosti. U prilogu 1 prikazan je mrežni plan, pri čemu su dogadjaji označeni brojkama u gornjoj polovini kružića, dok su u levoj donjoj četvrtinki kružića navedena vremena T_E - najkraćeg mogućeg termina odgovarajućeg dogadjaja, a u desnoj donjoj četvrtinki kružića vremena T_L - najkasnijeg dozvoljenog termina istog dogadjaja. Strelice izmedju dogadjaja prikazuju aktivnosti, a brojke iznad njih očekivana vremena trajanja tih aktivnosti. Debljije izvučene aktivnosti leže na kritičnom putu, a isprekidano crtane aktivnosti predstavljaju ili fiktivne aktivnosti ili neke aktivnosti, koje nisu direktno vezane na ovaj zadatak, ali moramo njihove termine uzimati i u njemu u obzir. Jedinica za trajanje aktivnosti je jedna nedelja dana.

U prilogu 2 prikazan je terminski plan, koji odgovara mreži u prilogu 1. Izvučene linije prikazuju najkraće vreme za početak pojedinih aktivnosti, a isprekidane prikazuju krajnje dozvoljene granice za izvršenje odgovarajućih aktivnosti. Šrafirano prikazane su aktivnosti kritičnog puta. Ovaj plan izradjen je uzimajući u obzir osnove metodike planiranja po PERT - metodi mrežnog planiranja, u koje ne možemo na ovom mestu dublje ulaziti.

4. Rezultati

Pored toga, da je na ovom osvajanju ispitana primenljivost PERT metode za planiranje, vodenje i koordinaciju, a naročito za kontrolu istraživačkog rada, dobijeni su veoma značajni rezultati na svim područjima programa osvajanja:

- Dokazano je, da je čelik Č.4750 - OCR 12 ex. sasvim zadovoljiv za izradu ovih alata i da pravilnim rukovanjem u izradi i upotrebi alata može pružati veoma dobre rezultate. Isto važi već u dosadašnjoj fazi ispitivanja za čelik Č.4850 - OCR 12 VM, dok će produžetak istraživanja pokazati, koji je bolji i ekonomski bolje opravdan.
- Izabran je optimalni format ingota za ove potrebe i optimalna tehnologija kovanja ovog čelika.
- Objasnjena je problematika u vezi rasporeda karbidnih segregacija u ovim alatima.
- S obzirom na tehnološki postupak kovanja i mnoge varijante termičke obrade odredjeno je optimalno područje žilavosti alatnog čelika.
- Odredjen je optimalni postupak termičke obrade za ovu vrstu alata, kao i interval radne tvrdoće alata.
- U okviru, odnosno po inicijativi ovog istraživanja izvršeno je osvajanje novog alatnog čelika Č.4850 - OCR 12 VM u širem smislu i ispitane sve njegove osnovne karakteristike, dok u poređna istraživanja, koja će odlučiti o budućem izboru vrste alatnog čelika za pomenute ploče, nije još završeno.

U toku osvajanja, kao rezultat organizovanog zajedničkog rada bili su dostignuti rezultati, koji daleko premašuju sva moguća očekivanja. Izdržljivost svih ispitanih kompleta alata bila je između 1,374.300 do 2,577.275 komada izvaljanih vijaka, što daleko premašuje garanciju vodećeg inostranog proizvodjača,

koja je u stvari predstavljala cilj ovog osvajanja. Moramo napomenuti, da to nisu izdržljivosti, koje možemo garantirati i očekivati u normalnoj proizvodnji alata, ali jasno dokazuju kvalitetne mogućnosti čelika i proizvodjača alata.

Metalurški interesantna, a i razumljiva je činjenica, da termička obrada alata daleko najjače utiče na izdržljivost alata, dok tehnologija kovanja i raspored karbidnih segregacija imaju mnogo manji uticaj, pod uslovom da leže u granicama normalnosti.

Na zajedničkom sastanku svih partnera ovog planiranog istraživanja u decembru 1970 bilo je izraženo vanredno zadovoljstvo nad ovakvim načinom rada, koji se u rešavanju tehnoloških i kvalitetnih problema ne koristi u dovoljnoj mjeri. Iako je planirani obseg istraživanja bio time praktično završen, partneri su se dogovorili za produžetak ovakvog načina saradnje i za proširenje na druga područja.

Autor želi na tom mestu, da izrazi zahvalnost i priznanje svim saradnicima u Tvornici vijaka Knin, u Industriji alata Trebinje i u Železarni Ravne za postignute uspjehe, a нарочито за увједенje нове методике истраживаčkog rada i novog oblika saradnje, koji jedini može garantirati tražene rezultate i opštu perspektivu razvoja kvaliteta.

Rezime

Saopštenje predstavlja informaciju o uspešnom zajedničkom radu pri osvajanju i istraživanju izmedju proizvodjača čelika, proizvodjača alata i potrošača alata. Prikazana je upotrebljena metoda mrežnog planiranja ovakvog istраживаčkog rada, a obrađen je za primer konkretan problem ploča za valjanje vijaka.

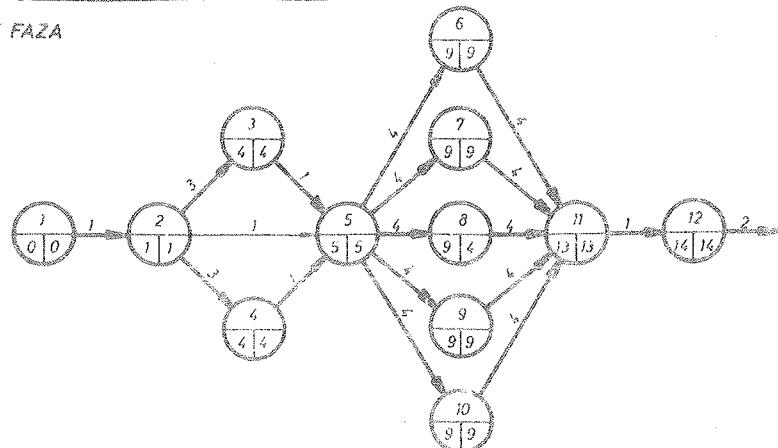
OZNAKA ČELJUŠTI: broj kompleta				KARTA KOMPLETA br.			
br. kompleta /1	br. kompleta /2	br. kompleta /3	br. kompleta /4	Podaci o čeljuštim	Narucioc :		
Nepokretna	Pokretna	Pokretna	Pokretna				
Novo	Novo	Novo	Novo				
KARAKTERISTIKE ČELJUŠTI							
Proizvodjac čeljaka	Vrsta čeljaka	Broj šarže	Naćin krovnjicu	Proizvodjač datata	Tvrđića	Dimenzija ili načrt	
TERMICKA OBRADA	KALJENJE			POPUŠTANJE		Prestarenje posle brušenja	
	Temperatura °C	Vreme min.	Temperatura °C	Vreme min.		DA	NE
Završna mehanička obrada	Vrsta brusne ploče		Ustvari brušenje (branje, ges trak)		Obrada posle brušenja		
Primedbe, konacni rezultati i ocena:							
Rezultati prućenja izdržljivosti - broj izvaljenih vijaka							
Za celi komplet	Za nepokretnu čeljuštu br. 1			Za pokretnu čeljuštu			
	Gornja strana	Gornja strana		br. 2	br. 3		
						br. 4	
Ispunjavanje proizvodjač datata. Rukovodjac ovaj list zadrži i posle završetka daje primedbe, rezultate i ocenu.							
PLOČE POSLE ISTROŠENJA VRAITI SA KARTONIMA NA NASLOV 'ZELEZARNA RAVNE - RAZISKOVANI ODDELEK				SAVESNO SAKUPLANJE PODATAKA OMOGUĆAVA IZBOLJUJUĆE KVALITETA U NAŠEM ZAEDNIČKOM INTERESU!			
				HVALA ZA SARADNU! ŽELEZARNA RAVNE			

Podaci o izdržljivosti *		Broj kompleta		KARTA KOMPLETA br....			
		1 Nepokretna gornja strana	1A Nepokretna donja strana	2 Pokretna	3 Pokretna	4 Pokretna	
Datum i vreme montiranja							
Datum / smena							
Vrsta materijala vijaka i čvrstoča							
Broj izvajanih vijaka u smeni							
Datum i vreme okrećanja nepokretnog pl.							
Datum i vreme menjanja pokretnog pl.							
Primjedbe * (sa šifrom)							
Datum i vreme montiranja							
Datum / smena							
Vrsta materijala vijaka i čvrstoča							
Broj izvajanih vijaka u smeni							
Datum i vreme okrećanja nepokretnog pl.							
Datum i vreme menjanja pokretnog ploče							
Primjedbe ** (sa šifrom)							
Datum i vreme montiranja							
Datum / smena							
Vrsta materijala vijaka i čvrstoča							
Broj izvajanih vijaka u smeni							
Datum i vreme okrećanja nepokretnog pl.							
Datum i vreme menjanja pokretnog ploče							
Primjedbe *** (sa šifrom)							
Datum i vreme montiranja							
Datum / smena							
Vrsta materijala vijaka i čvrstoča							
Broj izvajanih vijaka u smeni							
Datum i vreme okrećanja nepokretnog pl.							
Datum i vreme menjanja pokretnog ploče							
Primjedbe **** (sa šifrom)							
Datum i vreme montiranja							
Datum / smena							
Vrsta materijala vijaka i čvrstoča							
Broj izvajanih vijaka u smeni							
Datum i vreme okrećanja nepokretnog pl.							
Datum i vreme menjanja pokretnog ploče							
Primjedbe ***** (sa šifrom)							
Datum i vreme montiranja							
Datum / smena							
Vrsta materijala vijaka i čvrstoča							
Broj izvajanih vijaka u smeni							
Datum i vreme okrećanja nepokretnog pl.							
Datum i vreme menjanja pokretnog ploče							
Primjedba *** (sa šifrom)							
1**	2***	3***	4***	5***	6***	7***	
Dobro	Normalno zatupljanje	Krzanje po ivici ploče	Krzanje po površini	Krzanje na kraju valjanja (kod kupovanja)	Grijecanje odnosno deformacija profila	Ostale primjedbe vidi na leđnoj strani formulara	

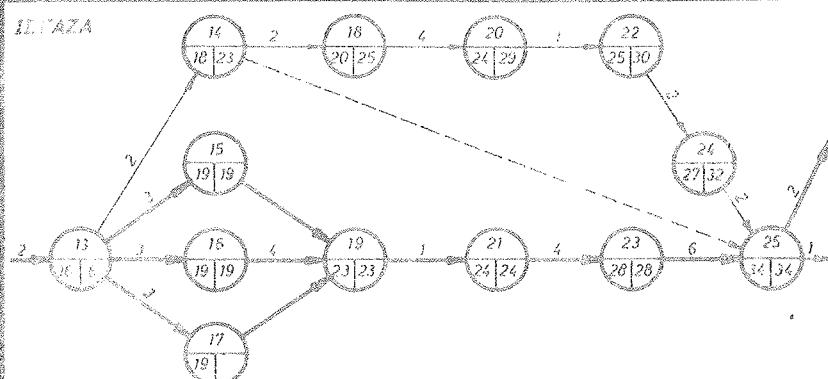
* Ispunjava potrošač neposredno kod možine!
 SAVESNO SAKUPLANJE PODATAKA OMOGUĆAVA IZBOLJŠANJE KVALITETA U NAŠEM ZAJEDNIČKOM INTERESU!
 HVALA ZA SARADNJU! ŽELEZARNA RAVNE

PRILOGA 1: MREZNI DIAGRAM PLANIRANE NALOGE

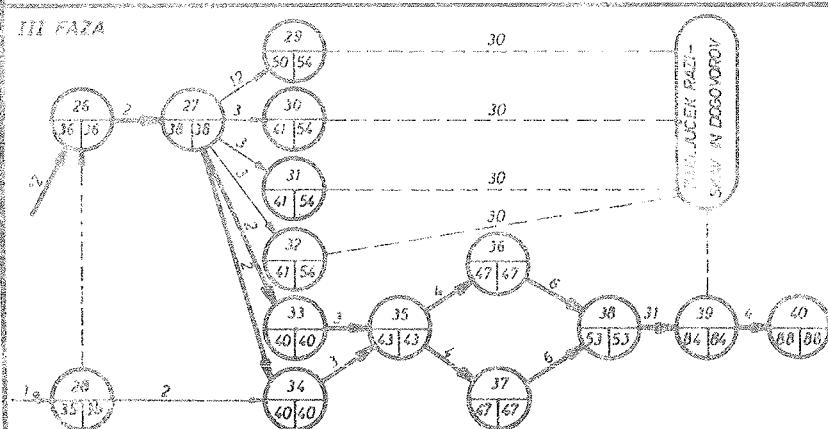
I FAZA



II FAZA



III FAZA



Bioga 2: TERMINSKI PLAN PLANIRANE NALOGE

M.17.09.

Resumee

Die Mitteilung ist im Grunde eine Information über die erfolgreiche Zusammenarbeit in der Einführung und Erforschung zwischen den Stahlerzeugerfirmen, Herstellern von Werkzeugen und Konsumenten.

Die dabei verwendete Methode des Netzplanens einer solchen Forschungsarbeit ist dargestellt und als Beispiel ist auch ein konkretes Problem von Platten zur Schraubenwealzung ausgelegt.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971

N. Babin *

UTICAJ SMANJENJA MASE NOSAČA MOSTOVSKOG KRANA NA NJEGOVO KRETANJE U PROCESU DIZANJA **

1. Uvod

Činjenica je da je aluminijum najrasprostranjeniji metal u prirodi i da tempo razvoja njegovog dobijanja i primene u XX veku zauzima prvo mesto. Pri tome osobito brz porast se javlja u poslednjim godinama. Svetska proizvodnja aluminijuma bila je 1952. godine 2.012.000 tona, u 1960. godini 4.540,7 kt., da bi se u 1967. godini proizvodnja u zapadnim zemljama popela na više od 5.000 kt. Jugoslavija je pri tome proizvela u 1960. godini 25 kt. u odnosu na 1939. god., kada je proizvodnja iznosila ispod 2 kt.

U novije vreme primena aluminijumskih legura u metalnim konstrukcijama, a posebno kranskim konstrukcijama je sve veća. Uticaj sopstvene težine na ukupno naponsko stanje u konstrukcijama izradjenim od čelika je znatno, naročito ako se radi o velikim rasponima. Upravo ta činjenica prvenstveno je nametnula primenu aluminijumskih legura u metalnim konstrukcijama. Razmatranja i ispitivanja koja su vršena putem težinskih pokazatelja kod mostovskih kranova izradjenih od Al legura u odnosu na čelik svode se na to da je veća opravdanost primene Al legura u metalnim konstrukcijama mostova sa manjim korisnim opterećenjem i povećanim rasponima. Procentualno izraženo ovo smanjenje [3] težine kreće se od 20 - 35 %. Kod konzolnih kranova, pri izradi strele od Al legure ovaj uticaj je još veći, tako da smanjenje težine može da se kreće od 50 % pa čak i do 70 % u odnosu na odgovarajuću izradu od čelika.

Smanjenjem sopstvene težine smanjuje se uticaj zapreminske sila u toku kretanja, a time i ukupno naponsko stanje. Ovi dinamički uticaji kod metalnih konstrukcija iz Al legura malo su proučavani. Razmatranja po ovim pitanjima kod čeličnih konstrukcija izvode se redukovanjem mase nosača na sredinu raspona, što u svakom slučaju predstavlja grubo približenje stvarnom stanju. U ovom radu razmatranja su sprovedena posmatranjem kontinuelno raspoređene mase nosača, pri čemu se posmatra uticaj mase nosača izradjenog od čelika i Al legure na amplitude i učestanost kretanja nosača, pošto tek ove veličine u potpunosti definišu stvarno naponsko stanje u nosaču.

2. Opšta razmatranja

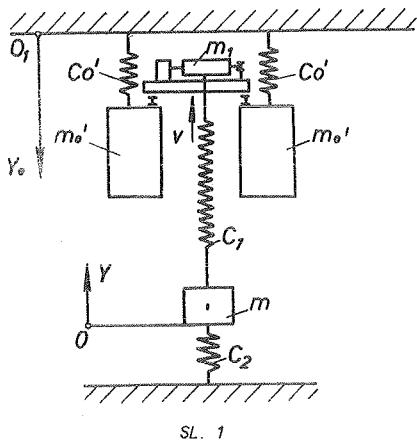
U procesu dizanja javljaju se pojave koje po svom karakteru mogu biti različite u zavisnosti od uslova u kojima se odvijaju, pa ih možemo razvrstati u tri grupe.

* Nikola J. Babin, mgr.dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta, Novi Sad.

** Saopštenje iz Instituta Mašinskog fakulteta u Novom Sadu.

- a.- Kretanje vučnih elemenata do trenutka odvajanja tereta od podloge, sa naglim prihvatanjem.
- b.- Kretanje okačenih tereta.
- c.- Zaustavljanje tereta u procesu dizanja.

Svaka od ovih pojava izaziva određena dinamička opterećenja pojedinih elemenata, pa samim tim i nosećoj konstrukciji mosta, čije kretanje je rezultat kretanja sistema masa međusobno elastično povezanih. Ovakav sistem prikazan je šematski na sl.1, pri čemu se kretanje metalne konstrukcije sa krutoušću C_0 i mase m_0 , posmatra u nepokretnom koordinatnom sistemu O_1-y_0 , a kretanje tereta mase m okačenog elastičnim vezama ekvivalentne krutosti c_1 , o pokretnu dizalicu, u nepokretnom koordinatnom sistemu $O-y$.



Režim kretanja označen kod a.- predstavlja najnepovoljniji slučaj, pa se kao takav tretira u daljim razmatranjima za definisanje kretanja tereta i metalne konstrukcije. Teret mase m nalazi se na podlozi čija je krutost c_2 . Užad su otpuštena i vrši se upuštanje elektromotora putem uključivanja određenog broja stupnjeva reostata. S obzirom na redukciju izmedju elektromotora i pogonskog doboša, najčešće se dešava da je elektromotor dobio svoj nominalni broj obrtaja i da se užad nisu još zategla, odnosno nije nastupilo odvajanje tereta od podloge ($y=0$), a isto tako deformacija noseće konstrukcije jednaka je nuli ($y_0 = 0$). Ovaj trenutak nazovimo početak prihvatanja, a samo prihvatanje će teći od trenutka

kada sila u užetu dostigne težinu tereta, čime će nastupiti i njegovo odvajanje od podloge, te i sam kraj ove prve faze. U trenutku početka prihvatanja usled pojave sile u užetu nastaje i opterećivanje metalne konstrukcije, te i njeno kretanje, tj. javlja se ugib y_0 , pa će ona u nekom trenutku "t" posedovati kinetičku i potencijalnu energiju. Metalna konstrukcija mosta predstavlja masu kontinualno raspoređenu po određenom zakonu na dužini L , pa je kinetička i potencijalna energija funkcija ne samo vremena nego i položaja. Radi definisanja jednačina kretanja potrebno je razmotriti mogućnost određivanja ovih veličina. Kako nosač predstavlja gredu promenljivog preseka raspona L , to će polazeći od kinetičke energije elementarnog delića mase dm :

$$dE_k = \frac{1}{2} \dot{y}_{oi}^2 dm \quad (1)$$

$\dot{y}_{oi} = f(z, t)$ trenutne brzine elementarnog delića mase dm , ukupna kinetička energija biti:

$$Ek = \frac{1}{2} \int_0^t \dot{y}_{oi}^2 dm \quad (2)$$

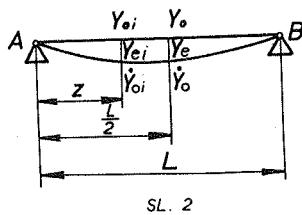
Pošto je \dot{y}_{oi} - trenutna brzina nosača u vertikalnoj ravni, funkcija položaja - udaljenja z od oslonca A, to da bi se gornji izraz mogao rešiti potrebno je znati

raspored brzina, odnosno oblik kretanja samog nosača.

Ovo kretanje se dobija kao rezultat kretanja sistema mase, odnosno sistema diferencijalnih jednačina, te se njegov oblik mora predpostaviti.

Najprije aproksimaciju predstavlja redukovanje mase nosača na koncentrisanu masu nosača u sredini raspona. Znači isključuje se zavisnost $y_i = \gamma(z)$ ili svestrajanje na gredu sa tri koncentrisane mase. Oba slučaja predstavljaju određenu aproksimaciju i kao takvi se sreću u literaturi.

Kod kranskih nosača čija je masa velika, a učestanost oscilatornog kretanja manja, (3-8 Hz, zavisno od sopstvene frekvencije kranskog mosta), to se može sa dosta velikom tačnošću predstaviti elastična linija nosača kao prvi osnovni oblik oscilatornog kretanja. Ako usvojimo elastičnu liniju kao oblik kretanja nosača, onda možemo uspostaviti zavisnost puteva i brzina u dva bilo koja preseka.



Neka su y_e i y_{ei} pomeranja data elastičnom linijom, a y_o i y_{oi} stvarna pomeranja nosača za iste preseke u sistemu kretanja masa, onda možemo napisati zavisnost:

$$\frac{y_{oi}}{y_{ei}} = \frac{y_o}{y_e} \quad (3)$$

tj. odnos stvarnog pomeranja u nekom preseku na odstojanju z , prema pomeranju po elastičnoj liniji u istom preseku, isti je kao odnos stvarnog pomeranja i pomeranja po istoj elastičnoj liniji, na sredini nosača. Na taj način neko pomeranje y_{oi} može se izraziti:

$$y_{oi} = \frac{y_{ei}}{y_e} \cdot y_o \quad (4)$$

Ako usvojimo da je $y_e = 1$ tj. jedinično pomeranje, i diferenciramo gornji izraz po vremenu dobijemo zavisnost između brzina. Pri tome y_{ei} predstavlja pomeranje dato elastičnom linijom, pa je funkcija samo položaja, tj. $y_{ei} = f(z)$

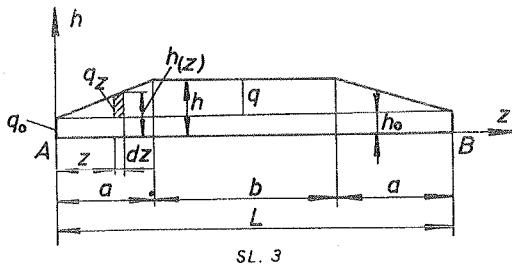
$$y_{oi} = y_{ei} \cdot y_o \quad (5)$$

Na taj način izraz za kinetičku energiju dobija oblik

$$E_k = \frac{1}{2} \dot{y}_o^2 \int_0^L y_{ei}^2 dm \quad (6)$$

Polazeći od oblika nosača datog na sl.3 moguće je prema elementarnoj teoriji savijanja definisati jednačinu elastične linije:

$$E \cdot I(z) \cdot \frac{d^2 \cdot y_e(z)}{dz^2} = - M(z) \quad (7)$$



gde su $I(z)$ i $M(z)$ funkcije rastojanja (z) .

Ako se izraze ove veličine u funkciji položaja preseka z dobijaju se sledeće zavisnosti:

$$I_x = B (z^2 + a_1 \cdot z + b_1)$$

$$z = 0 \quad z = a$$

$$M(z) = -A_0 \cdot z^3 - B_0 \cdot z^2 + C_0 \cdot z$$

$$z = a \quad z = b$$

$$M(z) = -A_2 \cdot z^2 + b_2 \cdot z - C_2$$

Zamenom ovih vrednosti u jednačinu (7) dobijamo njenim rešavanjem konačan oblik:

$$\begin{aligned} y_{e1} &= R \cdot z (1 - \ln z^2) + D_1 \cdot z + D_2 \\ y_{e2} &= -S \cdot z^3 + D_3 \cdot z + D_4 \end{aligned} \quad (8)$$

Na osnovu jednačine (6) za kinetičku energiju imali bi smo za oba nosača

$$E_k = 2E_{k1} + 2E_{k2} = \frac{1}{2} \dot{y}_o^2 \left[2 \cdot 2 \int_0^a y_{e1}^2 dm_1 + 2 \cdot 2 \int_a^b y_{e2}^2 dm_2 \right] \quad (9)$$

Zamenom vrednosti za pomeranje (8) i vrednosti za elementarne mase:

$$dm_1 = \frac{2 \cdot \delta}{g} (B \cdot \delta + h(z) \cdot \delta_1) \cdot dz = (m_o + a_o \cdot z) dz$$

$$dm_2 = \frac{2 \cdot \delta}{g} (B \cdot \delta + h \cdot \delta_1) dz = m_1 \cdot dz$$

pa rešavanjem jednačine (9) dobija se konačan izraz za kinetičku energiju u obliku:

$$E_k = \frac{1}{2} \dot{y}_o^2 \cdot M_o \quad (10')$$

pri čemu je sa M_o označen izraz dat jednačinom (10'), a predstavlja ekvivalentnu masu svih nosača m .

$$\begin{aligned} M_o &= 4 \left\{ \frac{m_o}{3} z^3 \left[(R \cdot \ln z)^2 - 2 R \ln z \left(\frac{4}{3} R + D_1 \right) + D_1^2 + 2 R^2 + \right. \right. \\ &\quad \left. \left. + 8 \frac{R D_1}{3} \right] + a_o \frac{z^4}{4} \cdot \left[(A - R \ln z)^2 + \frac{2 A R}{4} - \frac{2 R^2}{4} \ln z + \frac{2 R^2}{16} \right] \right\}_0^a + \\ &\quad + m_1 \left[\frac{D_3^2}{3} \cdot z^3 - \frac{2}{5} D_3 S \cdot z^5 + D_3 D_4 z^2 - \frac{1}{2} D_4 \cdot S \cdot z^4 \right] \Big|_0^b \end{aligned} \quad (10')$$

Potencijalna energija elementarnog dela nosača dužine dz može da se izrazi:

$$dE_p = dG \cdot \gamma_{oi}$$

gde su: γ_{oi} pomeranje odgovarajućeg elementarnog delića definisano jednačinom (4), na osnovu čega bi ukupna potencijalna energija iznosila nakon uvođenja

vrednosti za y_{e1} i y_{e2} :

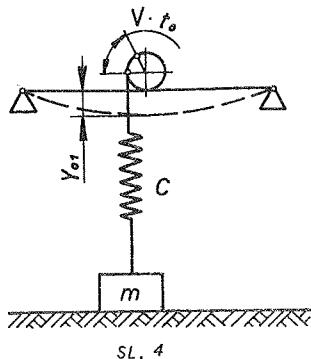
$$E_p = 2 y_o \left\{ q_o \frac{z^2}{2} \left(A - R \ln z + \frac{B}{2} \right) + b_o \frac{z^3}{3} \left(A - R \ln z + \frac{R}{3} \right) \Big|_0^a + q_1 \left(- \frac{S z^4}{4} + D_3 \frac{z^2}{2} + D_4 z \int_0^a \right) \right\} = 2 y_o G_o \quad (11)$$

gde je sa G_o označen izraz u zagradi i predstavlja ekvivalentnu težinu nosača G_m .

3. Kretanje metalne konstrukcije do trenutka odvajanja tereta od podloge

Poremećajna sila koja izaziva deformaciju mosta jednaka je sili u užadima, koja u određenom vremenskom intervalu raste do veličine sile tereta, nakon čega nastupa izdizanje tereta, a za koje se vreme most deformisao za neku veličinu y_{o1} , te u tom trenutku poseduje kinetičku i potencijalnu energiju. Veličinu ove poremećajne sile možemo izraziti kao restitucionu silu u ekvivalentnoj opruzi c_1 (sl.1), za neko izduženje, tako da prema sl.4. imamo:

$$F_o = (V \cdot t - y_o) \cdot c_1 \quad (12)$$



gde je sa V označena konstantna brzina kretanja gornjeg kraja užeta koje se namotava na doboš.

Koristeći Lagranževe jednačine, a na osnovu izraza za kinetičku i potencijalnu energiju dobijamo diferencijalnu jednačinu kretanja metalne konstrukcije za prvi period u obliku:

$$\frac{d^2 y_o}{dt^2} + \frac{c_o}{M_o} \cdot y_o = \frac{V \cdot c_1}{M_o} \cdot t - \frac{2 G_o}{M_o} \quad (13)$$

čije rešenje glasi:

$$y_o = \frac{2 G_o}{M_o \omega_1^2} \cos \omega_1 t - \frac{V \cdot c_1}{M_o \omega_1^3} \sin \omega_1 t + \frac{V \cdot c_1}{M_o \omega_1^2} t - \frac{2 G_o}{M_o \omega_1^2} \quad (14)$$

Deformaciju vučnih elemenata nalazimo sada kao razliku putu namotavanja zategnutih užadi za proteklo vreme t i smanjenje tog puta usled ugiba mosta y_{o1} (sl.4).

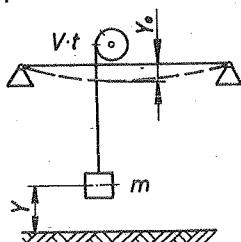
$$y_n = V \cdot t - y_o \quad (15)$$

U trenutku odvajanja tereta od podloge ova deformacija mora iznositi $y_n = Q/c_1$, na osnovu čega iz jednačine (15) možemo da odredimo vreme u koje se završava prva faza kretanja, a isto tako i veličinu deformacije noseće konstrukcije u tom trenutku vremena.

4. Kretanje sistema od trenutka odvajanja tereta od podloge

Ova druga faza predstavlja ustvari proces dizanja tereta, a počinje od trenutka njegovog odvajanja od podloge. Kinetička i potencijalna energija nosača odnosno mase M_o ostaje definisana izrazima kao i u prvoj fazi, vodeći računa pri određivanju konstanti da postoji pomeranje y_o , i brzina \dot{y}_o u trenutku početka ove druge faze.

Teret se odvojio od podloge i u nekom trenutku vremena t ima koordinatu "y" (sl.5) u nepokretnom koordinatnom sistemu. Opterećenje koje deluje na metalnu konstrukciju predstavljeno je razlikom pomeranja, pa je poremećajna sila mase M_o jednaka:



SL.5

$$F = [V \cdot t - (y_o + y)] \cdot c_1 \quad (16)$$

Kinetička, potencijalna energija i spoljna sila iznose:

$$E_k = \frac{1}{2} m \left(\frac{dy}{dt} \right)^2$$

$$E_p = \frac{[V \cdot t - (y_o + y)]^2}{2} \cdot c_1; F = -Q \quad (17)$$

Koristeći Lagranževe jednačine dobijamo sistem od dve diferencijalne jednačine (18) koji glasi:

$$\begin{aligned} \frac{d^2 y_o}{dt^2} + \frac{c_1}{M_o} y_o + \frac{c_1}{M_o} \cdot y &= \frac{V \cdot c_1}{M_o} \cdot t - \frac{2 G_o}{M_o} \\ \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{c_1}{m} \cdot y + \frac{c_1 y_o}{m} &= \frac{V \cdot c_1}{m} \cdot t - g \end{aligned} \quad (18)$$

Rešenje ovog sistema pomoću Laplasovih transformacija dovodi do jednačine kretanja metalne konstrukcije y_o , koja u konačnom obliku može da se napiše:

$$y_o = A \sin kt + B \cos kt + C \quad (19)$$

pri čemu su konstante date izrazima:

$$\begin{aligned} A &= \frac{1}{k} \left[\frac{V_o \cdot m}{M_o + m} - \frac{V m (m - M_o)}{(M_o + m)^2} \right] \quad B = \frac{2 G M_o m}{c_1 (M_o + m)^2} + \frac{a \cdot m}{(M_o + m)} \\ C &= \frac{a \cdot M_o}{M_o + m} - \frac{2 \cdot G \cdot M_o \cdot m}{c_1 (M_o + m)^2} \quad k = \sqrt{\frac{c_1 (m + M_o)}{M_o \cdot m}} \end{aligned} \quad (20)$$

5. Analiza uticaja smanjenja mase primenom Al legure na kretanje nosača

Kretanje noseće konstrukcije definisano jednačinom (19), dobijeno je kao rezultat razmatranja kontinualno rasporedjene mase nosača, po zakonu promene geometrije preseka.

Analizirajući ovu jednačinu nas interesuje uticaj smanjenja ekvivalentne mase noseće konstrukcije na veličinu amplituda ovakvog kretanja, a istovremeno i uticaj na veličinu učestanosti takvog kretanja. Jasno je pri tome da je naponsko stanje u nosaču srazmerno njegovoj deformaciji, odnosno u slučaju dinamičkog posmatranja, njegovom kretanju, odnosno amplitudama ovog kretanja.

Veličina promene kretanja definisana je u obliku zbiru dva oscilujuća talasa iste učestanosti k , pri čemu konstanta C odgovara veličini statičkog ugiba konstrukcije. Uočljivo je da se smanjenjem ekvivalentne mase M_0 povećava učestanost k , a isto tako konstante A i B se smanjuju, pa se može zaključiti da se amplitude smanjuju, a samim tim i veličina dinamičkog opterećenja konstrukcije.

Radi ilustracije veličine ovog uticaja, posmatran je primer krana nosivosti $Q=25 \text{ Mp}$ sa težinom pokretnih kolica $G_k = 6 \text{ Mp}$, raspona $L = 18,4 \text{ m}$, brzinom dizanja $V_1 = 2 \text{ m/min}$, i visinom dizanja $H = 16 \text{ m}$. Na kranu je primenjeno uže na sistem osmokrake koturače, sledećih karakteristika: 18 B 160 DIN 655, preseka žica $A = 111,6 \text{ mm}^2$. Težina noseće konstrukcije izradjene od Č.0345.V iznosi $G_m = 8 \text{ Mp}$, pri čemu je usvojen kutijasti nosač visine $H = 978/950 \text{ mm}$ sa širinom $B = 400 \text{ mm}$ i razmakom vertikalnih limova $b = 360/376 \text{ mm}$, što daje $I_x = 374500 \text{ cm}^4$. Na osnovu jednačine (10'), ako posmatramo kretanje srednjeg preseka nosača, dobijena je vrednost za ekvivalentnu masu $M_0 = 238 \text{ kp sec}^2/\text{m}$, a masa tereta $m = 2520 \text{ kp sec}^2/\text{m}$, tako da se dobijaju konstante:

$$A = -0,19 \cdot 10^{-2} \text{ cm}, \quad B = 2,1 \cdot 10^{-2} \text{ cm}, \quad C = 1,86 \text{ cm i } k_1 = 55,1$$

pri jednačina kretnja srednjeg preseka čelične konstrukcije glasi:

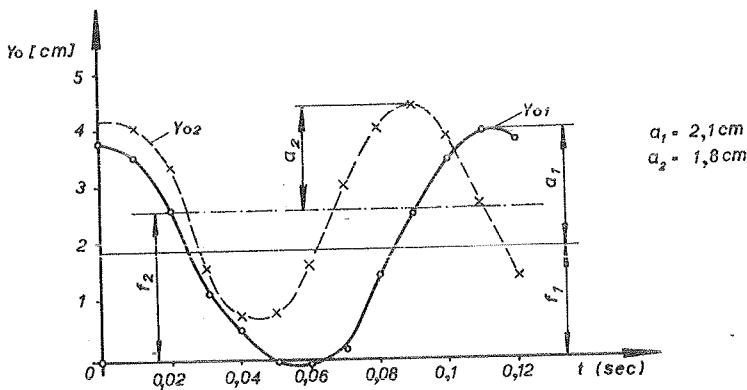
$$y_{01} = 1,86 - 0,19 \cdot 10^{-2} \sin k_1 t + 2,1 \cdot 10^{-2} \cos k_1 t \quad (21)$$

U slučaju kada je konstrukcija mosta izradjena od Al legure (Al.Cu5 Mg1) uz sve ostale iste parametre krana, dobija se da se mora primeniti kutijast nosač uzine 1236/1200 mm, širine 400 mm, i razmaka vertikalnih limova 380/360 mm, čime se dobija momenat inercije $I_x = 788.000 \text{ cm}^4$. Težina oba nosača sada iznosi 4800 kp u odnosu na težinu čeličnih nosača od 8000 kp. Ekvivalentna masa aluminijskih nosača iznosi 134 kp sec²/m, u odnosu na 238 kp sec²/m za čelične nosače. Na osnovu ovih podataka dobijaju se konstante, tako da jednačina kretanja za srednji presek nosača Al konstrukcije glasi:

$$y_{02} = 2,56 - 0,03 \cdot 10^{-2} \sin k_2 t + 1,89 \cdot 10^{-2} \cos k_2 t \quad (22)$$

pri čemu je $k_2 = 71$.

Rešenja za jednačine (21) i (22) data su na sl.6 za vremenski interval od 0-0,12 sec, u kome se završavaju prvi talasi kretanja.



SL. 6

6. Zaključak

Na osnovu iznetog može se uočiti sledeće:

1. Primenom Al legura za izradu noseće konstrukcije mostovskog krana smanjuje se sopstvena težina konstrukcije, pa su samim tim i naponi od opterećenja sopstvenom težinom manji. U navedenom primeru ovo smanjenje iznosi od 8 MP na 4,8 MP, tako da kontinualno opterećenje od sopstvene težine prouzrokuje napon u srednjem preseku kod čelične konstrukcije $\sigma_{q1} = 206 \text{ kp/cm}^2$ u odnosu na Al konstrukciju gde ovaj napon iznosi $\sigma_{q2} = 44 \text{ kp/cm}^2$. Ovaj uticaj bi bio još veći u slučaju nosećih konstrukcija manjih nosivosti i većih raspona.
2. Vreme trajanja jedne promene u navedenom primeru iznosi, $T_1 = 0,12 \text{ sec}$, što daje frekvenciju od $f_1 = 8,3 \text{ Hz}$, dok u slučaju Al konstrukcije $T_2 = 0,09 \text{ sec}$, odnosno frekvencija $f_2 = 11,1 \text{ Hz}$, u odnosu na dobićene amplitude $a_1 = 21 \text{ mm}$, odnosno $a_2 = 18 \text{ mm}$, što ima za posledicu da su ubrzanja u slučaju Al konstrukcije veća, ali zbog manje mase nosača uticaj inercijalnih sila je manji.
3. Amplituda $a_2 = 18 \text{ mm}$ je manja nego kod čelične konstrukcije, i pri tome treba imati u vidu da deformacija Al konstrukcije nema isti uticaj kao kod čelične konstrukcije na napone, pošto se deformacije odnose

$$\frac{f_1}{f_2} = \frac{E_2 \cdot l_{x2}}{E_1 \cdot l_{x1}} \quad \text{pri čemu je } E_2 = 0,71 \cdot 10^6 \text{ kp/cm}^2$$

To znači da pri istim naponima od spoljnog opterećenja ($l_{x1} \doteq l_{x2}$) imamo da Al konstrukcija tri puta ima veće ugibe. U vezi toga treba naglašiti da je potrebno ispitati i odrediti koji su dozvoljeni ugibi kod Al konstrukcija, pošto je pogrešno koristiti podatke za preporučene ugibe čeličnih konstrukcija.

7. Literatura

1. N.Babin, Magistarski rad - Mogućnost određivanja ukupne nosivosti nosača mostovskog kran-a na temelju modelskog ispitivanja, statičkim simuliranjem dinamičkog opterećenja, Beograd, maja 1970.
2. Tehnička enciklopedija, sveska 1, str.223.
3. Aluminum - Taschenbuch - 12 Auflage, Düsseldorf, 1963.
4. Б.С. Лебедев, Г.А. Воронцов: Применение алюминиевых сплавов в крановых металлоконструкциях. "Машиностроение", Москва 1969.
5. С.А. Попов, Алюминиевые строительные конструкции, Москва 1969
6. Н.С. Стрелецкий и др., Металлические конструкции, Москва 1961.

N. Babin

Einfluss der Verminderung der Laufkranträgermasse auf seine Bewegung während des Hebevorganges.

Die Bewegung der Träger kommt als Resultat der Bewegung eines elastisch gekoppelten Massensystems. Um diese Bewegung zu definieren wurde in dieser Mitteilung die kontinuierlich verteilte Trägermasse beobachtet. Es wurde vorausgesetzt dass die Bewegung einer elastischen Kurve nachfolgt. Der Spannungszustand in dem Träger ist Resultat seiner Bewegung, bzw. seiner Verformung.

Auf Grund der bei uns entwickelten Gleichungen haben wir die Bewegung einer aus Stahl und Aluminiumlegure gebauten Konstruktion beobachtet. Die Formen solcher Bewegung sind in der Zeichnung dargestellt.

R. Zgaga*

OVISNOST ŽILAVOSTI SIVOG LIJEVA O KEMIJSKOM SASTAVU**

Žilavost, te slaba strana sivog lijeva, relativno je slabo proučena. Razlog tome je svakako kompleksnost sastava i strukture ovog materijala, no isto tako razlog treba biti djelomično tražiti u relativno niskom iznosu žilavosti ovog lijeva, uslijed čega je i samo određivanje žilavosti na postojećim uobičajenim batovima nepouzdano, te još i danas autori na različite načine predlažu i provode ispitivanje žilavosti sivog lijeva sa željom da ovlađaju suštinom ovog značajnog svojstva svih konstrukcijskih materijala, pa prema tome i još uvjek mnogo upotrebljavanog sivog lijeva sa lamelarnim grafitom.

Raniji literaturni podaci o žilavosti sivog lijeva su oskudni i parcijalni. U novije vrijeme neke iko poznatih istraživača sivog lijeva, znatno se je angažiralo na istraživanju žilavosti ovog materijala, čime je nastao jedan zamašan problem. Collaud (1) definira žilavost kao funkciju omjera ζ^2 / HB^2 , čime žilavost izražava vlačnom čvrstoćom i tvrdoćom, dakle stabičkim svojstvima. Kasnijim radom Collaud i Thieme (2) određuju žilavost iz radnje loma pri savijanju kao i pomoću modula udara u kpcm/cm^2 koji određuju na Charpyjevom batu. Autori pokazuju da se rastućom čvrstoćom raste ili barem može rasti i radnja loma pri savijanju i modul udara, ali ističu da između ovih veličina ne postoji jednoznačne ovisnosti. U pogledu sadržaja ugljika i silicija smatraju da omjer C/Si treba biti čim veći kako bi se uz dobru čvrsteću postigla i čim bolja žilavost. Patterson i Standke (3) u svom radu, osim ostalog, izu-

* Dr Ranko Zgaga, dipl. inž. izv. profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje, predstojnik Katedre za nauku o metalima, Zagreb, Đure Salaja 1

** Saopštenje iz Instituta fakulteta strojarstva i brodogradnje

čavaju i utjecaj kemijskog sastava na iznos radnje loma sivog lijeva, a posebno ustanovljavaju ovisnost žilavosti o veličini eutektičkih čelija. Regresionom analizom postavljaju izraz za radnju loma:

$$A_B = 245.4 - 50.7\%C - 57.9\%Si - 77,0\%P + 92.7 \log \text{broja eutekt. čel.}$$

pri čemu uvrštavaju broj čelija na kvadratni centimetar. Ustanovljavaju da je pri tome standardna devijacija $s = \pm 14.9 \text{ kp/cm}^2$. Ovaj prikaz radova o žilavosti sivog lijeva svakako ne obuhvaća sva dosadašnja dostignuća. Ipak, ilustrira nastojanja i pokazuje usmjerenja nekih istraživača što i treba poslužiti kao uvod u predstojeće obavještenje.

Vlastiti pokusi vršeni su na štapovima promjera 30 mm industrijski odlivenih šarži. Ukupno je ispitivano 95 šarži, pri čemu su se karakteristične veličine krećele u slijedećim granicama

$$\begin{aligned} 2.4 - 3.6 \% C & \quad C/Si = 0.52 \sim 2.23 \quad 1 : 4 \\ 1.3 - 5.2 \% Si & \\ 0.4 - 1.4 \% Mn & S_c = \frac{C}{4.26 - 0.33Si} = 0.72 - 1.08 \\ 0.05 - 0.22 \% P & \\ 0.06 - 0.13 \% S & K = \frac{4}{3}Si(1 - \frac{5}{3C+Si}) = 0.8 - 4.3 \quad 1:5 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} m &= 9.5 - 41 \text{ kp/mm}^2 \\ HB &= 152 - 277 \text{ kp/mm}^2 \quad \frac{m}{HB} = 0.052 \sim 0.158 \quad 1:3 \end{aligned}$$

Treba istaći da je u 93.7 % uzoraka sadržaj mangana iznosio 0.4 - 0.7 %, pri čemu je 48 % uzoraka imalo 0.5 % Mn. 86.2 % uzoraka imalo je sadržaj fosfora 0.06 - 0.13 %, a 93.2 % uzoraka imalo je sadržaj sumpora 0.07 - 0.11 %. Po potrebi, bili su uzorci sa sadržajem navedenih elemenata izvan ovih granica izuzeti iz razmatranja. Na ovaj način moglo se je sa dovoljnom sigurnostti pratiti prvenstveno utjecaj promjene sadržaja ugljika i silicija, što je i postavljeno za cilj unutar ovog rada.

Navedene vrijednosti čvrstoće su srednje vrijednosti od tri
M. 19.02.

pokidana štapa, pri čemu su ekstremne vrijednosti najviše za $\pm 1.5 \text{ kp/mm}^2$ otstupale od navedene srednje vrijednosti.

Uzorci za određivanje žilavosti bili su izrađeni iz glava pokidanih vlačnih štapova, kako je to pokazano u razradi nove metode za određivanje mikrožilavosti (4). Rezultati ovih mjerena dani su kao srednje vrijednosti od 10-15 štapića izrađenih iz jedne glave.

Analizirajući rezultate izvršenih određivanja srednje žilavosti, može se kao prvo konstatirati, da se ista unutar navedenog variranog sadržaja ugljika i silicija, kreće za ispitane šarže od 52 do 174 pcn/mm^2 , dakle u omjeru 1 : 3.3.

U prvoj fazi obrade ovih rezultata provjeravana je mogućnost određivanja ovisnosti žilavosti o čvrstoći, tvrdoći, te o spo-minjanom odnosu žilavosti i omjera čvrstoće i tvrdoće (S_m/HB).

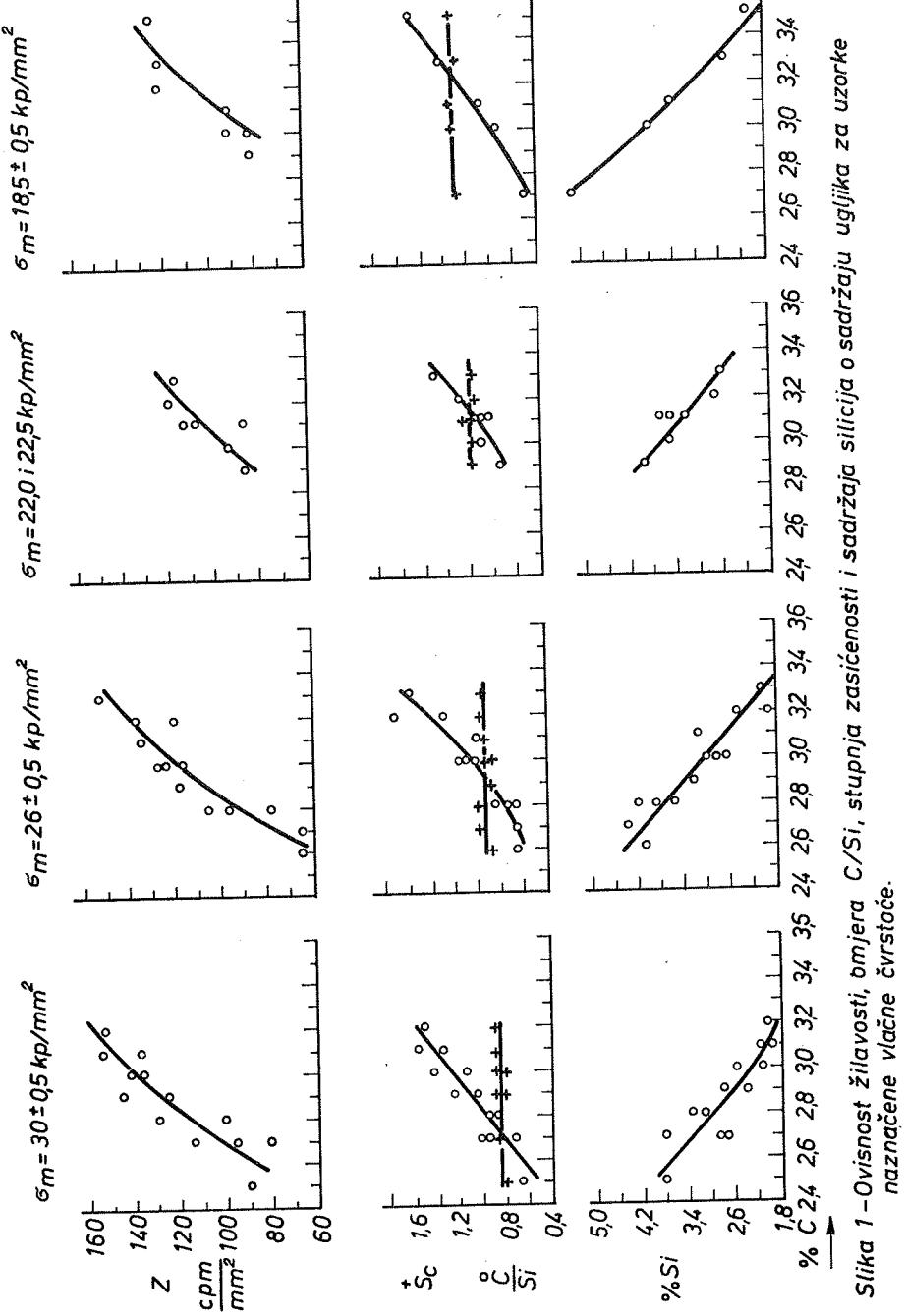
Grafičkim prikazima utvrđeno je da sve tri navedene ovisnosti ne postoje. Na primjer, analizom svih šarži kojima je čvrstoća iznosila $29-30 \text{ kp/mm}^2$, konstatirano je da se žilavost istih kreće od 50 do 155 pcn/mm^2 , dakle gotovo u cijelom registru nom rasponu žilavosti. Prateći sadržaj ugljika i silicija ovih šarži praktički jednake čvrstoće, uočeno je, da uz istu navedenu čvrstoću postižemo najveće žilavosti uz više sadržaje ugljika i niže sadržaje silicija, odnosno, visokim žilavostima odgovara i visoki iznos omjera C/Si. Ova konstatacija pokazala se je vrlo evidentna i grafičkim prikazivanjem. Nadalje, bila je provjerena eventualna ovisnost žilavosti o stupnju zasićenosti, koji je inače karakterističan za ocjenu sivog lijeva. Grafička obrada ovih dviju veličina, pokazala je da ovakav ovisnost ne postoji. Ova činjenica je potpuno i razumljiva, budući da je čvrstoća jednoznačna funkcija od stupnja zasićenosti, a kako nije konstatirana ovisnost žilavosti i čvrstoće, logično je da stupanj zasićenosti nije mjerodavan za iznos žilavosti.

Kako su provedene analize pokazale da žilavost nije moguće pokazati kao funkciju čvrstoće (pa prema tome ni od S_c), kao i

tvrdoće, ostalo je da se pri daljnjoj obradi rezultata usmjeri analiza na provjeru direktnog utjecaja ugljika i silicija na žilavost, tim više, što je ustanovljena dobra korelacija između žilavosti i omjera C/Si. Paralelno sa ovako određenim sadržajem daljnje obrade rezultata, analizirana je i čvrstoća kao funkcija sadržaja ugljika i silicija, kako bi se eventualno dobio uvid u optimalni sadržaj ovih elemenata koji bi istovremeno dali sivi lijev i dobre žilavosti i dobre čvrstoće. Za svih 95 šarži grafički su načinjene ovisnosti žilavost - % ugljika, žilavost - % silicija, čvrstoća - % ugljika i čvrstoća - % silicija. Konstatirano je da jedino za odnos žilavost - % silicija postoji jednoznačna ovisnost, i to, da za rastućim sadržajem silicija žilavost opada, dok u ostala tri navedena prikaza nije ustanovljena ovisnost promatranih parametara.

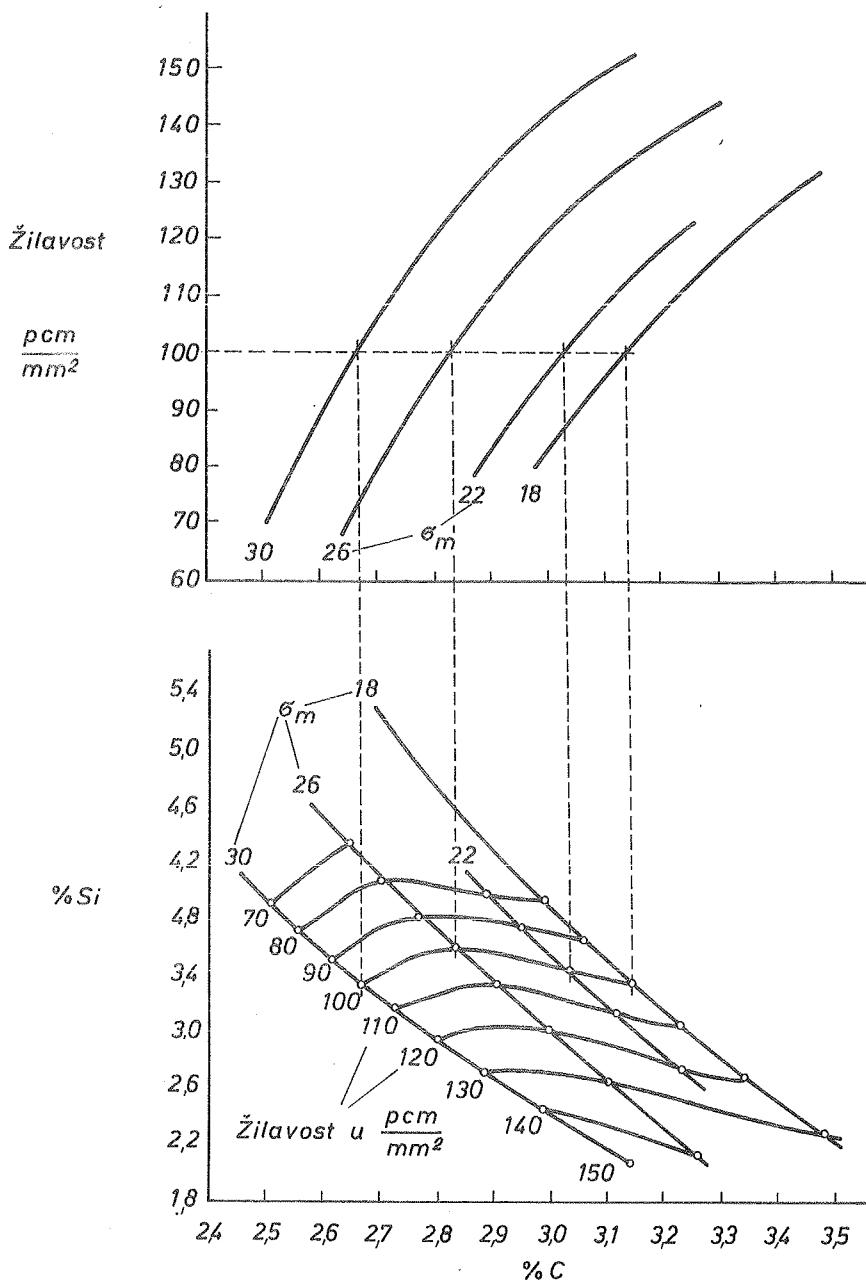
U dalnjem nastojanju da se ustanovi međusobna ovisnost između čvrstoće, žilavosti, te sadržaja ugljika i silicija, izdvojene su četiri grupe uzoraka jednake čvrstoće i to 30, 26, 22 i 18 kp/mm² uz odstupanje od navedenih vrijednosti u iznosu od ± 0.5 kp/mm². U svakoj ovoj grupi jednake čvrstoće, uzorci su imali različitu žilavost što je i kvalitativno vidljivo na gornjim grafičkim prikazima na slici 1. Za svaku grupu uzoraka, donji dijagrami pokazuju za svaki uzorak (šaržu) sadržaj ugljika i silicija, te se tako i kvantitativno grafički sagledava kako se uz konstantnu čvrstoću mijenja žilavost, te koji je odgovarajući sadržaj ugljika i silicija. Srednji dijagrami dodatno pokazuju kako se pri tome mijenja omjer C/Si, a isto tako dani su i podaci za stupanj zasićenosti koji je logično konstantan za svaku grupu uzoraka jednake čvrstoće.

U gornjim i donjim dijagramima na slici 1 mogu se na temelju učrtanih tačaka mjerjenja sa sigurnošću povući odgovarajuće krivulje, što je i učinjeno. Ako sada ovako povučene krivulje za sve grupe uzoraka konstantnih čvrstoća sumarno prikažemo u jednom dijagramu, dobijamo grafički prikaz kao na slici 2 što nam omogućuje određivanje ovisnosti žilavosti o sadržaju ugljika i silicija uz istovremeno poznavanje i čvrstoće i to na slijedeći način. U gornjem dijagramu slike 2 odredimo sjecišta



Slika 1 - Ovisnost žilavosti, omjera C/Si , stupnja zasitenosti i sadržaja silicija o sadržaju ugljika za uzorkе raznačene vlačne čvrstoće.

M.19.05.



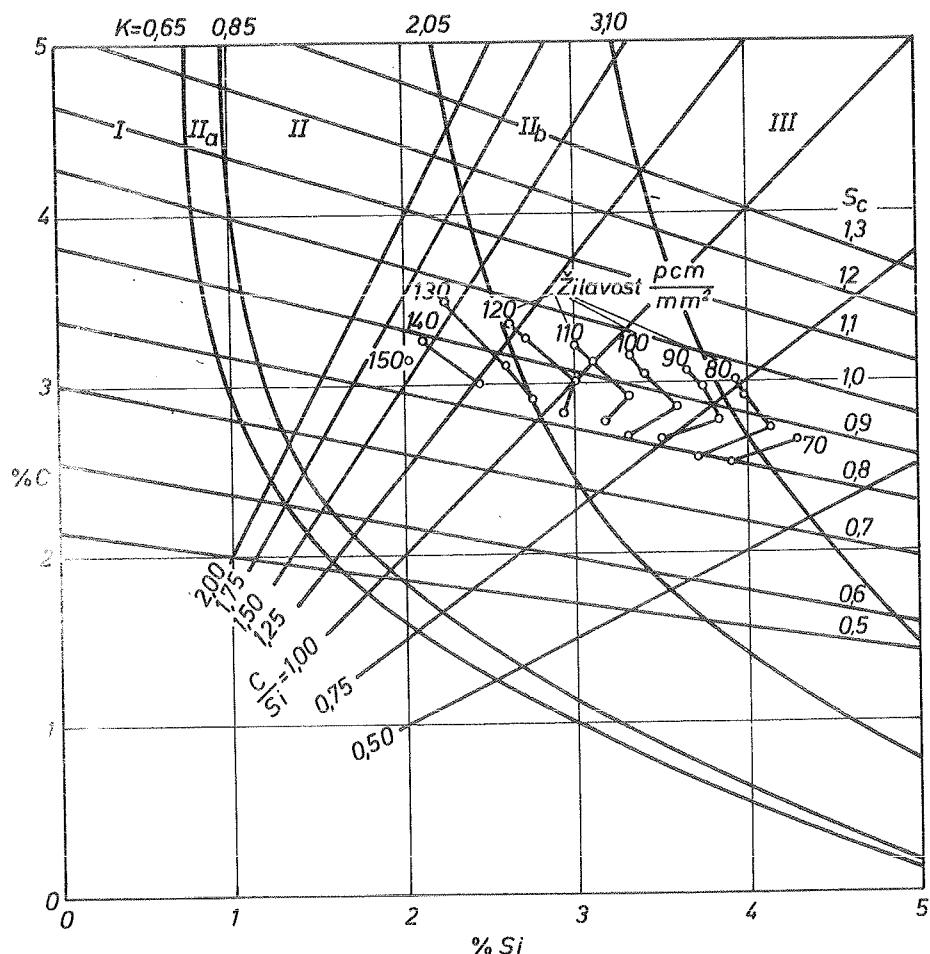
Slika 2 Grafičko određivanje krivulja konstantne žilavosti u sistemu % Si - % C pomoću pravca konstantne žilavosti.

pravca konstantne žilavosti (na primjer 100 pcm/mm^2), sa krvuljama konstantne čvrstoće. Ova presjecišta prenesemo na krvulje konstantne čvrstoće u dijagramu % Si-%C, što nam omogućava povlačenje krivulje konstantne žilavosti od 100 pcm/mm^2 . Analognim postupkom konstruiramo snop krivulja konstantne žilavosti kao funkcije sadržaja ugljika i silicija, što je bilo i postavljeno za cilj. Radi preglednijeg prikaza i bolje mogućnosti konfrontacije sa ostalim karakteristikama sivog lijeva, precrtane su ovako odredene krivulje konstantne žilavosti u Laplancheov dijagram na slici 3.

Prije svega, uočljivo je da krivulje konstantne žilavosti imaju neočekivani izgled, naime da ne teku kontinuirano, već da su lomljene. Očito je da je svojstvo žilavosti sivog lijeva složenije nego što se je očekivalo, i različito od svih dosadašnjih nastojanja koja su učinjena u smjeru određivanja žilavosti kao funkcije bilo ostalih mehaničkih svojstava, bilo kemijskog sastava. Položaj ovih krivulja konstantne žilavosti bitno je različit od pravaca konstantnog stupnja zasićenosti, dakle od pravaca konstantne čvrstoće, što definitivno pokazuje različitost ovih dvaju svojstava.

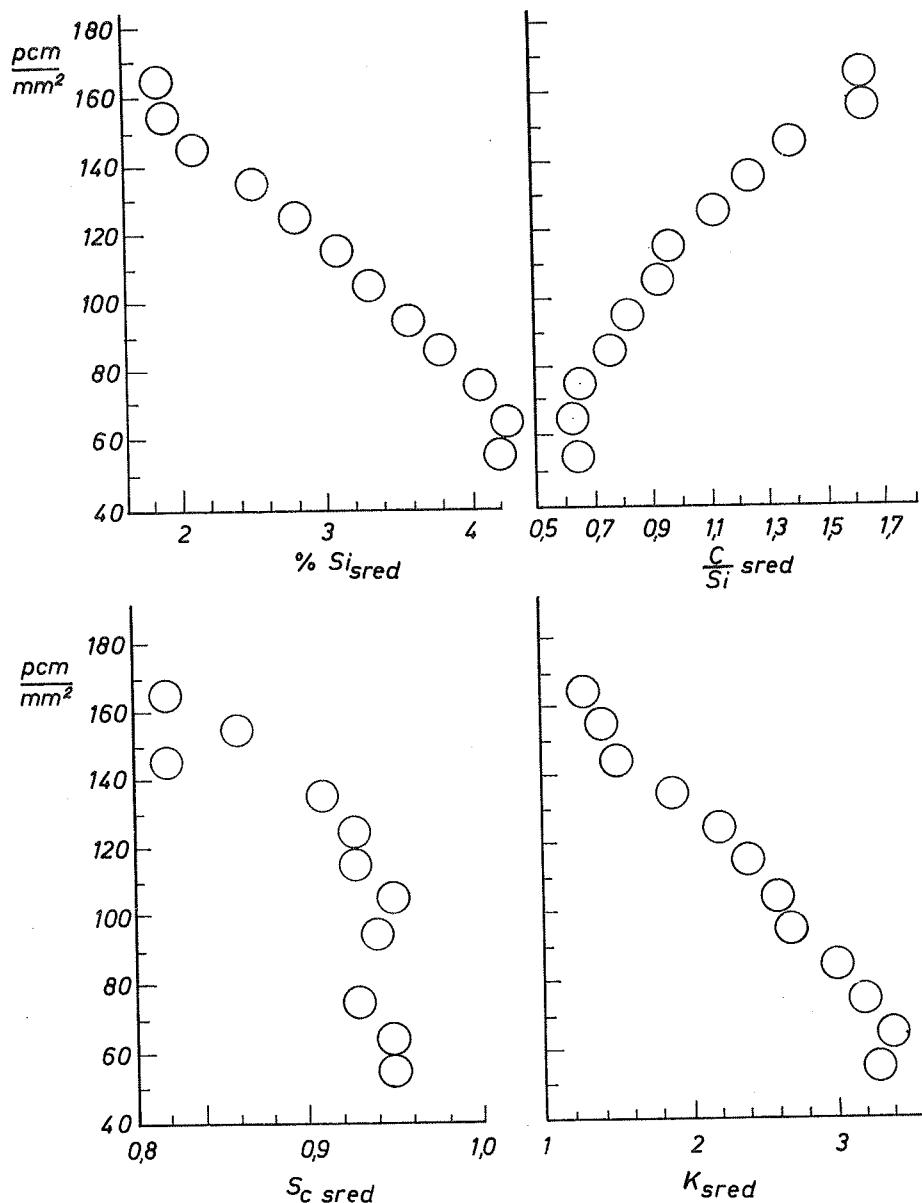
U pogledu relacije između žilavosti i sadržaja ugljika i silicija, također nije moguće dati jednoznačnu ovisnost. Ipak, evidentno je da promjena sadržaja silicija daleko intenzivnije mijenja žilavost nego što je to slučaj sa promjenom sadržaja ugljika. Omjer C/Si kao pokazatelj žilavosti, može unutar čitavog promatranog područja sastava, poslužiti za procjenu žilavosti, premda detaljno gledano, uz istu žilavost može vrijednost ovog omjera biti vrlo različita. Isti zaključak vrijedi i za koeficijent tendencije grafitizacije K.

Radi bolje jasnoće ovih konstatacija, izvršena je grupacija uzoraka žilavosti 50-59, 60-69, 70-79... pcm/mm^2 , te su za svaku grupu izračunate srednje vrijednosti sadržaja silicija, te srednje vrijednosti sadržaja ugljika kako bi dobili srednju vrijednost omjer C/Si za pojedine grupe žilavosti, a isto tako izračunate su i srednje vrijednosti stupnja zasićenosti S_c, te



Slika 3 - Prikaz krivulja konstantne žilavosti te pravaca konstantne čvrstoće (S_C) i konstantnog smjera C/Si u Laplanch-ovom dijagramu.

srednje vrijednosti koeficijenta tendencije grafitizacije za pojedine grupe žilavosti. Žilavost sivog lijeva kao funkcija ovih veličina prikazana je grafički na slici 4, pri čemu zaključci koji proizlaze iz ovih prikaza vrijede samo promatrajući varirani sastav u širokim granicama, dok u detaljima treba ipak usvojiti sva ograničenja koja proizlaze iz veličina danih u Laplanchovom dijagramu.



Slika 4-Grafički prikaz ovisnosti žilovosti o srednjem sadržaju silicija, srednjoj vrijednosti omjera C/Si , srednjoj vrijednosti stupnja zasićenosti S_c te o srednjoj vrijednosti koeficijenta tendencije grafitizacije K za pojedine grupe žilavosti.

Lomljeni karakter krivulja žilavosti nije razjašnjen. Brojna struktura istraživanja koja su u toku, kao i ona koja su predvidena, dati će vjerojatno doprinose u tom smjeru.

Literatura

1. A. Collaud
Mitt. von Rollsche Eisenwerke, Nr 1/2, (1944)
2. A. Collaud, J. Thieme
Die Zähigkeit von Gusseisen mit Lamellengraphit als Qualitätsmaßstab und neue Wege zu ihrer Erhöhung
Giesserei, 53. 1966.
3. W. Patterson, W. Standke
Bestimmungsverfahren und Grösse der Schlagzähigkeit
von Gusseisen mit Lamellengraphit
Giesserei-Forschung 21 (1969) Nr 1
4. R. Zgaga
Neues Verfahren zur Bestimmung der Schlagzähigkeit
spröder Werkstoffe
Materialprüfung 12 (1970) Nr. 6

R. Zgaga

Dependence between the toughness and chemical composition of gray iron

As introduction the literature's review is given as related to the attempts of connecting the toughness of gray iron with its others mechanical properties and chemical composition.

Upon the determination of the toughness by means of the new-developed method for the determination of micro-toughness carried out on 95 industrial casted melts the curves of the constant toughness are drawn into the Laplanch diagram and the dependence between the toughness, the hardness, the carbon's as well as silicon's content can be seen.

Separately, the relationship between the toughness and silicon's content, ratio C/Si, the degree of saturation S, and the coefficient of tendency for graphitization K are given.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971.

B.Liščić *

"KONTINUIRANI ŽILAVI LIJEV, NITRIRAN POSTUPKOM TENIFER, KAO MATERIJAL ZA SERIJSKU PROIZVODNJU ZUPČANIKA" **

1. Uvod

Za proizvodnju zupčanika određene namjene, posebno u srednjim i većim serijama stvorene su i u našoj zemlji nove mogućnosti i to s jedne strane pojavom na tržištu nove vrste materijala - kontinuiranog sivog lijeva, a sa druge strane usvajanjem nove tehnologije toplinske obrade nitriranja u solnoj kupci - postupkom Tenifer.

Kad govorimo o zupčanicima određene namjene, onda mislimo na zupčanike određenog oblika do cca 300 mm promjera, koji se u raznim konstrukcijama upotrebljavaju kao elementi prenosa i to one bez velikih Hertz-ovih pritisaka i bez znatnih dinamičkih opterećenja, dakle one zupčanike koji su napregnuti na trošenje bokova zubi habanjem, izjedanjem ili na pitting, a kod kojih se zahtjeva miran besšumni rad. Kombinacija gore spomenutog kontinuiranog sivog lijeva i suvremene tehnologije nitriranja postupkom Tenifer, pruža nove mogućnosti u pogledu dobivanja zupčanika visoke kvalitete na veoma produktivan način sa relativno niskim troškovima proizvodnje. Upravo razmatranje posljednjeg, jeste cilj ovog saopćenja.

O kontinuiranom sivom lijevu i načinu njegova dobivanja može se više saznati npr. iz 2), a njegova svojstva, koja su za naše razmatranje važna (u usporedbi sa običnim u pijesku lijevanim sivim lijevom), jesu:

- znatno sitnozrnatija potpuno jednolika struktura, bez ikakvog prisustva lunkera, poroznosti ili uključaka
- mnogo finija raspodjela grafita
- izvanredno dobra obradivost rezanjem

* Božidar Liščić, dipl.inž.strojarstva, docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb.

** Dio ispitanja u ovom saopćenju izvršen je na Fakultetu strojarstva i brodogradnje, Katedra za nauku o metalima, u Zagrebu, a dio za vrijeme boravka autora na specijalizaciji u S.R.Njemačkoj.

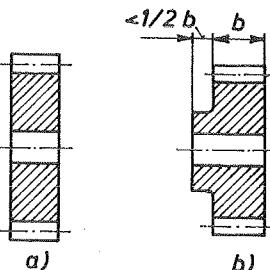
Materijal sa kojim su vršeni izvjesni pokusi opisani u ovom saopćenju, proizведен je u Železarni Štore i predstavlja žilavi sivi lijev sa kuglastim grafitom, kakvog ova željezara proizvodi u dimenzijama od 30-250 mm ϕ po kontinuiranom postupku u 4 kvalitete.

Postupak Tenifer uveden je od januara 1970.g. u laboratoriju za toplinsku obradu Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

2. Serijska izrada zupčanika iz profila dobivenih kontinuiranim lijevanjem sivog lijeva:

Za serijsku izradu zupčanika, čiji oblik odgovara obliku okrugle ploče (sl.1a) ili za zupčanike sa nabom čija širina nabe iz-

nosi manje od polovine širine zupčanika (sl.1b), upotreba profila kontinuiranog sivog lijeva, omogućuje zbog njegove izvanredne obradivosti rezanjem, da se primjeni niže opisana visoko produktivna metoda njihove izrade. Da je takova proizvodna metoda interesantna, pokazuje poznata tendencija razvoja u smislu hladnog valjanja ozubljenih šipki, koje je međutim moguće samo primjenom skupocjenih specijalnih strojeva i može se



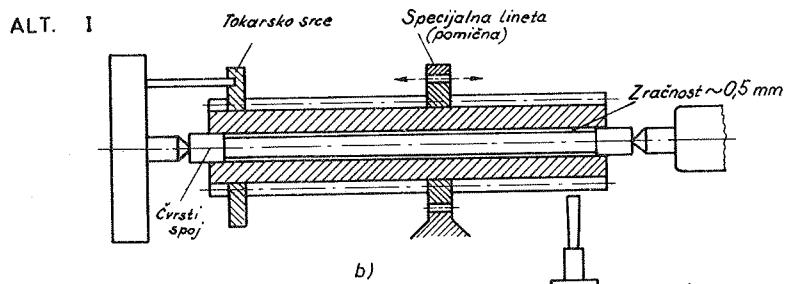
Sl. 1a i 1b

zato primjeniti do određenog modula samo kod vrlo velikih količina istih zupčanika.

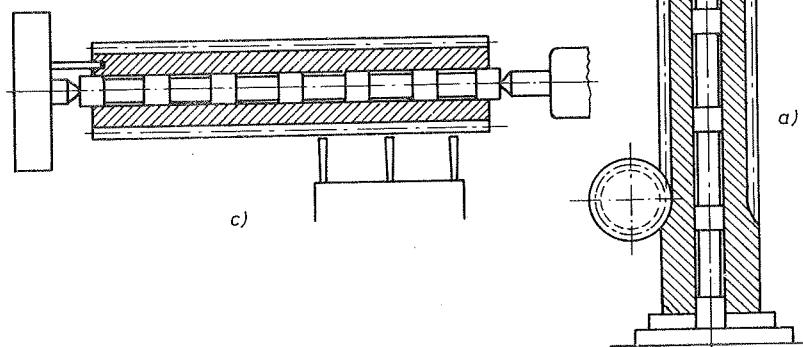
Da bi se slične prednosti obrade u pogledu visoke produktivnosti moglo primjeniti i kod obrade odvalnim glodalicama za zupčanike, - i time omogućiti ekonomičnu proizvodnju srednjih i malih serija određenih vrsta zupčanika, predstavlja primjena profila iz kontinuiranog sivog lijeva prema niže opisanoj metodi, riješenje koje daje nove mogućnosti.

Profili kontinuiranog (žilavog) sivog lijeva proizvode se u raznim promjerima i dužinama do nekoliko metara, sa uskim tolerancama u pogledu promjera i ravnosti profila, tako da je dovoljno prije ozubljenja skinuti tokarenjem samo vrlo mali dodatak, tj. vanjsku koru profila. Cijena tih profila po kg sa prosječnih 3,65 din/kg (za profile od 120-250 mm ϕ), obzirom na potpunu sigurnost da zbog materijala neće biti škarta u izradi, je relativno niska.

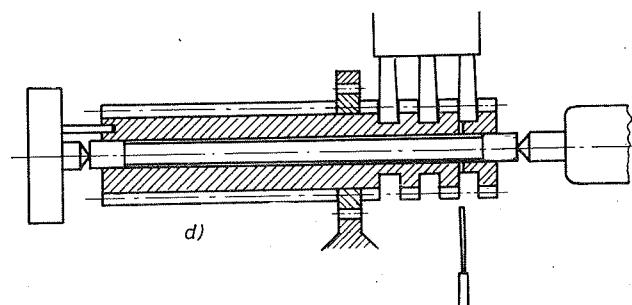
Polazni polufabrikat u ovom slučaju predstavlja kontinuirani profil sivog lijeva odrezan na određenu dužinu (ovisno o max. mogućnostima stroja za odvalno glodanje zubi), npr. 500 mm, koji bi (u kasnijoj fazi) još kod dobavljača trebao biti metodom dubokog bušenja izbušen na toleriranu rupu određenog promjera.



ALT. II



ALT. III



Slika 2

M.20.03.

po narudžbi. Na taj način bikod korisnika takvog polufabrikata, pri serijskoj izradi zupčanika, otpala potreba bušenja rupa. Ovdje treba imati na umu, da je u posljednjem stadiju razvoja dobivanja kontinuiranog lijeva uspjelo i kod sivog lijeva oditi profil sa rupom.

Umjesto dosadašnjeg načina pojedinačne izrade zupčanika, prema ovoj metodi potrebno je izvršiti ozubljivanje čitavog profila odredene dužine na odgovarajućoj odvalnoj glodalici, kako to shematski prikazuje sl.2a. Nakon ozubljenja vrši se odrezivanje pojedinačnih zupčanika na određenu širinu, prema jednoj od alternativa I, II ili III prikazanima pod a) b) i c) u sl.2, ovisno o tome, da li se radi o manjim količinama (alt.I), o velikoserijskoj proizvodnji (alt.II), ili o zupčanicima sa nabom (alt.III). Korištenjem specijalnih ekspanzionih trnova, koji su danas poznati u različitim izvedbama, i koji za bazu upinjanja uzimaju rupu izrađenu dubokim bušenjem, mogu takve šuplje šipke biti upete na odgovarajući način za vrijeme obrade. Štoviše isti ekspanzionalni trn koristi se kod: ozubljivanja, kod skidanja površinskog sloja šipke tokarenjem i kod odrezivanja pojedinačnih zupčanika. Kako je iz sl.2 vidljivo, data je time mogućnost sve operacije mehaničke obrade izvršiti uz jedno jedino upinjanje šipke, korišteci se u slučajevima alt.I i alt.III i specijalnom linetom. Upijanjem šipke pomoću ekspanzionog trna na gore opisani način postiže se daljnje povećanje točnosti izrade zupčanika zbog potpuno iste koaksijalnosti između rupe i ozubljenja, kod svih zupčanika. Kao što je poznato u mnogim slučajevima pojedinačne izrade zupčanika nastaju greške upravo zato, jer se kod pojedinih operacija ne osigura uvijek dovoljna koaksijalnost.

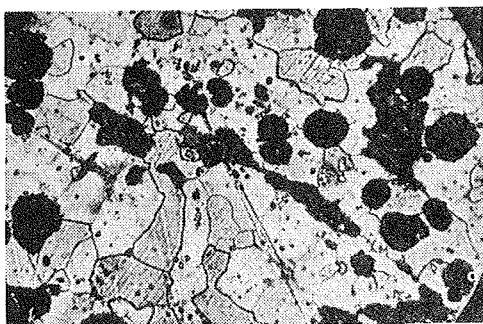
3. Svojstva kontinuiranog žilavog sivog lijeva:

Kako je i u 1. navedeno i općenito poznato, žilavi sivi lijev sa kuglastim grafitom, razlikuje se od ostalih vrsta sivog lijeva kod kojih grafit dolazi u listićima, u prvom redu znatno boljom žilavošću. To je posljedica kuglastog oblika grafita, koji za razliku od grafita u listićima, smanjuje njegovo zarezno djelovanje u strukturi, čime se pored povećanja statičke čvrstoće prije svega postiže veća mogućnost dinamičkog opterećenja, odnosno bolja dinamička izdržljivost (čvrstoća kod promjenljivog opterećenja). Poznata je u posljednje vrijeme sve više izražena tendencija, da se žilavi sivi lijev sa kuglastim grafitom, sve više upotrebljava i za izradu onih naizmjenično opterećenih dijelova, kao što su npr. koljenaste osovine, koji su prije izrađivani iz čelika ili čeličnog lijeva.

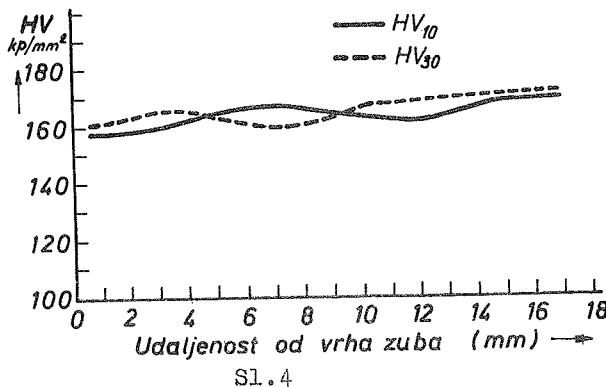
Materijal upotrebljen pri ispitivanjima o kojima je ovdje riječ bio je:

kontinuirani žilavi lijev KGR-42, sa slijedećim kemijskim sastavom:

Cuk	Si	Mn	P	S
%				u tragovima
3,48	2,36	0,25	0,020	



Sl.3 (pov. 325x)



Sl.4

te se na temelju tih ispitivanja može ocijeniti slijedeće:

Dok srednja vrijednost "mikrožilavosti" običnog sivog lijeva iznosi oko $150 \frac{\text{pcm}}{\text{mm}^2}$, a kod normalno lijevanog žilavog lijeva oko $1000 \frac{\text{pcm}}{\text{mm}^2}$,

za kontinuirano lijevani profil ovog upotrebljenog feritnog žilavog lijeva "mikrožilavost" iznosi barem $1500 \frac{\text{pcm}}{\text{mm}^2}$. To znači, da

je žilavost kontinuiranog žilavog lijeva bar 10 puta viša od žilavosti običnog sivog lijeva, a osim toga, da je ovaj feritni kontinuirani žilavi lijev za barem $1,5 \times$ žilaviji od običnog žilavog lijeva.

Postoji jasno i perlitni kontinuirani žilavi lijev, za kojeg bi ove vrijednosti trebalo tek ustanoviti.

4. Odrezivanje zupčanika iz ozubljene šipke:

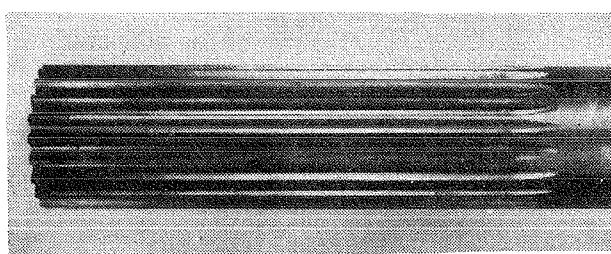
Na sl.5 prikazana je ozubljena šipka iz kontinuiranog žilavog lijeva KGR-42, tokarena fina na vanjski promjer od $69 \text{ mm } \varnothing$ u

Na sl.3 data je metalografska snimka strukture tog materijala iz koje je vidljiva njegova feritna osnova i kuglasti oblik grafita.

Na dijagramu sl.4 prikazan je tok i vrijednosti tvrdoće spomenutog materijala, mjerene na izrađenom zubu zupčanika od vrha zuba prema središtu profila.

U pogledu žilavosti ovog materijala vršena su izvjesna komparativna ispitivanja metodom mjerjenja "mikrožilavosti" - po Zgagi 4),

dužini od 395 mm. Bušenje rupe $32 \varnothing H7$ mm izvršeno je u jednom prolazu na stroju za duboko bušenje "Heidenreich & Harbeck" -



S1.5

Typ: BS-3.

Nakon dubokog bušenja izvršeno je mjerjenje hrapavosti na oba kraja šuplje šipke - na unutarnjoj površini, sa ciljem da se ispita, da li se ovim materijalom nakon dubokog bu-

šenja u jednom prolazu dobije dovoljna kvaliteta površine rupe, kako bi otpala potreba naknadne obrade rupe kod svakog odreza-
nog zupčanika.

Ispitivanje hrapavosti u rupi $32 \varnothing H7$ izvršeno je u laboratori-ju za dimenzionalna mjerena FSB - Zagreb, metodom otisaka i uz upotrebu Schmaltz-ovog mikroskopa. Ovim ispitivanjem su dobive-
ni slijedeći rezultati:

Mjesto mjerena	$R_{max} (R_f)$	$\sim R_z$
Na kraju šipke A	7,21	4,51
Na suprotnom kraju šipke B	12,28	7,67

Iz ovog proizlazi prema JUS-MAL. 0,21, da se kod ovog materija-
la pri dubokom bušenju u jednom prolazu može postići 7-8 klase
hrapavosti, što odgovara npr. operaciji: brušenje - čisto, i poka-
zuje da se ovim načinom izrade mogu dobiti rupe zupčanika sa do-
voljno kvalitetnom površinom.

Ozubljenje šipke izvršeno je u laboratoriju za mehaničku obradu FSB - Zagreb, i to prema slijedećim osnovnim podacima:

modul: $m = 3$

broj zubi: $z = 21$

širina zupčanika: $b = 20$ mm

korisna dubina

ozubljenja : 240 mm

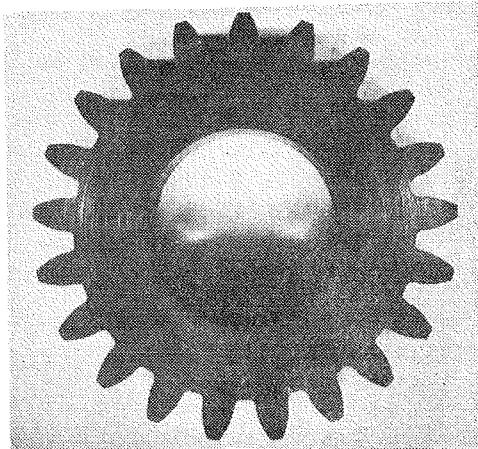
zahvatni kut : $\alpha = 20^\circ$

Odrezivanje ukupno 9 kom.pojedinačnih zupčanika iz ozubljene šip-
ke, koje je vršeno na univerzalnoj tokarilici TES-3 sa noževima
za otsjecanje iz brzoreznog čelika i iz tvrdog metala pod raz-
nim uslovima u pogledu broja okretaja (od najmanjeg $360^\circ/min$ do
najvećeg $600^\circ/min$), posmaka - uz hladjenje emulzijom i bez hlađe-
nja, - imalo je za cilj, da pokaže da li je i pod kojim uslovi-
ma to odrezivanje provedivo, bez da dođe do krhanja materijala

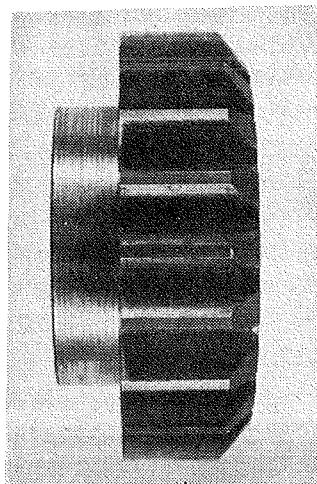
na zubima. To je bio veoma važan pokus, koji je trebao dokazati, da li je izrada zupčanika po predloženoj metodi moguća, iz upotrebljenog materijala bez njihovog oštećenja, obzirom na činjenicu, da ozubljena šipka kod odrezivanja predstavlja nepovoljan slučaj sa udarcima na oštricu noža.

Zahvaljujući velikoj žilavosti i izvanrednoj obradivosti reza-njem upotrebljenog kontinuiranog žilavog lijeva ni u jednom od svih 9 slučajeva odrezivanja - pod vrlo različitim uslovima - uopće nije došlo niti do najmanjeg oštećenja odrezanih zupčanika - a niti do oštećenja noževa za odrezivanje.

Na sl.6 prikazan je jedan od odrezanih zupčanika, čije je odrezivanje izvršeno pod slijedećim uslovima:



Sl.6



Sl.7

Na sl.7 prikazan je zupčanik širine zuba 20 mm sa nabom širine 10 mm, koja je tokarena pri operaciji odrezivanja pod slijedećim uslovima:

Nož za otsjecanje iz brzoreznog čelika
Širina oštice: 5,3 mm.

Rezni kut noža α - oštiri nego što je normalno.

Broj okretaja ozubljene šipke: 2030/min
Posmak: fini-ručni
Hlađenje emulzijom

Kao što je na sl.7 vidljivo izvršeno je u ovom slučaju sa odgovarajućim nožem i lomljenje brida pod 45° , bez i najmanjeg oštećenja krhanjem.

Gore navedeni pokusi; dokazali su, da je uz primjenu navedenog materijala moguće realizirati visoko produktivnu

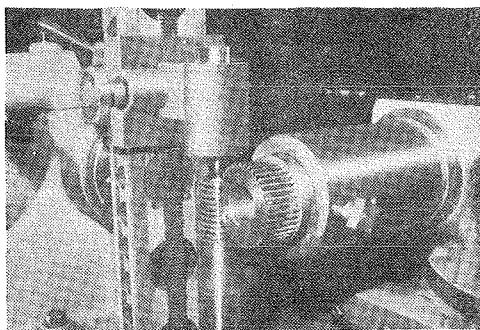
Nož za otsjecanje iz brzoreznog čelika - širina oštice : 5,3mm
Kutevi noža standardni -
Broj okretaja ozubljene šipke : 2830/min. Posmak: fini-ručni. Trajanje odrezivanja: 1,8 min (bez hlađenja). Kao što je iz sl.6 vidljivo - a za praksu osobito značajno - na odrezanom zupčaniku nije ostalo nikakvog srha. Za većinu slučajeva primjene ovako odrezani zupčanici iz ovog materijala mogu biti ugrađeni bez ikakve daljnje obrade ivica zubi i bez dodatne obrade bočnih stranica zupčanika.

izradu zupčanika prema izloženoj metodi.

5. Naknadno nitriranje zupčanika - povećanje otpornosti na trošenje: Kontinuirani sivi lijev (općenito) zbog svoje sitnozrnate strukture i vrlo fine raspodjele grafita, predstavlja osobito pogodan materijal za naknadnu obradu već gotovih zupčanika (i ostalih dijelova) nitriranjem u solnoj kupci, pri čemu dolazi do poboljšanja dvaju bitnih svojstava i to:

- otpornost na trošenje
- dinamičke izdržljivosti

Da bi se došlo bar do nekih usporedivih rezultata u povećanju otpornosti zupčanika na trošenje, izvršen je pokus prikazan na sl.8.



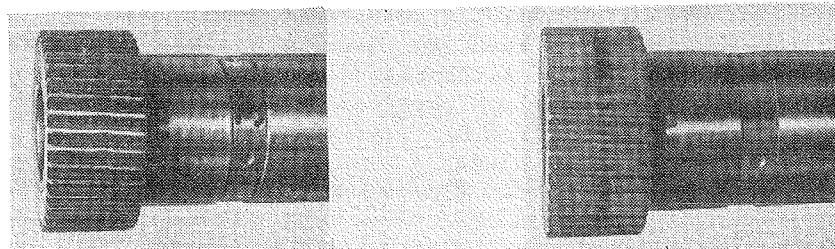
Sl.8

Pri tom pokusu bio je u zahvatu jedan pužni vijak iz čelika C-60 sa zupčanicom sa ravnim zubima, koji je bio izrađen alternativno iz bronce Gc-Sn-B 12, odnosno iz kontinuiranog sivog lijeva naknadno nitriranog u solnoj kupci postupkom Tenifer. Treba istaknuti, da je dodir u tačci između pužnog vijka i zupčanika u ovom slučaju izvanredno nepovoljan i dolazi u primjeni samo u

najrjeđim slučajevima.

Da bi se osigurao uvijek isti pritisak na bokove zuba zupčanika pri ovom pokusu, kod prenošene snage od 0,5 KS vršeno je kočenje pomoću jednog vijka, a kao kontrola jednakog kočenja mijerena je i držana konstantnom struјa određene amperaže. Svi pokusi vršeni su na suho tj. bez ikakvog podmazivanja.

Na sl.9 i 10 prikazana su trošenja na zupčanicima do kojih je došlo nakon određenoг vremena.



Sl.9

Sl.10

Na sl.9 prikazan je zupčanik iz bronce Gc-Sn-B 12 nakon trajanja pokusa od 30 min. Vidljivo oštećenje na bokovima zubi imalo je dubine od 0,20 mm.

Na sl.10 prikazan je zupčanik iz kontinuiranog sivog lijeva ni-

triran postupkom Tenifer. Nakon dvostrukog trajanja pokusa u vremenu od 60 min vidljivo oštećenje na bokovima zubi imalo je dubine od svega 0,005 mm.
Iako ovaj pokus može dati samo približnu usporedbu, on je omogućio vrlo interesantne i dalekosežne zaključke.

L I T E R A T U R A

- 1) H.Krzyminski, Untersuchungen an Tenifer-behandelten Proben aus Gusseisen mit Kugelgraphit, - Durferrit Hausmitteilungen (Juli 1966), Heft 38.
- 2) H.A.Krall und H.A.Koch, Grauguss-Kokillen-Strangguss Maschinenmarkt 73 (1967) № 75.
- 3) B.Liščić, Zahnräder aus Strangguss in Sonderqualität Grauguss, Maschinenmarkt 74 (1968) № 39.
- 4) R.Zgaga, A New Method of Determining the Toughness of Brittle Materials, Report held at the annual foundry Congress at Leoben 1969.

Zusammenfassung:

Das oben angeführte, wie auch die Ergebnisse der beschriebenen ersten Vorversuchen, bestätigen zwei wichtige Tatsachen, und zwar:

- Dass der Kugelgraphit-Strangguss in der Form von entsprechend vorbearbeiteten Profilen ein Material ist, das nach oben beschriebener Methode für wirtschaftliche Fertigung der Zahnräder besonders bei mittleren und grossen Serien verwendet werden kann.
- Dass durch nachträgliche Nitrierung im Salzbad (Z.B. nach dem Tenifer Verfahren) schon fertig bearbeitete Zahnräder aus Strongguss verschleissfest gemacht werden können.

Wenn man dabei noch betont, dass die Nitrierung im Salzbad bei 570°C mit nachträglicher Abkühlung an der Luft ohne irgendeinen praktisch bemerkbaren Verzug durchgeführt wird, - kann man daraus schliessen, das damit eine wirtschaftliche Fertigung der Zahnräder ermöglicht ist und zwar nicht nur Zahnräder die verschleissfest sind sondern auch Zahnräder die einen geräuscharmen Lauf gewährleisten können.

Bei weitere Untersuchungsarbeiten, steht als wichtigste Aufgabe: mit o.a. feritschem Kugelgraphit-Strangguss (wie auch mit perlitischem Kugelgraphit-Strangguss), nach der Tenifer Behandlung folgende Eigenschaften festzustellen:

- Abwälzfestigkeit an den Zahnflanken bei wechselnder Beanspruchung
- Zahnfussdauerfestigkeit

Diese Angaben sind für jede Stranggussorte nötig um auf Grund der Berechnung der Belastungen, die Einführung dieses Materials in das breite Gebiet der Verwendung anzufangen.

M.20.09.

M. Novosel*

PRIMJENJIVOST VISOKOG POPUŠTANJA NA LEDEBURITNE ALATNE ČELIKE
ZA HLADNI RAD**

Ledeburitni alatni čelici za hladni rad s oko 11 do 13 % Cr poznati su po visokoj otpornosti prema trošenju u hladnom stanju. Postojanje te otpornosti čelici zahvaljuju relativno velikoj količini nerastvorenih karbida sekundarnog i eutektičkog tipa, koji se nakon kaljenja nalaze uloženi u tvrdnu osnovnu masu primarnog martensita. Relativna količina i vrsta tih karbida vidi se na sl. 1, koja prema K. Kuou predstavlja izotermički presjek sistema Fe-C-Cr na 700°C , dakle približno i na sobnoj temperaturi. Ucrtane točke u tom dijagramu predstavljaju čelike sa 0,9, 1,6 i 2,0 % C i 12 % Cr. Vidi se iz slike da prvi čelik sadrži dvije vrste legiranih karbida tj. $(\text{CrFe})_{23}\text{C}_6$ i $(\text{CrFe})_7\text{C}_3$, dok druga dva čelika sadrže samo po jedan tip, tj. $(\text{CrFe})_7\text{C}_3$.

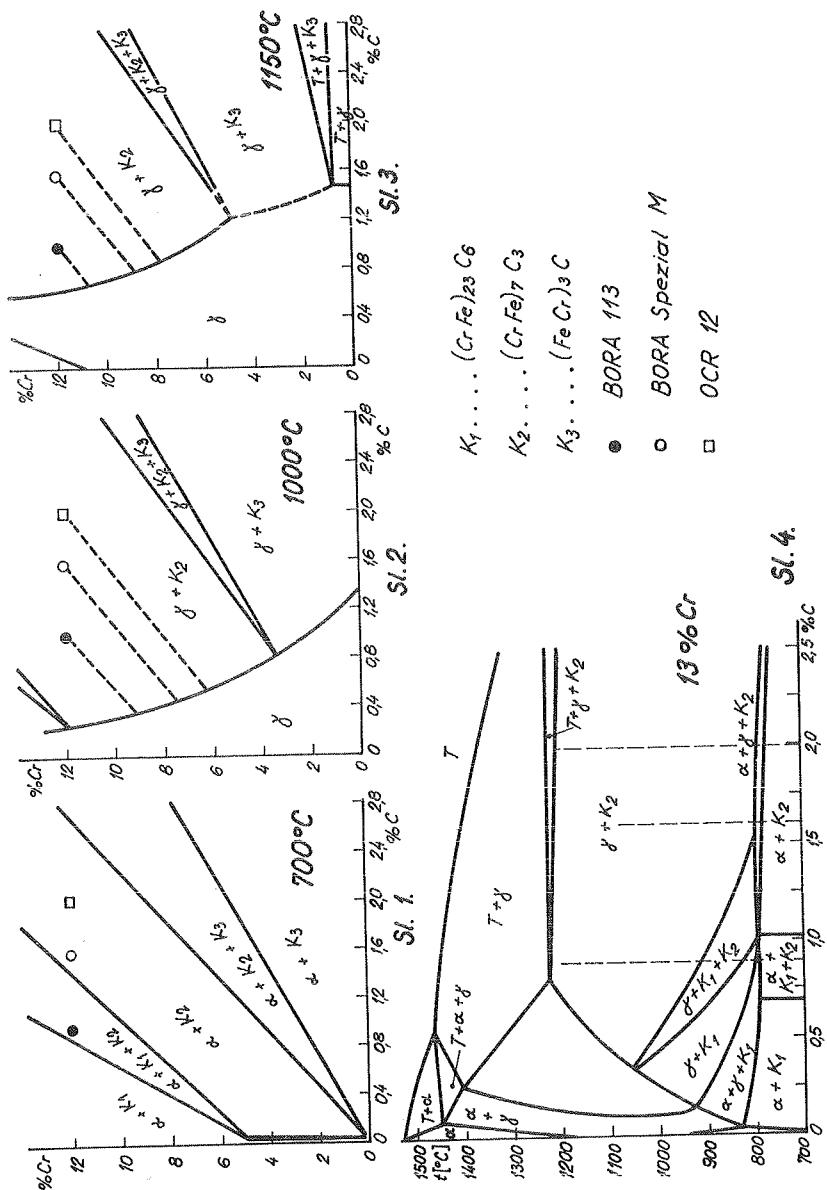
Na sl. 2 i 3 predstavljeni su izotermički presjeci Fe-C-Cr sistema na 1000 odnosno 1150°C (prema Bungardtu, Kunzeu i Hornu). Iz tih je dijagrama vidljivo, da na tim temperaturama uz austenit postoje u sva tri čelika samo karbidi tipa $(\text{FeCr})_7\text{C}_3$.

Iz istih se slika vidi još i slijedeće:

- ukupna količina karbida u tim čelicima s 12 % Cr raste porastom sadržaja ugljika, a pada s porastom temperaturre austenitizacije.

* Mladen Novosel, dipl. ing., docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje Zagreb.

** Saopćenje o djelomičnim rezultatima ispitivanja vršenih pri Katedri za nauku o metalima Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.



M.21.02.

- koncentracija ugljika u austenitu raste kako s porastom sadržaja ugljika u čeliku tako i s porastom temperature austenitizacije.
- koncentracija kroma u austenitu pada s porastom sadržaja ugljika u čeliku, a raste s porastom temperature austenitizacije.

Iz ovih je prikaza jasno, zašto se kod klasičnih tipova ledeburitnih čelika teži relativno visokoj količini ugljika u tim čelicima. Tako na pr. čelik s 0,9 % C ima na 1000°C svega oko 0,3 % C u austenitu, što nije dovoljno da osnovnoj masi tog čelika dade dovoljno visoku tvrdoću nakon gašenja (ovaj čelik u neku ruku predstavlja prijelazni tip od nadeutektoidnih nerđajućih martensitnih čelika ka podeutektičkim tipovima). Vjerojatno dobro svojstvo visoke žilavosti ovog čelika nakon kaljenja umanjuje činjenica, da će tvrdoća osnovne mase biti relativno niska, a isto tako, da se efekt sekundarne tvrdoće neće postići iako bi se, gledajući sadržaj kroma rastvorenog u austenitu, to na prvi pogled moglo očekivati. Relativno niska količina ugljika u austenitu na 1000°C uzrokovat će naime visoku M_s -temperaturu, pa će količina zaostalog austenita nakon kaljenja biti niža nego u čelicima s više ugljika.

Čelici sa 1,6 odnosno 2 % C sadržavat će veću količinu rastvorenog ugljika u austenitu na 1000°C , ali će njihova žilavost biti vjerojatno znatno ispod vrijednosti žilavosti prvog čelika, radi prisutnosti znatno veće količine nerastvorenih karbida. (Količine karbida, na tim temperaturama odnose se približno kao 1 : 1,6 : 3,75).

Eventualno povišenje temperature austenitizacije dovelo bi istina do rastvaranja većih količina ugljika i kroma u austenitu, dakle i do sniženja ukupne količine karbida. Tako bi se na pr. na temperaturi austenitizacije 1150°C u odnosu na onu 1000°C snizila količina nerastvorenih karbida u prvom čeliku za oko 50 %, u drugom za oko 40 %, a u trećem za oko 25 %, uz

istovremeno povišenje koncentracija ugljika i kroma u austenitu i samim tim i do pojačanja težnje austenita prema stabilizaciji pri kaljenju. Na prvi pogled činilo bi se, da ovo povišenje temperature austenitizacije mora dovesti kako do povišenja žilavosti kaljenih predmeta (manja količina nerastvorenih karbida), tako i do povišenja otpornosti prema popuštanju (veća količina zaostalog austenita). Međutim u klasičnim tipovima ovih čelika dolazi povišenjem temperature austenitizacije i do povećanja austenitnog zrna, što opet povlači za sobom pad žilavosti u kaljenom i popuštenom stanju. Istraživanja Yamanake i Koshibe dovela su do stvaranja modificiranih tipova ovih čelika. Yamanaka je na pr. utvrdio, da dodatak molibdena u količinama do 1,5 % povisuje žilavost klasičnih tipova čelika i njihovu prokaljivost, ali da ne utječe na sprečavanje porasta zrna. S druge strane pronašao je, da vanadij sprečava porast zrna na povišenim temperaturama austenitizacije, poboljšava žilavost, ali snizuje prokaljivost. Istraživanja Koshibe pokazala su, da dodaci volframa poboljšavaju otpornost prema trošenju i povisuju čvrstoću na povišenim i normalnim temperaturama, ali uzrokuju pad žilavosti.

Za komparativna i kompleksna ispitivanja mehaničkih svojstava ovih tipova čelika odabrana su dva modificirana tipa i to:

- čelik Marathon BORA 113 nominalnog sastava: 0,90 % C
0,30 % Si 0,30 % Mn 11,50 % Cr 0,90 % Mo i 0,90 % V
- čelik Marathon BORA Spezial M nominalnog sastava: 1,60 % C
0,30 % Si 0,30 % Mn 12,0 % Cr 0,70 % Mo 0,45 % V
0,5 % W

te jedan klasični čelik (OCR-12) nominalnog sastava: 2,0 % C
12,0 % Cr 0,2 % V.

Svrha ispitivanja ponašanja ovih čelika nakon kaljenja s povišenih temperatura austenitizacije i visokog popuštanja jest, da se utvrdi primjenjivost ovih modificiranih tipova čelika za:

- površinsku obradu Tenifer postupkom
- toplinski i abraziono opterećene kalupe
- rezne alate uz povišene brzine rezanja

Ispitivanja su do sada provedena u smislu kontrole tvrdoće i kontrole težnje prema porastu austenitnog zrna. Daljnji program ispitivanja sadrži još ispitivanja žilavosti i otpornosti prema trošenju, kao i ispitivanja utjecaja toplinske predobrade ("predgašenja") na ova navedena svojstva.

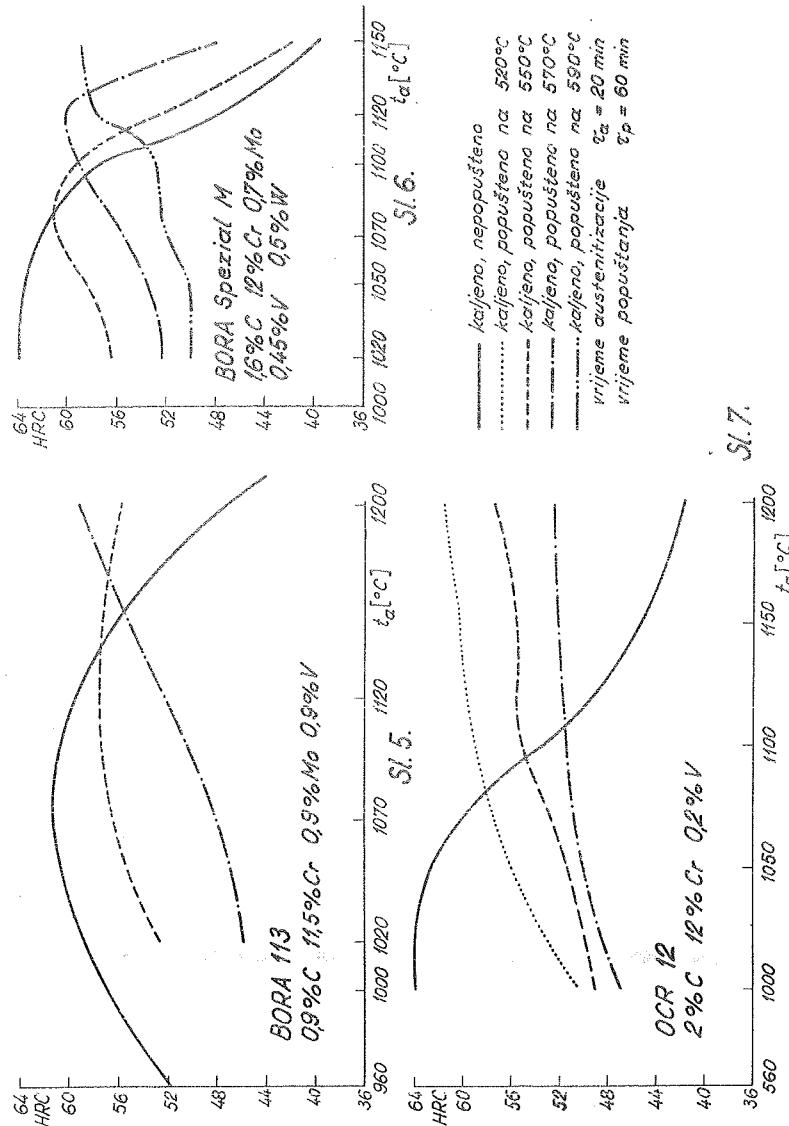
Pri ispitivanju varirani su slijedeći parametri:

- temperaturna austenitizacija (1000, 1020, 1050, 1070, 1100, 1120, 1150 i 1200°C)
- vrijeme austenitizacije (5, 10, 20, 40 i 80 min)
- temperaturna popuštanja (520, 550, 570 i 590°C)

Austenitizacija je vršena u solnoj kupki Carboneutral (bez predgrijavanja), gašenje je vršeno u ulju, a popuštanja u peći s prisilnom cirkulacijom zraka u vremenu od 60 min. Djelomični rezultati ispitivanja prikazani su dijagramski i to tako, da se nastojalo što bolje prikazati komparaciju svojstava tri obradena čelika.

Dijagrami na sl. 5, 6 i 7 prikazuju tvrdoće kao funkcije temperature austenitizacije (za vrijeme austenitizacije 20 min) i to u gašenom i različito popuštenom stanju. Kako se vidi, kod čelika BORA 113 (0,9 % C) maksimalna se tvrdoća gašenja postiže s temperaturom austenitizacije od oko 1080°C, ali se nakon popuštanja na 550 odnosno 570°C primjećuje jači pad tvrdoće (na 56 odnosno 49 HRC). Pojava sekundarne tvrdoće vidljiva je tek za temperature austenitizacije više od oko 1150°C, a najjače sekundarno kaljenje pronađeno je nakon austenitizacije na 1200°C i popuštanja na 570°C (59 HRC).

Kod čelika BORA Spezial M (1,6 % C) maksimalna je tvrdoća nakon popuštanja na 550°C postignuta nakon austenitizacije na



1.21.06.

1070°C (61 HRC). Maksimalne tvrdoće nakon popuštanja na 570 odnosno 590°C pronađene su nakon austenitizacije na 1120°C (60,5 HRC) odnosno 1150°C (59 HRC) i to kao izrazito tvrdoće sekundarnog kaljenja.

Čelik OCR 12 (2 % C) postigao je maksimalne tvrdoće nakon popuštanja:

59 HRC nakon austenitizacije na 1200°C i popuštanja na 520°C
56 HRC nakon austenitizacije na 1200°C i popuštanja na 550°C
51,5 HRC nakon austenitizacije na 1200°C i popuštanja na 570°C

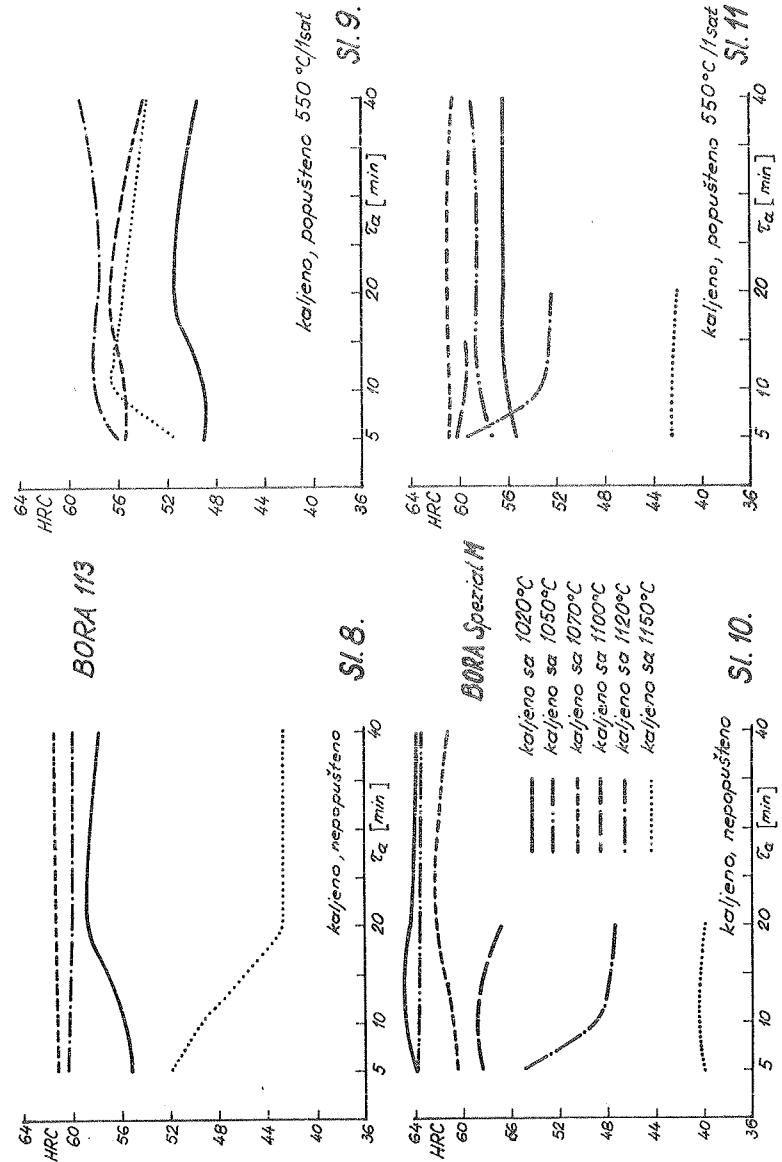
Sudeći po ovim prvim rezultatima, najbolja svojstva trebalo bi očekivati od čelika BORA Spezial M (1,6 % C), što uostalom potvrduju i prve provedene metalografske analize.

Na sl. 8 do 11 prikazan je utjecaj vremena austenitizacije na različitim temperaturama popuštanja na 550°C na tvrdoće čelika BORA 113 (0,9 % C) i BORA Spezial M (1,6 % C).

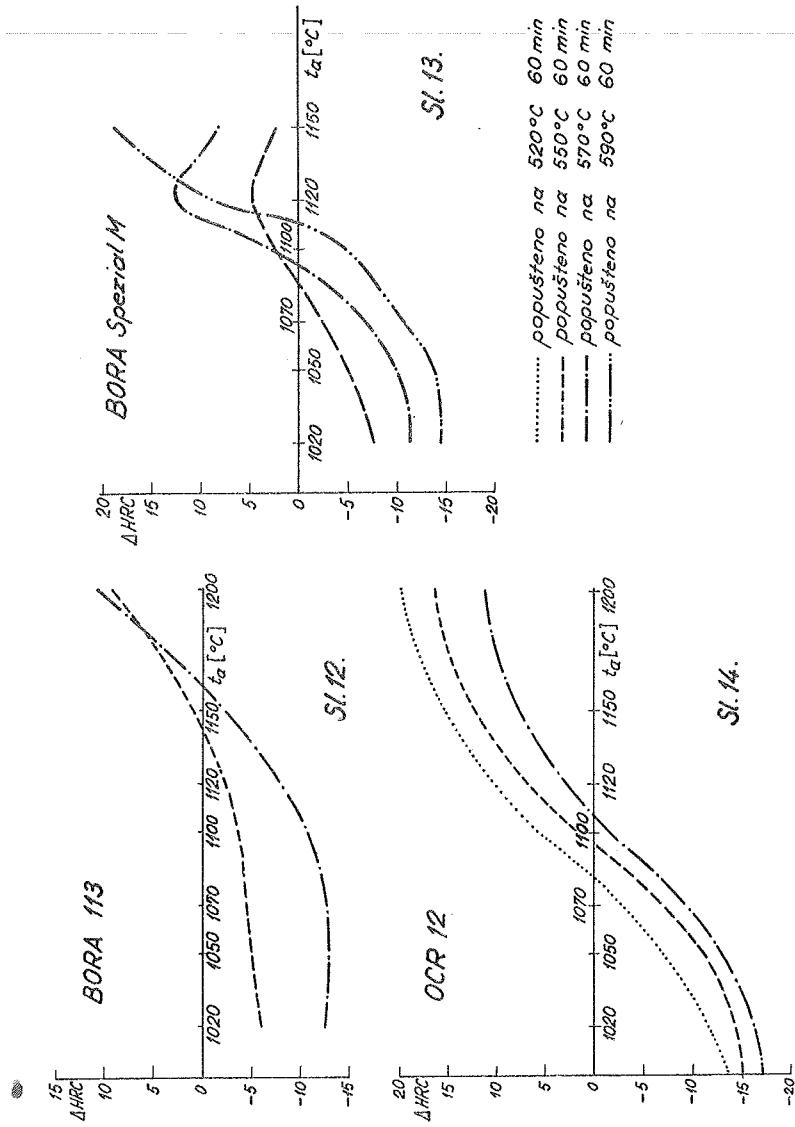
Iz dijagrama slijedi, da vrijere austenitizacije utječe nešto jače na ponašanje čelika BORA 113 (0,9 % C) nego na ponašanje čelika BORA Spezial M (1,6 % C). Osim toga očit je znatno jači utjecaj vremena pri temperaturama austenitizacije višim od 1120° za čelik BORA 113, te od 1100°C na čelik BORA Spezial M.

Na dijagramima 12, 13 i 14 prikazana je sklonost pojedinih tipova čelika ka zaostajanju austenita i to tako, da je prirast tvrdoće (nezavisno o apsolutnoj vrijednosti tvrdoće) prikazan kao funkcija temperature austenitizacije i temperature popuštanja. Prema ovim dijagramima čini se, da materijal BORA Spezial M najjače stabilizira austenit. Tako je na pr. primijećeno, da je do potpunog raspada zaostalog austenita u uzorku tog čelika kaljenom sa 1150°C došlo tek nakon popuštanja na 610°C .

Na temelju ovih parcijalnih rezultata nije moguće donijeti i neke konačne zaključke, ali se po svemu čini, da bi materijal ovog tipa sa oko 1,5 % C morao dati optimalni kompromis svojstava koja se traže od kvalitetnog alata. Definitivni zaklju-



M. 21.08.



M, 21.09.

čak o primjenjivosti pojedinih tipova čelika za pojedine svrhe bit će moguće dati, tek kada se završe i ostala predviđena ispitivanja.

Literatura

- 1 Roberts-Hamaker-Johnson: Tool Steels
3. izdanje, American Society for Metals, Ohio 1962
- 2 Bungardt-Kunze-Horn: Unter suchungen über den Aufbau des Systems Eisen-Chrom-Kohlenstoff
Archiv für das Eisenhüttenwesen, Heft 3, 1958.

Zusammenfassung

Die Anwendbarkeit des Hochanlassens an die ledeburitische Kaltarbeitsstähle

Es wird zuerst eine kurze Diskussion anhand der bestehenden Erkenntnissen über das System Fe-Cr-C durchgeführt. Die Folgen der Austenitisierungs temperaturerhöhung bei den klassischen 12 % Cr- Stählen sind erklärt und zwar im Sinne des Einflusses an die Härte, Zähigkeit und Verschleissfestigkeit (mit dem Kornwachstum und Anlassbeständigkeit gebunden). Die Rolle der Zusätze von Molybdän, Vanadin und Wolfram ist im Allgemeinen angeführt.

Es werden Teilergebnissen der eigenen Prüfung von drei Stählen dieser sorte gegeben. Zwei von denen halten niedrigeren Kohlenstoffgehalt und Mo-, V- und W-Zusätzen, und der eine höheren C-Gehalt und keine Zusätze.

Schaubildlich wird der Einfluss der Austenitisierungszeit und Temperatur und der Anlasstemperatur an die Härte, Restaustenitbeständigkeit und Anlassbeständigkeit dargestellt. Im letzten Sinne sollten diese durchgeführte Prüfungen und noch durchzuführende Arbeiten der Zähigkeits - und Verschleiss-beständigkeits messungen zeigen, ob einer oder mehrere von dieser Stählen für die

- wärme - und verschleissbeanspruchte Formen
 - Schneidwerkzeuge mit erhöhten Schneidgeschwindigkeiten
 - Tenifer - oder Sulf-Inuz Oberflächenbehandlung
- anwendbar wären.

R. Zgaga, M. Novosel, M. Stupnišek*

UTJECAJ TOPLINSKE OBRADE DVAJU ALATNIH ČELIKA NA ŽILAVOST I
OTPORNOST PREMA TROŠENJU**

Ranijim radom (1) ukazano je na značenje žilavosti alatnih čelika, kojom prilikom je pokazano da bi optimalne uvjete toplinske obrade nekog alata trebalo odrediti na temelju istovremenog određivanja i žilavosti i otpornosti prema trošenju, a ne samo na temelju tvrdoće, koja je nužna ali ne i dovoljna za ocjenu kvalitete stanja nekog alata, tim više što je na primjeru pokazano da uz najveću postignutu tvrdoću ne mora i otpornost prema trošenju biti najmanja, kao i da uz jednu te istu tvrdoću žilavost može biti različita.

Polazeći od tuda, dani su u predstojećoj obavijesti rezultati ovakovih ispitivanja provedenih na dva alatna čelika, uz variranje uvjeta toplinske obrade.

Prvi čelik bio je ugljični alatni čelik oznake Č.1941 približnog sastava 1 % C i 0,1 % V, kojega su uzorci bili toplinski odredeni uz slijedeće parametre:

temperatura austenitizacije, $t_a = 750, 800 \text{ i } 860^{\circ}\text{C}$,
trajanje austenitizacije, $\tau_a = 3,6, 12 \text{ i } 25 \text{ sek}$,
temperatura popuštanja, $t_p = 20, 175, 265 \text{ i } 340^{\circ}\text{C}$.

* Dr Ranko Zgaga, dipl. inž. izv. profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje, predstojnik Katedre za nauku o metalima, Zagreb, Dure Salaja 1

Mladen Novosel, dipl. inž. docent za područje toplinske obrade pri Katedri za nauku o metalima

Mladen Stupnišek, dipl. inž., šef laboratorija tvornice "Prvomajska".

** Saopćenje iz Instituta fakulteta strojarstva i brodogradnje

Vrijeme popuštanja iznosilo je uvek 30 min, nakon čega su uzorci bili hlađeni na zraku. Uzorci kaljeni sa 750°C , nisu se zakalili, tako da je daljnjim ispitivanjima ovog čelika bilo podvrgnuto samo 32 uspjele varijante provedene toplinske obrade.

Drugi ispitivani čelik bio je brzorezni čelik označen Č.6882, približnog sastava 0,85 % C, 12,5 % W, 4 % Cr, 2 % V i 0,8 % Mo, na kojem su parametri toplinske obrade bili varirani kako slijedi:

temperatura austenitizacije, $t_a = 1180, 1250, 1290 \text{ i } 1320^{\circ}\text{C}$,
trajanje austenitizacije, $\tau_a = 0,5, 1, 2, 3, 4 \text{ i } 8 \text{ min}$
temperatura popuštanja, $t_p = 270 - \frac{1}{2}h, 450 - 2x\frac{1}{2}h, 570 - 2x\frac{1}{2}h$.
sredstvo za gašenje: ulje i topla kupka (TK)

Nakon popuštanja uzorci su bili hlađeni na zraku. Temperatura tople kupke iznosila je 560°C , gdje su uzorci zadržavani u trajanju od 2 min.

Uz navedene uvjete nisu bile izvedene sve moguće varijante toplinske obrade (njih 144), već samo 70. Uzorci kaljeni sa 1320°C , pokazali su kod svih daljnjih mjerjenja vrlo veliko rasipanje rezultata, koje je uzrokovano početkom taljenja eutektika, tako da u obradi rezultata nisu bili uzeti u obzir. Prema tome, analizirano je samo 58 varijanti toplinske obrade ovog čelika.

Za oba čelika, dimenzije uzorka koji su bili podvrgni toplinskoj obradi, iznosile su $6 \times 6 \times 45 \text{ mm}$, time da je u polovini duljine uzorka bio utokaren konični utor otvora 30° , pri čemu je polumjer zakrivljenosti vrha nože iznosio $r = 0,5 \text{ mm}$. Ovaj naruči kružni presjek uzorka imao je promjer $D = 2,4 \text{ mm}$. Ovakav oblik uzorka omogućava da se na jednom te istom uzorku odredi i tvrdoća i žilavost i otpornost prema trošenju što je i učinjeno na slijedeći način.

Tvrdoća je određivana metodom Vickersa uz opterećenje od 100kp .

Uvijek je izvršeno po pet određivanja, na pet raznih, paralelno toplinski obrađenih štapića, te je konačna vrijednost dana kao srednja vrijednost ovih pet mjeranja.

Određivanje žilavosti vršeno je novorazrađenom metodom za određivanje mikrožilavosti (2), pri čemu dane vrijednosti predstavljaju srednje vrijednosti od oko 10 određivanja za svaku varijantu toplinske obrade.

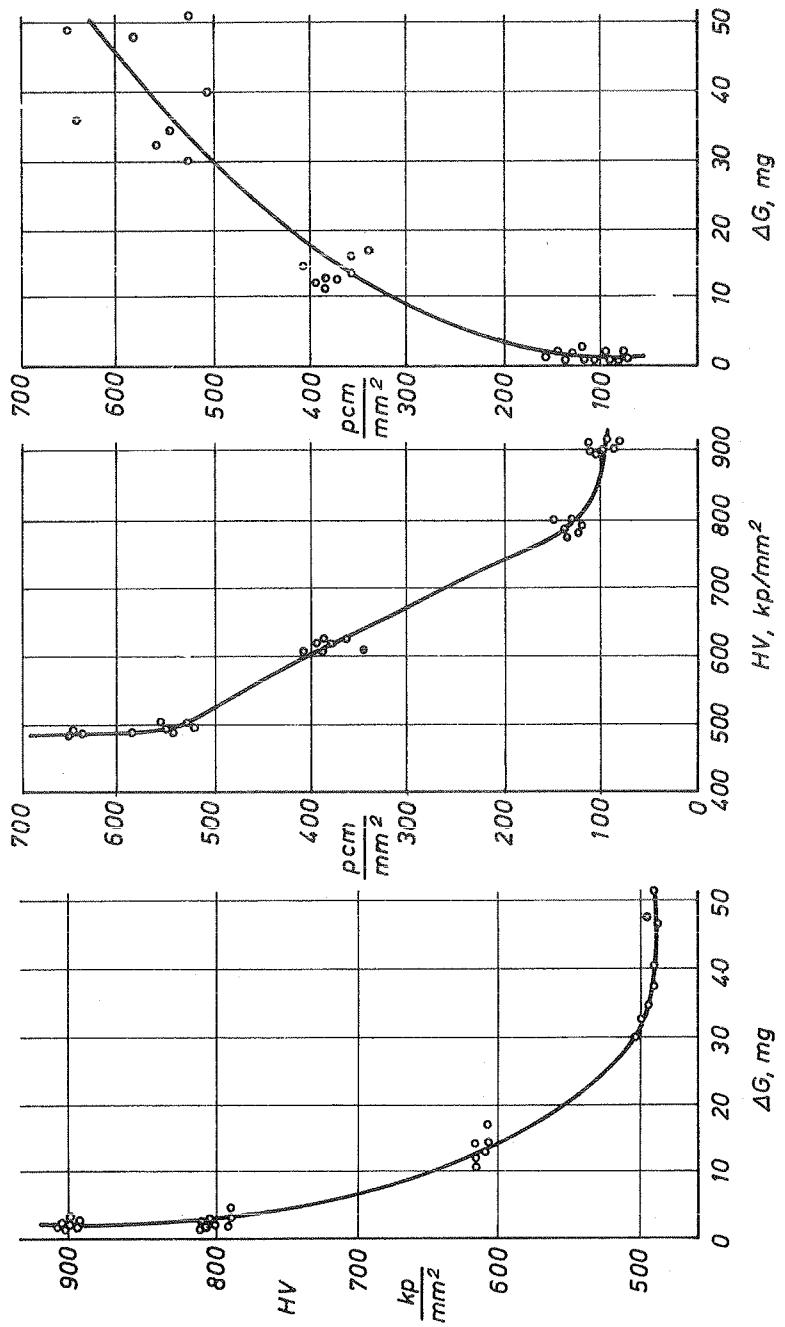
Pokusni trošenja bili su provedeni na tokarskom stroju na taj način da je u steznu glavu zahvaćen čelični valjak promjera oko 160 mm ($HB = 200 \text{ kp/mm}^2$) koji je sa suprotne strane bio u pet rotirajućim šiljkom konjića. Trošeni uzorak bio je držan u posebnoj napravi fiksiranoj na suportu i bilo je moguće u svakom času očitati i održavati silu pritiska kojom je uzorak tlačen na rotirajući valjak. Istovremeno moguće je bilo očitati i silu trenja. Uzorci su bili pokidane polovine ranije opisanih štapića na kojima je prethodno bilo izvršeno određivanje tvrdoće i žilavosti. Samo trošenje određeno je iz gubitka mase uzorka, ΔG u mg. Kako se radi o jednom proizvoljnom i samo komparativnom testu, potrebno je bilo provesti predpokuse, kako bi se za ova brojna ispitivanja odredile veličine sile pritiska (N, kp) brzine klizanja (v, m/min), trajanja pokusa (τ , min) i gubitka mase (ΔG , mg) tako, da se uz čim manji utrošak vremena dobiju dovoljno pouzdani rezultati. Ovim predpokusima odredeni su slijedeći parametri:

	N, kp	v, m/min	, min	G, mg
Č.1941	30	10	20	1-50
Č.6882	60	10	10	1-50

Dane vrijednosti za gubitak težine predstavljaju srednje vrijednosti od četiri paralelna pokusa. Ovi pokusni trošenja bili su provedeni bez maziva i rashladnog sredstva.

Uz navedene uvjete bili su ispitani uzorci svih varijanti toplinske obrade za oba čelika.

Slika 1 daje skupni grafički prikaz ovisnosti tvrdoča-trošenje,

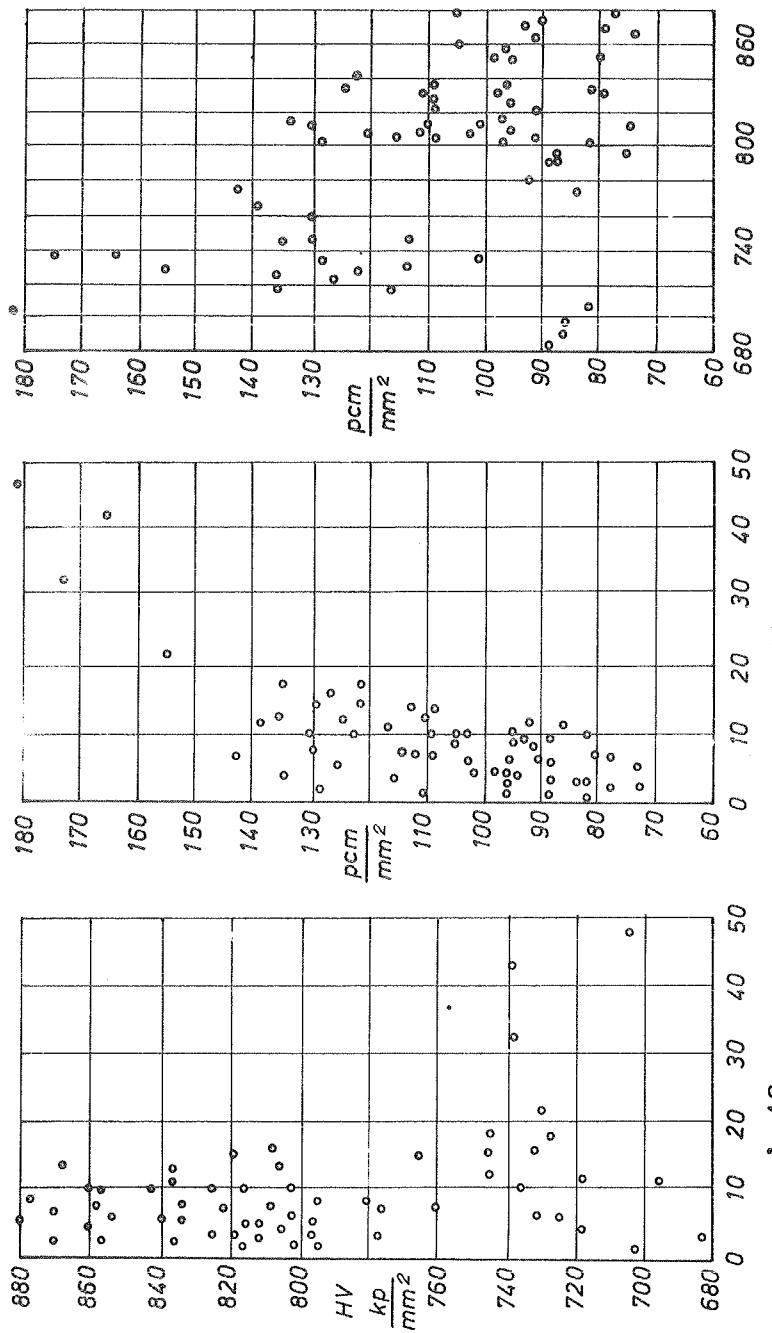


Slika 1 Zavisnost žilavosti, otpornosti prema trošenju i tvrdoće ugljičnog dratnog čelika Č.1941 za različite režime topilske obrade.

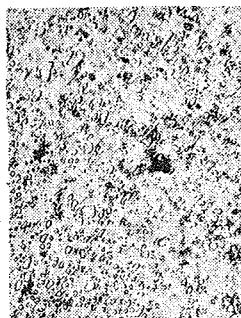
žilavost-tvrdoća i žilavost-trošenje za sve ispitane varijante toplinske obrade ugljičnog alatnog čelika. Sve tri krivulje daju vrlo jednoznačne zavisnosti a posebno treba podvući da su u ovim prikazima dani rezultati za sve varijante toplinske obrade. Proizlazi da u analiziranim zavisnostima neće biti od značenja da li je temperatura austenitizacije 800 ili 860°C , a isto tako trajanje austenitizacije u rasponu od 3 do 25 sekundi, ne odražava se u promatranim zavisnostima. Postojeće grupacije tačaka u prikazima posljedica su samo visine temperaturе popuštanja.

Za slučaj brzoreznog čelika, prikaz istih ovih zavisnosti za sve analizirane varijante toplinske obrade, dan je na slici 2. Očito je da su za ovaj čelik ove zavisnosti složenije nego što bi se očekivalo. Otpornost trošenju može biti jednakov povoljnija uz tvrdoću od 880 kao i uz tvrdoću od 680 kp/mm^2 . S druge strane, na primjer uz tvrdoću od oko 700 kp/mm^2 , može otpornost prema trošenju biti i gotovo 50 puta različita. Nadalje, zavisnost žilavosti i otpornosti prema trošenju također nije jednoznačna, premda jakom trošenju odgovaraju i najveće vrijednosti žilavosti, vidimo da u području veće i velike otpornosti prema trošenju žilavost može biti i dosta različita. Posebno je karakteristična nejednoznačna zavisnost između žilavosti i tvrdoće, gdje također uz jednu te istu žilavost tvrdoća može biti bitno različita i obratno. Svakako, za razliku od ugljičnog alatnog čelika, kod brzoreznog čelika treba provesti svestranu detaljnu pojedinačnu analizu, koja nužno mora početi od strukturnih karakteristika pojedinih varijanti toplinske obrade.

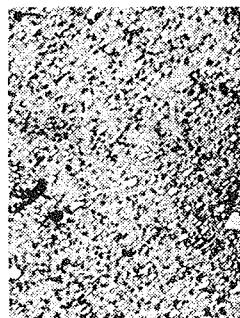
Prema izgledu mikrostrukture uzorci se vrlo oštro dijele na dvije skupine. Skupina uzoraka (sl. 3...5) pokazuju bezstrukturalni izgled maticе s vrlo velikim brojem prethodno nerastvorenih karbida. Iz podataka o toplinskoj obradi vidi se, da su ti uzorci kaljeni s niskih ili srednjih temperatura austenitizacije (1180 i 1250°C), i nakon toga nisko ili srednje popušteni (270 odnosno 450°C). Karakteristično za ovu skupinu uzoraka



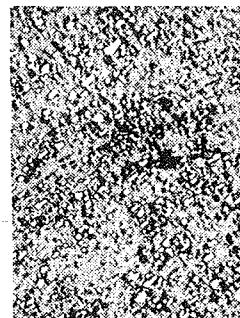
Slika 2 Zavisnost žilavosti, otpornosti prema trošenju i tvrdoće brzoreznog alatnog čelika Č. 6882 uz različite režime topilinske obrade.



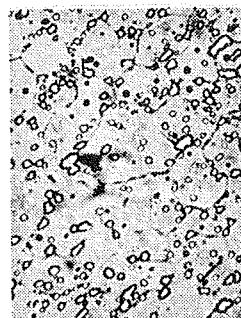
Sl. 3



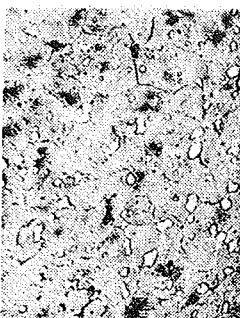
Sl. 4



Sl. 5



Sl. 6



Sl. 7



Sl. 8

Slika broj	Toplinska obrada				Mehanička svojstva			
	t_a $^{\circ}\text{C}$	τ_a min	t_p $^{\circ}\text{C}$	p min	HV2 kp mm 2	HV100 kp mm 2	Troše- nje mg	Z pcm mm 2
3	1180	0,5	270	30	745	705	48	184
4	1180	0,5	450	2x30	771	739	43	164
5	1250	1	270	2x30	764	746	15	130
6	1290	2	—	—	868	796	3	74
7	1290	2	270	30	723	682	3	88
8	1290	1	570	2x30	914	871	3	78

jest relativno niska tvrdoća, niska otpornost prema trošenju i visoka žilavost. Ove karakteristike daje struktura primarnog martensita u raspodu (sekundarni martensit nije još stvoren bilo radi preniske temperature popuštanja, bilo što ga uopće niti nema, jer se austenit na nižim temperaturama austenitizacija nije niti mogao stvoriti u znatnijim količinama). Zaključuje se dakle, da sama prisutnost karbida, pa čak kad su oni i relativno jednoliko raspoređeni, ne doprinosi mnogo otpornosti prema trošenju. S druge strane, jednaki raspored karbida i njihove relativno male dimenzije nisu bitnije utjecale na sniženje žilavosti žilave osnovne matice.

Druga skupina uzoraka (sl. 6..8) pokazuje izrazite granice bivšeg austenitnog zrna. U osnovnoj se masi nalazi znatno manje karbida nego kod prve skupine iz čega se zaključuje, da je dio karbida rastvoren pri austenitizaciji, što je obogatilo austenit ugljikom i legirnim elementima. Ovi su uzorci kaljeni s visokih temperatura austenitizacije, dok je popuštanje bilo različito. (jedan nepopušten, drugi nisko popušten, treći popušten na 570°C).

Tvrdoća nepopuštenog uzorka potječe od tvrdoće primarnog martensita. Uzorak popuštan na 270°C doživio je bar djelomični raspod primarnog martensite, što se očituje u padu tvrdoće u odnosu na prvi, ali i u porastu žilavosti. Može se zaključiti, da je glavni uzročnik niske žilavosti općenito kod ovih čelika martensit (bilo primarni bilo sekundarni). Otpornost prema trošenju ovih uzoraka praktički je jednaka i nezavisna o tvrdoći. Može se s priličnom sigurnošću ustvrditi, da u slučaju prvog i drugog uzorka pri samom trošenju dolazi do transformacije još nenačetog zaostalog austenita u dodirnim slojevima trenja, tako da se vjerojatno u površinskim slojevima prva dva uzorka stvara ista struktura, koju ima i treći uzorak, tj. novo nastali sekundarni martensit i submikroskopski karbidi. Na taj je način moguće objasniti činjenicu, da različito popušteni uzorci daju iste karakteristike trošenja, unatoč razlici ostalih mehaničkih i strukturnih svojstava. Ovo nadalje potvrđuje pret-

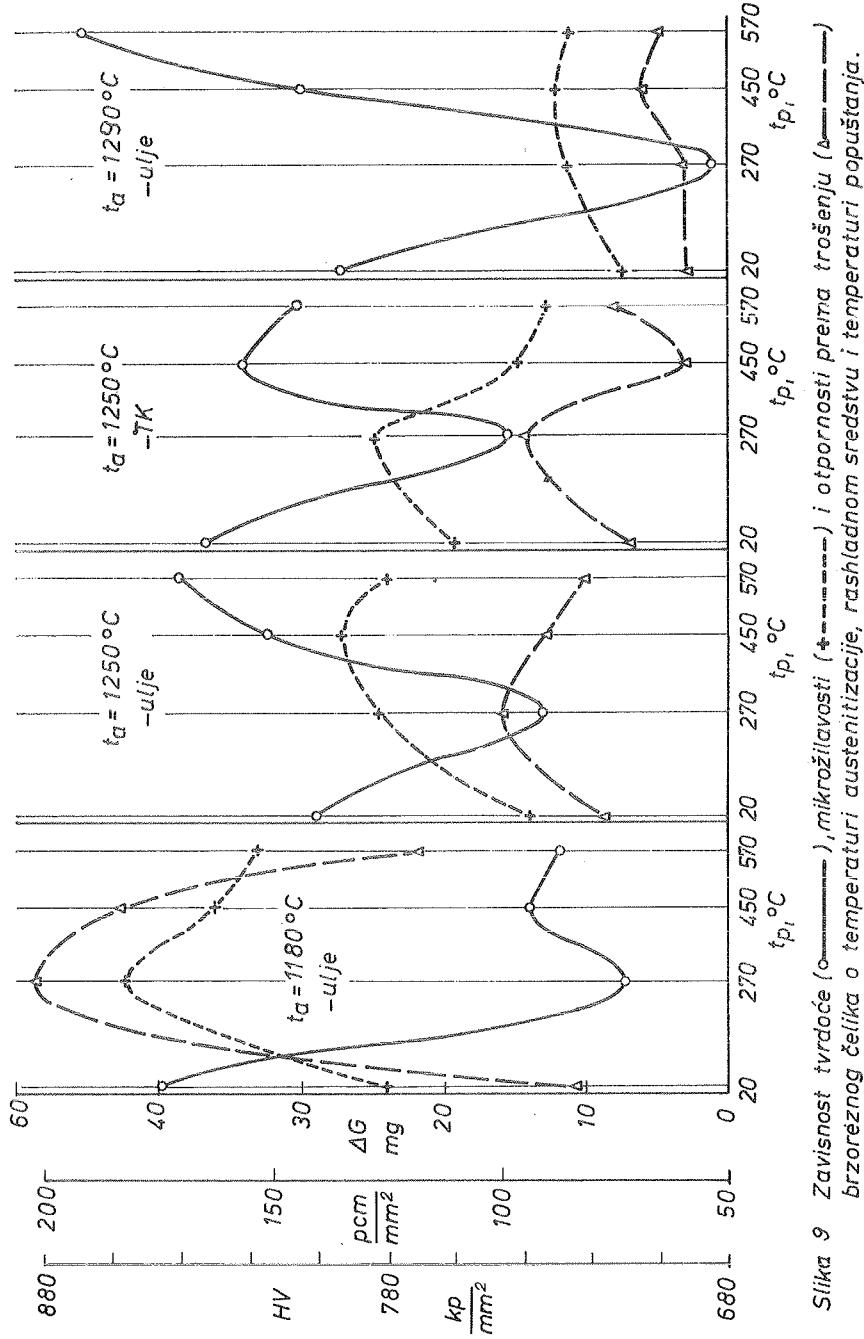
postavku, da su za otpornost prema trošenju zaslužni submikroskopski karbidi izlučeni pri raspadu zaostalog austenita. (a ne oni eutektički ili sekundarni).

Na sl. 9 prikazan je odraz toplinske obrade na mehanička svojstva (žilavost, tvrdoću i trošenje). Za nisku temperaturu austenitizacije čini se, da uglavnom postoji korelacija sva tri spomenuta svojstva. Međutim na srednjim temperaturama austenitizacije (1250°C) ta korelacija očito ne postoji, a uočava se i znatna razlika u toku krivulja za različite načine gašenja. Upravo ova temperatura austenitizacije čini se, da pruža najveće mogućnosti pronalaženja optimalne toplinske obrade za postizanje željenog kompromisa između žilavosti i otpornosti trošenju. Optimalni režim popuštanja treba u ovom slučaju tražiti između temperatura popuštanja 450 i 570°C , a možda čak i na nižim temperaturama, tj. između 270 i 450°C . Dijagrami za svojstva postignuta s temperature austenitizacije 1250°C pokazuju izvesnu korelaciju između žilavosti i otpornosti trošenju, ali i potpuno nepostojanje korelacije između tvrdoće i tih svojstava.

Ista se konstatacija može načiniti i za korelacije svojstava kod temperature austenitizacije 1290°C , no uz napomenu, da su ovdje vrijednosti žilavosti toliko niske, da ova temperatura austenitizacije dolazi u obzir samo onda, kada se traži najviša otpornost trošenju, ali je žilavost sekundarnog značenja (tj. za alate, koji neće biti udarno opterećeni).

Literatura

1. R. Zgaga
Značenje žilavosti za trajnost alata
Zbornik saopćenja, "Savjetovanje o proizvodnom strojarstvu"
Zagreb, 1966.
2. R. Zgaga
Neues Verfahren zur Bestimmung der Schlagzähigkeit spröder Werkstoffe
Materialprüfung 12 (1970) Nr 6



Slika 9 Zavisnost tvrdoće (—), mikrožilavosti (---) i otpornosti prema trošenju (△---△) brzorezognog čelika o temperaturi austenitizacije, rashladnom sredstvu i temperaturi popuštanja.

R. Zgaga, M. Novosel, M. Stupnišek

The influence of heat treatment on the toughness and the wear-resistance for two kind of tool steels.

The earlier experience has shown us that optimal conditions for heat treatment should be determined upon the simultaneous determination of the toughness, the wear-resistance and the hardness.

Such experiments are carried out on 32 heat treatment variants of one carbon tool steel then on 58 heat treatment variants of one high speed steel. The conditions for these experiments are described also the diagrams of above mentioned relations-hips are given. In analysis of these relations for high speed steel the structural explanation of founded phenomena is given, which are much more complicated then in case of carbon tool steel.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971

P. Jagodić⁺)

PROMENE OSOBINA PRI ZAVARIVANJU KONSTRUKCIJA PRI IZBORU TOPILOTNO
OČVRŠĆUJUĆIH ALUMINIJSKIH LEGURA⁺⁺)

1. Uvod

Pod pojmom toplotno očvršćujuće aluminijske legure podrazumevamo legure, koje sadrže bar jednu komponentu, kojoj se kod snižavanja temperature smanjuje rastvorljivost, čime je definirana podesnost za topotno očvršćavanje. Slika 1.

Pri topotnom očvršćavanju za vreme procesa očvršćavanja nastupaju zavisno od načina izvodjenja procesa različite strukturne promene. Za postignuta stanja na kraju procesa merodavni su: primarna strukturalna stanja, temperatura rastvornog žarenja, brzina ohladjivanja pri kaljenju, vreme i temperatura staranja i dodatno izvodjenje hladne deformacije za vreme trajanja postupka očvršćavanja.

Iz teoretskih razmatranja moglo se zaključiti, da je od naročite važnosti za tumačenje procesa očvršćavanja - stvaranje klica, koje su posle prelaza kritične veličine sposobne za dalje razrašćivanje.

Za praksi je u prvom redu zanimljivo, što dovodi do povećanja mehaničkih vrednosti? Već legiranjem nastupa pri smesnom kristalu određena deformacija kristalne mreže, pošto su legirni atomi ugradjeni u mrežu osnovice. Nastaje promena konstante kristalne mreže u prvobitnom smesnom kristalu. Istovremeno povećavaju se unutarnji naponi, koji su uzrok za promenu mehaničkih osobina.

2. Proces topotnog očvršćavanja

Postoji cela serija aluminijskih legura, kod kojih u praksi koristimo dobre mehaničke osobine, koje se postižu procesom topotnog očvršćavanja.

+) Pavel Jagodić, mag.metalurgije, dipl.ing., asistent Fakulteta za prirodne nauke i tehnologiju, Ljubljana

++) Saopštenje iz Metalurškog instituta u Ljubljani, pri čemu se deo informacija zasniva na rezultatima Izveštaja "BV" za priznanje sposobnosti aluminijskih proizvoda za upotrebu u brodogradnji.

Slika 2. Od svih navedenih grupa trojnih legura jedina koja posle spajanja varenjem povrati svoje mehaničke osobine je grupa legura AlZnMg.1.

U godinama po otkriću toplotnog očvršćavanja upotrebljavali su tehničke aluminijumske legure na bazi AlCu i AlCuMg. Kako su obe grupe legura sposobne za topotno očvršćavanje, njihove dobre tehnološke osobine posle spajanja varenjem izgubile su se a time i njihova upotrebljivost za konstrukcione materijale sa višim opterećenjima.

Istraživači su ustanovili, da kod procesa topotnog očvršćavanja postoje razlike izmedju legura kod kojih su efekti očvršćavanja jači pri staranju kod temperaturne okoline ili pri nižim temperaturama, a kod nekih legura postižu se bolje mehaničke vrednosti kod staranja na povišenim temperaturama. Za očvršćavanje pri nižim temperaturama nije bilo moguće upotrebiti tumačenja na osnovu ravnotežnih pojava. Radovima 2 i 3, dokazano je, da se na rentgenskim snimcima topotno očvršćenih Al-Cu legura javljaju pojasi, koji se menjaju u odvisnosti od temperature i od vremena trajanja staranja. Kod staranja na nižim temperaturama postaju pojasi dulji, sa povećanjem temperature skraćuju se sve dok ne nastanu nove interferenčne linije. Kod prestaranog materijala nastupe interference, koje su identične interferencama stabilno izlučene faze.

Skupove legirnih atoma po određenim plohamama čelija smesnog kristala nazvali su po onima, koji su ih dokazali G(vinier)-P(reston)-ove cone. Zbog pojava jednofaznog razmešanja nastaju GP cone, koje se staraju za vreme prirodnog staranja. Ovaj naziv je bio do danas najčešće upotrebljen, a često ga zamenuje naziv topotno očvršćavanje pri nižim temperaturama. Glavni uzročnik za povećanje mehaničkih osobina su dakle GP cone, koje nastaju u području jednofaznog razmešanja. GP cone su koherentne sa mrežom aluminijumskog smesnog kristala i na taj način nisu izlučene, ali prouzrokuju deformaciju kristalne mreže i time očvršćavanje materijala.

Svaku deformaciju mreže prate greške nultoga, jednodimenzionalnoga ili dvodimenzionalnoga reda. Izlučivanja preferirano nastaju na mestima dislokacija, pošto su za njihovo staranje potrebni mnogo duži difuzioni putevi nego za nastajanje GP cona. Iz tog razloga nastupaju stvarna izlučivanja tek pri višim temperaturama u obliku metastabilne faze. Pored kontinuiranih izlučivanja treba spomenuti i diskontinuirana 3, 4. Ova nastaju po reakcijama na kristalnim granicama sa velikim uglovima, tako da ne postoji koherentno povezivanje izmedju starih i novih atomskih čelija.

Slika 3-6. Potrebna energija je pri ovom načinu izlučivanja mnogo manja od energije potrebne za koherentno stvaranje klica. Zato nastupaju diskontinuirana izlučivanja samo pri legurama kod kojih je razlika u atomskim polimerima legirajućih komponenata dosta velika. Za ove primere morala bi za koherentno stvarno izlučivanje (kontinuirano izlučivanje) postojati naročito velika energija 4, 5.

3. Postupak zavarivanja aluminijumskih legura

Na spajanje aluminijumskim legura postupkom varenja uglavnom utiče niskotalište legura, nadalje visoka toplotna provodljivost i otstojanje izmedju solidusa i liquidusa ili bolje otstojanje izmedju temperature početka i temperature završetka skrućivanja. Slika 7.

Velika je i razlika raspodele temperature u čelicima i aluminijumskih legura, kod kojih su temperaturna polja mnogo šira. Toplota vara brže se širi u okolini i zato pri ohladjivanju konstrukcionih elemenata iz aluminijumskih legura nastaju drugačija skrućivanja u odnosu na konstrukcije iz čelika 6. Zato toplotno očvrsle aluminijumske legure spajaju zakivanjem, jer bi posle varenja gubitak na mehaničkim osobinama bio prevelik. Legure skupine AlZnMg su sposobne za spajanje varenjem i u topotno očvrslim stanjima, jer se var i okolina posle obrade sami od sebe ponovo očvršćuju. Posle izvesnog vremena materijali iz ovih legura postižu skoro vrednosti osnovnog materijala 8, 9.

4. Ispitivanje promena osobina

Pristupili smo određivanju promena osobina u okolini zavarenih mesta na aluminijumskoj leguri AlZn5Mgl (Zn 4,96 % i Mg 1,12 %). Uzorci su bili uzeti iz limova različitih debljina. Izabran je postupak lučnog zavarivanja u zaštitnoj atmosferi gase-argona sa volframovom elektrodom. Želeli smo da ovim načinom izvodjenja radova isključimo mogućnost da ostaci različitih soli pojačaju osetljivost na koroziju. Za varenje smo upotrebili transformator "Furlan", Črnuče s priključenim primarnim naponom od 380 V i 50 per/sec. Regulator su izradili u fabrici "ISKRA" Kranj tipa "TIGVAR". Potrošnja gase argona kretala se izmedju 7 do 9 litara na minutu. Oblici zavara su bili simetrični u obliku slova V, a žica za varenje je iz legure iste skupine AlZn5Mgl sa 5,06 % Zn i 0,98 % Mg. Izvršen je jednopotezni neprekidni zavar u horizontalnom položaju. Pregled je pokazao vrlo dobar površinski izgled vara

i zavarenog spoja, varak je bio čvrst, gladak i bez pukotina. Slika 8. Makrostruktura zavarenog spoja nije pokazala uključka, pore ili druge defekte pri uvarivanju.

Mikroispitivanjem smo pregledali strukturu varu i prelazne zone, pri tome smo najveću pažnju posvetili izgledu izlučenih faza, da bi se potvrdila činjenica, da je materijal posle dostaranja ponovo preuzeo strukturu toplotno očvrslog stanja. Slike 10-21.

Merenjem tvrdoće ustanovili smo tvrdoću materijala varu, prelazne cone i osnovnog materijala. Slika 9. Ispitivanje se vršilo po Brinelu, kuglicom promera od 2,5 mm i opterećenjem od 62,5 kg.

5. Zaključak

Proveravanjem promena osobina proizvoda legura skupine AlMgSi, AlMg4MnCr, AlCuMg i AlZnMg ustanovili smo, da zavareni spoj kao celina jedino kod proizvoda legura skupine AlZnMg pri temperaturama okoline sam po sebi ponovo očvršćava. Kod ostalih toplotno očvršćujućih legura zavareni spoj je u varu i u njegovoј okolini omekšao, tako da smo kod ovih izmerili prilično sniženje mehaničkih osobina. Pri legurama skupine AlZnMg, koje nisu osetljive na smanjivanje brzine hladjenja materijal se posle rastvornog žarenja i prelazne zone koje se postiže samim postupkom varenja, ponaša jednakom kao osnovni materijal posle postupka toplotnog očvršćavanja. Temperatura zavarivanja pretstavlja zagrevanje slično rastvornom žarenju, kome sledi ohladjivanje zavarenog spoja. U fazi posle ohladjenja var, prelazna zona i ugrijani deo osnovnog materijala sa vremenom očvršćuju. Posle dva do tri meseca staranja tvrdoća zavarenog spoja dostiže svoj maksimum i izjednači se skoro sa tvrdoćom osnovnog materijala zavarenih komada.

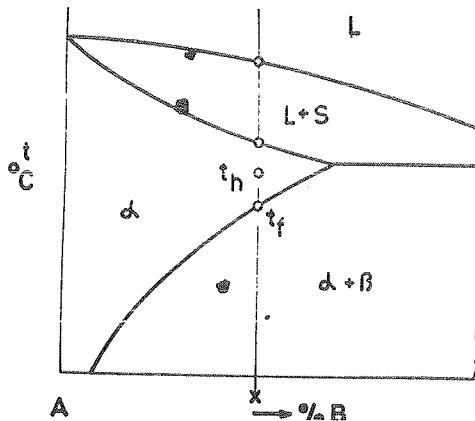
Pošto legure grupe AlZnMg nemaju tendenciju formiranja napuklina i pošto se sa njima mogu postizati dobri rezultati u pogledu čvrstoće zavarenih spojeva proizvodi iz ovih legura se mogu korisno upotrebljavati za zavarene konstrukcije.

6. Literatura

1. N.N.Rykalin: Die Wärmegrundlagen des Schweißvorganges, Berlin (1952).
2. A.Guinier: Nature 142(1938)569.
3. G.D.Preston: Proc.Roy.Soc.A.167(1938)526.
4. C.S.Smith: Trans.Amer.Soc.Metals 45(1953)565.
5. U.Huebner, G.Wassermann: Z.Metallkunde 53(1962)152.
6. W.Gilde: Das Schweißen der Nichteisenmetalle, VEB Technik, Berlin (1961)
7. A.Müller-Busse: Aluminium, 32(1956)333.
8. P.Brenner: Schweißen u. Schneiden, 14(1962)266.

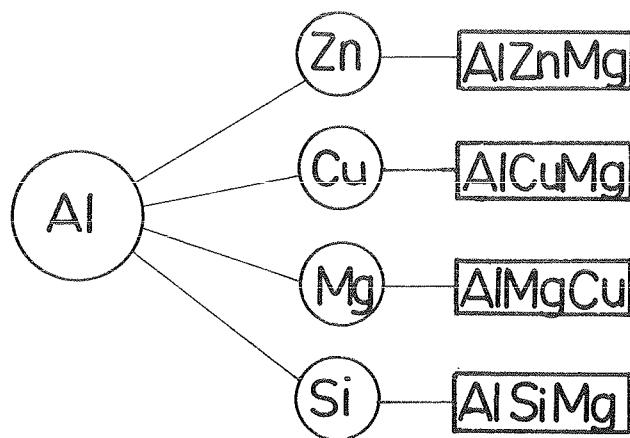
Veränderung der Eigenschaften beim Schweißen von Konstruktionsmaterialien aus aushärtbaren Aluminiumlegierungen

In der Einleitung sind die Grundlagen der Aushärtung von aushärtbaren Aluminiumlegierungen erwähnt. Einige Angaben der Literatur 2-5 erläutern die Kalt- und Warmaushärtung. Über die Schweißbarkeit der Aluminiumlegierungen wird kurz berichtet. Die Eigenschaftsänderungen ausgehärteter Erzeugnisse aus AlMgSi, AlCuMg und AlMg4MnCr Legierungen zeigten einen beträchtlichen Festigkeitsabfall und sind deshalb im aushärtbaren Zustand für das Schweißen von Konstruktionsmaterialien ungeeignet. Unter Argon wurde mit Widerstandschweißen einer V-Naht ein Blech der Legierung AlZn5Mgl verbunden. Es wurden Härtemessungen und mikroskopische Untersuchungen vollzogen. An den Endergebnissen stellte man fest, dass die Eigenschaften dieser Legierungsart nach genügender Auslagerungsdauer den Anforderungen der Konstruktionsmaterialien entsprechen.



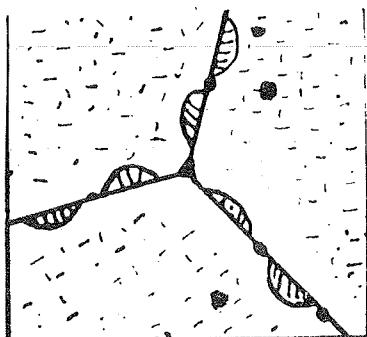
Slika 1: Binarni diagram legura sa komponentama A i B.

Pri leguri x prikazana je rastvorivost legirnog elementa B u čvrstom rastvoru osnovnog metala A kod promena temperature.

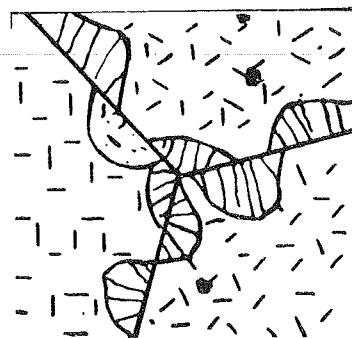


Slika 2: Pregled standardizovanih grupa aluminijumskih legura podesnih za toplotno očvršćavanje

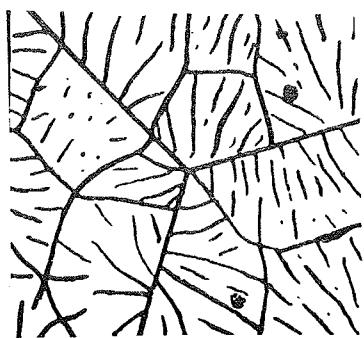
Slike 3-6: Diskontinuirno izlučivanje



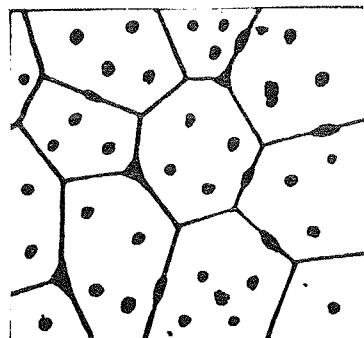
Slika 3: Početak izlučivanja na granicama kristalnih zrna sa istovremenim kontinuirnim izlučivanjem u unutrašnjosti kristalnog zrma



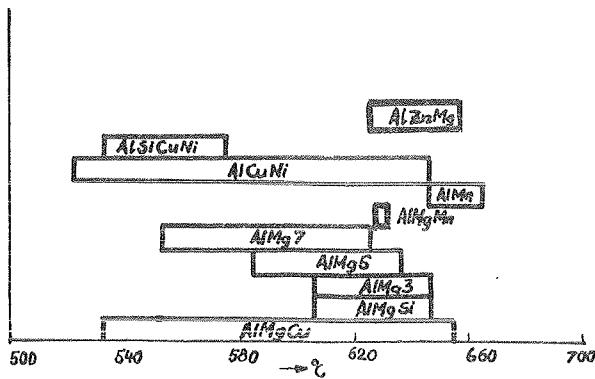
Slika 4: Razrašćivanje izlučivanja



Slika 5: Dovršetak diskontinuirnog izlučivanja (potpuna rekristalizacija)



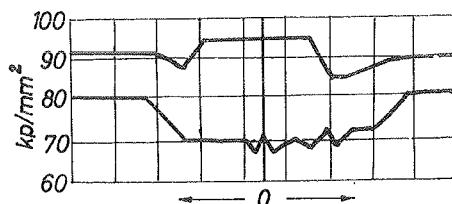
Slika 6: Koagulacija izlučaka u prestarenom stanju



Slika 7: Intervali skrućivanja nekih aluminijumskih legura sposobnih za toplotno očvršćivanje

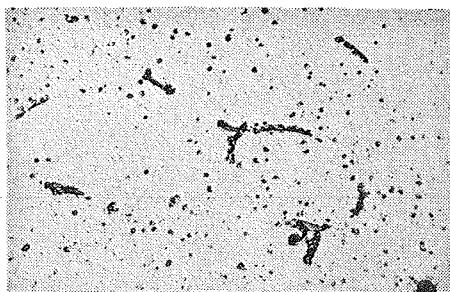


Slika 8: Zavareni spoj legure AlZn5Mg1 u "V" obliku sa otiscima merenja tvrdoće HB

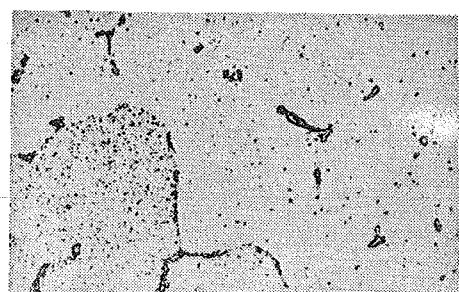


Slika 9: Promene tvrdoće (HB) na zavarenom spoju legure AlZn5Mg1
donja crta: odmah posle izvršenog zavarivanja
gornja crta: posle tri meseca staranja

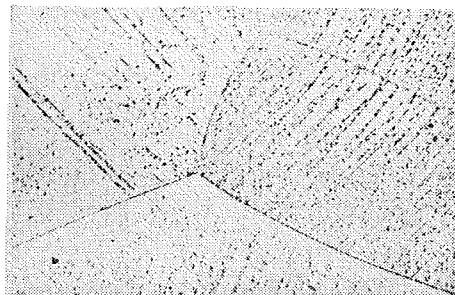
M.23.08.



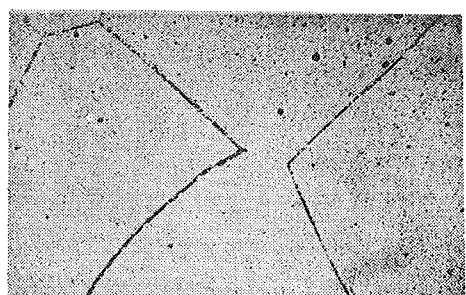
Slika 10: 200x
Mikrostruktura varka po varenju



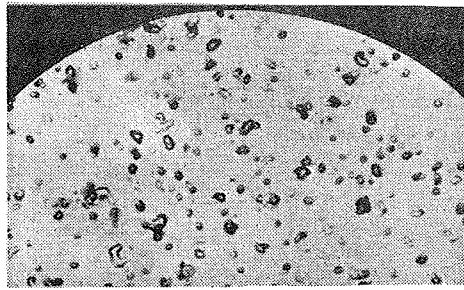
Slika 11: 200x
Mikrostruktura prelazne cone po varenju



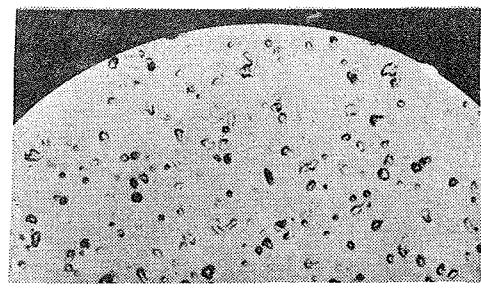
Slika 12: 500x
Mikrostruktura varka po varenju



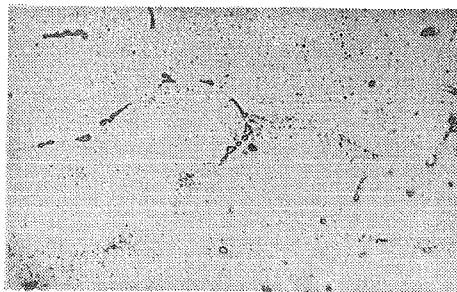
Slika 13: 500x
Mikrostruktura prelazne cone po varenju



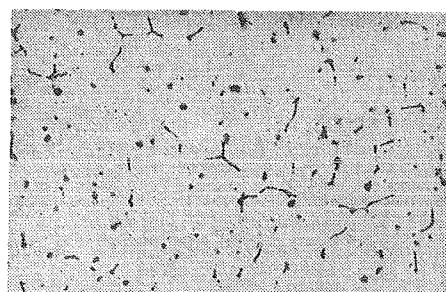
Slika 14: (5000x2)x
Mikrostruktura varka po varenju



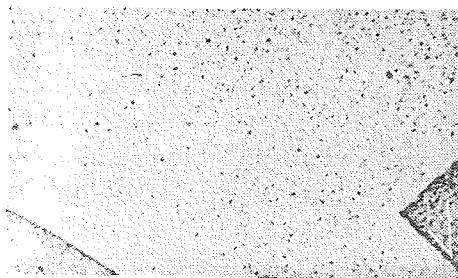
Slika 15: (5000x2)x
Mikrostruktura prelazne cone po varenju



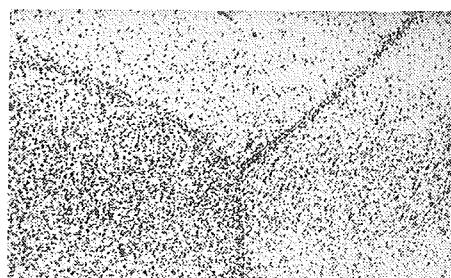
Slika 16: 200x
Mikrostruktura varka posle tri meseca staranja



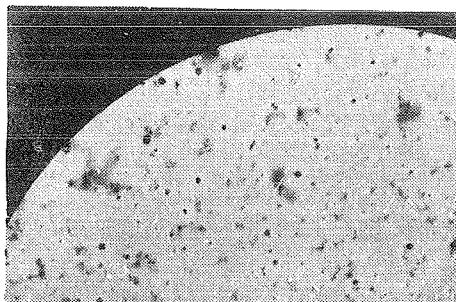
Slika 17: 200x
Mikrostruktura prelazne cone posle tri meseca staranja



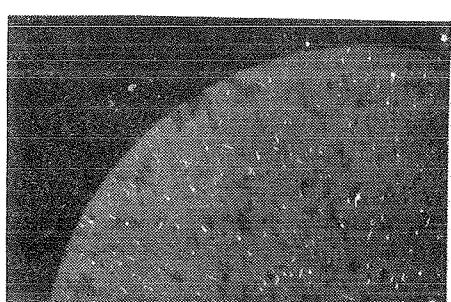
Slika 18: 500x
Mikrostruktura varka posle tri meseca staranja



Slika 19: 500x
Mikrostruktura prelazne cone posle tri meseca staranja



Slika 20: (5000x2)
Mikrostruktura varka posle tri meseca staranja



Slika 21: (5000x2)
Mikrostruktura prelazne cone posle tri meseca staranja

M.23.10.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA; NOVI SAD, 1970

J. Reisner ^X

DANAŠNJE MOŽNOSTI RAZVIJANJA IN PREIZKUŠANJA DINAMIČNO
OBREMEMENJENIH STROJNIH ELEMENTOV ^{XX}

Fri splošnem dimenzioniraju dinamično obremenjenih konstrukcij ali posameznih elementov se poslužujemo podatkov, ki nam jih nudi literatura v obliki raznih diagramov dinamične zdržljivosti (Smith, Roš, Haigh). Ti podatki pa le redko popolnoma ustrezajo razmeram projektirane konstrukcije. V kolikor se že ujemajo v kvaliteti osnovnega materiala pa le redko najdemo podatke, ki bi popolnoma ustrezali tudi v vseh ostalih faktorjih, ki vplivajo na dinamično zdržljivost kot na primer :

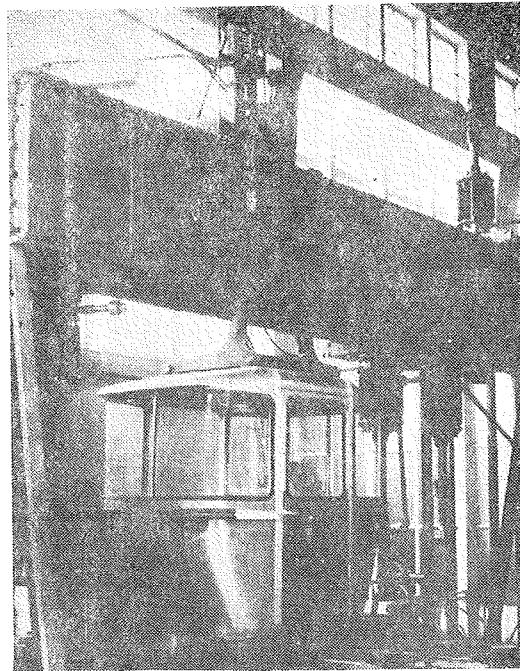
- oblika elementa in s tem zvezane "napetostne konice" oziroma "zarezni učinki"
- površinska obdelava
- oblika obtežbene periode (običajno se nanašajo podatki v literaturi na sinusno nihanje) in
- frekvenca (običajne frekvence se gibljejo pri "nizkofrekvenčnih" pulzatorjih od 2 - 12 Hz pri "visokofrekvenčnih" pulzatorjih pa od 100 - 300 Hz. Razlika v rezultatih zaradi vpliva frekvence je lahko do 15 %, vendar je frekvenca pulziranja pri rezultatih v literaturi le redko navedena.

^X Janez Reisner, dipl.ing. vodja oddelka za kovinske konstrukcije Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij Ljubljana, Dimičeva 12.

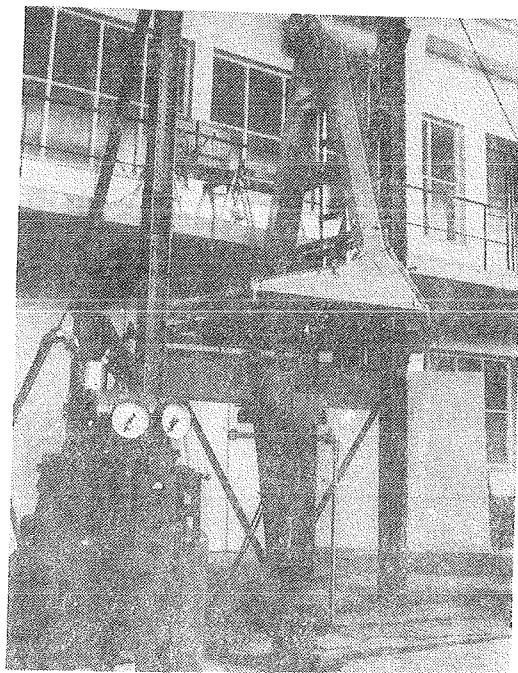
^{XX} Poročilo se nanaša na preiskave, ki jih je izvršil Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij iz Ljubljane, Dimičeva 12 ter na opremo in današnje možnosti tega Zavoda.

S podatki, ki razmeram projektirane konstrukcije le približno ustrezajo, seveda ne moremo doseči tistega optimuma, ki si ga želimo. To lahko dosežemo le s preizkusom konstrukcije same, pod pogoji, ki čim bolj ustrezajo pogojem v praksi. Stroški takega preizkusa se izplačajo že pri nekoliko večji seriji proizvodnje.

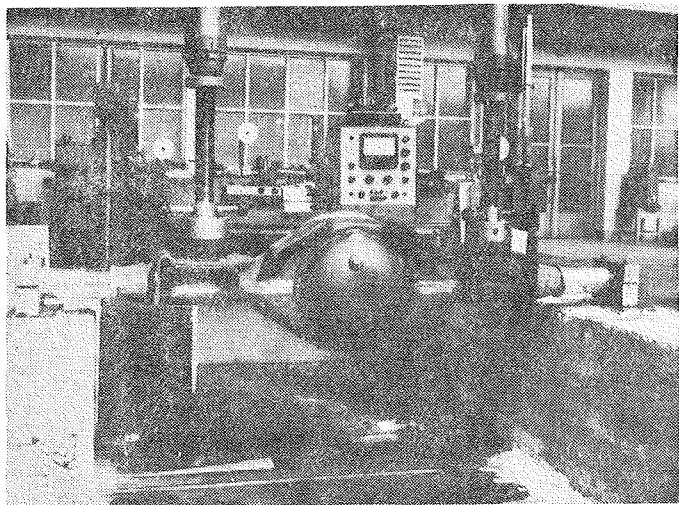
V naslednjem bomo prikazali nekaj takih preiskav, ki smo jih izvršili na Zavodu za raziskavo materiala in konstrukcij v Ljubljani.



Slika 1 prikazuje dinamični preizkus kabine žičnice na Slijeme pri Zagrebu in žičnici Tetovo - Popova gapka. Projektant kabine je dipl.ing. Miha Mazovec iz Metalne iz Maribora. Po predhodnih preizkusih posameznih konstrukcijskih elementov smo pulzirali celotno kabinu na način kot je obremenjena v preksi. Obtežbene pogoje pri posameznih fazah obratovanja kot na primer; pri vstopu v kabinu, pri izvozu iz postaje, pri prehodu preko stebrov, pri uvozu v postajo, pri izstopu ter pri obvozu v postaji, smo izmerili z uporavnimi tenzometri na žičnici "Pohorska vzpenjača" pri Mariboru, ki je podobnega sistema in je tekrat že obratovala. Na podlagi izvršenih preizkusov smo razvili kabinu, ki je za 45 % lažja od prvotne konstrukcije kabin z enako nosilnostjo. V tem primeru je ta rezultat še toliko bolj važen, ker se doseženi prihranek na materialu ne odraža samo na kabinah, temveč zaradi zmanjšane lastne teže tudi na ostalih elementih žičnice.



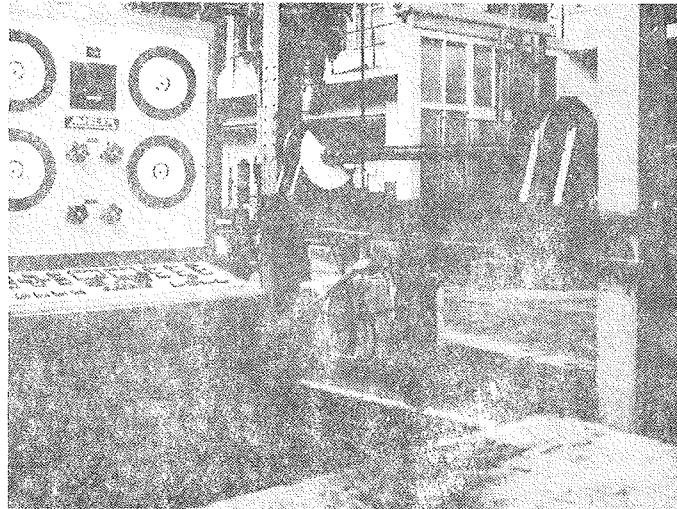
Slika 2 prikazuje dinamični preizkus obešala kabine žičnice na Vogel v Bohinju. Obešalo je projektiral dipl.ing. Miha Mazovec iz Metalne iz Maribora. Nosilnost kabine je 20 oseb. Pri tej preiskavki ni šlo za razvijanje serijskega proizvoda temveč za dokaz varnosti delikatnega elementa naše prve doma zgrajene žičnice take vrste. Obešalo smo pulzirali z vertikalno obtežbo ter s kombinacijo vertikalne in horizontalne obtežbe, ki nastopa pri uvozu v postajo, ko nihajoča kabina zadene v horizontalna vodila. Vertikalna obtežba je delovala v težišču kabine in je potekala skozi obesilo na mestu nosilne vrvi. V tem primeru smo režim obtežbe predpostavili, v času polizkusnega obratovanja pa smo ga neknadno z meritvami potrdili.



Slika 3 prikazuje dinamični preizkus zadnjega mostu avtomobila FAP, ki ga izdeluje Mašinska industrija Niš. Namen preizkusa je bil dokazati zadostno nosilnost z novim tehnološkim postopkom izdelane konstrukcije. Na tej konstrukciji, ki je v statičnem pogledu najbolj preprost prostoležeši nosilec, zelo lepo vidimo, kako težko bi bilo računsko zajeti vse nastopajoče zarezné učinke zaradi raznih prehodov, izvrtin, navarkov itd.



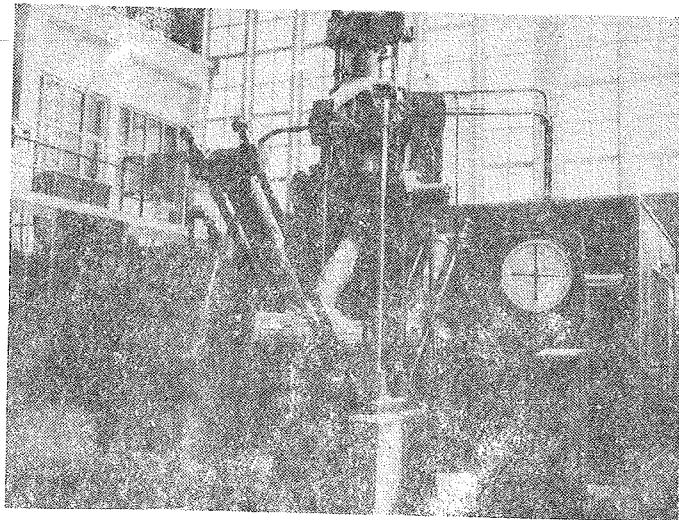
Slika 4 prikazuje dinamični preizkus ročice krmilnega mehanizma avtomobila FAP, ki ga izdeluje tovarna "Soko" iz Mostarja. Namen preizkusa je bil dokazati, da ima doma izdelana ročica enako nosilnost kot licenčni proizvod, ki je bil že v praksi preizkušen. Ker je šlo le za primerjavo, nismo ugotavljali velikosti dejanskih obremenitev v praksi, temveč smo pri enačni izmenični obremenitvi ugotavljali Wöhlerjevo krivuljo licenčnega in domačega proizvoda. Zaradi ustreznih upetostnih pogojev smo preizkusili ročico z obema sosednjima elementoma to je; na eni strani s krogličnim členkom krmilnega droga, na drugi strani pa s polžem in volanom. Na sliki se vidita obe bata, ki sta ročico menjajo obremenjevala.



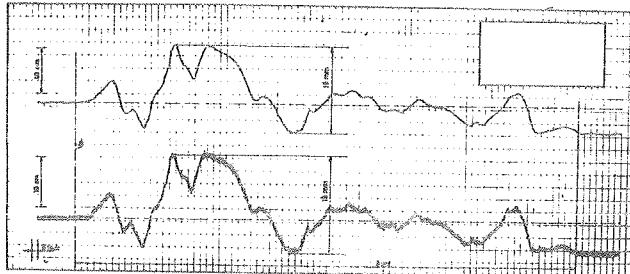
Slike 7 prikazuje preizkus kardanske osi s torzijsko dinamično obremenitvijo. Kardansko os je izdelala tovarna Soko iz Mostarja.



Slika 6 prikazuje torzijski preizkus prednje osi nakladača izdelek tovarne Litostroj iz Ljubljane. V tem primeru smo os preizkusili v samem vozilu. Vozilo smo dvignili, da so bila sprednja kolesa prosta, demontirali en par koles, montirali na njihovo mesto vrvenico ter s pomočjo vrvi in dveh batov ustvarili željeni torzijski moment. Potrebno protiutež je prideljalo vozilo s seboj.



Slika 7 prikazuje dinamični preizkus vozlišča predalčne konstrukcije iz cevi – projektant dipl.ing. Miha Mazovec iz Metalne iz Maribora. V simetričnem modelu sta bili dve diagonali obremenjeni z izvorno nihajočo natezno silo, ostali dve pa izvorno nihajočo tlačno silo. S sodelovanjem Zavoda za varjenje iz Ljubljane smo dosegli s pravilnim načinom varjenja po štirih poizkusih še enkrat večjo nosilnost kot jo je imel prvi model.



Najnovejši pulzator, ki je novost tudi v svetu, nam dovoljuje poleg sinusne, trikotne in trapezne oblike palziranja tudi simuliranje popolnoma nepravilne oblike obtežbenega režima slika 8. Program ora biti posnet na magnetofonski trak, ki preko krmilne naprave in elektromehanskih ventilov uravnava obtežbo konstrukcije. Frednost te naprave je tudi v tem, da lahko programiramo ne samo silo, temveč tudi pomike, pospeške ali celo napetosti na določenem mestu, ne glede na nelinearnost teh medsebojnih zvez. Željeno obliko pulziranja lahko sami napišemo na magnetofonski trak, ali pa jo z uporovnimi tenzometri direktno posnamemo med obratovanjem v narevi. Mejne zmogljivosti tega pulzatorja so :

maksimalna sila	50 ton
maksimalne deformacije	20 cm
maksimalna frekvenca	50 Hz
maksimalni pospešek	10 g,

vendar vse te maksimalne vrednosti ne morejo nastopati hkrati.

ZAKLJUČEK

Za dimenzioniranje dinamično obremenjenih konstrukcij ali posameznih elementov nam nudi literatura podatke le za glavne karakteristične primere. Za nekoliko komplikirane serijske proizvode je ekonomsko dimenzionirati s preizkušanjem celotne konstrukcije ali posameznega elementa. Današnje raziskovalne aparature nam omogočajo prenos dejanskih obtežbenih razmer iz terena v laboratorij.

ZUSAMMENFASSUNG

Für das Dimensionieren von dynamisch beanspruchten Konstruktionen oder einzelner Konstruktionsteilen gibt uns die Literatur nur die Data für charakteristische Hauptbeispiele. Für etwas kompliziertere Serienergebnisse ist schon ökonomisch das Dimensionieren mit Prüfung von kompletter Konstruktion bzw. jedes einzelnen Elementes. Die zeitgenössische Prüfungsapparaturen ermöglichen die Übertragung von tatsächlichen Beanspruchungsbedingungen vom Terrain in das Versuchslaboratorium.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MASINSTVA, NOVI SAD, 1971

Z.Smolčić-Žerdik, J.Indof^{x)}

PRILOG OCJENJIVANJU PROIZVODA OD DUROPLASTA^{xx)}

1. Uvod

Veličina, oblik i namjena proizvoda od duroplasta zajedno s odabranim ili uvjetovanim načinom prerade određuju pojedinosti u vezi s konstruiranjem i oblikovanjem proizvoda koji želimo izradjivati od duroplasta. Prilikom konstruiranja i dimenzioniranja odlučujuću ulogu igraju mehanička svojstva materijala (duroplasta) koji smo odabrali.

2. Osnovne smjernice za konstruiranje proizvoda od duroplasta

Kao pristup konstruiranju proizvoda od duroplasta donosimo pregled pojedinosti koje su bitne za izvršenje tog važnog i odgovornog zadatka. Te pojedinosti su : 1) podaci o mehaničkim svojstvima, koji su dobiveni ispitivanjem na standardnim epruvetama; 2) "tečenje" mase prilikom popunjavanja kalupa ; 3) orijentiranost čestica mase ; 4) utezanje materijala pri preradi i nakon prerade; 5) tolerance i 6) debljina stijenki proizvoda, prelazi, rebra, nagib u smjeru vadrjenja iz kalupa itd.

Ukratko ćemo se osvrnuti na navedene pojedinosti.

ad 1) Podaci o mehaničkim svojstvima pojedinih duroplasta, koje nalazimo u literaturi (1), dobiveni su kratkotrajnim ispitivanjima na standardnim epruvetama. Takove podatke

x) Zora Smolčić-Žerdik, dipl.inž., izv.profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje, predstojnik Katedre za drvo i nemetale, Zagreb.

Janez Indof, dipl.inž., honorarni asistent pri Katedri za drvo i nemetale, Fakultet strojarstva i brodogradnje, Zagreb.

xx) Saopćenje s Katedre za drvo i nemetale Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb.

ne možemo bez daljnog upotrijebiti za proračunavanje dijelova konstrukcija, koji su znatno složeniji od standardnih epruveta i koje preradujemo postupcima različitim od postupaka pri proizvodnji epruveta, a od kojih osim toga tražimo i očekujemo, da u upotrebi trajno izdrže zadano opterećenje bez deformacija ili drugih oštećenja. Zato je potrebno imati podatke i o trajnoj čvrstoći za pojedine plastične mase. Nadalje svojstva materijala u gotovom proizvodu ovise o preradi i o obliku proizvoda, sa svim karakteristikama strukture kao posljedice vrste mase i njenе sposobnosti "tečenja" za vrijeme prerade. Podaci o kratkotrajnoj čvrstoći pojedinih vrsta i tipova masa za prešanje služe s jedne strane za provjeravanje kvalitete pri likom laboratorijskih ispitivanja, služe kao baza za proračunavanje kao i kontrolu postignute čvrstoće gotovih otpresaka.

ad 2) Da bi duroplastična masa u fazi prerade mogla popuniti kalup nužno je da se ona premješta, te da tako dopire i do najudaljenijih dijelova kalupne šupljine. Budući da je jedan od sastavnih dijelova mase (smola) uslijed zagrijavanja u kalupu odredjeno vrijeme rastaljen, kaže se da masa "teče". To "tečenje" traje sve dok se ne popune svi dijelovi kalupa (ako je dozirano dovoljno mase), odnosno dok smola ne kondenzira u tolikoj mjeri da masa otvrdne. Masa će dok "teče" popunjavajući kalup doživljavati promjene u strujanju a to utječe na strukturu otpreska. Smjernovi tečenja mase mogu se učiniti vidljivima i promatrati raznim metodama (4).

ad 3) Istraživanjem strukture otpreska iz duroplasta, ustanovačiće se orijentiranost čestica punila, koje najčešće imaju dugoljasti oblik. Takovo orijentiranje je posljedica načina popunjavanja kalupa, a uzrok je anizotropnosti niza svojstava odprešanog materijala. Orijentiranost se utvrđuje makroskopskim i mikroskopskim pregledom na posebno pripremljenim (brušenim i poliranim) presjecima pojedinih dijelova otpresaka (4).

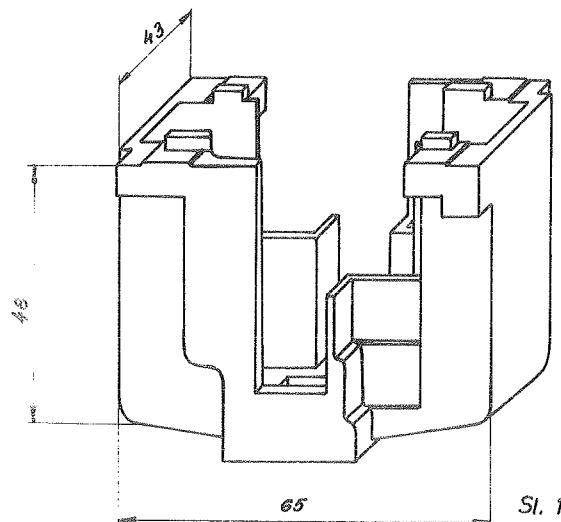
ad 4) Usporede li se mjere hladnog kalupa s mjerama otpresaka nakon što se otpresak ohladio na sobnu temperaturu, kao i nakon što je otpresak odredjeno vrijeme zagrijavan na povišenoj temperaturi, ustanoviti će se razlika koju zovemo "utezanje". Prema navedenome razlikujemo "utezanje pri preradi" i "naknadno utezanje". Što tačnije poznajemo utezanje nekog duroplasta pri preradi, kao i ovisnost utezanja o uslovima prerađe, orijentiranosti čestica punila i drugim utjecajnim faktorima, tačnije ćemo moći dimenzionirati kalup, tj. njime ćemo moći proizvesti tačnije otpreske. Proizvodači masa daju same okvirne podatke o utezaju, a za praksu bi bilo vrlo vrijedno znati ovisnost utezanja o orijentiranosti i uslovima prerađe.

ad 5) Razni su razlozi zbog kojih dolazi do odstupanja mjerne otpreska od zadane mjerne. Ako pretpostavimo da je utezanje materijala uzeto u obzir, neki od tih razloga mogu biti: odstupanje utezanja od odabrane vrijednosti, netačnost izrade kalupa, trošenje kalupa i utjecaj nejednolikih uslova prerađe. Za određivanje tolerancije i dopuštenih odstupanja netoleriranih mjera proizvoda od duroplasta odlučujuće je, da se i ovi utjecaji uzmu u obzir.

ad 6) Konstruirati neki proizvod od duroplasta, koji će zadovoljiti, znači konstruirati ga uvezši u obzir: osobitost duroplasta obzirom na mehanička svojstva (trajna svojstva, utjecaj zareza), uslove koji vladaju pri preradi (pritisak, temperatura, tečenje), mogućnosti prerađe i izrade kalupa i pojedinosti koje uvjetuje prerađa (kosina u smjeru vanjenja iz kalupa, zaobljenja). Često nismo u mogućnosti udovoljiti svim ovim zahtjevima u punoj mjeri, no i odredjeni kompromisi ne isključuju dobre konstrukcije. Idealno se dakako ni ovdje ne može postići ali uz dovoljno znanja, literarnih podataka, kao i vlastitog iskustva s pojedinim od navedenih područja, doći će se do dobrih rješenja a moći će se izvršiti i poboljšanje pojedinih konstrukcija (2,3,4).

3. Određivanje proizvoda od duroplasta sa stanovišta
mehaničkih svojstava uz osvrt na strukturu otpreska
u pojedinim presjecima

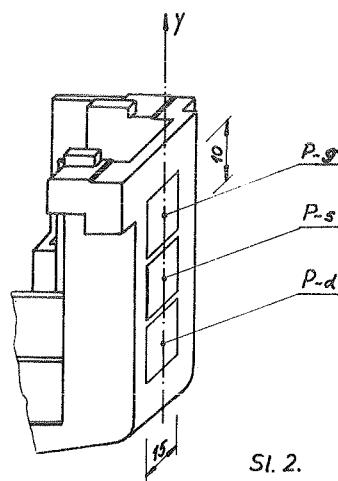
Proizvod prikazan na sl.1 dio je zaštitne sklopke od 16 A. Osnovni podaci o njemu su slijedeći: materijal - duroplast tip 31 (prema DIN 7708) ; prerada - direktno prešanje.



Sl. 1.

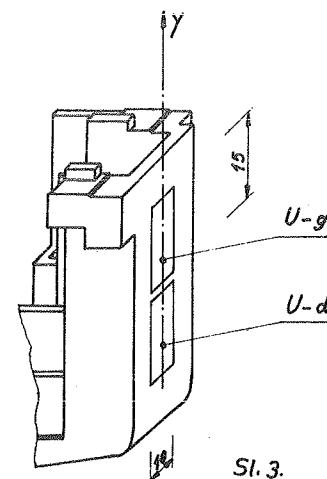
Na ovom proizvodu određivana je udarna žilevat prema DIN 53453. Epruvete za to ispitivanje su izrezivane iz bočnih stijenki otpreska prema slikama 2 i 3. Ovim ispitivanjem istražuje se anizotropnost mehaničkih svojstava materijala otpreska.

Sl.1.



Sl. 2.

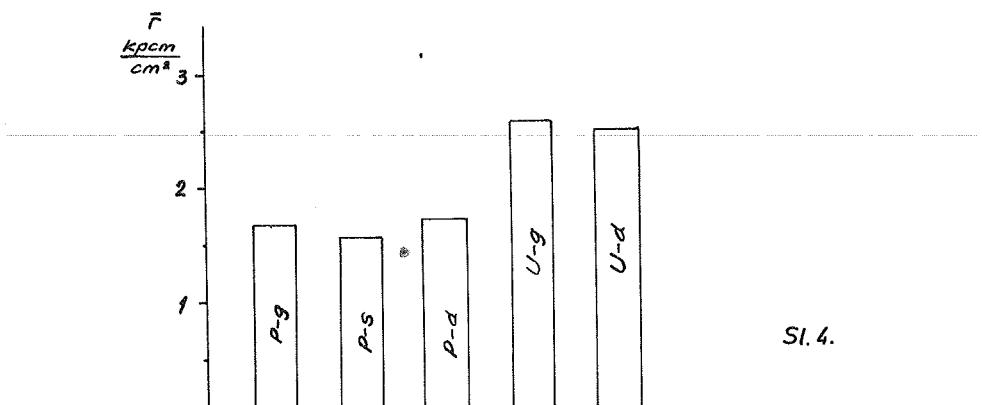
M. 25.04. Sl.2.



Sl. 3.

Sl.3.

Rezultati ispitivanja grafički su prikazani na sl.4.



Sl. 4.

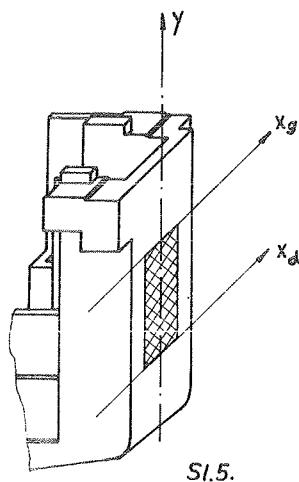
P-g = poprečna gornja epruveta
P-s = poprečna srednja epruveta

P-d = poprečna donja epruveta

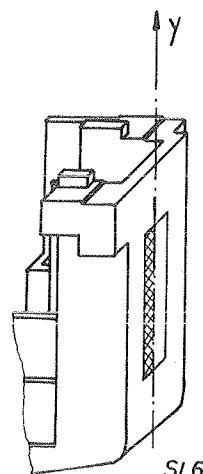
U-g = uzdužna gornja epruveta

U-d = uzdužna donja epruveta

\bar{f} u kpcm/cm^2 = aritmetička sredina specifičnih radnji
Vidi se da je udarna žilavost različita u ovisnosti o položaju ravnine preloma epruvete obzirom na smjer prešanja (os "y"). Vidi se jasno da je udarna žilavost materijala otpreska veća u ravnini paralelnoj s ravninom zatvaranja kalupa (epruvete U-g i U-d). Pretpostavlja se da je uzrok ustanovljenoj anizotropnosti udarne žilavosti orientiranost čestica punila duroplasta. Da bi se ta pretpostavka potvrdila primijenjena je mikroskopska metoda istraživanja strukture (4). Istraživana je struktura u ravninama koje su odredjene na slijedeći način: 1. ravnina je položena kroz os "x_g", tako da je okomita na os "Y" (sl.5) a druga ravnina položena je kroz os "y" tako da je okomita na bočnu stijenkiju otpreska (sl.6).



Sl.5.

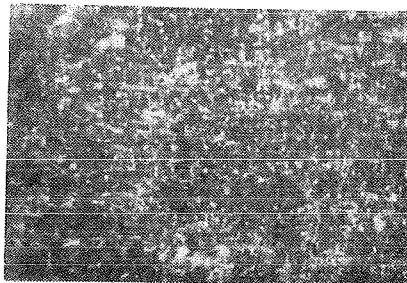


Sl.6.

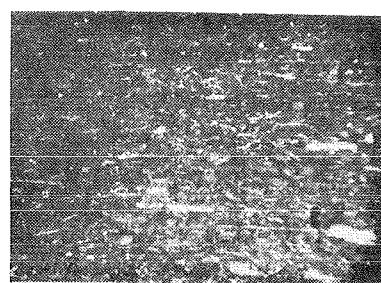
Sl.5.

Sl.6.

Snimci struktura prikazani su na slikama 7 (za ravninu 1) i 8 (za ravninu 2). Pregled mikroskopskih snimaka strukture pokazuje da su čestice punila pretežno orijentirane u smjeru osi "y" . To je u skladu s dobivenim



Sl.7.



Sl.8.

rezultatima ispitivanja udarne žilavosti. Udarna žilavost je veća kada je ravnina preloma epruvete okomita na smjer orijentiranosti čestica punila.

4. Zaključak

Problematika koja je ovdje dotaknuta, a na koju je ukazane na osnovu literature i vlastitih istraživanja, važna je za primjenu i proizvodnju proizvoda od duroplasta. Korisne je kod tog važnog i odgovornog posla ići redoslijedom koji je ovdje zacrtan, te nastojati da se iskustva i podaci o duroplastima obogate informacijama o trajnim mehaničkim svojstvima, te o utjecaju uslova prerade na svojstva preradjenih duroplasta.

5. Literatura

1 DIN 7708

2 W. Woebcken, Bestimmung der Schwindung, Nachschwindung und Quellung von Pressstoffen, Kunststoffe Bd. 49 (1959) str. 373

3 H. Wallhäuser, Bewertung von Formteilen aus härtbaren Kunststoff - Formmassen, Carl Hanser Verlag, München, 1967

4 R. Nitsche, Praktische Kunststoffprüfung, Springer Verlag, 1961

5 Katalog proizvoda, Kemijski kombinat Chromos-Katran-Kutrin, Tvornica plastičnih masa i ljepila Zagreb, 1967.

Beitrag zur Bewertung von Formteilen aus härtbaren Kunststoff-Formmassen

In dieser Mitteilung wurden zuerst die wichtigsten Materialeigenschafts- und Verarbeitungsfaktoren, die die mechanisch-technologischen Eigenschaften eines Press-Formteiles bestimmen, besprochen. Dabei wird besonders auf die Bedeutung der Kurz- und Langzeitfestigkeit hingewiesen, sowie auf den Einfluss der Struktur auf Schwindung und mechanische Eigenschaften der Formteile.

An einem duroplastischen Formteil wurden sodann Orientirungserscheinungen im Gefüge mittels mikroskopischer Methoden festgestellt sowie der Einfluss der Gefügeorientierung auf die Schlagfestigkeit des Formteils in verschiedenen Pressrichtungen.

M. Jarić,*

ANALIZA KONFIGURACIJE GRAFITA U SIVOM LIJEVU OBZIROM NA SADRŽAJ UGLJIKA I SILICIJA**

1. Uvod

Ugljik u sivom lijevu kristalizira kao vezani i slobodni ugljik. Slobodan ugljik kristalizira kao grafit u lisnatom obliku različite dužine i rasporeda. Poznati su standardi za procjenu grafita, odnosno primarne strukture sivog lijeva: američki i sovjetski. Američki standard kod procjene primarne strukture sadržava: dužinu listića grafita i tip tj. raspored grafita. Sovjetski standard daje raspored, oblik i udio grafita u strukturi sivoga lijeva. Kod ocjene dužine i oblika grafita prema literaturi⁽¹⁾ uglavnom susreće se jednostavniji američki standard.

Svrha slijedeće analize je, da istraži međusobnu zavisnost dužine listića grafita i rasporeda grafita obzirom na sadržaj ugljika i silicija, dok svi ostali utjecajni faktori bili su konstantni.

* Marija Jarić, dipl. inž. kemije, asistent Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Katedra za nauku o metalima, Zagreb.

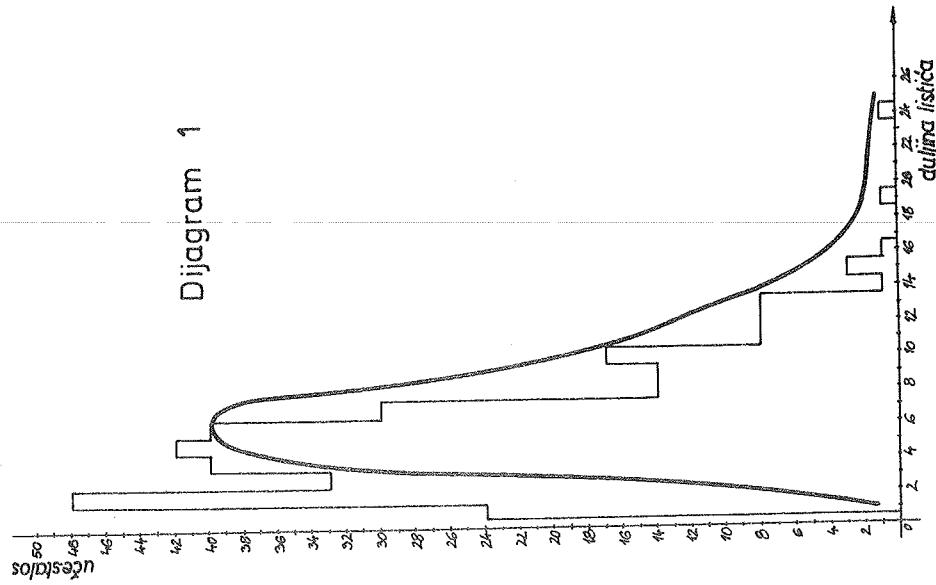
** Saopćenje iz Instituta Fakulteta strojarstva i brodogradnje – Odjel za materijale. Rad dijelom baziran na diplomskim radovima Fabečić Marice i Cvetnić Ljubice.

2. Rezultati analize

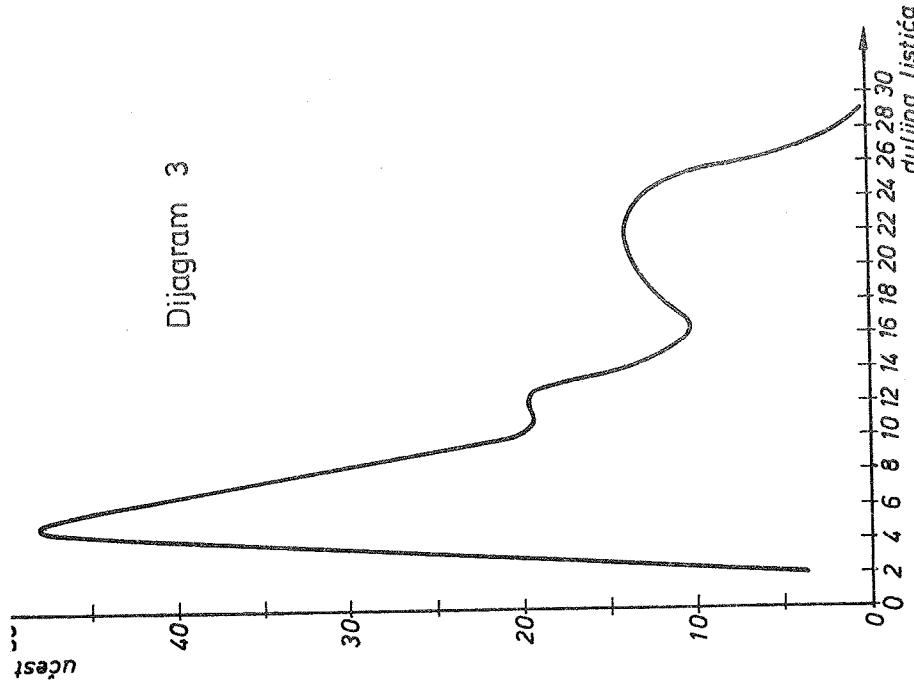
Sadržaj C i Si kod ispitivanih uzoraka varirao je u granicama za C 2,3%–3,62% i Si 1,25%–4,98%. Sivi lijev lijevan je u štapove Ø 30 mm i dužine 80 mm, od kojih su se dobili uzorci za metalografska ispitivanja. Prema metodi Monte Carlo odabrana su 4 mesta na ukupnoj površini, gdje su izmjerene dužine listića grafita. Izmjerene dužine listića složene su u razrede za svaki pojedini uzorak. Histogrami tih uzoraka aproksimirani su na računaru. Rezultat tog zaglađivanja je krivulja, koja predstavlja statistički raspored grafita, što se vidi na dijagramu 1. Prema obliku krivulja možemo uočiti tri različite skupine. U prvu skupinu mogu se svrstati uzorci sa istim ili sličnim rasporedom grafita. To pokazuje dijagram 1, gdje imamo jednu asimetričnu krivulju raspodjele grafita sa koncentracijom C 2,86% i Si 2,42%. Maksimalna učestalost kod tih krivulja je $x_0 = 6-8$. Raspored grafita prema ASTM-u je E 70% i D 30%. Drugi oolik krivulja dobije se slično rasporedu grafita, odnosno tip grafita, različitog oblika: E i A, A i C. Iz dijagrama 2 vidi se, da je krivulja raspodjele dužine grafita približno sastavljena iz sume dviju asimetričnih krivulja. Raspored grafita kod uzorka je E 40% i A 60%, tako da bi svaka krivulja za sebe predstavljala raspodjelu grafita tipa E i raspodjelu tipa A. Kod trećeg oblika raspodjele, dijagram 3 pokazuje, da je krivulja približno sastavljena iz sume triju asimetričnih krivulja, a tipovi grafita su E 30%, C 25% i A 45%.

Za očekivati bi bilo, da je raspodjela duljine grafita simetrična, jer se radi o velikom broju listića na čiju promjenu veličine ima utjecaj niz faktora (Teorem A.M. Ljapunova lit.2). Međutim sve krivulje raspodjele su asimetrične i pomaknute su u lijevo. Kod ispitivanja uzorka na metalografskom presjeku ne mijere se uvijek stvarne maksimalne dužine listića, nego u većini manje dužine. Radi toga se maksimalna učestalost pomiče u lijevo u područje manjih dužina listića.

Dijagram 1

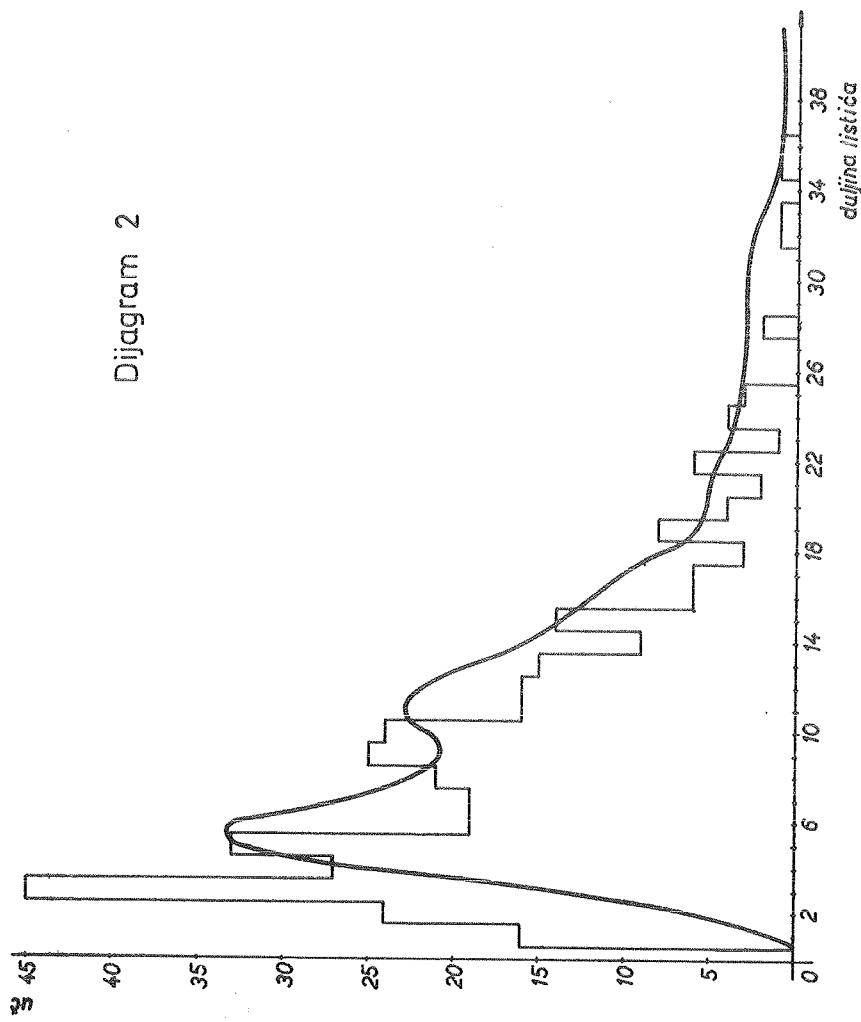


Dijagram 3



M.26.03.

Dijagram 2



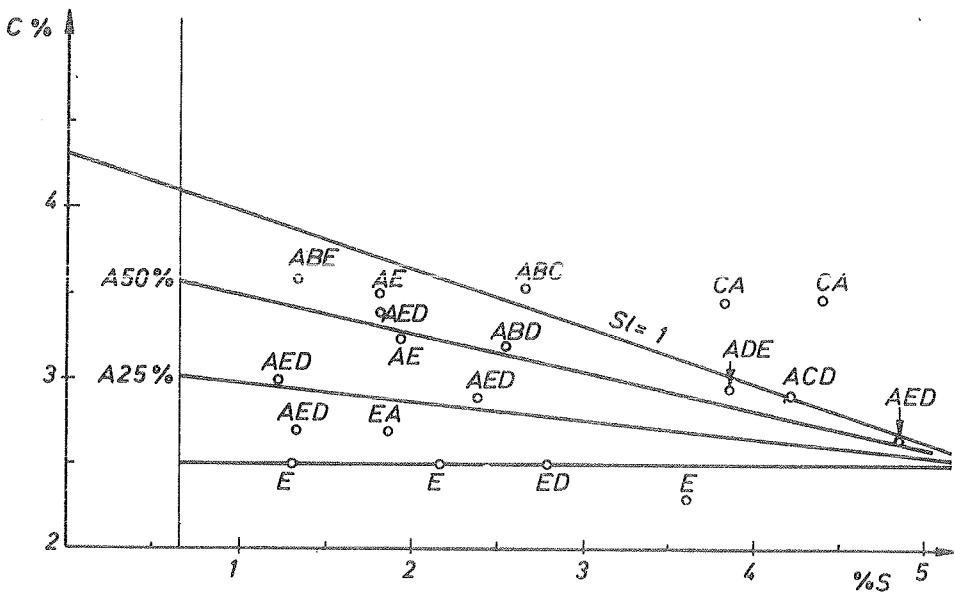
M.26.04.

Utjecaj koncentracije C i Si na samu dužinu listića dobio se je korelacijom koncentracije i očekivanih dužina. Očekivane dužine listića dobili smo iz prethodnih statističkih podataka. Korelacija između koncentracije C i očekivanih dužina iznosila je 0,62, a između dužine i koncentracije Si 0,37. Prema tim dobivenim korelacijskim vidi se, da Si vrlo malo utječe na dužinu listića. Veza između dužine i koncentracije C je stohastička.

Promatramo li uzorke sa gledišta ASTM- metode dobijemo slijedeću tablicu:

DUŽINA I RASPORED GRAFITA PREMA ASTM- METODI

C %	Si %	T i p	Dužina mm
2,5	1,39	E 100%	5
2,72	1,32	E 60% D 20% A 20%	17,5
3,00	1,25	E 60% D 20% A 20%	21,0
3,27	1,26	E 40% A 60%	19,0
2,72	1,91	E 90% A 10%	13,0
2,55	2,20	E 65% D 35%	9,0
2,86	2,42	E 70% D 30%	13,0
3,19	2,56	D 30% B 30% A 40%	18,5
2,88	4,25	D 30% E 5% C 35% A 30%	25,0
3,62	1,35	E 10% B 40% A 20% D 30%	30,5
3,47	4,40	C 45% A 45%	36,5
2,3	3,60	E 70% D 30%	13,0
2,54	1,71	E 90% D 10%	11,0
3,5	1,81	E 25% D 25% A 50%	15,0
3,38	1,88	E 25% A 50% D 25%	12,5
2,53	4,98	E 60% D 20% A 20%	16,5
2,93	3,98	E 30% D 30% A 40%	16,5
3,47	3,87	C 50% A 50%	30,0
2,48	2,01	D 70% E 30%	10,0
2,5	2,82	E 80% D 20%	12,5
2,3	4,25	E 60% D 40%	10,0
2,4	2,42	E 80% D 20%	12,5
2,3	4,95	E 60% D 30% A 10%	23,0
2,55	2,68	C 40% B 50% A 10%	30,0



Dijagram 4

Iz prethodne tabele slijedi orijentacioni dijagram 4 koji pokazuje raspodjelu tipova grafita obzirom na koncentraciju C i Si . Linija zasićenja $SZ=1$ za različite koncentracije ugljika i silicija dijeli dijagram na nadeutektičko i podeutektičko područje.

Zaključak

Raspodjela dužine grafitnih listića dala je tri tipa krivulja raspodjele:

1. Asimetrična krivulja raspodjele

2. Krivulja koja predstavlja sumu dviju asimetričnih krivulja raspodjele

3. Suma triju asimetričnih krivulja raspodjele.

Posljedica takve raspodjele su različiti tipovi grafita. Dužina listića grafita, dobivena na bazi statističke obrade, dala je korelacijsku vezu sa koncentracijom C. Korelacija između dužine i koncentracije Si je vrlo niska.

Utjecaj Si i C na raspodjelu tipova grafita očit je iz samog orijentacionog dijagrama 4. Ispod 2,5% C zastupljen je tip E i D bez obzira na koncentraciju Si. Povišenjem koncentracije C sve više je zastupljen tip A.

Linija SZ=1 dijeli dijagram na podeutektičko i nadeutektičko područje.

4. Literatura

- 1 L. Karbić, Slobodni ugljik u sivom lijevu, Strojarstvo 11(1969)
- 2 B.I.Pustilnik, Statističeskije metodi analiza i obrabotki nablijudenjiji, Moskva 1968
- 3 Wieser, Bates and Wallace, Mechanism of Graphite Formation in Iron-Silicon-Carbon, Alloys-Cleveland, Ohio 1957.
- 4 I. Pavlić, Statistička teorija i primjena, Zagreb , 1965.
- 5 Bunin, Malinočka, Taran, Osnovi metalografii čuguna, Moskva 1969.

Zusammenfassung

Der freie Kohlenstoff kristallisiert im Grauguss als Graphitlamellen verschiedener Länge und Form. Die Verteilung der Graphitlängen die wir durch die Messungen erhalten haben, beeinflusst auch die Form des Graphites.

Der Einfluss des Kohlenstoff und Siliciumgehaltes auf Graphites ist dem Orientationsdiagramm ersichtlich. Unter einem Gehalt von 2,5%C ohne Rücksicht auf den Si Gehalt kommt das Thypos E und D vor, mit steigenden, C-Gehalt erweitert sich das Feld des A-Thypes.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA, NOVI SAD, 1971.

M. Novosel*

UTJECAJ IZETT OBRADE NA MEHANIČKA SVOJSTVA NELEGIRANOG NISKO- UGLJIČNOG ČELIKA**

1. Uvod

U stručnoj je literaturi vrlo oskudno obraden toplinski postupak nazvan "Izett-ohrada" (njemačka kratica od "Immerzähglühung"). Kuntscher, Kilger i Biegler /1/ ukratko opisuju taj postupak kao posebni postupak toplinske obrade masovnih čelika čvrstoće do oko 50 kp/mm^2 , koji onim čelicima, koji nagniju gubitku žilavosti, poboljšava žilavost, a istovremeno povisuje otpornost prema starenju i poboljšava zavarivost. Fizikalno tumačenje tog postupka osniva se na dobro poznatoj Fryjevoj spoznaji, da na nisku žilavost čelika ne utječe samo količina nečistoće nego i njihov raspored. Iz ove bi spoznaje morao slijediti logični zaključak, da se na taj raspored može djelovati prikladnom toplinskom obradom i to vjerojatno tako, da se dio nečistoća izlučenih po granicama zrna rastvori austenitizacijom, pa da se onda dovoljno brzim hladjenjem (gašenjem) sprijeći izlazak tih nečistoća, tj. da ih se zadrži u prisilnom kružnom rastvoru α -zrna i tako učini neškodljivim u pogledu žilavosti. Prema tvrdnjama navedenih autora /1/ gašenje treba provesti u vodi ili u ulju. Hlađenje na zraku (normalizacija) ne zadovoljava u tu svrhu. Budući da pri gašenju nastaju toplinske,

* M. Novosel, dipl. ing, docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Zagreb.

** Pokusi rađeni na FSB Zagreb pri izradi diplomskog rada D. Krumsa, a u okviru suradnje Tvornice opreme za procesnu industriju poduzeća "D. Đaković" Slav. Brod i Instituta Fakulteta strojarstva i brodogradnje Zagreb. Radove je vodio pisac ovog članka.

za u manjoj mjeri i strukturne napetosti, autori /1/ preporučuju popuštanje na $350\text{--}450^{\circ}\text{C}$ (zavisno o sadržaju ugljika u čeliku).

Kako kod ovih čelika ne smije doći do nešto znatnijih pojava zakaljivanja, to je očito, da će postupak biti ograničen na niskougljične i uglavnom nelegirane čelike. Kako se želi postići i otpornost prema nastajanju pukotina u lužinama, bit će potrebno fiksirati i donju granicu sadržaja ugljika na oko 0,09 %. Praktički će dakle, prema podacima autora /1/ postupak biti efikasan za nelegirane čelike sa 0,1 do 0,4 % C.

Isti autori /1/ navode niz primjera o mogućnostima primjene ovog postupka na pojedinim vrstama materijala, kao i poboljšanju svojstava, koja se tom obradom postižu.

Na pr. na čelicima Č.0260, Č.0270, Č.0460, Č.0470 ovom se obradom povisuje žilavost u hladnom stanju i otpornost prema interkristalnoj koroziji. Na čeliku Č.0545 postiže se viša žilavost i otpornost prema starenju.

Čelik Č.0562 postaje nakon te obrade manje osjetljiv prema krtom lomu, starenju i djelovanju lužina.

Kod cijevnog čelika Č.1212 postiže se povišenje žilavosti u hladnom stanju, povišenje otpornosti prema starenju i povišenje otpornosti prema djelovanju lužina, a na čeliku Č.1213 (cijevi u kotlogradnji) naročito otpornost prema djelovanju lužina.

Na čeliku za lance Č.1102 (ako ima više od 0,09 % C) postiže se povišenje žilavosti na niskim temperaturama i otpornost prema interkristalnoj koroziji, što je od posebne važnosti za transportne lance u kemijskoj industriji.

Ovaj postupak spominju i drugi autori, iako ne pod imenom, koje su postupku dali spomenuti autori /1/. Na pr. Houdremont /2/ spominje mogućnost sniženja kritične temperature

(obzirom na sniženje žilavosti) mekih čelika, a naročito Thomasovih čelika. Nadalje, isti autor ukazuje na prednosti naglog hladjenja takvih čelika iz područja iznad Ac_3 u svrhu eliminacije sekundarnih segregacija, tj. sekundardne dendritne ili globularne strukture iz čeličnih odljevaka, a sekundarne trakaste strukture iz valjanog ili kovanog materijala. Naime, jako pothladjenje γ -zrna dovodi do spontanog i pojedinačnog stvaranja klica kristalizacije, što zavisno o stupnju pothlađenja djelomično ili potpuno reducira trakasti karakter zrna. Također i Sourdillon /3/ spominje postupak "kaljenja" niskougljičnih čelika kao sredstvo za povišenje čvrstoće i žilavosti.

Eisenkolb /4/ svrstava taj postupak među postupke "pooštene normalizacije", a Ruhfus /5/ među postupke poboljšavanja.

Werner /6/ i Wirtz /7/ posebno ukazuju na povoljan utjecaj Izett-obrađe na zavarivost kotlovnih čelika. I ovdje se radi u prvom redu o težnji prema uklanjanju nepovoljno raspoređenih nečistoća sa granica zrna (srednje grube izlučine kisika i dušika, "Tammannova kožica".)

2. Opis pokusa

Eksperimentalni radovi izvedeni su sa čelikom Č.1203 sastava:

0,12 % C 0,16 % Si 0,50 % Mn 0,17 % Cr 0,20 % Cu
0,011 % S 0,027 % P

i to s dva osnovna cilja:

- 1.) da se odredi režim Izett-obrađe za materijal u stanju dobave i to sa stanovišta žilavosti na sobnoj temperaturi, vlačne čvrstoće, granice razvlačenja i istezljivosti
- 2.) da se utvrdi, da li je Izett obrada primjenjiva za eliminaciju posljedica trajnih hladnih vlačnih deformacija i starenja također sa stanovišta spomenutih mehaničkih svojstava.

U tu je svrhu izrađen potreban broj standardnih epruveta za ispitivanje žilavosti (lo x lo x 55 mm s "V"-urezom pod kutem 45°), te kratkih proporcionalnih plosnatih epruveta za ispitivanje vlačne čvrstoće, granice razvlačenja i istezljivosti debljine lo mm, širine na mjernom dijelu 31 mm i mjerne dužine loo mm. (vlačna epruveta E lo x 31 x loo DIN 50125).

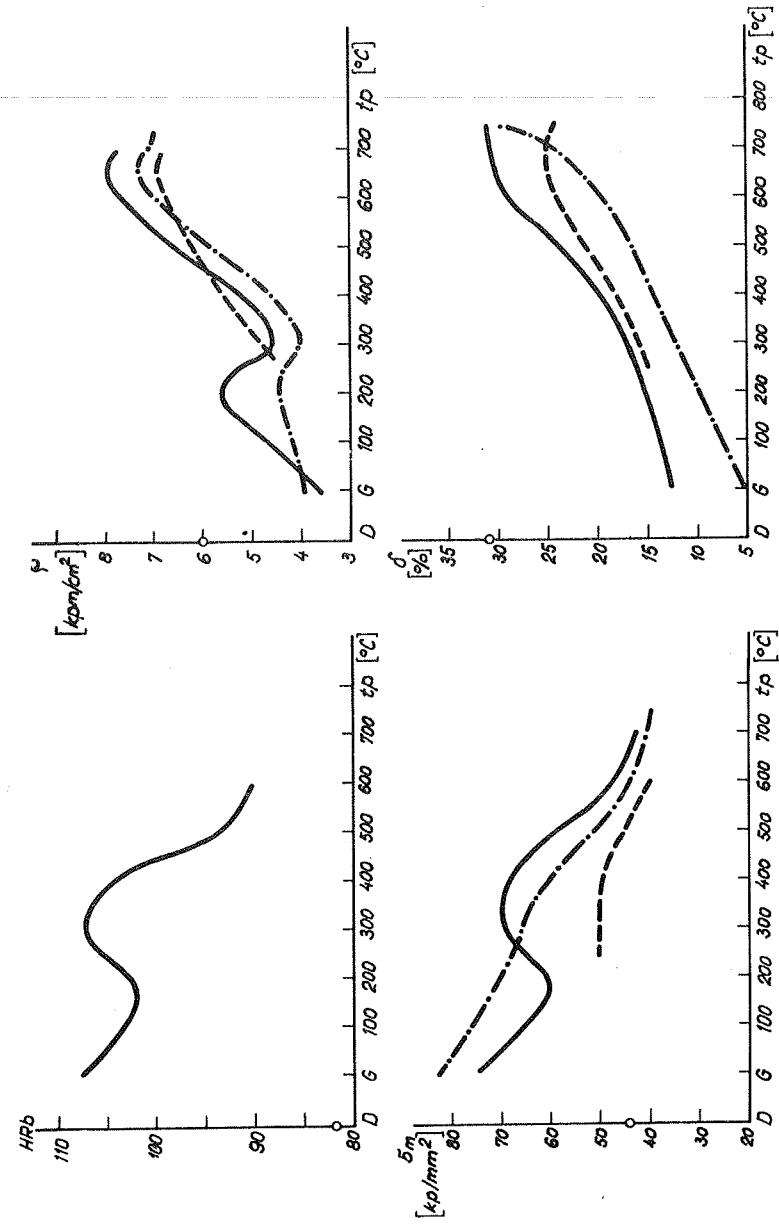
Epruvete ad 1) podvrgnute su ugrijavanju na 900°C u vremenu od 2 sata, a nakon toga su gašene u vodi, i podvrgnute popuštanju na 200, 300, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 i 750°C u vremenu od dva sata u jamskoj peći sa cirkulacijom zraka.

Epruvete za ispitivanje žilavosti ad 2) izrezane su iz šipki lo x lo x 330 mm nakon što su te šipke prethodno vlačno deformirane tako, da im je trajna deformacija nakon rasterećenja iznosila lo % od početne mjerne dužine. Iz svake takve šipke izrezane su 3 do 4 epruvete iz središnjeg dijela i to nakon mjerne kontrole poprečnih dimenzija, da bi se ustanovilo, da li je eventualno došlo do nejednolike kontrakcije presejka po dužini šipke. Ovako deformirane šipke za ispitivanje žilavosti podvrgnute su nakon toga grijanju na 250°C kroz 2 sata uz hlađenje s peći.

Epruvete za ispitivanje vlačne čvrstoće ad 2) također su najprije deformirane lo %, zatim ugrijane na 250°C kroz 2 sata i hlađene s peći, a konačno su na tim epruvetama uortane nove mjerne oznake potrebne za određivanje istezanja pri vlačnom pokusu.

Dio ovih epruveta ad 2) podvrgnut je Izett obradi i popuštanju pod istim režimima kao i kod epruveta ad 1), dok je drugi dio njih samo žaren (bez prethodne Izett-obrade) na temperaturama 300, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700 i 750°C i to sa ciljem da se u istom pokusu ustanovi i eventualna razlika u efikasnosti rekristalizacionog žarenja prema Izett obradi.

Rezultati ispitivanja mehaničkih svojstava unešeni su u dijagrame na slijedećoj stranici. Dijagrami su dati u obliku dija-



M.27.05.

grama popuštanja, tj. prikazuju zavisnost mehaničkih svojstava o temperaturi popuštanja (odnosno rekristalizacionog žarenja. U tim dijagramima označuju:

— (pune linije): mehanička svojstva postignuta Izett obradom i popuštanjem prethodno nedeformiranog materijala

-.-.-.- ("točka-crta" linije): mehanička svojstva postignuta Izett obradom i popuštanjem prethodne umjetno ostarenog materijala (lo % deformiran i grijan na 250°C kroz 2 sata)

- - - - (crtkane linije): mehanička svojstva postignuta rekristalizacionim žarenjem prethodno umjetno ostarenog materijala

D..... stanje dobave G gašeno stanje

3. Zaključci

Dijagram zavisnosti tvrdoće (HRb) o temperaturi popuštanja nakon Izett oorade pokazuje, da je efekt zakaljivanja ovog čelika relativno visok, što je i logično, ako se uzme u obzir relativno visok ugljični ekvivalent tog čelika (0,26). Donekle začuduje relativno jako izraženi minimum kod $t_p = 200^{\circ}\text{C}$ i maksimum kod $t_p = 300^{\circ}\text{C}$, no kako će se vidjeti iz ostalih dijagrama, ta će se pojava zakonito javljati i kod drugih mehaničkih svojstava, naročito ako se radi o prethodno neostarenom materijalu. Preostaje da se zasada samo pretpostavi, da se logično očekivani pad tvrdoće porastom temperature popuštanja prekida na oko $t_p = 200^{\circ}\text{C}$ uslijed forsiranog starenja (izlučivanja nečistoća unutar zrna) odnosno dostizanjem kritične veličine tih čestica nečistoća analogno kao što se kod popuštanja zakaljivog čelika javlja forsirano izlučivanje prelaznih karbida.

Uglavnom ovaj dio eksperimenta daje naslutiti, da će i vrlo niske primjese elemenata (vjerojatno Cr i Cu) utjecati na postavljanje režima Izett-obrade, za koju bi se na osnovu samog dijagrama popuštanja moralo već sada konstatirati, da je bliža poboljšavanju nego normalizaciji. Ovu konstataciju potvrđuje i zavisnost žilavosti o temperaturi popuštanja. Minimum žilavosti na $t_p = 300^{\circ}\text{C}$ potvrđuje vjerodost kritičnih izlučivanja iz kaljene strukture. Interesantno je i karakteristično, da krivulje žilavosti za neostarene i prethodno umjetno ostarene epruvete teku paralelno za temperature popuštanja iznad $t_p = 300^{\circ}\text{C}$, te da žilavost prethodno ostarenih epruveta leži oko 0,5 do 1 kpm/cm² ispod žilavosti neostarenih. Optimalna temperatura popuštanja za obje vrste epruveta iznosi oko 650°C . Porast žilavosti kod prethodno neostarenih epruveta u odnosu na žilavost u stanju dobave iznosi oko 30 %, a porast žilavosti prethodno ostarenih u odnosu na žilavost u ostarenom stanju oko 90 %. Vidi se nadalje, da općenito preporučeno popuštanje na $350..450^{\circ}\text{C}$ ne bi u ovom slučaju dalo zadovoljavajući rezultat. Iz krivulje za žilavost postignute rekristalizacionim žarenjem vidi se, da je efekt toga žarenja najjači također na oko 650°C , ali da je u cijelini nešto slabiji od efekta Izett-obrade ostarenih epruveta.

Tok vlačne čvrstoće u zavisnosti o temperaturi popuštanja za prethodno neostarene Izett-obrađene epruvete kvalitativno je isti kao i tok tvrdoća. Tok čvrstoća prethodno ostarenih, a onda Izett obrađenih epruveta nije pokazao takove prijevoje, nego čvrstoća pada gotovo linearno s temperaturom popuštanja. Razlike u apsolutnim iznosima čvrstoća ovih dviju vrsta epruveta sve do temperature popuštanja od oko 250°C , pokazuje da početna struktura igra također izvjesnu ulogu. Očito je, da je u slučaju prethodno starenih epruveta predizlučivanje nečistoća u postupku umjetnog starenja učinilo strukturu stabilnijom nakon Izett obrade, pa su tek temperature popuštanja iznad 250°C nakon Izett obrade destabilizirale kaljenu strukturu u većoj mjeri nego što je to bilo slučaj kod prethodno

neostarenih epruveta.

Efekt rekristalizacionog žarenja i ovdje je slabiji od efekta Izett-obrade.

Možda je interesantno primjetiti, kako se ponaša omjer granica razvlačenja prema vlačnoj čvrstoći kod pojedinih grupa epruveta.

Za epruvete koje su samo Izett obradene (bez prethodnog starenja) taj je omjer gotovo konstantan (oko 0,75) i neznatno povišen prema istom omjeru toplinski neobradenih epruveta (oko 0,72). Nasuprot tome, kod epruveta koje su prethodno ostarene, a onda Izett-obradene i popuštane taj se omjer mijenja zavisno o temperaturi popuštanja od 0,83 do 0,74, s tim, da se omjer 0,74 dostiže tek na temperaturama popuštanja 700°C i višim.

Ovaj se omjer za rekristalizaciono žarene epruvete kreće od 0,97 do 0,84 zavisno o temperaturi žarenja. Nadalje, treba primijetiti, da se pri pokusu razvlačenja izrazita granica razvlačenja u dijagramu "sila - istezanje" kod ovih Izett-obradenih epruveta mogla primijetiti samo za temperature popuštanja iznad 500°C , dok je za niže temperature trebalo odrediti konvencionalnu granicu razvlačenja $\sigma_{0,2}$. Nasuprot tome, kod svih epruveta, koje nisu bile podvrgnute Izett-obradi (tj. one u stanju dobave, kao i sve umjetno ostarene i rekristalizacionom žarenju podvragnute epruvete) pokazuju izrazitu granicu razvlačenja.

U pogledu istezljivosti konstatira se, da se istezljivost početnog materijala kod neostarenih epruveta dostiže na temperaturi popuštanja oko 650°C , ali također da za prethodno ostarene epruvete treba popuštati čak na 750°C , da bi se približno dostigla početna istezljivost. Isto se tako vidi, da rekristalizacionim žarenjem nije uopće moguće za ovaj materijal dostići početnu istezljivost.

Konačni zaključak o primjenjivosti Izett obrade na ovaj čelik bio bi dakle pozitivan i to kako u svrhu povišenja žilavosti materijala u stanju dobave tako i u pogledu "regeneracije" u pogonu eventualno preopterećenih dijelova. U svakom slučaju, međutim treba posebno naglasiti, da nemaju vrijednosti neke opće preporuke o postavljanju režima ove obrade, nego je potrebno prethodnim pokusima odrediti takav režim, jer on će očito bitno zavisiti kako o sastavu čelika, tako i o početnoj strukturi.

4. Literatura

- /1/ Küntscher-Kilger-Biegler: Technische Baustähle. 3 izdanje, VEB Wilhelm Knapp Verlag, Halle(Saale) (1958)
- /2/ Houdremont: Handbuch der Sonderstahlkunde. 3. dopunjeno izdanje, Springer Verlag Berlin/Göttingen/Heidelberg (1956)
- /3/ Sourdillon: Traitement thermique des aciers de construction. 2. izdanje, Editions de la Revue d'optique, Paris 1957.
- /4/ Eisenkolb: Einführung in die Werkstoffkunde (III dio), VEB Verlag Technik, Berlin (1957)
- /5/ Ruhfus: Die Wärmebehandlung der Eisenwerkstoffe, Verlag Stahleisen m.b.H. Düsseldorf (1958)
- /6/ Werner: Sonderstahlkunde (1. i 3. dio) izdanje: Bergakademie Freiberg (1959)
- /7/ Wirtz: Das Verhalten der Stähle beim Schweißen, I dio. Deutscher Verlag für Schweißtechnik (DVS), GmbH Düsseldorf (1966)

Zusammenfassung

Es sind eigene Versuche der Anwendbarkeit der s.g. Izett-Glühung an einem Kesselbaustahl beschrieben. An den nichtgealterten einerseits und an den vorläufig künstlich gealterten Probestäben wurde die Izett-Glühung durchgeführt, und nachdem wurden diese Probestäbe einer Anlassbehandlung zwecks Bestimmung der notwendigen und optimalen Anlassstemperatur unterworfen. Die Messergebnisse der Härte, der Kerbschlagzähigkeit, der Zugfestigkeit, und der Bruchdehnung sind in Form der Anlasschaubilder dargestellt und anhand dieser Ergebnisse wer-

den die Folgerungen über die Anwendbarkeit der Izett-Behandlung für diesen Stahl gemacht. Es ist auch ein Vergleich mit den Ergebnissen des Rekristallisationsglühens der künstlich gealterten Stäben ausgeführt. Man hat sich gezeigt, dass dieses Verfahren auch für diesen Stahl mit kleinen Chrom- und Kupferbeimengungen anwendbar ist, aber nur im Falle, dass man höhere Anlasstemperaturen als üblich anwendet, so dass die durchgeführte Behandlung mehr einer Vergütungsbehandlung ähnlich wird.

S. Žukić*

ANALIZA NEELASTIČNOG PONAŠANJA METALA PRIMJENOM ELEKTRIČKE
TENZOMETRIJE**

1. Uvod

U istraživanju prirodnih pojava ljudi su se redovno susretali s problemom metoda i uređaja za otkrivanje i potvrđivanje fizičkih zakona putem mjerjenja međusobno zavisnih veličina. U današnje vrijeme ovaj je problem još izrazitiji, jer se učazi u najsuptilnije detalje pojave, pa je stoga nužna vrlo velika osjetljivost i tačnost mjernih uređaja, a ovo, kako znamo, vezano je često za čak i basnoslovne materijalne troškove. No danas je svakome jasna nužnost naučnog progresa, a prema tome i ulaganje u takav oblik investiranja.

Pojava neelastičnog deformiranja materijala, bez obzira radi li se o njenom korisnom ili štetnom rezultatu, obraća našu pažnju na zbivanja u materijalu tokom procesa deformiranja, izazvanog nekim vanjskim faktorima. U literaturi se već dugo vremena obrađuju rezultati deformacije materijala, bilo da se radi o namjernom gnjećenju materijala ili pak o neželjenim posljedicama deformacije. Međutim zbivanja u materijalu tokom deformiranja početa su detaljnije analizirati tek zadnjih godina. Cottrellova teorija dislokacija (1) postala je polazna

* Mr Slavoljub Žukić, dipl. ing. strojarstva, asistent na Katedri za Nauku o metalima Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

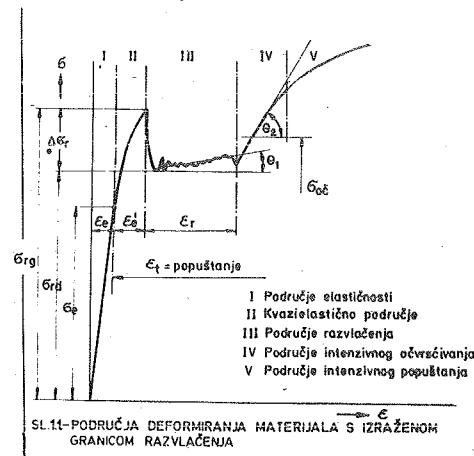
** Saopćenje je rađeno na osnovu eksperimenata provedenih u lab. za ispitivanje mehaničkih svojstava metala FSB-Zagreb, u okviru autorovog magistarskog rada pod naslovom "Analiza pojava pri mehaničkom popuštanju čelika u području razvlačenja". 1969.

baza savremenog prilaza ovoj materiji. Zaključivanja o zbivanjima u materijalu vršena su na osnovu matematskih modela i eksperimentalnog ispitivanja posljedica po izvršenom deformiranju materijala. U poznavanju kinetike deformiranja nije se daleko došlo, jer nisu postojale eksperimentalne mogućnosti direktnog praćenja toka deformiranja.

2. Kinetika neelastičnog deformiranja

Polazeći od Cottrellove teorije dislokacija autori Petch, Hall, Hahn (3), Ivanova (2), Johnston (4) i drugi utvrđuju ulogu dislokacionog mehanizma osnovnim faktorom pojave i razvoja neelastičnog deformiranja. Mehanizam deformiranja je lako promatrati uz praćenje promjena preko dijagrama ovisnosti deformacije tj. istezanja (ϵ) o opterećenju (σ), kogega u tu svrhu podijelimo na područja tako da ona odgovaraju periodima toka deformiranja. Dijagram deformiranja niskougljičnog čelika (sl. 1) uzet je ovdje, jer je taj materijal i eksperimentalno obraden, o čemu će biti govora kasnije, a za cestale materijale ga je lako adekvatno оформити.

Početna faza deformiranja pri malim opterećenjima je elastič-



na deformacija (I), a slijedi je tzv. kvazielastična (II) ili faza neelastičnog popuštanja povoljno orijentiranih zrna, odnosno pojava geneze i prodora dislokacija kroz povoljno orijentirana zrna metala. Dalnjim porastom opterećenja nastupa faza razvlačenja (III), karakteristična za metale prostorno centrirane kubne rešetke, u koju grupu ulaze i niskougljični čelici. Poznato je da ovaj fenomen predstavlja barijeru većeg iskorištenja ovakovih materijala pri dimenzioniranju konstrukcija, a iz tih razloga on je postao predmetom intenzivnih istraživanja zadnjih godina. Ova se pojava tumači snažnim prođom dislokacija iz zrna u zrno, a i° genezom novih dislokacija, koje uz praktički isto vanjsko opterećenje gibaju Lüdersov front kroz materijal tj. znatno ga neelastično deformiraju. U ovoj fazi se javlja i neznatno očvršćenje materijala Θ_1 (v sl.l.). Nakon ove faze nastupa intenzivno očvršćavanje materijala (IV) zbog smanjenja veličine kliznih ravnina i stvaranja izvjesnog nereda u strukturi, uslijed mnoštva barijera za prođor dislokacija, pa je za dalje deformiranje potrebna dodatna energija. Dalje se deformiranje odvija uz znatan porast temperature i uz pojavu mikropukotina, pa uslijed popuštanja veza nastupa intenzivno popuštanje materijala (V). Naime prema nekim autorima Ribkina (5) prve pukotine se javljaju već početkom faze (IV), ali njihovo djelovanje je znatno intenzivnije u kasnijim fazama deformiranja.

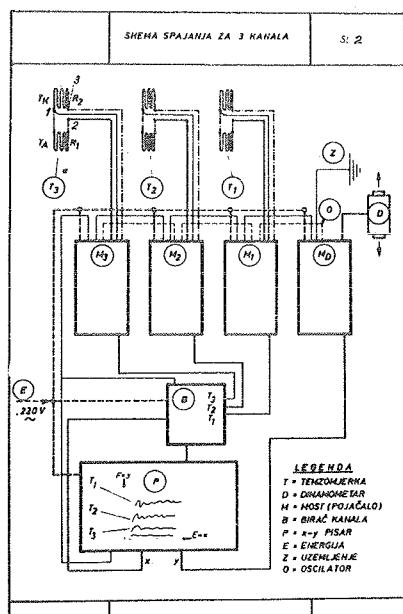
3. Eksperimentalno praćenje kinetike deformiranja pomoću električnih tenzometara.

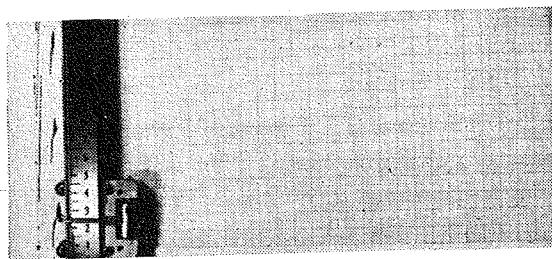
Primjena električnih tenzometara, kako induktivnih i kapacitivnih tako i elektrootpornih tenzomjerki (strain gage) poznata je tehničkoj praksi pri određivanju elastičnih deformacija materijala, gdje su se oni intenzivno koristili i nadmašili sve svoje prethodnike po kvaliteti i opsegu primjene. Prva dva su međutim izgubila u konkurenciji, kad se radilo o mjeranjima deformacija na malim lokalitetima, uslijed glomaznosti. Elektrootporne tenzomjerke primijenjene za mjerenje elastičnih de-

formacija, a do nedavno su samo takove proizvedene, nisu bile primjenjive za mjerjenje većih neelastičnih deformacija. Tek nakon što su proizvedene one sa kapacitetom istezanja od preko 2 % bila su izvodiva ovakva ispitivanja. Za našu svrhu je to bio prvi uvjet, dok je drugi uvjet bio dobivanje tačnih brojčanih podataka i veće brzine sabiranja podataka, te mogućnost direktnog dijagramskog predložavanja ovisnosti veličina. U tu svrhu izvršen je izbor vrsta tenzomjerki i izgrađena aparatura za ova ispitivanja.

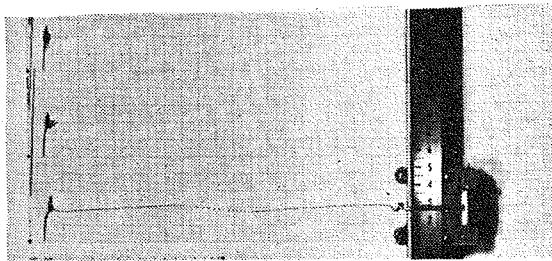
Praćenje kinetike deformiranja provedeno je tako, da su 3 tenzomjerke lijepljene na određenom razmaku uzduž čelične e-pruvete, učvršćene zajedno s posebnim električkim dinamometrom u kidalicu, kojom je vršeno deformiranje. Tenzomjerke su vezane preko Weatstoneovih mjernih mostova na X os elektro-niškog X-Y pisača, dok je na Y os vezan dinamometar (sl.2.). Na taj način omogućeno je paralelno pisanje tri dijagrama

deformiranja. Pisač je naime pisao tačke dijagrama u skokovima od po 0,75 sek. razmaka. Fotografiranjem ovih dijagrama u određenim vremenskim razmacima fiksirana su zbiranja tokom deformiranja. Za ispitivanja su upotrijebljene tenzomjerke dužine 1/4 inča i lijepljile firme BUDD, dinamometar kapaciteta 10 Np vlastite proizvodnje, mjerni mostovi firme HOTTINGER-BALDWIN, X-Y pisač firme HEWLET-PACKARD, te ki-

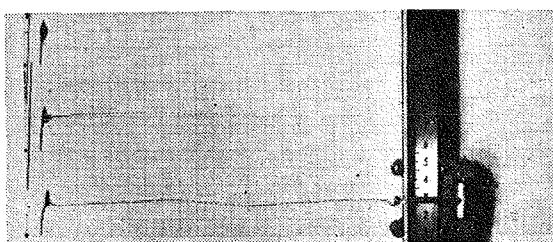




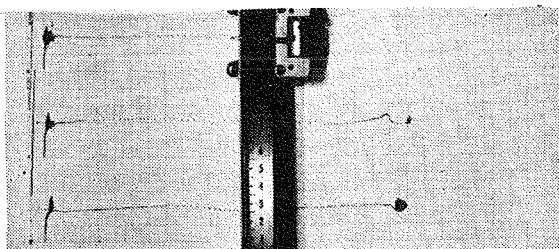
a) 13 min od početka deformiranja



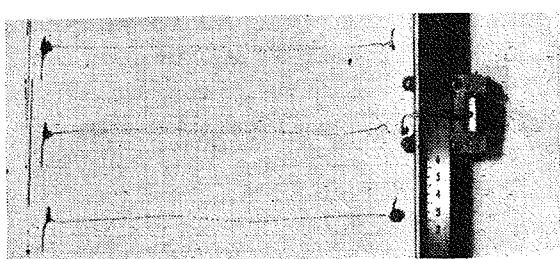
b) 29 min od početka deformiranja



c) 39 min od početka deformiranja



d) 48 min od početka deformiranja



e) 61 min od početka deformiranja

S1.3. Dijagram neelastičnog deformiranja niskougljičnog čelika u proručju razvlačenja.

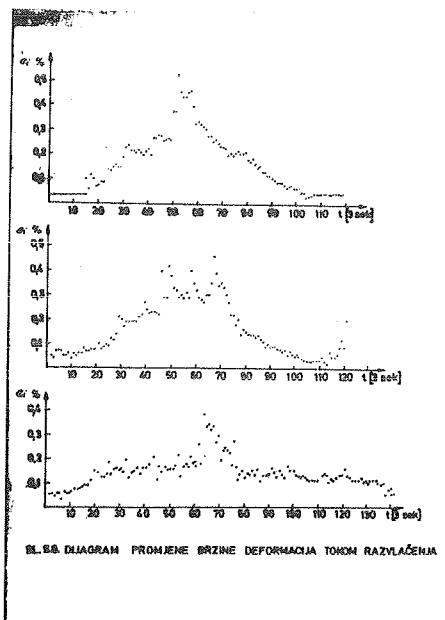
M.28.05.

dalica "AMSLER" na području lo Mp.

4. Rezultati ispitivanja

Ispitivanja na ovako pripremljenim uređajima omogućila su dobitvanje dijagrama deformiranja prikazanih na sl. 3. Slika 3a je snimljena u momentu kada je spraveta bila opterećena do donje granice razvlačenja i kada je materijal ispod prve tenzomjerke ulazio u stadij razvlačenja. Na sl. 3b vidimo ispisano krivulju razvlačenja od prve tenzomjerke, dok je od druge tenzomjerke krivulja tek započeta, a treća tenzomjerka još uvijek ostaje na početnom položaju. Na sl. 3c je vidljivo da je krivulja deformacije druge tenzomjerke već daleko u razvlačenju, a u isto vrijeme vidimo da prva tenzomjerka ne pokazuje nikakve promjene od prethodne slike, dok treća opet ostaje u početnom položaju.

Kada je pod drugom tenzomjerkom završilo razvlačenje, počelo je razvlačenje pod trećom tenzomjerkom, a na sl. 3d vidimo da je treća odmakla u razvlačenju, dok prve dvije stoje na završetku krivulje razvlačenja. Tek kad je pod trećom tenzomjerkom razvlačenja završeno, kod sve tri tenzomjerke je počeo nagli uspon krivulje deformiranja, što se vidi iz sl. 3e. Iz razumljivih razloga ovdje nisu dane slike međufaza, ali već iz



ovih slika je uočljiva mogućnost praćenja toka deformiranja, koji je pošao s jednog kraja epruvete i tekao uzduž epruvete do njenog drugog kraja. Ukupna konačna deformacija na snimljenim krivuljama iznosi oko 2 % u kom momentu je prekinuto deformiranje. Na ovim tačkasto pisanim krivuljama je vidljivo da razmak tačaka nije isti. Ovi razmaci su naneseni u dijagrame sl. 5 kao ordinate, dok je na osi apscisa vrijeme trajanja pisanja tačaka u ciklusima od 3 sek. Ti nam dijagrami pokazuju promjenu brzine razvlačenja, što nam govori da se brzina razvlačenja mijenja po nekom zakonu i da je ona najveća u srednjem dijelu razvlačenja.

Zaključak:

Primjenom elektrootpornih tenzomjerski u ovim eksperimentima omogućeno je kontinuirano praćenje toka deformiranja uzorka. Male dimenzije ovih tenzomjerki i njihova velika osjetljivost, pokazuju pogodnost za mjerjenje lokalnih deformacija na malim lokalitetima, te za mjerjenje većih neelastičnih deformacija dovoljnom tačnosti. Svojstvo ove metode da su mehaničke veličine dane u obliku električkih, ima veliku mogućnost reproduktivnosti podataka uz primjenu savremenih elektroničkih sistema, pri analizi svojstava materijala.

Literatura

1. Cottrell A.H., Theoretical Structural Metallurgy - London 1960.
2. Ivanova V.S. i dr., Rolj dislokacij v upročnii i razrušenii metalov - Moskva 1965.
3. Hahn G.T., A model for Yielding with Special Reference to the Yield - Point Phenomena of Iron and Related bcc Metals. - Ac. Met. Vol. 10 1962
4. Johnston W.G., Yield Points and Delay Times in Single Crystals. - J. App. Phys. Vol. 33 No. 9 sept. 1962

5. Ribkina D.G. i Jarošević V.D. - Analiz temperaturnoj i skoroštnej zavisnosti predela tekućest i naprženii tečenja armco-željeza v oblasti nizkih temperatur.
I dio FMM, 22, 1966
II dio FMM, 26, 1968

6. Žukić

Analysis of the inelastic behaviour of metals by means of electric strain gage method.

The strain gage technic has a very large field application for measurement of elastic deformation of material, but it is not in use so often for measurement of large inelastic deformation.

In this work is done the application of strain gauges in the analysis of moving of Lüders band front during the inelastic deformation of mild steels. Experiments have shown that it is possible to use strain gauges in determination of the kinetics of large inelastic deformation.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971

V. Vujović^X, E. Lemaher^{XX}

UTJECAJ STRUKTURE MATERIJALA NA MOGUĆNOST OBRADE FINIM
ŠTANCANJEM^{XXX}

1. Uvod

Visok kvalitet obradjenih (reznih) površina i visoka klasa tačnosti izrađenih dijelova su glavne karakteristike procesa finog štancanja. Kvalitet površine sa parametrom hrapavosti $R_a = 0,45 \mu\text{m}$ i tačnost dimenzija izradaka sa klasom tačnosti do IT 6, koji se ovim postupkom dobivaju, stvaraju mogućnost zamjene znatno skupljih operacija finog brušenja i poliranja postupkom finog štancanja.

Osnovni uvjeti za realizaciju kvalitetnog procesa finog štancanja su:

- presa za fino štancanje čija konstrukcija mora omogućavati tri neovisna dejstva;
- posebno građen alat za fino štancanje i
- materijal za štancanje odgovarajućih svojstava.

Ovdje se razmatra problematika utjecaja svojstva materijala na kvalitet i mogućnosti postupka finog štancanja. Zahtjevi u odnosu na kvalitet materijala postavljaju se s obzirom na oblik rezne linije, funkciju reznih površina i debljinu izratka. Obično je u pitanju utvrđivanje optimalnih svojstava materijala u odnosu na vrstu izratka.

^X Mr Vlado Vujović, dipl.inž. strojarstva, naučni suradnik Instituta za alatne strojeve Zagreb.

^{XX} Ernest Lemaher, dipl.inž. strojarstva, Viši asistent Instituta za alatne strojeve Zagreb.

^{XXX} Saopćenje Instituta za alatne strojeve Zagreb, Dure Salaja I., dio je teme koju sufinancira Republički fond za naučni rad SRH. Rezultati ispitivanja potiču iz suradnje sa Švicarskom firmom Feintool AG Lyss.

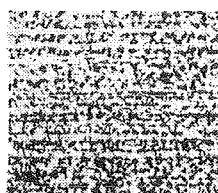
Zbog ograničenog prostora obuhvaćaju se samo čelični materijali. Specifična problematika postoji i u odnosu na svojstva materijala kod obojenih metala pri finom štancanju.

Sa stanovišta finog štancanja kod čeličnih materijala zahtjeva se posjedovanje plastičnih svojstava, što ravnomjerija mikrostruktura i određeni kvalitet površine trake za štancanje. Prema tome sastav materijala i određeni postupci prethodne obrade su uvjeti za uspješnu primjenu finog štancanja pri izradi dijelova.

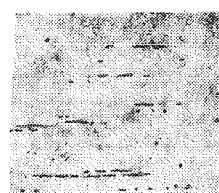
2. Meki nelegirani čelici

U principu, ova grupa materijala, gdje je sadržaj $C < 0,1\%$, je veoma povoljna za obradu finim štancanjem. Ipak sa povećanjem debljine izratka i složenosti geometrijskog oblika rezne linije mora se i kod ovih materijala obratiti pažnja na stupanj čistoće kemijskog sastava, ravnomjerost strukture i čvrstoću trake za štancanje.

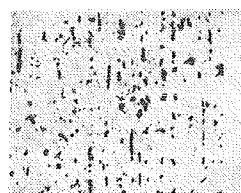
Poznato je da kod ovih čelika nastaje pojava mikrosegregacije. Tema prilikama skrunjavajuća čelika mogu nastati znatne razlike u sastavu čelika na rubovima traka u odnosu na sastav u sredini te iste trake. Posljedice mikrosegregacije naročito se nepovoljno odražavaju na dijelovima obrađenih površina sa velikim zakrivljenostima (mali radijusi) na oštrim prijelazima i kod debljih izradaka.



Sl.1 - Slojevitost
ferita i perlita
Mjerilo 75:1



Sl.2 - Nemetalni
uključci,
povećanje 75x



Sl. 3 - Raspored karbida
u mekom čeliku,
povećanje 150x

Slojevita struktura materijala, pored posljedice mikrosegregacije, stvara smetnje pri finom štancanju. Slojevit raspored ferita, perlita i nemetalnih uključaka kao na slici 1, mogu uzrokovati pukotine na reznoj površini pri finom štancanju. Pošto je slojevita često povezana sa mikrosegregacijom to se ova nedostatka ot-klanjaju homogenizacijom putem žarenja.

Nemetalni uključci, kao na slici 2, stvaraju smetnje pri finom štancanju, pošto ne posjeduju svojstvo plastičnog oblikovanja, pa često uzrokuju pukotine na reznoj površini. Radi toga je za fino štancanje veoma značajno da nemetalnih uključaka u materijalu bude što manje. Promjene plastičnih svojstava materijala uslijed ležanja na skladištu, za izradu složenih oblika, može biti također od značaja, jer time opada izduženje a raste čvrstoća, dakle, gube se svojstva plastičnosti.

Sadržaj i oblik tvrdog cementita u mekim nelegiranim čelicima nemaju utjecaj na obradivost finim štancanjem kao kod ugljeničnih čelika. Ipak kod složenih oblika rezne linije i ovaj mali udio cementita ostavlja negativan utjecaj na obradivost.

Na slici 3 vidljiv je raspored karbida u nehomogeniziranom mekom čeliku.

Očvršćavanje mekog nelegiranog čelika uslijed hladnog valjanja znatno utiče na smanjenje obradivosti pri finom štancanju. Ukoliko je očvršćavanje veće utoliko je obradivost prema žarenom čeliku manja. Veza između stepena hladne deformacije i obradivosti finim štancanjem mora se pokusima utvrditi pri čemu se određuju karakteristike obradivosti.

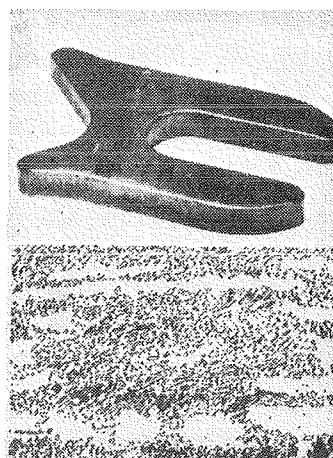
3. Nelegirani i legirani ugljenični čelici

Kod ove grupe materijala obradivost finim štancanjem opada sa porastom sadržaja ugljika i legirajućih komponenata. Granica obradivosti još uvijek se ne može jednoznačno utvrditi. Nasuprot nelegiranim mekim čelicima, kod ovih čelika su u prvom redu oblik i sadržaj tvrdog cementita u strukturi čelika mjerodavni za rezultate finog štancanja. Nemetalne nečistoće, slojevitost, očvršćavanje uslijed hladne deformacije i geometrijski oblik dijela imaju ovde isti značaj kao i kod mekih nelegiranih čelika.

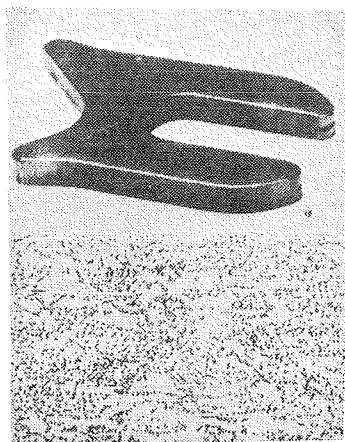
Utjecaj skladištenja i pojave mikrosegregacije je manji.



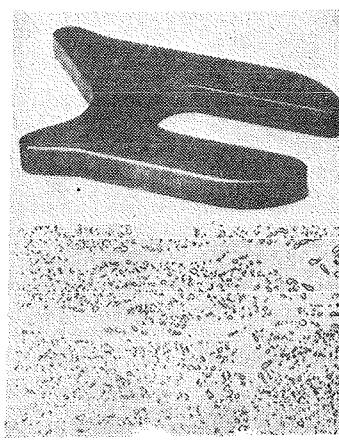
Slika 4



Slika 5



Slika 6



Slika 7

Na slikama 4 do 7 prikazan je dio istog oblika, izrađen putem finog štancanja iz nominalno istog materijala Č.1530 (C 45), ali svaki put materijal je imao drugojačiju mikrostrukturu.

M.29.04.

Svaka slika se sastoji iz dva dijела: u gornjem dijelu slike je izradak a u donjem odgovarajuća mikrostruktura. Svrha je da se prikaže utjecaj mikrostrukture na obradivost finim štancanjem. Slike izradaka su 1,5 puta veće, a strukture 500 puta veće nego u stvarnosti. Dimenzije traka iz kojih su štancani prikazani izraci su $76 \times 4,5$ mm.

Slika 4 gore pokazuje izradak sa potpuno isprekidanim kontinuitetom površine reza (pukotine po cijeloj površini), a donji dio ove slike pokazuje metalografsku snimku strukture materijala iz koga su dijelovi izrađeni. Jačina materijala trake iznosi 70 kp/mm². Traka je bez termičke obrade nakon toplog valjanja.

Ovdje se vidi da se pored mekanog osnovnog dijela strukture-ferita, nalaze i tvrdi dijelovi strukture-cementita Fe₃C u obliku zgušnutih traka perlita. Izlučivanje cementita kao perlita i sorbita u strukturi ima za posljedicu visoku čvrstoću trake i praktički nikakvu obradivost finim štancanjem. Prema tome Č.1530 sa strukturom prema slici 4 nije upotrebljiv za obradu finim štancanjem.

Na slici 5 izradak također ima pukotine na reznoj površini. U ovom slučaju je žarenjem izmjenjena struktura. Smanjena je gustoća perlitnih i sorbitnih slojeva a djelomično je započelo izlučivanje cementita u male kugle u mekanoj masi ferita. Posljedica ovoga je smanjenje čvrstoće materijala na 60 kp/mm². Ova struktura posjeduje izvjesnu obradivost finim štancanjem i može se iznimno primjeniti za jednostavne oblike izradaka i pri malim debjinama ($s < 2$ mm).

Izradak prema slici 6 ima na obrađenoj površini samo djelomično pukotine i to na dijelu velike zakrivljenosti. Struktura materijala putem žarenja je dalje poboljšana za fino štancanje, jer su izlučivanje cementita u obliku kuglica u osnovnoj feritnoj masi i njihova ravnomjerna raspoređenost znatno napredovali. Sada jačina materijala iznosi 55 kp/mm². Ovakva struktura materijala Č.1530 je u nizu slučajeva upotrebljiva za obradu finim štancanjem. Samo kad su u pitanju velike debline i velike zakrivljenosti konturne linije te eventualno tanke stijenke premoštenja, nužna su daljnja poboljšanja strukture.

Slika 7 pokazuje fino štancani izradak bez grešaka (pukotina) na reznoj površini. Slika mikrostrukture pokazuje potpuno pretvaranje cementita u oblik kuglica i njihov ravnomjerni raspored u masi ferita. Jačina materijala iznosi 45 kp/mm^2 . Ovakva mikrostruktura postiže se specijalnim žarenjem i ona daje maksimalnu obradivost finim štancanjem. Takva struktura je predpostavka za izradu besprijeckorno kvalitetnih dijelova ovim postupkom.

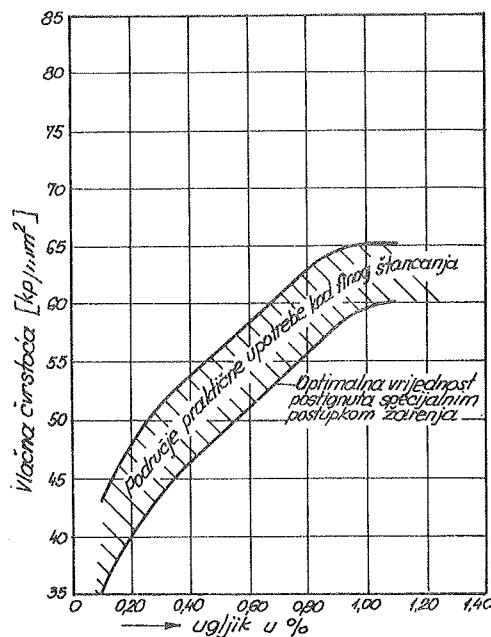
Snažan utjecaj mikrostrukture na obradivost finim štancanjem provlazi iz činjenice što je čvrstoća cementita preko 200 kp/mm^2 , dok čvrstoća osnovne mase ferita doseže samo cca 20 kp/mm^2 . Postupkom žarenja se lamelasti oblik cementita (perlit) pretvara u kugličasti oblik, koji stvara mali otpor prodiranju alata. Što je dulje trajanje pretvaranja lamelastog u kugličasti cementit, to je obradivost finim štancanjem veća. Obzirom da duljina žarenja mora biti iz ekonomskih razloga ograničena, to stupanj potrebnog izlučivanja kugličastog cementita ovisi o sadržaju ugljika i geometrijskoj konfiguraciji izratka. U principu vrijedi: što je sadržaj ugljika veći i komplikiranost oblika izratka veća, proces žarenja mora biti dulji kako bi se postigla potrebna obradivost. Ekonomična izrada dijelova finim štancanjem vezana je za konfiguraciju oblika izratka, oblik izlučenog cementita, kakvoću alata i zahtjeve na kvalitetu obradene površine. Iz toga slijedi da se kvaliteta štancanih dijelova i razmak između dva brušenja alata može prema potrebi regulirati.

Slični rezultati ispitivanja kao na slikama 4 do 7 vršena su i za čelik C 100 odnosno za legirane čelike, međutim zbog ograničenosti prostora ti rezultati se ovdje ne navode. I u ovim slučajevima veoma važnu ulogu igra izlučenost cementita, odnosno karbida legirajućih elemenata, u obliku kuglica i njihov ravnomjeran raspored u masi ferita. Presudnu ulogu igra sadržaj ugljika. Relativno povoljnju obradivost finim štancanjem imaju nisko i srednje legirani čelici gdje se legirajući elementi javljaju najčešće C_r , N_i , M_o i M_n . Obradivost je u toliko veća ukoliko je manji sadržaj tvrde i krhke faze u materijalu i obratno.

Postupkom finog štancanja pretežno se izrađuju dijelovi spremni za ugradnju bez daljnjih operacija obrade. Poseban problem je kada se

radi deformacije nakon finog štancanja želi izbjegći termička obrada koja je nužna radi povećanja čvrstoće i tvrdoće. U određenim slučajevima to je moguće, naročito kod manje složenih oblika i kada se do izvjesne mјere dopuštaju nepravilnosti na površini. I u ovom slučaju nužno je naći optimalno rješenje.

Na slici 8 daju se iskustveni podaci o području obradivosti čelika finim štancanjem u zavisnosti od sadržaja ugljika. Čvrstoća koja je dата na ordinati uvijek je vezana sa određenom metalografskom struktururom.



Slika 8. Prikaz područja optimalne obradivosti ugljeničnih čelika

4. Zaključak

Trake iz mekog nelegiranog čelika, putem finog štancanja, mogu se veoma uspješno obradivati. Jedino kod složenih oblika dijelova imaju značaj mikrosegregacije, slojevitost i nemetalni uključci. U tom slučaju je nužna predhodna homogenizacija materijala.

Obradivost nelegiranih i legiranih ugljeničnih čelika je problematičnija. Poseban značaj ima izlučivanje i raspored cementita u mekanoj feritnoj masi. Ako je tvrdi dio strukture-cementita slojevitog oblika i loše rasporeden onda na štancanim dijelovima nastaju manje ili veće pukotine na obradenoj površini, povećano trošenje alata i povećani utrošak energije.

Za svaki nelegirani ugljenični čelik sa sadržajem ugljenika ispod 1% može se putem specijalnog žarenja dobiti optimalna struktura a time i čvrstoća sa stanovišta obradivosti finim štancanjem. Značajni faktori pri tome su oblik konture izratka, zahtjevi na kvalitet površine obrade i vrsta polaznog materijala. Za svaku vrstu izradaka, gdje su u pitanju povišeni zahtjevi na kvalitet površine i tačnost dimenzija, nužno je putem pokusa utvrditi optimalnu strukturu materijala, pa prema tome i prethodne obrade, da bi se realizirao kvalitetan proces finog štancanja.

Literatura:

1. A. Guidi: Nachschneiden und Feinschneiden, München 1965.
2. Časopis: "Information" - Fachzeitschrift über Feinstanztechnik 9 i 10, Feintool AG - Švicarska.
3. Časopis: Konstruktion Elemente Methoden, Hef 2/69, Stuttgart.

Werkstoffgefügeeinflüsse beim Feinstanzen

Bandeisen aus unlegierten weichen Stählen bereitet beim Feinschneiden im allgemeinen keine schwierigkeiten. Bei schwierigen Feinschnitteilen kommt jedoch der Seigerung der Textur, den nichtmetallischen Einschlüssen und dem ausgeschiedenen Eisenkarbid erhöhte Badentung zu.

Bandstähle aus unlegierten und legierten Kohlenstoffstählen sind dagegen beim Feinschneiden problematischer. Bei diesen Stählen ist besonders auf die Zementiteinformung und Verteilung im weichen Ferrit zu achten. Für die unlegierten kohlenstoffstähle kann für jede C-bzw. C_k - stahlqualität eine optimale Feinschnittfestigkeit und ein praktischer Bereich der Feinschnittfestigkeit durch eine Spezialglühe erreicht werden.

B.Gligorić, M.Nedeljković, M.Pavlović ^{x)}

ISPITIVANJE TRENJA PRI SPOROJ TRANSLACIJI I HABANJA NEKIH
VISOKOTVRDIH PREVLAKA ^{xx)}

1. Uvod

U okviru razvoja novih materijala i tehnologija, u kojem pravcu su pretežno usmerena istraživanja, poslednjih godina radi se intenzivno na pronalaženju i razvoju materijala i tehnologije sa ciljem zamene dosadašnjih - konvencionalnih - metoda obrade tarih površina alatnih mašina. Jedna od tehnoloških metoda koja se smatra novom i veoma perspektivnom je metoda plazme. Ova metoda omogućava dobijanje relativno tankih prevlaka teškotopivih materijala, visoko tvrdih, otpornih na habanje i eroziju.

Plazma prevlake imaju izvesna nova svojstva, koja polazni materijal ne poseduje, a što zavisi od kombinacija elementarnog sastava. Ova činjenica upravo definiše perspektivnost ovog postupka, kao i njegovu primenu u savremenoj tehničici.

Dosadašnjim istraživačkim radom na primeni ove tehnološke metode oslojen je čitav niz kombinacija materijala i izvršena je karakterizacija jednog dela sa mogućnostima primene u modernoj te-

x) Mgr. Branko L. Gligorić, dipl.ing., docent Mašinskog fakulteta, Odeljenje Kragujevac, saradnik Instituta za alatne mašine i alate (IAMA), Beograd, Milan J. Nedeljković, dipl.ing. rukovodilac Odeljenja za alatne mašine IAMA, Beograd, Dr. Mirslav J. Pavlović, van. profesor Tehničkog fakulteta Niš, savetnik Instituta "Boris Kidrič", Vinča.

xx) Saopštenje predstavlja deo naučnoistraživačkog projekta "Ispitivanje kompleksa pojava na tarnim površinama" koji finansira Republički fond za naučnoistraživači rad, kao i deo multidisciplinarnog projekta "Razvoj tehnologije i primene visokotvrđih prevlaka", koji se izvodi u IAMA i IBK.

hnici, dok je dalje nastavljen intenzivan rad na karakterizaciji ostalih kombinacija materijala. Ovom metodom moguće je ostvariti visoko presičene čvrste rastvore, a time dobiti i nova svojstva.

Proučavanja koja su obuhvaćena ovim radom i nizom drugih dosada izvršenih odnose se na primenu i karakterizaciju visokotvrđih teškotopivih plazma prevlaka kao tarnih površina alatnih mašina i ostalih mašina i uredjaja.

2. Karbidne prevlake

Jedinjenja raznih elemenata sa ugljenikom nazivaju se karbidi. Najvažniji karbidi sa gledišta primene su: karbid bora (BC), silicijum-karbidi (SiC) i karbidi preleznih metala IV, V i VI grupe periodnog sistema elemenata, koji su karakterisani visokom tvrdoćom, visokom tačkom topljenja i otpornošću na habanje i koroziju pri povišenim temperaturama.

Polazni materijal u razmatranom slučaju je WC u kombinaciji sa Ni, Cr i Co. Mikro i makrostruktura, metalografska kao i ostala ispitivanja u cilju karakterizacije ovih prevlaka izvršena su ranije [1], [2], a ostaje da se u širem obimu izvrše tehnološka ispitivanja vezana sa primenom ovih prevlaka kao tarnih površina alatnih mašina. U radu su izvršena uporedna ispitivanja ovih visokotvrđih prevlaka sa klasičnim materijalima u laboratorijskim i modelskim uslovima.

3. Uporedno ispitivanje friкционih svojstava nekih parova trenja

3.1. Probni uzorci i uslovi ispitivanja

Da bi se dobila informacija o frikcionim svojstvima tvrdih prevlaka nanošenih plazma postupkom pri sporoj translaciji, izvršena su komparativna ispitivanja sa još tri para trenja u modelskim laboratorijskim uslovima. Eksperimenti su izvedeni na probnom stolu, koji omogućuje: diskretno variranje brzine pogona, krutosti prenosnika, površinskog pritiska, vremena zastoja friкционog kontakta, zatim izmenu friкционog para i vrste maziva [4].

M. 30.02.

Upotrebljeni su sledeći probni uzorci: PP (plazma prevlaka na SL 26 BP), Č.4739 BP (čelik brušen periferijom tocila), SL 26 KBP (sivi liv, kaljen, brušen periferijom) i sintetički materijal "Formica". U tablici T-1 su datti rezultati provere hravrosti kliznih površina ispitivanih probnih uzoraka izradjenih srednjim odstojanjem profila $R_a [\mu m]$.

Tablica T-1 Vrednosti srednjeg odstojanja profila $R_a [\mu m]$

$R_a [\mu m]$	PP				Č. 4739			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Uzdužno	0,5	0,5	0,85	0,45	0,32	0,40	0,30	0,36
Poprečno	1,35	1,30	1,40	1,40	0,55	0,40	0,50	0,38

$R_a [\mu m]$	SL 26 KBP				"FORMICA"			
	1	2	3	4	1	2	3	4
Uzdužno	0,42	0,25	0,25	0,22	2,45	1,90	1,95	2,45
Poprečno	0,90	0,32	0,22	0,20	1,7	2,0	2,1	1,9

Napomena: Uzorci PP su brušeni i pokazuju znatno veću poprečnu hravost, nego uzorci od čelika i sivog liva.

U ispitivanju se koriste četiri izmenljiva gornja probna uzorka pravougaonog oblika ($4 \times 5 \text{ cm}^2$) vezana za ispitivani klizač koji kliže po dva donja podužna uzorka vezana za vodjice probnog stola. Spregnuti elementi kliznih parova (donji uzorci) za svaku uporednu ispitivanja nisu varirani u cilju ostvarenja komparabilnosti dobijenih rezultata. Ovi uzorci su izrađeni od SL 26 KBP.

Smatrajući identičnost uslova ispitivanja primarnim za komparativna ispitivanja, u toku eksperimenata konstantni parametri procesa trenja su bili: srednji površinski pritisak ($p = 1$, odnosno $2,5 \text{ kp/cm}^2$), mazivo Mobil Compound BB, viskoziteta 83 cSt/ 50°C . Krutost dinamometara za jednu seriju ispitivanja je bila nepromenjena, dok je za različite serije varirana (58, 110 i 480 kp/mm). Postupci merenja za sve eksperimente su bili isti.

3.2. Ispitivane karakteristike i merni instrumentarijum

Za ocenu frikcionih svojstava pojedinih kliznih parova izvršeno

je ispitivanje sledećih karakteristika: $\mu(V)$ = zavisnost kinetičkog koeficijenta trenja od brzine klizanja, $\mu_0(t)$ = zavisnost statickog koeficijenta trenja od vremena nepokretnog kontakta, i $x(t)$ = zakon puta ispitivanog klizača koji karakteriše neravnomernost kretanja (Stick-Slip).

Pri sporoj translaciji frikejjskih parova, npr. kod klizača a-latnih mašina brzinom reda do 100 mm/min, zapažena je mogućnost nastajanja neravnomerne-prekidnog kretanja u vidu vibracija elastičnih elemenata. Trenje na kontaktnim površinama je granično, čime su otežani uslovi obrazovanja nosećeg filma maziva. Pri tome bitan uticaj ima elastičnost pogonskog prenosnika.

Veličina skoka (amplituda) pri Slip-periodu se može odrediti približno po obrascu

$$x \approx \frac{F_{st} - F_{sl}}{k} \approx \frac{\mu_{st} - \mu_{sl}}{k} F_N , \quad (1)$$

gde je F_{st} , F_{sl} = sila trenja na kraju Stick, odnosno Slip-perioda respektivno, k = krutost prenosnika, i F_N = normalno opterećenje.

Dalje je od značaja karakteristika staticke sile trenja $\Delta F(t)$ odnosno statickog koeficijenta trenja $\mu_0(t)$ u zavisnosti od vremena nepokretnog kontakta, koja karakteriše takozvanu kritičnu brzinu V_k

$$V_k = \frac{\Delta F(t)}{\sqrt{km}} = \frac{[\mu_0(t) - \mu_0(0)]}{\sqrt{km}} F_N \quad (2)$$

gde je m = masa ispitivanog klizača.

Staticki i kinetički koeficijenti trenja se dobijaju po zakonu Amontona,

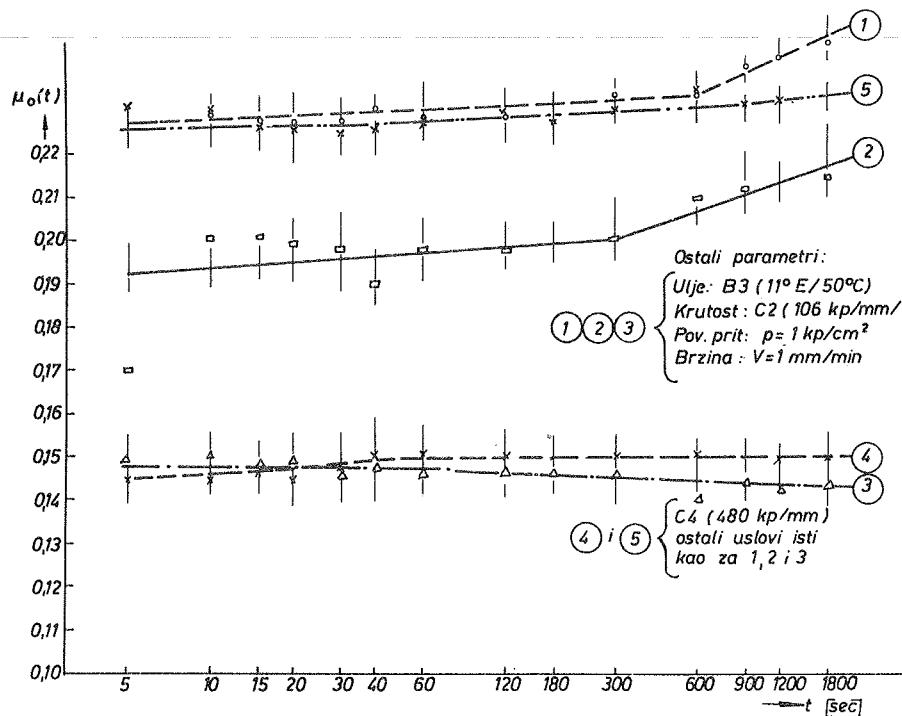
$$\mu = F_\mu / F_N . \quad (3)$$

U procesu identifikacije funkcionalne zavisnosti ispitivanih karakteristika, uticajni parametri su varirani tako da se ispitivane karakteristike manifestuju u najizrazitijem vidu, kombinacijom krutosti i mase.

Merenje sile trenja vrši se pomoću tenzometarskih prstenastih

dinamometara IAMA, mernog mosta pojačivača Hottinger i indikacija pomoću oscilografa Visicorder.

Za utvrđivanje zakona pomeranja ispitivanog klizača $x(t)$ služi induktivni davač puta W50 Hottinger čije se jezgro čvrsto vezuje za klizač, a kućica za vodjice stola.

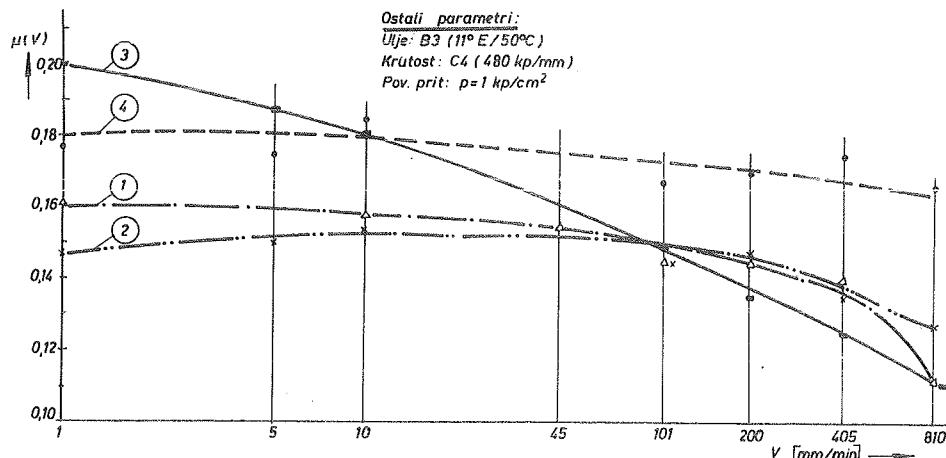


Sl. 1. Statički koeficijent trenja u zavisnosti od vremena nepotrebnog kontakta za tri para trenja 1. Č. 4739/SL 26; 2. SL 26 KEP/SL 26; 3. PP/SL 26; 4. PP/SL 26 sa C4; 5. "FORMICA"/SL 26 sa C4.

3.3. Rezultati ispitivanja

Eksperimentalne krive zavisnosti statičkog koeficijenta trenja od vremena nepokretnog kontakta $\mu_0(t)$, prikazani su na dijagramima 1. Za parove trenja 1, 2, 3 ispitivanja su izvršena istim uslovima. Iz dijagrama se vidi da par 3 (PP/SL 26) ima znatno niži koeficijent trenja od parova 1 (Č. 4739/SL 26) i 2 (SL 26/SL 26). Dalje, ako se primeni dinamometar povećane

krutosti (C_4), karakteristika trenja $\mu_o(t)$ se bitno ne menja (4) i u poređenju sa parom 5 (FORMICA/SL 26) ima znatno niži nivo.

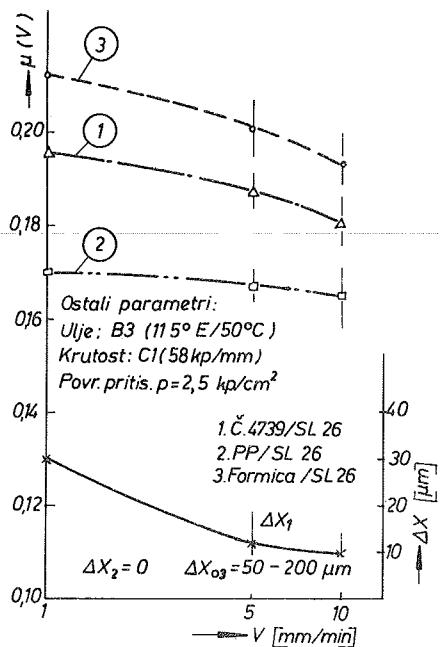


S1. 2. Kinetički koeficijenti trenja nekih parova materijala 1. SL 26KB/SL 26; 2 - PP/SL 26; 3 - FORMICA/SL 26; 4-C.4739/SL 26

Eksperimentalno krive zavisnosti kinetičkog koeficijenta trenja od brzine klizanja $\mu(V)$ za ispitivane parove trenja prikazane su na dijagramima 2. Sivi liv i plazma prevlake imaju iste karakteristike, pri čemu par PP/SL 26 ima niže $\mu(V)$ pri manjim brzinama i ravnomerniji tok. Sem toga, u odnosu na par 3 (FORMICA/SL 26), za brzine do 100 mm/min takodje PP ima znatno niže $\mu(V)$, dok u odnosu na par 4 (Č.4739/SL 26) u celoj oblasti brzina pokazuju niže vrednosti $\mu(V)$.

Povišenjem površinskog pritiska sa $p = 1$ na $p = 2,5 \text{ kp/cm}^2$ karakter i nivo promene $\mu(V)$ se praktično nije promenilo (slika 3). Međutim, tada su se i usled smanjene krutosti sa C_4 na C_1 pojavili prekidi - skokovi (Δx) pri kretanju. Za par 2 (PP/SL 26) kretanje klizača je bilo ravnomerno ($\Delta x_2 = 0$), dok su skokovi za par 1 iznosili $\Delta x_1 = 10 - 30 \mu\text{m}$ i par 3 (FORMICA/SL 26) samo u početku kretanja klizača iznosila $\Delta x_{03} = 50 - 200 \mu\text{m}$.

Dalje promene friкционih i kinematičkih karakteristika pri povišenom pritisku $p = 2,5 \text{ kp/cm}^2$, krutosti C_1 i mazivu B3 za tri para trenja prikazane su u tablicama T-2, T-3 i T-4 i sli-



Sl.3. Kinetički koeficijent trenja $u(V)$ i skokovi X za tri para pod povišenim pritiskom

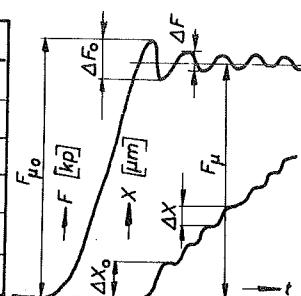
ci 4. Za prvi par trenja (T-2), uprkos smanjenoj krutosti i povećanom opterećenju kretanje je skoro ravnomerno $\Delta x \approx 0$ i $\Delta F \approx 0$, gotovo u celoj oblasti brzina. Za drugi par (T-3) neravnomernost je veća nego za treći par (T-4).

Naposletku su prikazani uporedni oscilogrami sile trenja F_μ i zakona puta $x(t)$ za tri para trenja (slika 5) pri brzini $V = 1 \text{ mm/min}$, $p = 2,5 \text{ kp/cm}^2$, krutosti $C1$ i mazivu B3. Najbolje rezultate pokazuje par 1 (PP/SL 26) - ravnomerno kretanje u odnosu na parove 2 (Č.4739/SL 26) i 3 (SL 26/SL 26).

T-2 Frikcione i kinematičke karakteristike komparativnih ispitivanja za tri para trenja.

PP/SL 26 KBP	V [mm/min]	1	5	10	101	200	405	810
	$F_{\mu 0}$ [kp]	8,25	8,25	7,9	8,6	9,5	8,5	9,6
	F_μ [kp]	7,9	7,8	7,7	7,3	7,0	7,0	5,0
	ΔF_0 [kp]	0,35	0,45	0,2	1,3	2,5	1,5	4,6
	ΔF [kp]	0	0	0	0,5	1,0	1,2	0,8
	ΔX_0 [μm]	16	12	8	30	30	40	50
	ΔX [μm]	0	0	0	5	15	0	0

Ostali parametri:
Ulje: B3
Krutost: C1
Spec. prit: $p = 2,5 \text{ kp/cm}^2$



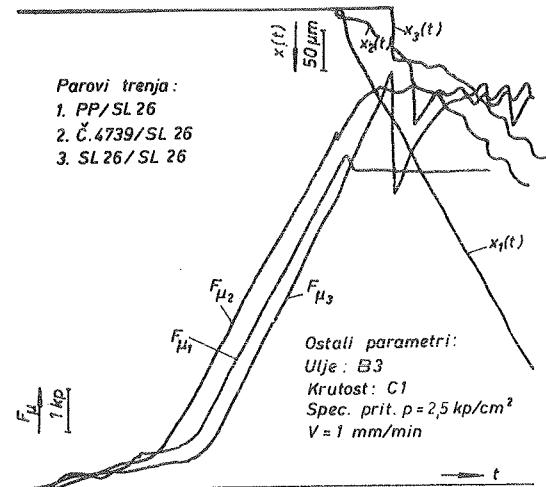
Sl.4. Tok sile trenja i zakona puta (oznake veličina)

T-3

	$V [mm/min]$	1	5	10	101	200	
$F_{\mu_0} [kp]$	9,5	7,9	8,1	8,5	10,2		
$F_{\mu} [kp]$	8,4/6,2	8/6,7	8,2/7,2	8,5/6	10,3/5,5		
$\Delta F_0 [kp]$	5,6	1,2	0,8	2,5	5,2		
$\Delta F [kp]$	2,2	1,3	1	2,5	4,8		
$\Delta X_0 [\mu m]$	115	50	60	40	50		
$\Delta X [\mu m]$	56	50	50	30	30		

T-4

	$SL 26 KBF$	1	5	10	101	200	
		10,3	9,3	9,5	8	9,5	
		10/9,5	9,2/9	8,7/8,5	9/6,5	10/5	
		3	0,4	2,7	0,8	4,2	
		0,5	0,2	0,2	2,5	5	
		60	20	35	15	40	
		30	0	0	20	40	



Sl. 5. Uporedni oscilogrami sile trenja
 F_{μ} i puta $x(t)$ za tri para
trenja

4. Eksperimentalni rezultati uporednih modelskih ispitivanja postojanosti na habanje

4.1. Uslovi ispitivanja

Osnovni materijal probnih uzoraka je sivi liv SL 26. Na radnu površinu uzoraka je naneta prevlaka visoke trvdoće plazma postupkom. Debljina prevlake nakon završne obrade iznosila je oko 0,3 mm. Aktivna tarna površina ispitivanog uzorka iznosila je oko $4,5 \text{ cm}^2$. Istovremeno je ispitivano 16 uzoraka u sprezi sa sivim livom SL 22 i čelikom za poboljšanje Č. 4739. Ukupan put

trenja pri ovom modelskom ispitivanju iznosio je oko $\approx 50000\text{m}.$
Proces habanja se odvijao pod sledećim uslovima: srednji površinski pritisak iznosio je $p = 12 \text{ kp/cm}^2$, srednja brzina klijanja $v_{kl} = 0,25 \text{ m/sec}$, protočno podmazivanje uljem Tellus 29 sa variranjem količine od obimnog do nedovoljnog podmazivanja.

Prije i nakon ispitivanja postojanosti na habanje izvršena je provjera klase hrapavosti tarnih površina i konstatovano je da je prema vrednostima srednjeg odstojanja profila R_a u $[\mu\text{m}]$ većina uzoraka obradjena u klasi $\sqrt{3}$ hrapavosti u uzdužnom pravcu a u klasi $\sqrt{4}$ hrapavosti u poprečnom pravcu u odnosu na pravac brzine klijanja.

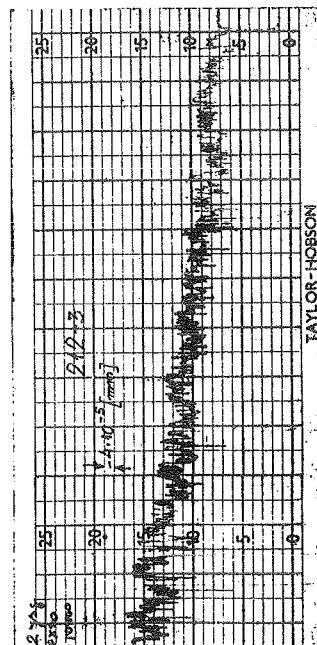
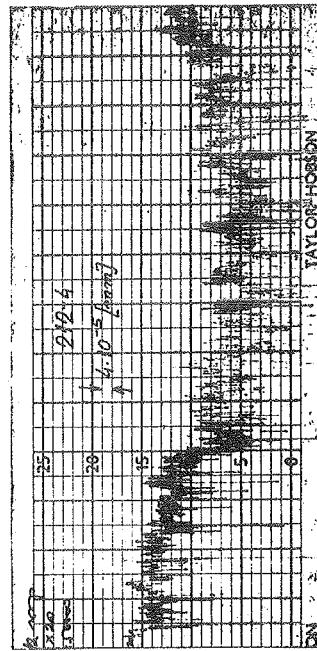
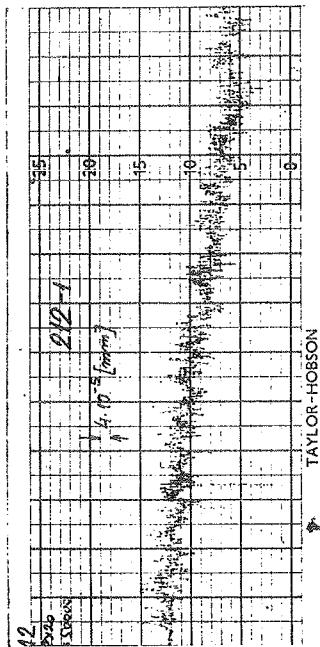
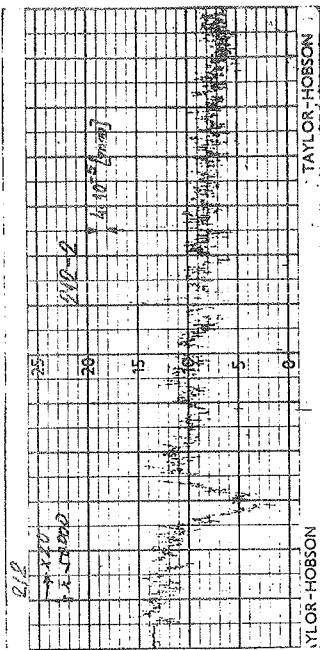
Mikroprofil tarne površine, prije i nakon procesa habanja, jednog od uzoraka prikazan je na slici 6. Konstatujući povećanje srednjeg odstojanja profila R_a posle završenog eksperimenta, pojavu lokalnog čupanja čestica iz ispitivanih prevlaka i neravnomernost habanja kliznih površina, uočava se i odsustvo karakterističnog uglačavanja vrhova neravnina mikroreljefa ovih prevlaka, koje je karakteristično za ostale materijale kliznih parova.

4.2. Rezultati komparativnih ispitivanja postojanosti na habanje

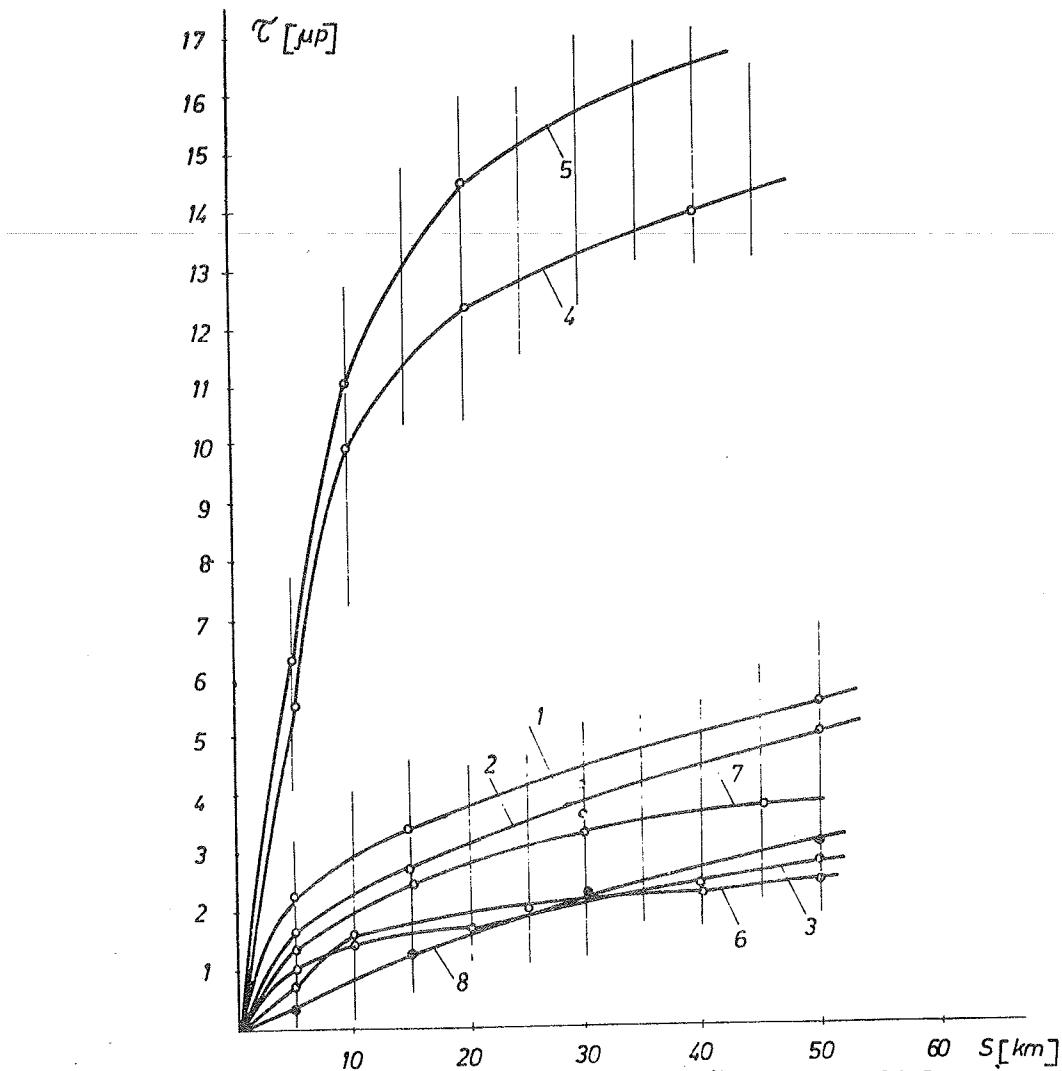
Višegodišnja akumulacija istraživačkih rezultata postojanosti na habanje šireg spektra osnovnih materijala, kompozicije i zaštitnih prevlaka u IAMA u cilju poboljšanja trajnosti delova i sklopova alatnih mašina sa translatomnim kretanjem i u uslovima graničnog trenja, omogućila je komparaciju postojanosti na habanje visokotvrđih prevlaka sa nekim kliznim parovima koji se primenjuju ili se mogu primeniti za vodjice alatnih mašina.

Eksperimentalni rezultati ispitivanja postojanosti na habanje pri određenim uslovima procesa habanja i kombinaciji kliznih parova prikazani su na slici 7.

Polazeći od konstatacije i poznate zavisnosti



Sl. 6. Mikroreljef tarmih površine



S1. 7. Eksperimentalne krive habanja različitih materijala

1 - $\frac{SL\ 22}{SL\ 22}$; $p = 12\ kp/cm^2$	4 - $\frac{Formica}{mod.\ liv}$; $p = 6\ kp/cm^2$
$v = 15\ m/min$	$v = 12\ m/min$
2 - $\frac{\check{C}.4734}{C.4739}$; $p = 12\ kp/cm^2$	5 - $\frac{Textofen}{mod.\ liv}$; $p = 6\ kp/cm^2$
$v = 15\ m/min$	$v = 12\ m/min$
3 - $\frac{mod.\ liv}{C.1530}$; $p = 6\ kp/cm^2$	6 - $\frac{kompoz.2BRMS}{OCR4}$; $p = 12\ kp/cm^2$
$v = 12\ m/min$	$v = 12\ m/min$
7 - $\frac{MnP}{SL\ 22}$; $p=12\ kp/cm^2$	8 - $\frac{v.tvr.\ prevlak(P)}{SL\ 22}$; $p=12\ kp/cm^2$
$v=15\ m/min$	$v=15\ m/min$

$$\mathcal{E} = k_p S \quad (4)$$

gde je \mathcal{E} = istrošenost u [p] ili u [μm], p = srednji površinski pritisak u [kPa/cm^2], S = put trenja u [m], i k = koeficijent proporcionalnosti, nezavisno promenljivi argumenti p i S za većinu posmatranih kliznih parova su identični, dok se brzina klizanja razlikuje. U slučajevima plastičnih masa (krive 4,5, slika 7) srednji površinski pritisak je bio za 50% niži u poređenju sa pritiskom na ostalim kliznim parovima.

Na osnovu krih habanja i ovih uvodnih ispitivanja uočava se da visokotvrde prevlake ne manifestuju tako eksplisitno inicijalni period habanja, da je intenzitet habanja na posmatranom putu trenja približno konstantan, da poseduju veću postojanost na habanje u odnosu na SL 26, Č. 4739, plastične materijale, tvrde manganfosfatne prevlake, dok im je postojanost na habanje približno ista u poređenju sa kompozicijom 2BRMS i modificiranim kaljenim livom.

5. Zaključak

Eksperimentalna ispitivanja visokotvrđih prevlaka sa kombinacijom prahova Ni, Cr, WC, Co pokazala su homogenost hemijskog sastava i strukture, kao i dovoljnu čvrstoću veze sa osnovnim materijalom.

Preliminarna modelska komparativna i laboratorijska ispitivanja frikcioneh karakteristika i postojanosti na habanje pokazala su da ove prevlake u pogledu statičkog i kinetičkog koeficijenta trenja, ravnomernosti kretanja i postojanosti na habanje, pri dатим uslovima, pokazuju odredjene prednosti u odnosu na klasične materijale, kompozicije i plastike.

Odredjena pozitivna svojstva imaju superiorniji značaj u odnosu na svojstva klasičnih materijala, pa iniciraju dalju verifikaciju širih statističko-laboratorijskih i eksploatacijskih ispitivanja.

6. Literatura

- [1] M.J. Pavlović, I.M. Klejn, Volfram karbidne plazme prevlakе na sivom livenom gvožđu i čeliku, IBK-906/1970, Referisano na XV Savetovanju hemičara SRS, 21-23 jan. 1970 u Novom Sadu (1970)
- [2] M.J. Pavlović, M. Nedeljković, Prilog razvoju tehnologije otvrđivanja tavnih površina alatnih mašina, Saopštenje IAMA, 11 (1970) 1611
- [3] B.L. Gligorić, Stick-slip vermeidbar, Maschinenmarkt MM Industriejournal, 77 (1971) 4
- [4] V. Šolaja, B. Gligorić., Istraživanje neravnomernosti spoje translacije, Zbornik saopštenja V Savetovanje proizvodnog mašinstva, Kragujevac (1969) I knjiga, AM.17.1

B. Gligorić, M. Nedeljković, M. Pavlović

Die Untersuchungen der Reibungsverhältnisse einiger hochhärtigen Überzüge bei langsamem translatorischen Bewegungen und ihrer Verschleissbeständigkeit

Es wurde vergleichenden experimentelle Untersuchungen der Reibungsverhältnisse einiger hochhärtigen Überzüge durchgeführt. Die Untersuchungen ergaben gewisse Vorteile hochhärtigen Überzüge, die durch Plasma-Verfahren erhalten wurden in Bezug auf die einige klassischen Werkstoffen. Die positive Ergebnisse veranlassten die weitere statistische Untersuchungen bei laboratoriums- und betriebsmässigen Bedingungen.

L. Karbić*

MIKROGRAFSKO PRAĆENJE POSTUPKA NORMALIZACIJE**

1. Uvod

Čelik i čelični lijev veoma su važni materijali u proizvodnom strojarstvu. Bit će stoga zgodno upozoriti na neke osnovne razlike u mikrostrukturama tih dvaju tipova gvožđa.

2. Statistika zrna niskougljičnih gvožđa

Niskougljični nelegirani čelik, koji se hlađi konačnom brzim ohlađivanju sa visoke temperature (iznad 1100°C), prelaskom temperature pretvorbe poprima Widmannstättenovu strukturu. Da ostanemo u okviru normale, to je slučaj odljevaka od čeličnog lijeva. S gledišta oblika i usmjerenosti kristalita, Widmannstättenova je struktura veoma heterogena, što povlači za sobom nezadovoljavajuću mehaničku kvalitetu. Postoji međutim mogućnost da se struktura "normalizira" i ta se činjenica koristi u proizvodnji odljevaka od čeličnog lijeva. Naime, zagrijavanjem iznad temperature AC₃ Widmannstättenova struktura niskougljičnog nelegiranog čeličnog lijeva prelazi u "normalnu" = homogeni primarni ferit (pretežno) + eutektoid.

* Mr Luciano Karbić, dipl. inž, docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

** Saopćenje iz Instituta Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu - Odjel za materijale

Kvalitativno radi se o strukturi, koju imaju također i nisko-ugljični nelegirani čelici u gnježenom i rekristaliziranom stanju.

Između gnježene i rekristalizirane strukture čelika te normalizirane strukture čeličnog lijeva postoji međutim jedna kvantitativna razlika, koja se sastoji u većem neredu u slučaju normalizirane strukture. Statistika zrna u slučaju jednog nelegiranog čelika s oko 0,2 % C dala je ove rezultate:

gnježeno i rekristalizirano stanje

srednja veličina zrna 350 mikron^2 ; koef. varijacije 0,86

normalizirano stanje nakon usijanja pri 1200°C

$1200/800^\circ\text{C}$	172 mikron^2 ; koef. varijacije 1,26
--------------------------	--

$1200/900^\circ\text{C}$	505	1,21
--------------------------	-----	------

$1200/1000^\circ\text{C}$	1296	1,44
---------------------------	------	------

Normalizirano stanje ima znatno veći koeficijent varijacije nego gnježeno i rekristalizirano stanje, što pokazuje da se ovo potonje navedeno stanje odlikuje većim stupnjem homogenosti.

Statistika zrna u slučaju jednog gotovo u potpunosti feritnog nelegiranog čelika, smirenog aluminijem, dala je slijedeće rezultate:

gnježeno i rekristalizirano stanje

srednja veličina zrna / koef. varijacije

$340 / 0,50$

$400 / 0,61$

$450 / 0,58$

$460 / 0,54$

$500 / 0,59$

normalizirano stanje 1200 / 900⁰C

290 / 0,66

370 / 0,89

380 / 0,68

380 / 0,72

390 / 0,70

normalizirano stanje 1200 / 1000⁰C

300 / 0,70

330 / 0,68

330 / 0,87

Testiranje t-testom pokazuje da se koeficijenti varijacije za gnečeno i rekristalizirano stanje te za usijano i normalizirano stanje signifikantno razlikuju.

Razlike u svojstvima, koje standardi predviđaju za čelik i čelični lijev, treba djelomično pripisati navedenim strukturnim razlikama.

Ograničimo li se na istezanje, vidimo da uz 0,2 % C standard propisuje najmanje 25 % za čelik a najmanje 20 % za čelični lijev.

Korelacioni račun za ove podatke

Koeficijent varijacije	0,50	minimalno istezanje	25 %
	0,54		25
	0,58		25
	0,59		25
	0,61		25
	0,66		20
	0,68		20
	0,68		20
	0,70		20

0,70	20
0,72	20
0,87	20
0,89	20

dao je koeficijent korelacije 0,65, koji se po testu signifikantno razlikuje od nule, pa prema tome možemo zaključiti da između koeficijenta varijacije empirijske raspodjеле veličine zrna strukture čelika i čeličnog lijeva te istezanja postoji stohastička zavisnost.

3. Zaključak

Između svojstava čelika i čeličnog lijeva istog sastava – pogotovo u pogledu svojstava važnih za gnječivost – postoji stnovita razlika u korist čelika, koja dobrim dijelom ovisi o razlici u mikrostrukturi, dok ostatak ovisi o nekim specifičnostima, koje su posljedica tehnologije.

L. Karbić

Mikrographische Betrachtung der Normalisierungs-Behandlung

Der Unterschied zwischen den Eigenschaften des Stahles und des Stahlgusses – der immer zugunsten des Stahles ist – hängt in breiten Mass von den Unterschieden der Mikrostrukturen ab, während der Rest auf Eigenheiten, die von der Technologie abhängen, zurückgeführt werden soll.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971.

M.Slavić, S.Turina*

ISPITIVANJE ZAKONITOSTI I UZROČNOSTI RASPODJELE UČESTALOSTI
VELIČINE MATIČNIH ZRNA METALNE STRUKTURE

1. Uvod

Kod svih metalnih tvorevina karakteristike znatno ovisi o vrsti, veličini i rasporedu zrna, koja nastaju razmještajem atoma prilikom skrućivanja. Izučavanje tog razmještaja možemo zvati topologijom atoma, a sam razmještaj topografijom promatranih atoma. Pri postanku tih zrna nastaju najprije klice, koje se, dok ih promatramo odvojeno jedne od druge, ako su građene od iste vrste atoma, mogu smatrati identičnim. Ako ih međutim promatramo u uzajamnom odnosu, onda nisu identične. Hlađenjem te klice narastu u veće nakupnine sve dok nestankom taljevine ne dodu u međusobni dodir. Mjesto dodira tih nakupina koje su rasle počam od prvih klica predstavljaju granice tih nakupina, a same nakupine zovemo zrnima ili kristalitima. Granice zrna su u stvari tanji ili deblji slojevi atomskog rasporeda u kojima se mijenjaju smjerovi topografskog rasporeda atoma od zrna do zrna. Zbog toga te granice, koje zapravo predaju obim susjednim zrnima, u pravilu pokazuju manju pravilnost u rasporedu atoma nego što postoji u unutrašnjosti zrna. Odatle su i svojstva metala kao cjeline kompleksan rezultat svojstava nutrine zrna i njegovih granica. S tog gledišta promatrano, možemo ih zvati topološkim svojstvima.

* Marija Slavić, dipl.ing.

Dr Srećko Turina, naučni suradnik Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

Udjecaj veličine zrna dolazi tu do izražaja preko toga što o veličini zrna ovisi omjer udjela volumena granica prema volumenu nutrine zrna. Kod krupnog zrna preteže utjecaj nutrine, a što je zrno sitnije to više dolazi do izražaja utjecaj granice. S obzirom što na granicama postoji maksimum dizlokacija, to pri normalnim temperaturama granice predstavljaju sjedišta povećane otpornosti i smanjenje sposobnosti za deformaciju (1).

U daljnjoj analizi treba međutim uočiti da u nekom promatranom metalu zrna nisu jednakih veličina, nego različitih veličina koje se pojavljuju s različitom učestalosti po nekim statističkim zakonitostima. Prema tome pri promatranju utjecaja veličine zrna na svojstva nećemo moći polaziti samo od srednje vrijednosti veličine, nego ćemo često morati uzeti u obzir i učestalost pojedine veličine. Poznavanje učestalosti veličina vjerojatno će nam biti korisno i za proučavanje geneze određene topografije atoma. A takvo topološko proučavanje može nam sa svoje strane dati korisne indikacije za kontrolirano izazivanje određene topografije.

Polazeći s takvih postavki, izvršili smo topografsku analizu za jedan čelik i dva lijeva, da bi utvrdili topološka svojstva skrućenih metala.

Kako se mjerenja veličine zrna metodom, koju ćemo kasnije potanje opisati, mogu obaviti samo u ravnini mikroskopske snimke, moramo u prvom redu predpostaviti da radimo s nekim volumenski homogenim uzorkom neorjentiranog zrna. U protivnom nam mjerenje u jednoj ravnini nije reprezentativno. No i kad usvojimo ovu predpostavku o volumenskoj homogenosti uzorka, rezultati mjerenja u jednoj ravnini ne mogu nas informirati o tome u kojoj su mjeri razlike u izmjer enim veličinama rezultat stvarnih veličina zrna, a u kojoj mjeri rezultat toga da li je naša ravnina promatranja presjekla pojedino

zrno više ili manje ekvatorijalno. Usprkos ovih neizvjesnosti takvo mjerjenje može pružiti informaciju u prvom redu o statičkoj simetričnosti učestalosti veličina zrna, a osim toga o rasipanju tih veličina. Prema tome, bilo kojim mjerenjem može se dobiti samo relativnu učestalost veličina zrna, iz kojeg se dobiva informacija o veličini rasipanja i asimetričnosti skupine. Ispravno vrednovanje ovih podataka moglo bi nam pružiti interesantne informacije o karakteristikama promatranog metala. U ovom radu ostavljamo za kasnije pitanje vrednovanja rezultata; za sada ćemo samo predložiti metodiku ovakvih topoloških ispitivanja.

2. Načini određivanja veličine zrna

Za određivanje veličine zrna može se primjeniti više metoda:

1. Po Snyder-Grafffu. Na metalografskim snimcima povuče se niz linija, jednoliko raspoređenih i broje presjecišta mreže s granicama zrna. Veličina zrna je recipročna vrijednost dobivenog broja. Kod te metode dobivamo samo uvid u prosječnu veličinu zrna, a ne i u rasipanje veličine zrna i u učestalost pojedine veličine (2).
2. Na mreži međusobno okomitih linija, raspoređenih po slučajnim brojevima, mjere se razmaci između presjecišta linija s granicama svakog zrna.
3. Na metalografskim snimcima unose se po metodi "Monte Carlo" izvjestan broj točaka. Brojenjem točaka u pojedinom zrnu dobivamo mjeru za veličinu dotičnog zrna (3).

Po drugoj i trećoj metodi dobivamo razvrstavanjem izmjerenih rezultata u razrede podatke o veličinama i o učestalosti veličina zrna. U ovom radu služili smo se drugom metodom.

Po dobivenim rezultatima mjerjenja izradili smo histograme raspodjele učestalosti veličine zrna. Histograme smo

zatim četverostruko zagladili na elektronskoj računalici i tako dobili krivulju raspodjele učestalosti veličine zrna

3. Matematska oorada podataka

Da bi se moglo matematski obraditi eksperimentalno dobivenu krivulju potrebno je izvršiti transformaciju, koja se vrši na slijedeći način:

Krivulju raspodjele učestalosti veličine zrna, dobivenu mjerljivom, čije su vrijednosti prethodno četverokratno zaglađene, treba najprije normalizirati, tako da maksimum poprimi veličinu 1. Zatim se vrši usporedba normalizirane krivulje s Gaussovom krivuljom raspodjele. Svaka ordinata eksperimentalno dobivene krivulje pomnoži se s faktorom $\frac{0,4}{Y_{\max}}$ i tim dobi-

je Y_{teor} . Veličina Y_{\max} je vrijednost ordinate u maksimumu eksperimentalno dobivene krivulje, a Y_{teor} je normalizirana ordinata. Za svaku apscisu normalizirane krivulje nadje se korespondentna vrijednost na teorijskoj Gaussovoj krivulji (Slika la i 1b). Na taj način dobivaju se parovi vrijednosti X , X_{teor} , gdje je X relativna veličina zrna. Ako se dobivene vrijednosti nanesu na dijagram, gdje je apscisa X , a ordinata X_{teor} , dobiva se krivulja asimetrije raspodjele veličine zrna (usporedbena krivulja, slika lc). Usporedbena krivulja predstavlja jednu pseudologaritamsku krivulju tipa:

$$Y = \ln(1 + bx) \quad (1)$$

To ukazuje na mogućnost aproksimacije te krivulje s iskrivljenom Gaussovom jednadžbom koja glasi (3) :

$$y = y_0 \cdot \exp(-\ln 2) \left(\frac{\ln \left[1 + \frac{2b(x-x_0)}{\Delta x_{\max}} \right]}{b} \right)^2 \quad (2)$$

gdje je :

$$b = \sinh^{-1} \left\{ \frac{-1/2 \left[(x_u - x_0)^2 - (x_l - x_0)^2 \right]}{(x_u - x_0)(x_l - x_0)} \right\} \quad (3)$$

$$\Delta X_{1/2} = \frac{(x_u - x_l) b}{\sinh h b} \quad (4)$$

Grafički je postupak slijedeći:

Za maksimum eksperimentalno dobivene krivulje uzme se vrijednost apscise x_o . Na polovini ordinate u maksimumu eksperimentalno dobivene krivulje povuče se paralela s apscisom. Gdje paralela sijeće eksperimentalno dobivenu krivulju dobiju se vrijednosti apscisa x_l i x_u (slika 2). Pomoću x_o , x_l i x_u izračuna se $b \Delta X_{1/2}$ a onda, ordinata teoretske krivulje Y.

4. Eksperimentalni dio

Eksperimenti su izvršeni na jednom uzorku čelika i na 2. uzorka lijeva.

Čelik kemijskog sastava: %C = 0,16, % Cr = 0,95, % Mn = 1,15 % Mo = 0,248. Mjerene su veličine zrna ferita kako je opisano pod tačkom 2.2. Na slici 2 nalazi se eksperimentalno dobivena krivulja i teoretska krivulja dobivena pomoću formule (2), na način opisan pod tačkom 3. Dobiveni podaci pokazuju da funkcija

$$y = y_0 \cdot \exp(-\ln 2) \left\{ \frac{\ln \left[1 + \frac{2 b (x_i - x_o)}{\Delta X_{1/2}} \right]}{b} \right\}^2$$

vrlo dobro aproksimira eksperimentalno dobivenu krivulju raspodjele učestalosti veličine zrna.

Isti uzorak čelika zatim je podvrgnut toplinskoj ooradi u mufolnoj peći na $800^\circ C$ u trajanju od 10 min.

Nakon toplinske obrade ponovno je određena krivulja raspodjele veličine zrna. I ta krivulja ne odstupa od teoretski dobivenе krivulje (slika 3).

Kako se vidi prema slikama 2 i 3 učestalost veličine zrna

pokorava se i prije i nakon toplinske obrade jednakoj krvulji raspodjеле.

Analogna ispitivanja izvršena su na uzorku lijeva kemijskog sastava $C_{uk} = 2,3 \%$, Si = 0,90 %, Mn = 0,56 %, P = 0,03 %, S = 0,05 %.

Dobiveni rezultati prikazani su na slici (4).

Eksperimentalno dobivena krivulja učestalosti veličine zrna spada u istu porodicu krivulja kao i prethodne, dakle mogla bi se također aproksimirati s funkcijom:

$$y = y_0 \cdot \exp(-\ln 2) \cdot \left\{ \frac{\ln \left[1 + \frac{2b(x_t - x_s)}{\Delta x_{1/2}} \right]}{b} \right\}^2$$

Na uzorku sivog lijeva kemijskog sastava C=3,16%, Si=1,63% Mn = 0,35 % i Sn = 0,14 %, mjerene su veličine zrna na isti način. Na slici 5 nalaze se dobiveni rezultati.

I u ovom primjeru za eksperimentalno dobivenu krivulju raspodjele učestalosti veličine zrna mogla bi se izvršiti aproksimacija s funkcijom:

$$y = y_0 \cdot \exp(-\ln 2) \cdot \left\{ \frac{\ln \left[1 + \frac{2b(x_t - x_s)}{\Delta x_{1/2}} \right]}{b} \right\}^2$$

5. Zaključak

Iako smo se u uvodnom dijelu ogradiili od toga da postignuti rezultati daju stvarnu sliku veličine zrna i raspodjele veličine zrna, ipak jednolikost u zakonitosti izmjerene učestalosti veličine zrna ukazuje da u razvoju zrna prigodom skrućivanja postoje neke jednakomernosti, daljim proučavanjem kojih bi mogli odrediti veze između energetskih utjecaja pri stvaranju klica i rastenuju kristala i rezultirajuće metalne strukture.

Zahvala

Ovim se zahvaljujemo prof. N. Maleševiću na korisnim savjetima i uputstvima u toku ovog rada.

Literatura:

1. G. Sachs: Praktische Metallkunde, I dio,
Springer, Berlin, 1933.
2. H. Schumann: Metallographie
VEB Deutscher verlag für Grundstoffindustrie
Leipzig 1962
3. A. Durašević: Matematička statistika
Zagreb, 1960.
4. R.D.B. Fraser and E. Suzuki, Anal. Chem., 41(1969) 37

M. Slavić, S. Turina

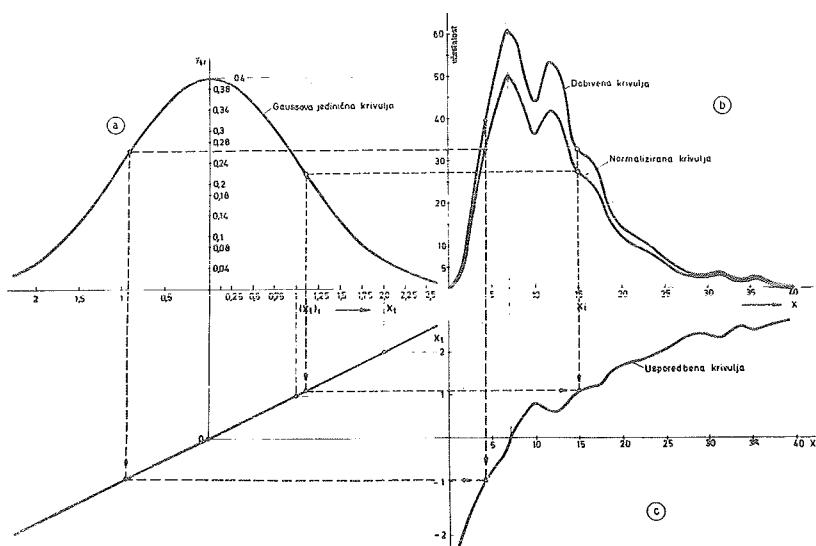
The function of a grain size distribution of matrix in grey iron and steel.

Authors give a results upon the investigation of rules of metal grain sizes distribution in grey iron and steel.

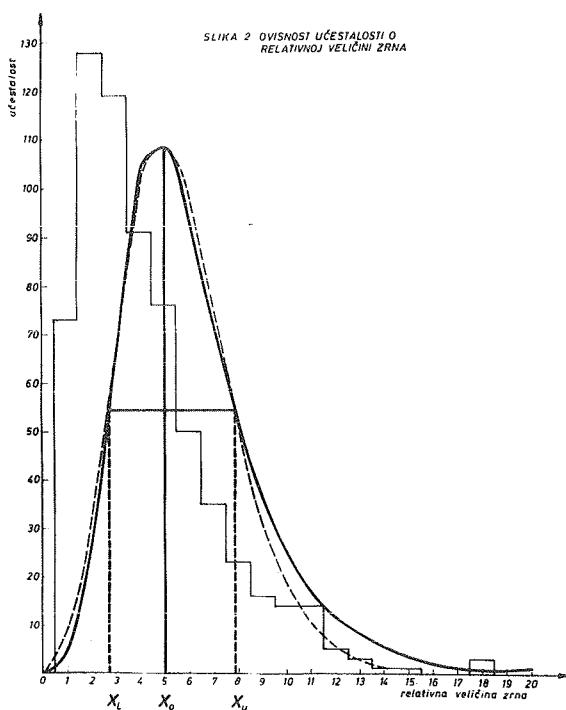
Measurement was carried out on the metalographic specimens by the means of usual statistical methods. Obtained data show that it is possible to approximate very well the grain size distribution with the function:

$$y = y_0 \cdot \exp(-\ln 2) \left\{ \frac{\ln [1 + \frac{2b(x_i - x_0)}{\Delta x_{1/2}}]}{b} \right\}^2$$

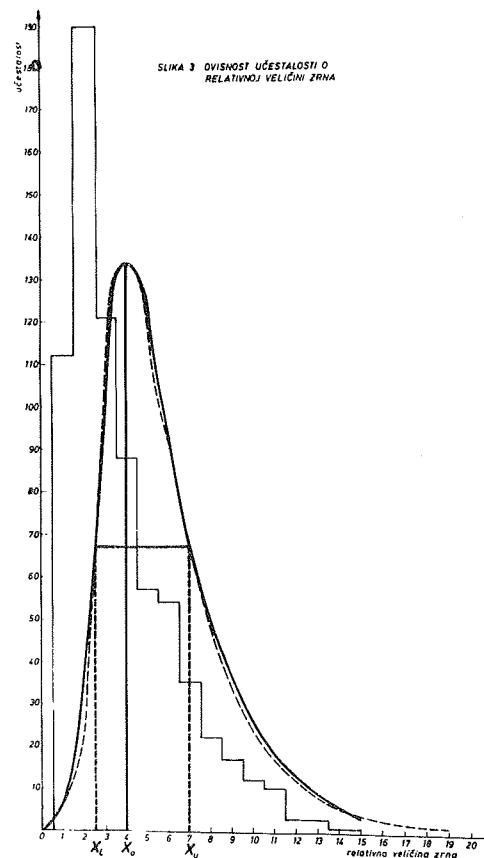
SL. 1 Transformacija eksperimentalne dobivene krivulje



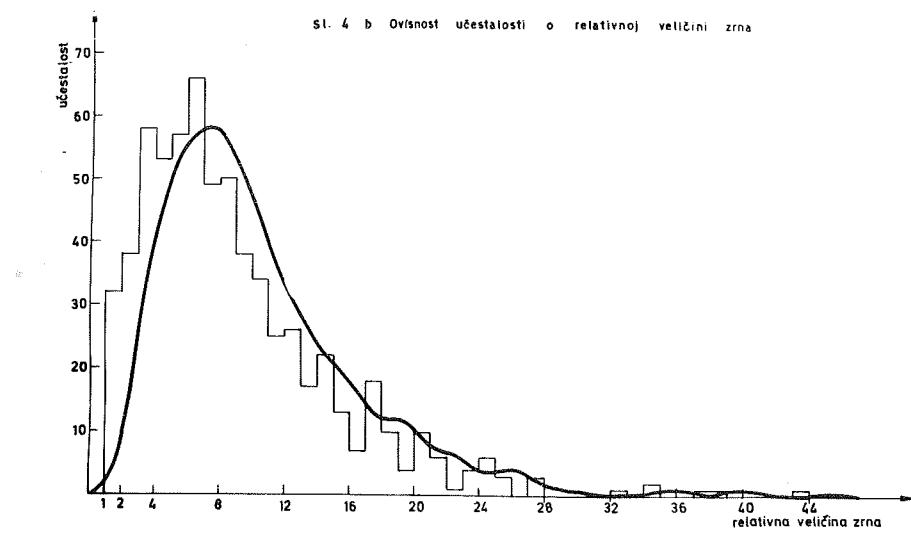
SLIKA 2 DVIJNOSTI UČESTALOSTI O
RELATIVNOJ VELIČINI ZRNA



M. 32.08.

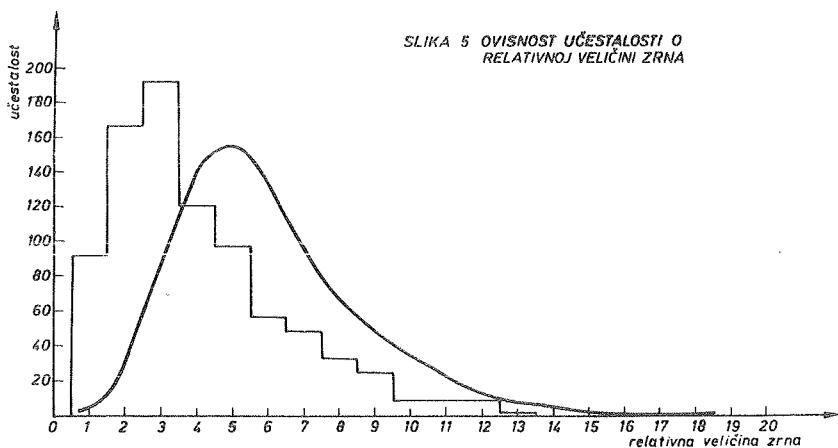


Sl. 4 b Ovisnost učestalosti o relativnoj veličini zrna



M.32.09.

SLIKA 5 OVISNOST UČESTALOSTI O
RELATIVNOJ VELIČINI ZRNA



VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971.

* Lj.Polla-Tajder, S.Turina

PRILOG POZNAVANJU ZAKONITOSTI RASPODJELE UČESTALOSTI VELIČINE
ZRNA MnS U SIVOM LIJEVU

1. Uvod

Sumpor je u sivom lijevu općenito smatran štetnim elementom. Sumpor se u sivom lijevu (a i u ostalim gvozdenim lijevovima) uglavnom spaja s drugim elementima, u prvom redu s manganim, kisikom i samim željezom, stvarajući spojeve kao posebne faze manganovog sulfida (MnS), sumpornog dioksida (SO_2) odnosno željeznog sulfida (FeS). Nisu međutim svi ti oblici vezanog sumpora jednako štetni za karakteristike sivog lijeva. SO_2 provozruje mješuravost, a FeS izaziva karbide, pa tvori tvrda mjestesa. Ta su dva oblika dakle štetna. Za MnS se općenito tvrdi da nije štetan i da ne utječe na svojstva sivog lijeva. Ovakva je tvrdnja međutim u najmanju ruku previše aproksimativna i nedovoljno određena.

Pojava manganovog sulfida u sivom lijevu višestruko je korisna, u prvom redu neutralizacijom sumpora, pa djelomice i njegovom eliminacijom, a vjerojatno i stvaranjem klica za grafitizaciju. Neutralizacija sumpora dolazi od toga što pri dovoljnoj količini mangana u omjeru sa sumporom (1,7%S + 0,2%) najveći dio prisutnog sumpora spaja se s manganim u MnS ,

* Ljerka Polla-Tajder, dipl.ing.

Dr Srećko Turina, naučni suradnik Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu

pa ne ostaje više slobodnog sumpora u količini koja bi mogla tvoriti posebne faze SO_2 i FeS . Preostali slobodni sumpor ostaje rastvoren u rešetki željezne maticе. Sama faza manganova sulfida višeg je tališta ($> 1600^\circ\text{C}$) od tališta sivoga lijeva ($\approx 1150^\circ\text{C}$). Ta se faza prema tome u dobrom dijelu pojavljuje i skrućuje već u taljevini, čak pri temperaturama iznad likvidusa, pa kao specifično lakša (spec.tež. 4,0) ispliva i odvoji se u trosku. U tom pogledu mangan djeluje kao desumporator, a to je njegovo drugo korisno djelovanje. Treće djelovanje dolazi od uključina MnS koje ne dospiju u trosku, vjerojatno što nastaju nešto kasnije u toku skrućivanja između likvidusa i eutektikale, odnosno na samoj eutektikali. Navodi se da ove uključine djeluju kao klice za grafitizaciju, što svakako indirektno utječe na svojstva sivog lijeva. Takve se uključine mogu vrlo jasno zapaziti na mikroskopskim izbruscima nagriznim nitalom, u vidu plavkasto-sivih pločica, trokutastog, četvrtastog ili mnogokutnog oblika, vrlo često uraštene u izlučine grafiga.

Iz svih tih razloga u recepturama sastava za gvozdene lijebove propisuje se da mangana treba biti najmanje 1,7%S + + 0,3%. Patterson i suradnici su uvjerljivo objasnili zašto nije dovoljno da ga bude u stehiometrijskom omjeru 1,7%S, nego da je potreban višak od 0,2%. Taj višak po Pattersomu i suradnicima, potreban je upravo za onaj dio mangana koji ostaje rastvoren u primarnom i eutektičkom austenitu, koji se stvaraju istovremeno s onim dijelom manganovog sulfida koji nastaje za vrijeme skrućivanja sivog lijeva, pa nije slobodan za tvorbu MnS . U receptu je taj višak povećan još za 0,1% kao sigurnost.

S obzirom na izloženo djelovanje MnS , a posebno s obzirom na djelovanje tih uključina kao kliza, smatrali smo kori-

snim da ispitamo topografiju sumpora u nekom uzorku sivog lijeva. Tu smo topografiju izvršili statističkim metodama, a razradili smo je s obzirom na raspored kao i s obzirom na veličinu zrna.

2. Plan rada

Kao prvi korak u određivanju topografije sumpora u našem uzorku izvršili smo mikroskopski pregled površine presjeka nekog uzorka od sivog lijeva obrađenog nitalom. Namjera nam je pri tome bila da odredimo površinski udio uključina MnS u čitavoj površini uzorka. Pri tome smo polazili sa stanovišta da je površinski udio ekvivalent za volumenski udio, što - uz dovoljnu homogenost materijala - mora proizlaziti iz statističkih zakonitosti rasporeda pojedinih faza. Predpostavljajući da radimo s dobrim odljevom sivoga lijeva, možemo prihvati i postojanje dovoljne homogenosti u rasporedu faza, pa nam je promatranje dovoljnog broja lokaliteta na jednom jedinom presjeku našeg uzorka dovoljno reprezentativno za procjenu volumenskog udjela uključina MnS. Množenje volumena promatranih faza sa specifičnom težinom dotičnih faza dobit ćemo količinski sadržaj tih faza. Učinimo li to za uključine MnS i iz dobivenog rezultata izračunamo sadržaj S u uključini MnS prema stehiometrijskom omjeru spajanja MnS (1,7), utvrdit ćemo udio S izvan spoja s manganom, ako količinu sumpora utvrđenu u MnS odbijemo od ukupne količine sumpora u uzorku, koju možemo odrediti kemijskom analizom. Ta će nam razlika predstavljati količinu S koja je u lijevu rastvorena u osnovnim fazama (primarnom i eutektoidnom feritu, eutektoidnom cementitu i eventualno u grafitu) kao i u eventualnim drugim fazama, nastalim s ostalim elementima, prisutnim u promatranom lijevu.

Kao drugi dio istraživanja izvršili smo ispitivanje

raspodjeli učestalosti veličina uključina MnS. Smatramo da raspodjela veličina zrna općenito može dati indikacije u djelovanju promatranog zrna, a ujedno i o njegovom postanku, pa nam se to istraživanje učinilo također interesantnim.

3. Opis rada

Na uzorku sivog lijeva promjera 30 mm, olaštenom i nagnzenom nitalom izabrana su metodom "Monte Carlo" 2 niza mjesata promatranja. U jednom nizu dobiveno je 101, a u drugom 93 takva mjesta, koja su u primjenjenom povećanju od 360 puta dala isto toliko broj vidnih polja jednakih promjera i prema tome jednakih površina.

U svakom vidnom polju obaju niza izmjerena je za svaku zapaženu uključinu MnS njezin idealni promjer d_i kojim su aproksimirane linearne dimenzije površine uključine.

Pomoću tih idealnih promjera proračunana je ukupna površina svih uključina iz svih promatranih polja: $P = \frac{(\sum d_i^2) \pi}{4}$. Ta je ukupna površina uključina podjeljena s ukupnom površinom svih vidnih polja P_p i time dobiven omjer:

$$K = \frac{P}{P_p} \cdot 100 \quad (\%)$$

Taj omjer površina prema predpostavljenoj aproksimaciji možemo uzeti ekvivalentnim volumenskom omjeru uključina MnS prema ukupnoj masi. Množeći volumenske postotke s odgovarajućim specifičnim težinama (za ukupnu masu 7,25, a za MnS 4,0) dobivamo težinske postotke MnS. Iz težinskog postotka MnS množenjem sa stehiometrijskim omjerom S/Mn dobivamo težinski postotak S koji je vezan u MnS. Dobivena srednja vrijednost za

dvije serije mjerena iznosi 0,0921%. Ukupna količina sumpora u uzorku utvrđena je kemijskom analizom na 0,1123%. To bi značilo da se u samoj rešetci željezne matice ili u spoju s drugim primjesama u sivom lijevu nalazi još 0,02%S. Takva količina S prema raznim autorima ostaje ispod granice od koje se primjećuje utjecaj S na strukturu sivog lijeva i prema tome na njegova svojstva.

Ostaje još da provjerimo utjecaj uključina MnS, kojih prema ispitanim serijama u prosjeku ima u čitavoj masi oko 0,5%. MnS kristalizira teseralno u dvije modifikacije, po tipu NaCl, odnosno ZnO. U oba slučaja predstavlja to razmjerno rastezljivu strukturu. Da tu pretpostavku provjerimo usporedili smo mikrotvrdoču MnS uključina s mikrotvrdočom željezne matice u kojoj se te uključine nalaze. Utvrdili smo da uključina MnS ima mikrotvrdoču polovičnog reda veličina u usporedbi s okolnim perlitom (238 : 515 pri opterećenju od 5 p). S obzirom na manju tvrdoču, koju možemo smatrati kao grubi pokazatelj za otpornost deformacijama, a ujedno s obzirom na maleni udio ($\approx 0,5\%$) takvih neotpornih uključina možemo smatrati ispravnom tvrdnju da uključine MnS ne utječu direktno na svojstva sivog lijeva. Druga je međutim stvar njihov indirektni utjecaj, ukoliko djeluju kao klice za grafitizaciju. S tog gledišta disperznost i raspored veličina zrna moglo bi biti dosta utjecajne na tok i intenzitet grafitizacije. Kao opći prosjek idealnih promjera uključina MnS dobili smo promjer reda veličina oko $12 \cdot 10^{-3}$ (mm).

Izvršeno mjerjenje veličine zrna iskoristili smo ujedno i za ustanovljenje učestalosti veličina zrna. Rezultat je bio kod oba ispitana niza gotovo idealno simetrična krivulja učestalosti (slika 1.). To nam potvrđuje i numerička analiza izvršena na elektronskoj računalici, kojom smo dobili linear-

nu ovisnost između x_t i veličina zrna (sl.2).

4. Zaključak

Dobivenu zakonitost učestalosti veličine zrna trebat će dalje proučavati, jer bi nam mogla donijeti vrijedne informacije o toku skrućivanja i razvoja pojedinih faza.

Zahvala

Ovim se zahvaljujemo prof. N. Maleševiću na korisnim savjetima i uputstvima u toku ovog rada.

5. Literatura

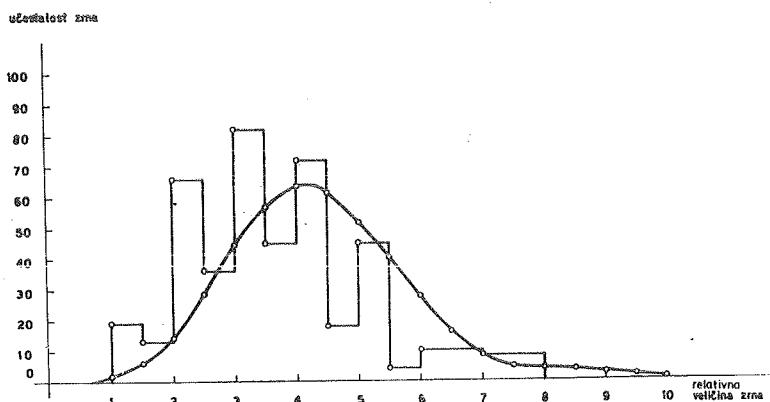
1. K. Roesch, W.Patterson, U.Klein: Giesserei-Technisch-Wissen
Schaftliche Beihefte, 2 (1963) 117.
2. E. Piwowarsky: Hochwertiges Gusseisen, Springer, Berlin,
1958.
3. Handbuch der Giesserei-Technik, Herausgegeben von F.Roll,
I dio/2, Springer-Verlag, Berlin, 1960.

Lj. Polla-Tajder, S. Turina

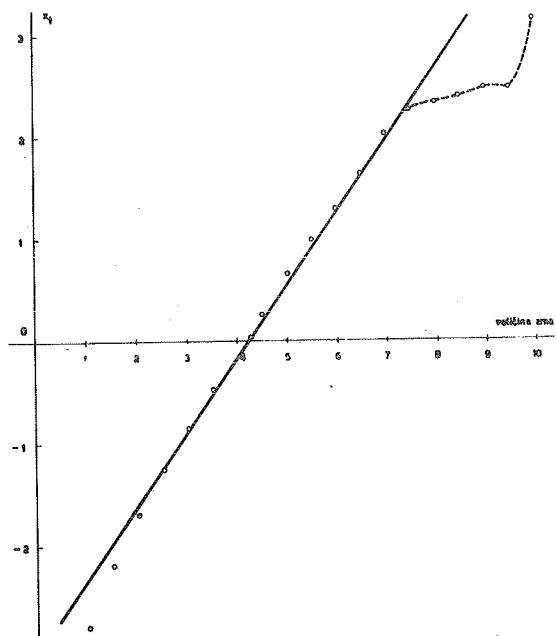
Grain sizes distribution of MnS in the grey iron

In connection with research on grey iron it is important to know how much of the total amount of sulphur is combined as manganese sulphide.

This article deal with the possibility of applying statistics to the determination of the ratio between the areas of the grains of manganese sulphide and the metal matrix in metallographic photomicrographs. The ratio of the areas is considered to be equal to the ratio of volumes. The weight ratio of manganese sulphide and metal matrix is obtained by multiplication of the volumes by the specific weights. By stoichiometry the amount of pure sulphur from the quantity of manganese sulphide is evaluated. From the distribution of grains size of MnS it is possible to conclude that this distribution correspond to the normal distribution.



Sl. 1 Ovisnost učestalosti zrna o njihovoj veličini (prva serija mjeranja)



Sl. 2 Ovisnost $zeta$ o veličini zrna (prva serija mjeranja)

VII. SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD 1971

K. Kuzman *

UPORABNOST TLAČNEGA PREIZKUSA ZA UGOTAVLJANJE NEKATERIH PREOBLIKOVALNIH LASTNOSTI JEKEL. **

1. Uvod

Industrijska uporaba hladnega masivnega preoblikovanja jekel se v svetu izredno močno širi. Postopki postajajo vedno bolj ceneni, tako da je hladno preoblikovanje lažjih kosov (do 0,4 kp) rentabilno v serijah okoli 100.000 izdelkov letno, pri težjih (2-5 kp) pa že od 5.000 - 3.000 kosov na leto.

V jugoslovanskih tovarnah bi se našlo že obilo takih izdelkov, za katere bi glede na material, obliko in serije bilo hladno preoblikovanje najrentabilnejše. Toda tudi na tem področju imamo veliko nerazumljivo zamudo, ki se bo nadoknadila le z izrednimi naporji.

Kot priprava na to, ker se bo v bližnji bodočnosti tudi pri nas vseeno le začelo s hladnim preoblikovanjem, smo v laboratoriju za preoblikovanje Inštituta za strojništvo v Ljubljani opravili začetne raziskave nekaterih domačih materialov, ki bodo verjetno najprimernejši za prvo industrijsko obdelavo. To so cementacijska jekla Č. 1120, Č. 1221, Č. 4320, vsa v mehko žarjenem stanju.

S preizkusi smo hoteli dobiti krivulje deformacijske trdnosti in trdote v odvisnosti od plastične deformacije pri temperaturi okolice. Istočasno smo z njimi hoteli izdelati in preveriti metode za čim enostavnnejše določanje navedenih parametrov. Ti podatki so namreč neobhodno potrebni za vnaprejšnje dimenzioniranje tehnooloških postopkov hladnega preoblikovanja.

Uporabljene označbe

ψ_1 , ψ_2 , ψ_3 ,	- glavne logaritmične deformacije	/kp/mm ²
σ_1 , σ_2 , σ_3 ,	- glavne napetosti	"
σ_r	- radialna napetost	"
σ_z	- aksialna napetost	"
σ_y	- meja plastičnosti	"
σ_m	- zrušilna trdnost	"
k_f	- deformacijska trdnost	"
k_w	- deformacijski odpor	"
$d, r, h,$	- integralna srednja vrednost deformacijskega odpora	/mm/
r_l	- premer, radij, višina cilindričnega preskušanca	"
ψ_{\max}	- radij, znotraj katerega se preskušanec prilepi na orodje	"
ψ_{dop}	- največja pri preskusih dosegrena logaritmična deformacija	
ψ_v	- največja dopustna deformacija	
	- primerjalna logaritmična deformacija	

* Karel Kuzman, dipl. ing., asistent Fakultete za strojništvo, Ljubljana
** Poročilo iz Inštituta za strojništvo pri Fakulteti za strojništvo, Ljubljana

$\dot{\psi}$	- hitrost deformacije	sek.^{-1}
k_f	- deformacijska trdnost pri $\dot{\psi}_v = 1$	$/\text{kP/mm}^2$
HB	- trdota pri $\dot{\psi} = 1$	"
m, n	- koeficienta utrjevanja	"
μ	- koeficient kontaktnega trenja	"
r	- korelacijski koeficient	"

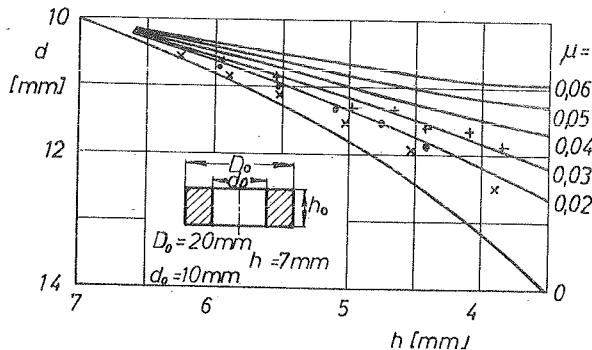
2. Tlačni preizkusi

Pri hladnem masivnem preoblikovanju delujejo na obdelovance v večini primerov le tlačne napetosti. Zato je za vnaprejšnje ugotavljanje preoblikovalnih lastnosti materialov najugodnejše, če le-te tudi dobimo s pomočjo tlačnih obremenitev in to v kar se da enostavno napetostnem stanju.

Tem zahtevam odgovarja nakrčevanje cilindričnih preizkušancev. Ob pogojih zelo dobrega manjšanja tlačnih ploskev se namreč precej približamo osnosimetričnemu napetostnemu stanju, za katerega se napetosti in deformacije dokaj preprosto izračunajo.

Tlačne preizkuse smo izvedli na univerzalnem preizkuševalnem stroju in jih večkrat prekinjali zaradi merjenja geometrijskih veličin preizkušancev. Zaradi tega je bila hitrost deformacije zelo majhna, preizkusi so bili skoraj statični in izotermni. Čeprav potekajo dejanski industrijski procesi znatno hitreje ($\dot{\psi} = 40 - 70 \text{ s}^{-1}$) in se obdelovanci med preoblikovanjem občutno segrejejo, so opravljeni preizkusi vseeno dovolj dobrati za postavitev prvih osnov. V teku nadaljnjih raziskav pa bomo vse navedene veličine že opravljali in registrirali v območju dejanskih hitrosti.

Kot mazalno sredstvo smo uporabljali 0,1 mm debele teflonske folije. Nakrčevanje obročastih preizkušancev, s pomočjo katerih smo po Burgdorfu [1] merili koeficiente trenja, je namreč pri teflonu pokazalo najboljše rezultate.



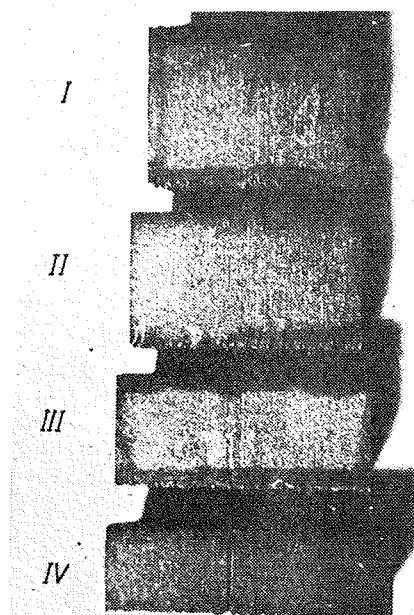
slika 1.

Rezultati meritev koeficientov trenja z obročastimi preizkušanci (Č. 1120 - x, Č. 1221 - +, Č. 4320 - ·).

Kljub zelo velikim obremenitvam (do 8.000 kp/cm^2), se teflon ni istisnil s tlačnih ploskev. Na robu preizkušancev se je izoblikoval ozek in 0,02 do 0,04 mm visok greben, ki je teflon prestreljal in ga istočasno zaprl z vseh strani. Pri vsaki prekinitvi preizkusa, ko smo merili geometrijo preizkušancev, smo prestriženo folijo enostavno nadomestili z novo.

Tako nakrčenim preizkušanci so bili nato vzdolžno na pol prerezani ter jedkani. S slike 2 se jasno vidi, da so vsa vlakna obdržala svojo prvotno usmeritev, kar je že prvi dokaz o enakomer-

ností preoblikovanja celotnega volumna.



slika 2.

Primeri tlačnih preizkušancev iz materiala Č. 1221, začetnih dimenzijs $d = h = 16$ mm, nakrčeni do deformacij

($\varphi = \ln h_0 / h$):

$$\varphi_I = 0,14$$

$$\varphi_{II} = 0,30$$

$$\varphi_{III} = 0,50$$

$$\varphi_{IV} = 0,72$$

3. Trdota in plastična deformacija

Pri vseh jeklih se z naraščanjem plastičnih deformacij povečuje tudi njihova trdota. S pravilno izbiro preoblikovalnih operacij lahko zato dobimo poleg željene oblike tudi ustrezno trdoto in trdnost izdelkov, ne da bi jih bilo treba še posebej termično obdelovati. Lep primer za to navaja Schlatter [2] pri hladnem nakrčevanju prirobnic za osebne avtomobile. Tak izdelek gre po prešanju direktno na fino obdelavo, klasični izkovek pa je treba pred tem še grobo obdelati in poboljšati.

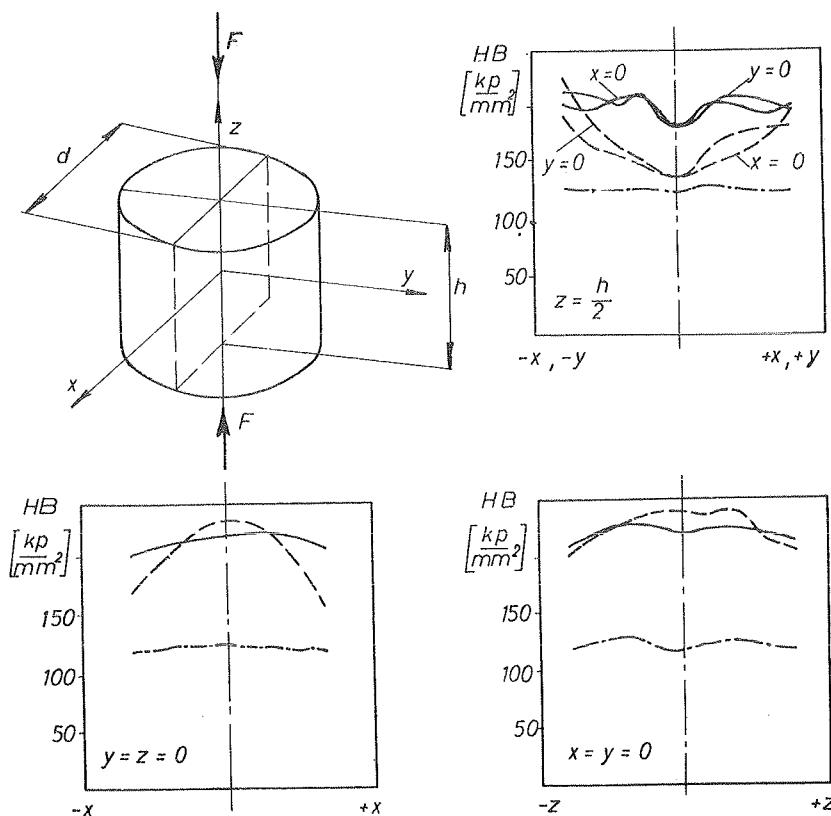
Odvisnost trdote od deformacij je mogoče uporabljati tudi pri analizi komplikiranih deformacijskih stanj, kot je to npr. uporabil Pristovšek (EMO-Celje) [3] pri poševnem rotacijskem valjanju posode.

Za projektiranje takih sodobnih tehnoloških rešitev pa je seveda potrebno poznati funkcionalno odvisnost trdote od deformacij, ki je posebna lastnost materialov. V ta namen smo morali imeti preizkušance, čim enakomernejšo porazdelitvijo trdote po celiem volumnu.

Čeprav je bil nabavljeni material deklariran kot mehko žarjen, se je pokazalo, da se pri Č. 1220 ter Č. 4320 trdote po prečnem prerezu zelo spreminja, zato smo ga še enkrat žarili in dobili enakomernejšo strukturo [4].

Tako pripravljene preskušance smo nato stiskali do vnaprej izbranih stopenj deformacije. Po nakrčevanju smo eni skupini preizkušancev merili trdoto v smeri vlačen (na zgornji in spodnji tlačni ploskvi ter po prerezu na polovični višini), ter pravokotno na vlakna (slika 3).

Pri meritvah smo ugotovili, da so trdote enakomerno razporejene po vseh merilnih ravneh, kar zopet govorji v prid mazanja s teflonom. S slike 3 se sicer vidi, da so trdote rezultatov precejšnja, kar pa je običajno pri vseh meritvah trdote. Zato smo za nadaljnjo obravnavo vedno izračunali integralno srednjo vrednost meritev na posameznem prerezu.



Slika 3. Trdote (v smeri in prečno na vlakna) pri nakrčevanju preizkušancev $d = h = 20 \text{ mm}$, iz Č. 1221, z začetno trdoto ($- - - -$) do deformacije $\varphi_v = 0,40$ pri dveh različnih tornih pogojih ($— \mu = 0,03$, $- - - - \mu = 0,22$).

Materiala, ki smo ju sami še enkrat mehko žarili, sta pokazala pri enakih deformacijah enake trdote ne glede na smer vlaken, dočim je bil Č. 1221 s stališča trdot anizotropen. Pravokotno na vlakna so bile trdote namreč za okoli 10 % višje kot one v smeri. Iz slike 3 se lepo vidi, da pri večjem koeficientu trenja nakrčevanje ni homogeno. V sredini tlačne ploskve material miruje, zato se pa ob robovih veliko bolj deformira. Nasprotni pojav je opazen v notranjosti preizkušanca, kjer trdote dosežejo svoj maksimum v sredini.

Znano je, da so največje dopustne deformacije cementacijskih jekel $\psi_{\text{dop}} = 1,2 \dots 1,8$. Ob zelo neugodnih tornih pogojih se lahko ta dovoljena deformacija lokalno že preseže in pride do razpok, čeprav je bila deformacija $\psi_v = \ln h_0 / h$ še daleč izpod dovoljene. Pri preizkušancu na sliki 3 z $\mu = 0,22$ dosegajo trdote pravokotno na vlakna na posameznih mestih celo vrednosti $HB = 244 \text{ kp/mm}^2$, kar bi odgovarjalo deformaciji $\psi_v = 1,7$, pri tem pa je $\ln h_0 / h = 0,4$.

Z naraščanjem deformacij je prirastek trdot vedno manjši, končno je podoben premici z malim nagibom. Zato je potrebno v primeru, ko hočemo s pomočjo meritev trdote ugotoviti neznano deformacijsko stanje, opraviti dovolj veliko število meritev [5], da bodo rezultati zanesljivi.

Material	Smer merjenja	Začetno stanje HB 2,5/187,5 (kp/mm ²)	\overline{HB} (kp/mm ²)	Eksponent utrjevanja - m	Korelacijski koeficient - r
Č. 1221	a	125,7	214,9	0,163	0,977
	b	123,0	233,3	0,102	0,913
Č. 1120	a + b	122,0	226,3	0,150	0,993
Č. 4320	a + b	137,0	254,3	0,139	0,991

Tabela 1. Povezava med trdoto $HB 2,5/187,5 \text{ kp/mm}^2$ in glavno logaritmično deformacijo pri hladnem preoblikovanju (a - meritve v smeri vlaken, b - pravokotno na smer vlaken).

Ker je krivulja odvisnosti trdote od deformacij podobna potenčni funkciji

$$HB = \overline{HB} \cdot \psi_v^m, \quad (1)$$

smo v dvojno logaritemskem diagramu lahko z metodo najmanjših kvadratov poiskali njeno regresijsko premico. Korelacijski koeficienti kažejo, da je odvisnost zelo močna in da je nastavek pravilno izbran.

4. Krivulje plastičnosti iz tlačnega preizkusa

Za izračun preoblikovalnih sil in energij pri posameznih procesih je treba eksperimentalno ugotoviti odvisnost med primerjalno napetostjo k_f in primerjalno deformacijo ψ_v . Tako dobljena funkcija

$$k_f = k_f (\psi_v) \quad (2)$$

se imenuje krivulja plastičnosti.

Iz teorije plastičnosti je znano [6], da je primerjalna napetost odvisna od kvadratične invariante komponent napetostnega deviatorja

$$k_f = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} \quad (3)$$

primerjalna deformacija pa od podobnih členov deformacijskega deviatorja

$$\varphi_v = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\varphi_1 - \varphi_2)^2 + (\varphi_2 - \varphi_3)^2 + (\varphi_3 - \varphi_1)^2} \quad (4)$$

Pri stiskanju cilindričnih teles ob skoraj idealnih pogojih mazanja tlačnih ploskev velja

$$\varphi_1 = \ln h_o/h, \quad \varphi_2 = \varphi_3, \quad \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = 0, \quad (5)$$

kar da v enačbi (4)

$$\varphi_v = \varphi_1. \quad (6)$$

Za osnosimetrični problem je pogoj plastičnosti (3) enak

$$k_f = \sigma_r - \sigma_z \quad (7)$$

Ob upoštevanju ravnotežne enačbe osnosimetričnega nakrčevanja, vseh treh [7] karakterističnih področij kontaktne ploskve, dobimo po Unksovu 8 :

$$\frac{\sigma_z}{k_f} = \exp \left[\frac{2\mu}{h} \left(\frac{d}{2} - r \right) \right] + \frac{1}{\mu \sqrt{3}} \left[1 + \frac{2\mu}{h} (r_1 - r) \right] + \frac{1}{\mu \sqrt{3}} \left[1 + \frac{2\mu}{h} (r_1 - h) + \frac{\mu}{h^2} (h^2 - r^2) \right] \quad (8)$$

Na tlačni ploskvi obstaja samo drsno trenje, če je $r_1 = 0$, oziroma, če je izpolnjen pogoj

$$1 + \frac{h}{d} \cdot \frac{\ln \mu \sqrt{3}}{\mu} = 0. \quad (9)$$

Pri uporabi dobrih mazalnih sredstev se da glede na ta pogoj nakrčevati zelo ploščate preizkušance (tabela 2), ne da bi se pri tem pojavilo lepljenje, oziroma radialno tečenje kovine pod na orodje prilepljeno tlačno ploskvijo.

μ	0, 01	0, 02	0, 03	0, 04	0, 05	0, 06
d/h	405, 0	168, 0	88, 4	66, 5	48, 8	37, 7

Tabela 2. Mejna razmerja d/h , do katerih se po enačbi (9) še ne pojavi lepljenje.

Glede na to, da pri naših preskusih koeficient trenja ni bil nikoli večji od 0, 03, ter da je veljalo $1 \leq d/h \leq 15$, lahko v enačbi (8) upoštevamo le prvi člen. Srednja vrednost deformacijskega odpora je tedaj

$$k_{wm} = \frac{1}{A} \int_A \sigma_z dA = k_f \frac{2h^2}{\mu^2 d^2} \left[\exp \left(\frac{\mu d}{h} \right) - \frac{\mu d}{h} - 1 \right]. \quad (10)$$

Po Lippmannu [9] se lahko eksponencialni člen enačbe (10) razvrsti v vrsto in dobimo za male koeficiente trenja enačbo

$$k_{wm} = k_f \left(1 + \frac{\mu d}{3h} \right), \quad (11)$$

ki je zelo znana pod imenom Siebelova formula.

Pri naših preizkusih smo tako najprej ugotovili srednjo vrednost deformacijskega odpora, zatem pa smo z znanim koeficientom trenja in razmerjem d/h izračunali korekturni koeficient

$$\alpha = \frac{k_{wm}}{k_f} = 1 + \frac{\mu d}{3h} \quad (12)$$

ki je običajno zelo majhen (npr. $\mu = 0,01$, $d/h = 2$, $\alpha = 1,007$; $\mu = 0,03$, $d/h = 15$, $\alpha = 1,15$), končno smo pa dobili tudi deformacijsko trdnost.

Da bi izločili morebitne vplive velikosti preskušancev, smo uporabljali kombinacijo treh premerov (20, 16, 12) ter dveh razmerij d/h (1, 2) (slika 4). Tako dobljene deformacijske trdnosti smo zopet statistično vrednotili ob predpostavki, da je v dvojni logaritmični diagramu krivulja plastičnosti podobna premici, oziroma

$$k_f = k_{fo} \cdot \psi_v^n \quad (13)$$

Na sliki 4 so prikazane eksperimentalno dobljene vrednosti za deformacijski odpor šestih različnih preskušancev ter statistično ugotovljena krivulja za deformacijsko trdnost. Iz razmerja med vrednostmi za posamezne deformacijske odpore in krivuljo plastičnosti pa se da videti, kolikšen je bil korekturni koeficient α .

Material	$\sigma_y / kp/mm^2$	ψ_{max}	$k_{fo} / kp/mm^2$	n	r
Č. 1120	25,2	1,22	75,43	0,2185	0,9957
Č. 1221	30,2	1,18	77,31	0,2174	0,9959
Č. 4320	30,4	1,10	88,36	0,2253	0,9973

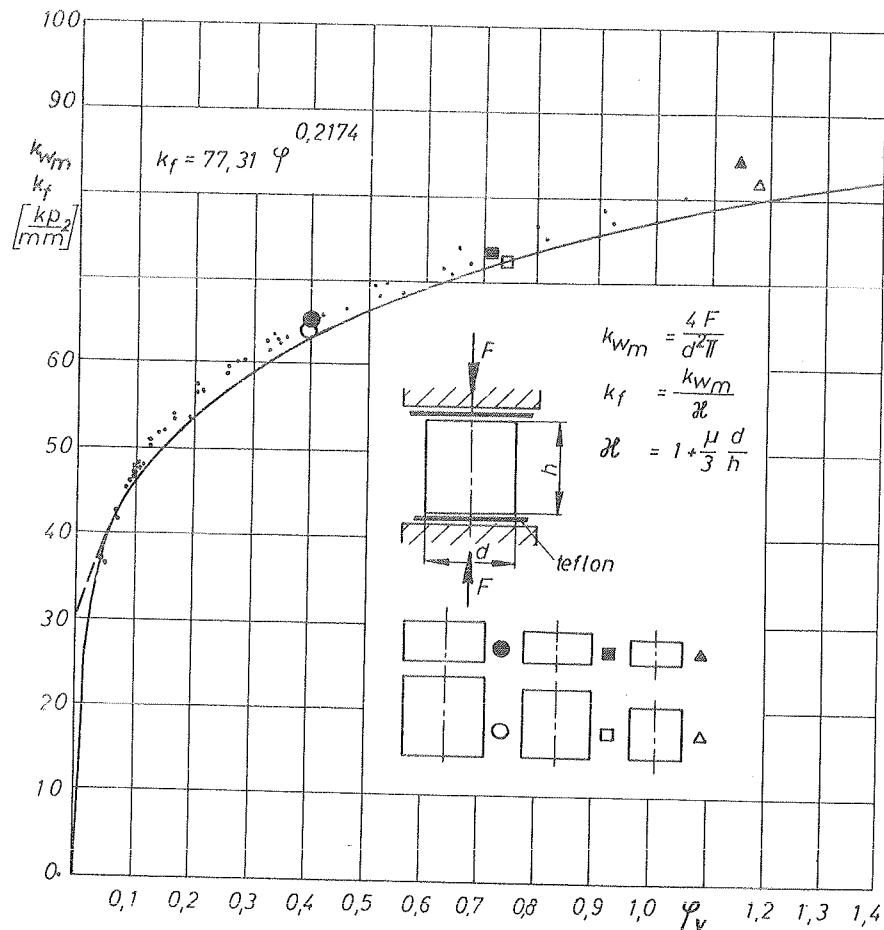
Tabela 3. Rezultati tlačnih preskusov ob uporabi teflona.

5. Krivulje plastičnosti iz nateznega preskusa

Iz vseh preizkušanih materialov smo opravili tudi natezne preizkuse. Tu se da krivulja plastičnosti še bolj enostavno določiti, zanesljiva pa je le do pojava lokalne kontrakcije, kar pa nastopi že zelo zgodaj, pri $\psi_v = n$, oziroma $\psi_v = 0,20 \pm 0,25$.

Preizkusi so potekali podobno kot jih je opravljal tudi Mitkovič [9], le da smo za ugotavljanje morebitnega vpliva velikosti preizkušanca (ki ga kasneje ni bilo) delali z

epruvetami \varnothing 16 ter \varnothing 12 mm.



Slika 4. Deformacijski odpor pri nakrčevanju jekla Č. 1221 ter izračunana krivulja plastičnosti.

Rezultati so se izredno dobro pokrivali z onimi, doseženimi pri tlačnih preizkusih (slika 5), zato lahko sklepamo, da je bil način vrednotenja tlačnih preizkusov pravilno zastavljen.

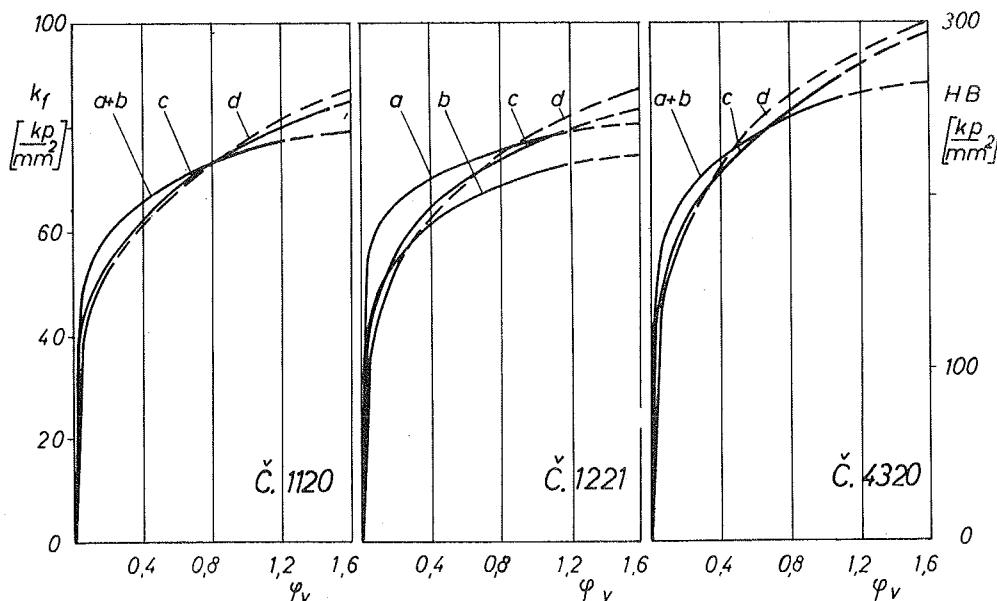
Material	G_y /kp/mm ² /	G_m /kp/mm ² /	k_{fo} /kp/mm ² /	n	r
Č. 1120	29,5	42,9	78,53	0,2404	0,9953
Č. 1221	30,0	42,5	78,95	0,2527	0,9964
Č. 4320	33,5	48,8	91,09	0,2500	0,9949

Tabela 4. Rezultati nateznih preizkusov.

6. Zaključek

Uporaba teflona kot mazalnega sredstva se je pokazala za zelo primerno. Tako opravljeni preizkusi so dobra osnova za ugotavljanje nekaterih bistvenih tehnoloških lastnosti materialov, ki karakterizirajo njihovo preoblikovalnost. Prav tako so visoki korelacijski koeficienti potrdili, da so funkcionske odvisnosti med posameznimi parametri pravilno izbrane.

Na podlagi tega so v sliki 5 zbrani končni rezultati naših preizkusov. Vse vrisane krivulje so statistično ugotovljene potenčne funkcije tipa (1) in (13).



Slika 5. Spremembe nekaterih mehanskih lastnosti domačih jekel Č. 1120, Č. 1221, Č. 4320 po hladnem preoblikovanju (a - trdota v smeri vlaken, b - trdota pravokotno na vlakna, c - krivulja plastičnosti iz tlačnega preizkusa, d - krivulja plastičnosti iz nateznega preizkusa).

V nadalnjem delu bo potrebno zasledovati zaenkrat še zanemarjen vpliv hitrosti na deformacijsko trdnost, dočim, kot je ugotovil Metzler [10], [11], le ta bistveno ne vpliva na koeficient trenja in na trdoto. Prav tako bo še potrebno ugotavljati maksimalne dopustne logaritmične deformacije, pri katerih se še ne pojavijo razpoke, ker te tudi spadajo v definicijo preoblikovalnosti jekel.

Pri uporabi naših domačih jekel za hladno preoblikovanje bo potrebno veliko dela posvetiti tudi njihovi pravilni termični obdelavi. Ta problem je zelo zahteven [12], toda za velikoserijsko in masovno proizvodnjo je nujno poznati stanja, pri katerih bodo ti materiali dajali optimalne rezultate.

7. Literatura

- [1] Burgdorf, M.: Über die Ermittlung des Reibwertes für Verfahren der Massivumformung durch den Ringstauchversuch. Ind.-Anz. 89 (1967) Nr. 39 799-804
- [2] Schlatter, W.: Merstationen-Kaltformpresse im Einsatz für Automobilteile. 4. Int. Tagung "Kaltumformung", Düsseldorf 1970
- [3] Pristovšek, I.: Študija plastičnih deformacij pri poševnem rotacijskem valjanju votilih teles. Diplomsko delo št. 1576, Fakulteta za strojništvo v Ljubljani 1970
- [4] Peternel, F.: Določitev deformacijske trdnosti in specifičnega deformacijskega dela dveh domačih materialov. Diplomsko delo št. 1577, Fak. za strojništvo v Ljubljani 1970
- [5] Wilhelm, H.: Untersuchungen über den Zusammenhang zwischen Vickershärte und Vergleichsformänderung bei Kaltumformvorgängen. Bericht aus dem Institut für Umformtechnik Universität Stuttgart 1969 Nr. 9
- [6] Thomsen, E. G. Yang, C. T. Kobayashi, S.: Mechanics of Plastic Deformation in Metal Processing. Macmillan New York, London 1965
- [7] Musafia, B.: Savremena teoretska i eksperimentalna dostignuća u području aplicirane teorije plastičnosti. IV. Savjetovanje proizvodnog mašinstva, Sarajevo 1968
- [8] Uinksov, E. P.: An Engineering Theory of Plasticity. Butterworth London 1961
- [9] Mitković, V.: Analiza eksperimentalnih metoda dobijanja krivih učvršćavanja. IV. Savjetovanje proizvodnog mašinstva, Sarajevo 1968
- [10] Metzler, H.: Über den Einfluss der Werkzeuggeschwindigkeit auf den Werkstofffluss beim Stauchen. Ind.-Anz. 92 (1970) Nr. 57 1372-1378
- [11] Metzler, H.: Untersuchung der Abhängigkeit des Reibwertes von der Werkzeuggeschwindigkeit. Ind.-Anz. 92 (1970) Nr. 84 1995-2000
- [12] Keane, D. M. Clarke, C. H. Murray, J. D.: Metallurgical Factors Influencing the Extrudability of Low Alloy Heat Treatable Steels. 4. Int. Tagung "Kaltumformung", Düsseldorf 1970

K. Kuzman

Die Anwendbarkeit des Stauchversuches zur Ermittlung der Umformeigenschaften von Stahl

Für die Vorausberechnung des Kraft - u. Arbeitsbedarfs bei den Verfahren des Kaltmassiv - Umformens müssen die Eigenschaften der nur zu formenden Werkstoffe bekannt sein.

Im vorliegenden Aufsatz wird erklärt, wie man mit verhältnismässig einfachen Mitteln den Fliesskurven - Verlauf, sowie die Abhängigkeit der Härte von der Vergleichsformänderung bestimmen kann. Die ermittelten Beziehungen können durch Potenzfunktionen dargestellt werden, wobei sehr gute Korrelations - Koeffizienten erreicht wurden.

VII SAVJETOVANJE PROIZVODNOG STROJARSTVA, NOVI SAD, 1971.

B. Liščić^X, V. Reich^{XX}

DOSADAŠNJI REZULTATI UVOĐENJA TEHNOLOGIJE NITRIRANJA POSTUPKOM
TENIFER U DOMAĆOJ INDUSTRiji^{XXX}

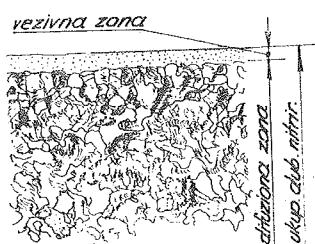
1. Uvod

Iz postupka "mekog nitriranja", koji je već odavno u svijetu poznat, firma DEGUSSA je nakon dugotrajnog ispitivanja i postepeno poboljšavanja razvila novi postupak, koji zamjenjuje meko nitriranje a nosi naziv TENIFER-postupak. Ovaj naziv nastao je kao skraćenica od "TEnax" (latinski žilav), "NITrogenium"-dušik i "FERRUM" željezo. Taj se naziv primjenjuje u zemljama njemačkog i romaskog jezičnog područja, dok u anglosaksonskim zemljama ovaj postupak nosi naziv TUFFTRIDE.

Nitriranjem postupkom TENIFER postižu se prema slici 1 slijedeće zone: vezivna (vanjska) zona debljine 8 do 20 μm nakon 2 do 6 sati držanja u kupki ovisno o materijalu i vremenu. Ispod nje leži difuziona zona čija debnjina ovisi tako-

der o sastavu materijala i vremenu.

Ukupna dubina nitriranja obuhvaća obje zone. Kod nelegiranih čelika nakon 2 sata postiže se ukupna dubina nitriranja do 1 mm (C15 = Č. 1220), dok kod visoko legiranih ona iznosi svega 0,1 mm (X 20 Cr 13 = Č. 4171), tj. kod istog vremena držanja u kupki s povećanjem procenta legiranja smanjuje se ukupna dubina



Slika 1. Šematski prikaz zona nitriranja

^X Liščić Božidar, dipl.inž.strojarstva, docent Fakulteta strojarstva i brodogradnje Zagreb.

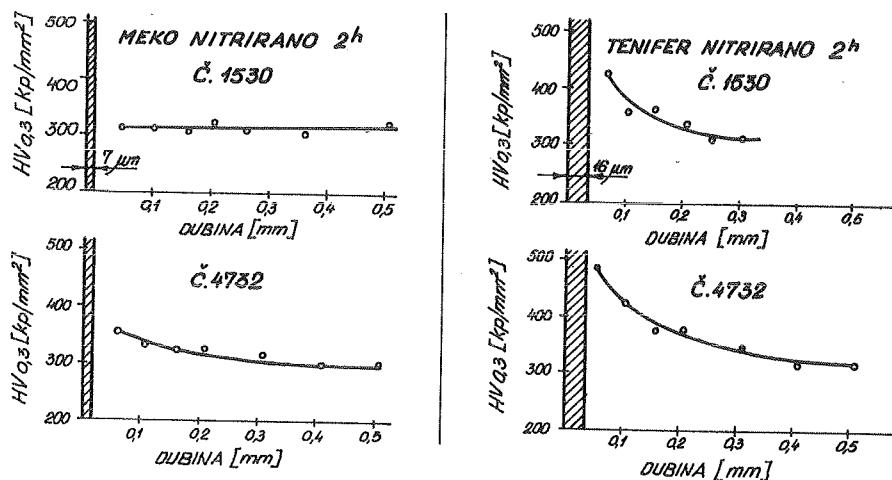
^{XX} Reich Valter, dipl.inž.strojarstva, viši stručni suradnik Instituta za alatne strojeve, Zagreb.

^{XXX} Referat potiče iz zajedničke suradnje Fakulteta strojarstva i brodogradnje i Instituta za alatne strojeve-Zagreb, a zasniva se na rezultatima eksploracionih ispitivanja dijelova i alata obradenih postupkom TENIFER na uredaju instaliranom u laboratoriju za toplinsku obradu na FSB u Zagrebu. M.35.01.

nitriranja. Kod sivoga lijeva ona iznosi nakon 2 sata oko 0,15 mm. Poboljšanja, koja su dovela do TENIFER-postupka iz nekadašnjeg mekog nitriranja, sastoje se uglavnom u slijedećem:

- povećanje debljine vezivne zone za isto vrijeme nitriranja, te povišenje vrijednosti tvrdoće, što je osobito istaknuto u blizini same površine u difuzionoj zoni.
- poroznost vezivne zone znatno je smanjena.
- povećana je jednokomjernost dobijenih rezultata na svim mjestima unutar kupke, što kod mekog nitriranja nije osigurano.
- povećanje otpornosti materijala na umor je znatnije nego kod mekog nitriranja.

Za prvo od spomenutih svojstava izvršena su metalografska ispitivanja prema slici 2 (Prvomajska-Zagreb), iz koje se vide prednosti TENIFER-postupka u odnosu na meko nitriranje. Pokusi su vršeni na nelegiranom čeliku Č.1530 i legiranom čeliku Č.4732 i pokazuju u oba slučaja kod TENIFER-postupka isti porast debljine vezivne zone i porast tvrdoće u difuzionoj zoni, koji je međutim kod legiranih čelika veći.



Slika 2. Debljina vezivnih zona i tok tvrdoće u difuzionoj zoni kod čelika Č.1530 i Č.4732 nakon mekog i TENIFER-NITRIRANJA /Ing. Stupnišek 1969/.

Navedena poboljšanja postignuta su uglavnom slijedećim mjerama:

- prelaskom od jedne soli kod mekog nitriranja na dvije vrste soli kod TENIFER-postupka omogućeno je podešavanje sadržaja cijanida i cijanata.
- uvodenjem zraka u kupku za vrijeme nitriranja u svrhu stvaranja turbulencije.
- primjenom unutarnje obloge lonca kupke, izrađene od titana, koja ima ulogu, da smanji onečišćenje kupke željezom, koje se izlučuju u formi natrijumferocijanida Na₄Fe(CN)₆.

Slojevi dobiveni nitriranjem postupkom TENIFER posjeduju slijedeća važna svojstva:

- izvanrednu otpornost vezivne zone na habanje
- otpornost protiv hladnog zavarivanja odnosno izjedanja uz dobre klizne sposobnosti
- otpornost vezivne zone protiv korozije
- homogenost i elastičnost vezivne zone.

Zbog relativno niske temperature nitriranja (570°C) nema praktički deformacija, odnosno one su tako male, da leže u granicama dozvoljenih tolerancija završnih mjera. Povezano s minimalnim deformacijama, TENIFER-postupak u odnosu na kaljenje ima naročito u proizvodnji alata tu bitnu prednost, da se dijelovi mogu u mekom stanju obraditi na završnu mjeru a TENIFER-postupak primjeni kao posljednju operaciju. Visoki troškovi dorade brušenjem zbog neminovnih deformacija nastalih kod kaljenja na taj način otpadaju.

2. Pregled primjene TENIFER-postupka u domaćoj industriji

Postupak je primjenjen na uređaju DEGUSSA, instaliranom na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu. U loncu solne kupke mogu se nitrirati predmeti promjera do 550 mm, i dužine do 850 mm.

Tokom 1970 godine iznitrirano je na tom uređaju skoro 15 tona preko 40 vrsta raznih čelika i lijeva i to:

- | | |
|---------------------------------|---------------------------|
| - čelični i sivi lijev | - čelici za cementiranje |
| - ugljični konstrukcioni čelici | - čelik za nitriranje |
| - kotlovske lim | - čelik za automate |
| - čelici za poboljšavanje | - čelik za ventile motora |

- čelik za povišene temperature
- nehrđajući kemijski postojani čelici
- ugljični alatni čelik
- legirani alatni čelik za rad u hladnom stanju
- legirani alatni čelik za rad u vrućem stanju
- nehrđajući alatni čelik
- brzorezni čelik

Iz ovog velikog broja vrsta nitriranih čelika vidi se široka mogućnost primjene TENIFER-postupka, za razliku od plinskog nitriranja, koje zahtijeva specijalne vrste čelika.

Za bolju predodžbu o korištenju uređaja dat je u tablici 1. pregleđ o primjeni TENIFER-postupka tokom 1970.godine prema namje ni nitriranih dijelova.

PREGLED PRIMJENE TENIFER POSTUPKA TOKOM 1970. G. PREMA NAMJENI NITRIRANIH DIJELOVA		TABLICA 1.	
Red br.	Naziv dijela - funkcija	NITRIRANO Komada	Kg
1	QSNOVNA PROIZVODNJA Čeliči, zupčanici za brezgost osovinu i za pumpu za brizganje goriva na motorima HENTSCHEL	3000	4500
2	Razni dijelovi dizel-motora: vodeni klipovi, usisni i ispusni ventili, klakotice, vredenja, poluge, regulacione čaure, kljeni kameni	460	849
3	Za automobil glodalica ALG 100: nadujna vreležna suporta, matice za vreležnu suportku	32	33
4	Štancani limeri dijelovi za brave osobnih automobila	9500	275
5	Razno: pužen i pužna kola za dobene glave silni dijelovi raznih strojeva zupč. traktora, dijelovi pljagava, dijelovi armatūra plinskih boča itd.	1150	174
6	DIJELOVI ALATA I NAPRAVA Dijelovi kalupa za brizganje plast. mase, dijelovi extruder-prese, dijelovi kalupa za keramički prah, za baterije itd.	340	1169
7	Dijelovi kalupa za brizg. tlač. lijeva (silikoni): forme, jezgrenki, klipovi izbacivači, patice, matrice i razni umetci itd.	290	1073
8	Kupovni rezni alati iz brizprez. čelika: strojni razvrtlači, spiralna surljuda, glodalica testerdista, profilira, za T-utvare, kultna glodalica i sl.	900	116
9	Dijelovi kalupa za prešanje tehničke gume: razne brištvene manže, sereneringi, i sl.	2900	5982
10	Dijelovi kalupa za prešanje šupljje opike na vakum-presama: usnici, okviri, jezgre i sl.	950	182
11	Razni dijelovi alata za savijanje lima	20	299
12	Razno: dijelovi strojeva za izvl. žice, za tekstilne strojeve, alat za hladno savijanje cijevi, valjci za varenje šumih cijevi, razne naprave itd.		118
UKUPNO:			14770

Iz ove tablice se vidi, da su tokom 1970.godine glavninu sačinjavali zupčanici za automobileku industriju, dijelovi alata za prešanje tehničke gume, dijelovi kalupa za plastične mase, te dijelovi kalupa za brizganje tlačnog lijeva.

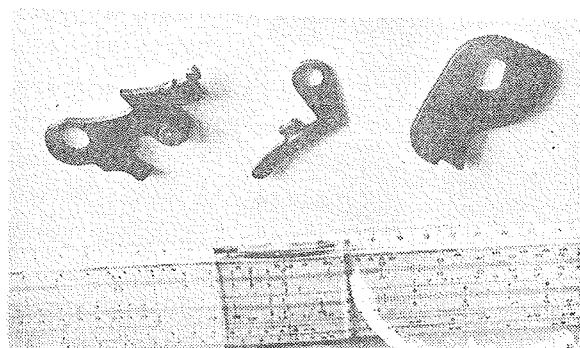
Iako je vrijeme od početka uvodenja ove tehnologije u našoj zemlji

relativno kratko, pa se efekat primjene ne može u potpunosti sagledati, iznijeti ćemo u nastavku nekoliko slučajeva, koji su pruženjem u eksploataciji pokazali dobre rezultate i ekonomičnost.

3. Neki rezultati primjene TENIFER-postupka na dijelovima u eksploraciji (prema podacima dobivenim od poduzeća za koje je izvršeno nitriranje)

1. Dijelovi brave za osobne automobile

Tvornica koja proizvodi opremu za automobile tražila je rješenje za otklanjanje nedostatka prerađenog habanja na dijelovima brava osobnih automobila. Ovi dijelovi prikazani na slici 3 štančaju se iz toplo valjanih čeličnih limova Č.0445, debljine 2 i 4 mm, te nakon toga u završnoj operaciji obraduju TENIFER-postupkom. Dijelovi su kod zatvaranja i otvaranja vrata izloženi habanju. Oni debljine 4 mm nitrirani su 2 sata a tanji 1 sat. Hlađenje je izvršeno u vodi. Na kontrolnom postolju, gdje su brave ispitivane, dozvolila je brava s nitriranim dijelovima oko 150.000 otvaranja i zatvaranja i još su svi nitrirani dijelovi normalno funkcionirali, dok je brava s nenitriranim dijelovima bila neuporabiva već nakon 50.000 zatvaranja i otvaranja. Vijek trajanja povećao se dakle trostruko. U ovome slučaju ogleda se ekonomičnost TENIFER-postupka u upotrebi najjeftinijih čelika uz primjenu najprodutivnije tehnologije štančanja, koja za proizvodnju ovih dijelova u većim serijama predstavlja najoptimalnije rješenje uz zadovoljavajuće rezultate kvalitete i vijeka trajanja.



Slika 3. Dijelovi brave za osobne automobile

2. Alat za izradu okvira sunčanih naočala

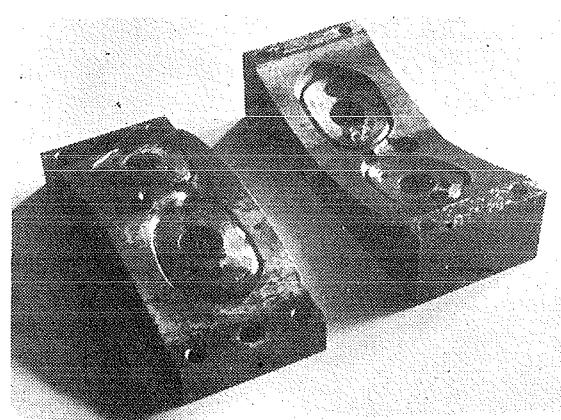
Tvornica je još donedavno alate za injekciono brizganje termoplastične mase za ovaj artikl uvozila. Matrica i patrica složenog

oblika (slika 4) sa znatnim udjelom ručnog rada bio je problem kod klasičnog načina toplinske obrade kaljenjem obzirom na izuzetnu tačnost, koja se od kalupa traži. Izradak nakon brizganja ne smije iziskivati nikakovu daljnju doradu, te mora biti sjajan i bez srhova. Međutim nakon kaljenja redovito je zbog deformacija bilo nužno na kalupu vršiti skupo brušenje i dotjerivanje. Uvezeni kalupi izdržali su serije do 10.000 komada, nakon čega su zbog oštećenja oštredih bridova postali neuporabivi.

Prelaskom od kaljenja na TENIFER-postupak situacija se bitno izmijenila. Umjesto uvoza započelo se sa izradom alata u vlastitoj alatnici i to iz nehrđajućeg alatnog čelika PROKRON 5 (Č.4770). Prikazani alat kompletno je obrađen u mekom stanju i nakon probnog brizganja ispoliran i pripasan na završnu mjeru. Zatim su kod obrade TENIFER-postupkom predgrijani u trajanju od 180 do 210 min na temperaturu oko 360°C i bili držani u kupki 3 sata. Ohladivanje je vršeno u ulju.

Ispitivanjem mikro tvrdoće nitrirane epruvete na dubini manjoj od 0,1 mm dobiveni su rezultati od preko 1000 HV 0,1 kp/mm² (opterećenje od 100 g). Nakon nitriranja alat je bio još samo lagano ispoliran,

da bi radne površine bile što sjajnije. Kod nitriranja nije došlo nikakvih deformacija ni promjena mjera, a zbog visoke površinske tvrdoće nije za vrijeme rada alata došlo do oštećenja ivica, pa je tako alat do sada odbrizgao preko 50.000 komada okvira naočala a da se na njemu još ne vide nikakvi tragovi habanja.



Slika 4. Matrica i patrica kalupa za naočale

Vijek trajanja domaćeg alata, obradenog TENIFER-postupkom petrostruko je veći od uvezenih alata. Još jedna je prednost ovog postupka u konkretnom slučaju u tome, da se sa nitriranog alata, ka-

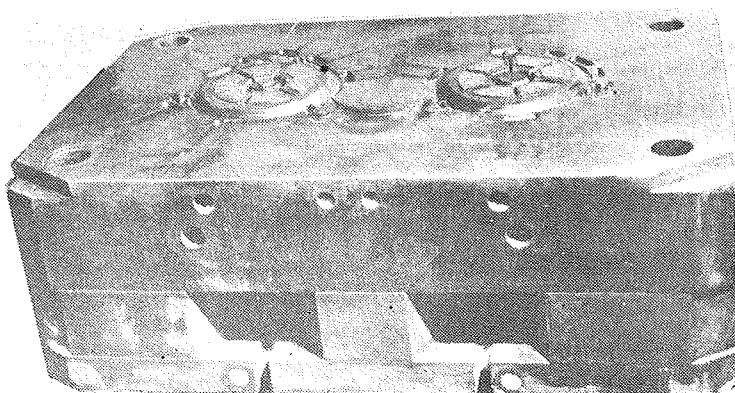
da je na njemu potrebno izvršiti neku manju rekonstrukciju za proizvod nove unapredene varijante, može brušenjem lako skinuti relativno tanki tvrdi nitrirani sloj, zatim meku jezgru mehanički obraditi, te tako rekonstruirani alat ponovno nitrirati.

3. Alat za tlačno lijevanje ležajnih štitova elektromotora iz aluminijske legure TAl Si (Cu) - SILUMIN

Štit pripada elektromotoru za stroj za pranje rublja i težak je 450 g. Alatom sa dva gnijezda dobiva se jednim brizganjem 1 par štitova. Uporabivost alata trebala bi za 100.000 brizganja doseći proizvodnju od 200.000 komada štitova.

S domaćim alatnim čelikom za rad u vrućem stanju nisu bili postignuti zadovoljavajući rezultati u pogledu zahtijevanog broja izrada, pa se zato prešlo na primjenu švedskog čelika UHB-ORVAR 2 mikrodiziranog, po standardu AISI H 13, W-Nr. 1.2344. Svi dijelovi ovog alata prikazanog na slici 5 nitrirani su postupkom TENIFER 4 sata, prethodno kroz 4 sata zagrijavani na temperaturu 360°C. Iza nitriranja obradivanje je vršeno na zraku do 200°C a nakon toga u ulju. Pojedine pozicije prije nitriranja bile su toplinski obradene kako slijedi:

- klip i cilindar kaljeni i popušteni na 52 ± 2 HRc
- patrice i matrice žarene, kaljene i popuštene na 45 ± 2 HRc
- sapnica kaljena i popuštena na 47 ± 2 HRc
- umetci i izbacivači kaljeni i popušteni na 47 ± 2 HRc.



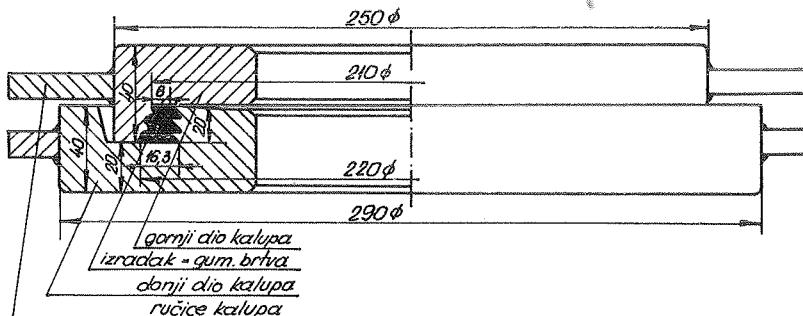
Slika 5. 1:6 Alat za tlačni lijev sa dva gnijezda za ležajne štitove elektromotora (skinuta gornja ploča nije na slici prikazana)

M.35.07.

Navedeni čelik pokazao je bolja mehanička svojstva u toplom stanju, bolju otpornost na habanje i izdržljivost na termošokove. Prije korišteni čelik domaće proizvodnje nije dao zadovoljavajuće rezultate i izdržao je maksimalno 80.000 brizganja. S novim alatom, gabarit mjera 510x394x810 mm i ukupne težine oko 1 tonu odbrizgano je prije TENIFER-postupka u normalnoj eksploataciji 100.000 komada štitova a nakon obrade TENIFER-postupkom još 160.000 komada. Od pojava, koje mogu nastupiti, tj. ruseva zbog topotnog naprezanja (alat radi na temperaturi 250°C a taljevina u njega ulazi pod pritiskom s temperaturom $650 - 700^{\circ}\text{C}$), te naljepljivanje legure na radne površine alata, nije nastupila ni jedna, i nisu vidljive još nikakva oštećenja. Uzmu li se u obzir visoki specifični pritisci 450 kp/cm^2 , onda se rezultati primjene TENIFER-postupka mogu označiti kao dobiti, iako u tako kratkom vremenu nisu mogli biti u cijelosti sa-gledani. Kao parametar ekonomičnosti neka na kraju još posluži odnos troškova nitriranja spram cijene koštanja alata 1:34 što čini manje od 3%.

4. Dijelovi kalupa za prešanje gumenih brtava za velike vodovodne cijevi

U tvornici, koja preraduje tehničku gumu proizvode se među ostalim gumene brtve za vodovodne cijevi iz salonita. Izradak prema slici 6 vanjskog promjera 220 m sastoji se iz sirovog kaučuka i potrebnih dodataka i u tjestastom stanju se stavlja u alat.



Slika 6. Šematski prikaz kalupa za brtve vodovodnih cijevi
(Materijal: kotlovske lim H-II; 45 mm debljine).

Ranije se za kalupe primjenjivao čelik za cementiranje, pa je kod cementacije dolazilo na ovim velikim vitskim pločama redovito do deformacija. Zbog toga a i zbog poteškoća nabave ovog materijala, kojega na tržištu za ove dimenzije nema ni u pločevini ni u otkivcima, prešlo se na upotrebu kotlovnog lima.

Autogenim rezanjem iskrojeni komadi se otokare na završnu mjeru i bez ikakove prethodne toplinske obrade podvrgavaju TENIFER-postupku 2 sata i hlađe u ulju. Po završenom nitriranju površine se ispoliraju brusnim platnom 400, radi smanjenja mogućnosti zaljepljivanja. Kalupi se upinju u hidrauličke prese i za vrijeme rada griju parom na $152 - 156^{\circ}\text{C}$. Po završenom procesu vulkanizacije koji traje oko 15 min, brtve se ručno vade. Kalupi se kod nitriranja ne deformiraju. Sloj vezivne zone debljine oko $15 \mu\text{m}$ dovoljno je otporan na habanje. Ovaj slučaj je idealni primjer zamjene za cementiranje, što obzirom na veliki broj ovih kalupa, izrađenih iz najjeftinijeg materijala, znači ne samo veliku uštedu na cijeni materijala, već i eliminiranje svih nedaća deformacije kalupa.

4. Zaključci

Vlastita jednogodišnja iskustva dokazuju, da TENIFER-postupak može naći vrlo široku primjenu kod

- raznih vrsta čelika, čeličnog i sivog lijeva
- vrlo velikog asortimana dijelova osnovne proizvodnje te alata i naprava u domeni ne samo industrije prerade metala nego i prerade plastičnih masa, gume i sl.

Ovaj postupak u ostalom pretstavlja jednu od najefikasnijih metoda borbe protiv trošenja koja - kao i sama nauka o trošenju trenjem (tribologija) - postaje iz dana u dan sve aktuelnija. Ovaj postupak donosi u praksi nova gledanja na odnos tvrdoća - otpornost prema trošenju, jer dokazuje, da i nekaljeni relativno mekani dijelovi iz nelegiranog čelika obrađeni tim postupkom, mogu biti vrlo otporni na trošenje. Uvođenje TENIFER-postupka mijenja u mnogim slučajevima u znatnoj mjeri tok tehnološkog procesa izrade, težeći s jedne strane ka njegovom skraćenju i pojednostavljenju a s druge strane ka primjeni jeftinijih čelika u nizu slučajeva.

S primjenom TENIFER-postupka stavljen je pred konstruktere i pred tehnologe zadatak rješenja problema zamjene skupljih čelika jeftinijim.

nijim, kao i donošenja opće važećih smjernica o tome za koje radne uslove (pritisci, udari, dinamička izdržljivost, hrapavost površine i dr.) je primjena TENIFER-postupka opravdana.

Treba posebno istaći problem kvalitete površine, imajući u vidu, da se ovim termokemijskim procesom, za razliku od cementiranja i kaljenja, postižu relativno samo tanki otvrđeni površinski slojevi, čija je kvaliteta u uskoj zavisnosti s kvalitetom površine prije nitriranja. Što je hrapavost prije nitriranja manja to je uloga homogene vezivne zone djelotvornija. Treba nastojati, da površine dijelova prije primjene TENIFER-postupka budu obradene tako, da je maksimalna visina neravnina R_{\max} manja od debljine vezivne zone, jer u protivnom slučaju, kada se u radu brzo istroše oštiri, slabti izdanci neravnina, nestaje s njima ili se prekida vezivna zona, pa bi smisao nitriranja na taj način bio promašen.

Za određivanje korelacije hrapavosti površina s debljinama vezivnih zona kod raznih vrsta čelika nisu do sada još izvršena odgovarajuća ispitivanja. Možemo međutim izdvojiti slučaj prosječne i najčešće dobivene vezivne zone debljine 10 do $12 \mu\text{m}$. Za ovakovu vezivnu zonu mora biti

$$R_{\max} \leq 10 \mu\text{m}$$

Toj vrijednosti prema JUS-u M.Al.021 odgovara parametar srednje neravnine

$$R_z \sim \frac{R_{\max}}{1,6} = 6,3 \mu\text{m}, \text{ koji pripada klasi 8}$$

kvalitetu površinske hrapavosti. Klasa 8 je u metaloprerađivačkoj industriji normalno postiziva, pa su za nju u tablici 3 navedene odgovarajuće vrste obrada. Efikasnost nitriranja TENIFER-postupkom, razumljivo raste sa primjenom još finijih obrada prije nitriranja.

NACIN FORMIRANJA POKRIVNE	VRSTE OBRADA					TABLICA 3
LJEVANJE I DEFORMACIJA	LIJEVANJE POO PRITISK. (metal i plast. u kalupu)	KOVANJE hladno	VALJANJE i VUČENJE hladno	VALJANJE NAVOJA hladno		
SKIDANJE STRUGOTINE	TOKARENJE čisto	BLJANJANJE fino	GLODANJE velikastim glodalom čisto	BUSENJE fino	BRUŠENJE čisto	OBRADA ZUBA brusenjem
	unut. rupe malog φ fino		georim glodalom fino	uz strojno razvrtav. čisto		brijanjem
RUČNA OBRADA	TURPIJANJE fino	ZAGLAĐIVANJE brusnim platinom				

Obzirom na mogućnost velikih ušteda u troškovima proizvodnje odnosno na mogućnost znatnog produženja vijeka trajanja obrađenih dijelova i alata, ekonomičnost primjene TENIFER-postupka a onim slučajevima, gdje je on tehnički opravдан, je izvan svake sumnje.

Zbog toga treba očekivati, da će primjena TENIFER-postupka u nešoj zemlji brzo napredovati u širinu.

5. Literatura

1. Liščić B. - skripta "Nitriranje i cementiranje čelika", Metalbiro 1967.g.
2. DURFERRIT - Technische Mitteilungen, DEGUSSA-Frankfurt April 1967.
3. B. Finnern - Änderung der Eigenschaften der Bauteiloberfläche durch das Badnitrieren (TENIFER-Verfahren) - Zeitschrift "Metalloberfläche" 1968 Heft 11
4. TENIFER - Mitteilungen 15/69 - Verbindungs-zone, Gesamt-nitriertiefe, Oberflächenhärte, Härteverlauf.

Die bisherigen Ergebnisse der Einführung des Badnitrierens im TENIFER-Verfahren in der heimischen Industrie.

Einführend sind die wesentlichen Erscheinungen beim TENIFER-Verfahren beschrieben und im Vergleich mit dem üblichen Härtan alle Vorteile dieser neuzeitlichen Technologie hervorgehoben. Auf Grund von Versuchen mit unlegierten und legierten Stählen werden graphisch Ergebnisse beim "Weichnitrieren" und TENIFER-nitrieren verglichen. Der höhere Anstieg der Verbindungszone und günstigerer Härteverlauf geht zu Gunsten des TENIFER-verfahrens. In übersichtlicher Weise ist die Anwendung des T-V in der heimischen Industrie im Laufe des Jahres 1970 ziffernmässig dargestellt. Anschliessend sind an Hand etlicher Anwendungsfälle die guten Verschleiss-eigenschaften und Wirtschaftlichkeit dieses Verfahrens bewiesen. Die Angaben, die für diese Beispiele angeführt sind, stammen aus Betrieben, die das Verhalten der nitrierten Teile durch längere Zeit verfolgten. Es wird gezeigt, wie nachteilig sich eine schlechte Oberflächenbeschaffenheit der Teile durch unpassende Bearbeitung auf die Rolle der beim Nitrieren erzeugten Verbindungszone auswirken kann.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971.

D. Mihajlović, A. Mihajlović*

UREDJAJ ZA MERENJE PROMENE ČVRSTOĆE METALA U TOKU
PERIODIČNO PROMENLJIVE PLASTIČNE DEFORMACIJE**

1. Uvod

Periodično promenljiva plastična deformacija metala, poznata u literaturi kao "ciklična plastična deformacija" ili niskociklično zamaranje metala, prouzrokuje specifične promene u mikrostrukturi i osobinama metala koje dovode do preloma posle relativno malog broja ciklusa. Kako ove promene iniciraju stvaranje mikronaprsilina i utiču na karakter i brzinu rasta naprsilina to se za izučavanje mehanizma zamaranja koriste uporedno optičke metode ispitivanja mikrostrukture - svetlosna i elektrotronska mikroskopija i metode merenja promene mehaničkih osobina /1 - 6/. Podaci o rezultatima ispitivanja mehanizma niskocikličnog zamaranja u svetskoj literaturi su malobrojni.

Za tumačenje mehanizma sa fizičko-metalurškog aspekta neophodno je ispitivanje na metalima različitih kristalografskih karakteristika, na velikom broju legura različitog hemijskog sastava (različiti tipovi legura), kao i na leguri jednog određjenog sastava ali različitih metalurških karakteristika, nastalih na primer termičkom obradom ili plastičnom deformacijom. Drugim rečima, potrebno je ispitivanje vrlo velikog broja uzorka. Uzimajući u obzir da se često radi o količinama metala i legura izradjeni u laboratorijskom obimu (bilo da su u pitanju

* Dr. Dragica Mihajlović, dipl.ing., docent Tehnološko-metallurgskog fakulteta, Beograd; Dr. Aleksandar Mihajlović, dipl.ing., naučni saradnik Instituta "Boris Kidrič", Vinča

** Saopštenje sa Tehnološko-metallurgskog fakulteta, Beograd

nove legure ili standardne ali visoke čistoće) kao i da ispitivanje na zamaranje traži statističke rezultate, jasno je da laboratorija mora raspolagati jednostavnim, osetljivim, lako dostupnim uredjajem, na kojem je moguće ispitivanje uzorka malih dimenzija. Postojeći komercijalni uredjaji ne zadovoljavaju sve zahteve. Zbog toga se poslednjih godina u mnogim laboratorijama razvijaju uredjaji prema specifičnim potrebama istraživanja /7, 8/.

Veoma jednostavan uredjaj za ispitivanje ponašanja metala pri zamaranju i praćenje ojačavanja odnosno omekšavanja u toku zamaranja izradjen je pre nekoliko godina u Zavodu za fizičku metalurgiju Tehnološko-metalurškog fakulteta u Beogradu /9/ i u proteklim godinama su brojnim ispitivanjima utvrđene njegove mogućnosti.

2. Opis uredjaja

Pri izboru vrste naprezanja, koje dejstvuje na ispitivani uzorak usvojeno je naprezanje savijanjem. Razlozi su sledeći. Ranija ispitivanja, sopstvena i drugih autora, pokazala su da su osobine pri savijanju zbog specifičnosti dislokacionog mehanizma deformacije vrlo osetljive na promene u mikrostrukturi metala. Zatim, najveći deo dosadašnjih ispitivanja izведен je primenom aksijalnog naprezanja zatezanje-pritiskivanje, tako da o ponašanju pri deformaciji savijanjem ima mnogo manje objavljenih podataka. I na kraju, periodično promenljivo savijanje je veoma česti oblik deformacije u eksploracionim uslovima.

Kao nezavisno promenljiva veličina eksperimenta izabrana je amplituda plastične deformacije, jer je pogodnija za analizu rezultata ispitivanja u datim uslovima.

Amplituda deformacije odredjena je uglom otklona uzorka (α) iz vertikalnog položaja, savijanjem preko valjka datog radijusa. Ugao otklona može biti od $\pm 1^\circ$ do $\pm 90^\circ$.

Drugi način uspostavljanja kontrolisane amplitudu deformacije je savijanje uzorka za $\pm 90^\circ$ preko valjaka prečnika od 4 do 10 mm.

Uredjaj omogućava uspostavljanje ciklusa simetrične i nesimetrične naizmenično promjenljive deformacije.

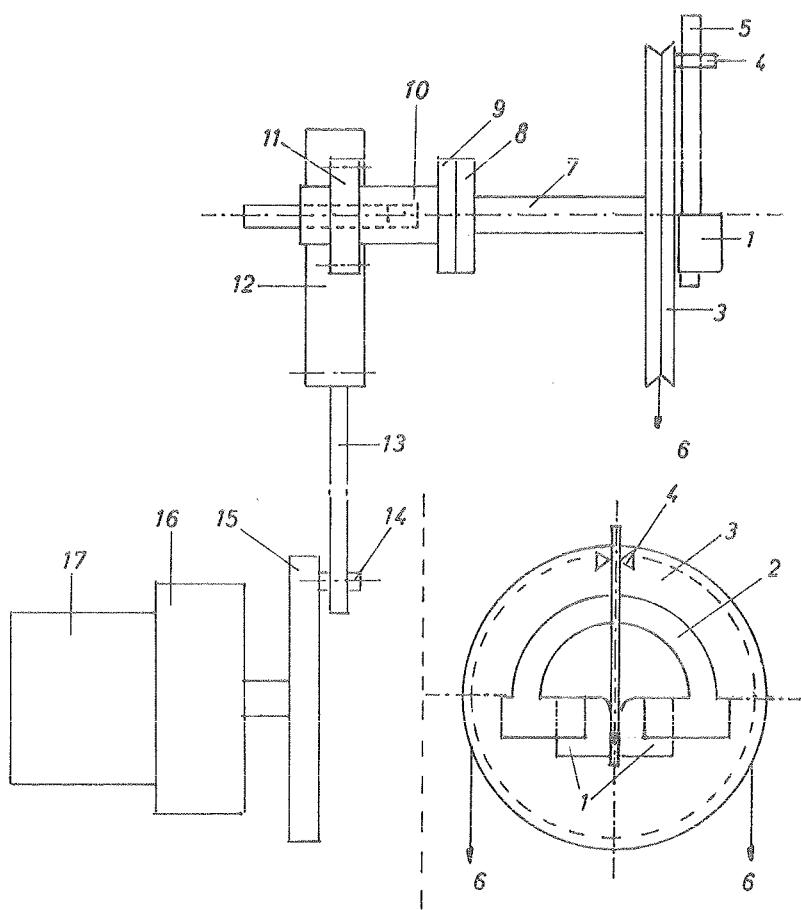
Frekvencija može varirati u graničama od 10 do 120 ciklusa u minuti. Broj ciklusa se automatski registruje na brojaču.

Najpovoljniji oblik spravete, s obzirom na pogodnost za ispitivanje mikrostrukture i istovremeno obezbedjenje što manjeg gradijenta deformacije po preseku, su tračice dimenzija: debljina $d = 0,5$ mm, širina $b = 5-8$ mm i dužina $l = 110$ mm, a može se koristiti i žica prečnika $d = 1$ mm i dužine $l = 110$ mm. Površina uzorka može biti fino brušena ili, u specijalnim slučajevima elektro polirana.

Shematski prikaz uredjaja dat je na slici br. 1 i sastoji se iz tri osnovna dela: I - uredjaj za savijanje uzorka i merenje ojačavanja; II - mehanizam za zakretanje osovine uredjaja za savijanje sa spojnicom; III - pogonski deo.

Uredjaj za savijanje uzorka i merenje ojačavanja, sastoji se iz: nosača uzorka sa čeljustima (1) za pričvršćavanje uzorka; na nosaču se nalazi uglomer (2) za očitavanje ugla otklonu; diska (3) sa držačem (4) kroz čiji prerez slobodno prolazi gornji deo uzorka (5); disk nosi dva tasa (6) za tegove; disk je preko osovine (sa ležištima) (7) kruto vezan za friкционu ploču (8). Zakretanjem diska ostvaruje se otklon uzorka za izabrani ugao ($\pm \alpha$) odnosno savijanje uzorka preko čeljusti izabranog radijusa.

Mehanizam za zakretanje osovine sa spojnicom sastoji se iz: pomične frikcione ploče (9) (zajedno sa friкционom pločom (8) čini spojnicu), koja je kruto vezana za osovinu (10) i može se pomjerati desno i levo i zakretati oko svoje ose; razdvajanjem frikcioneih ploča omogućuje se slobodno zakretanje diska (3); zubčanika (11) koji je vezan za osovinu (10); nazubljene letve (12) užubčene sa zubčanikom (11); nazubljena letva je pomoću poluge (13) i rukavca (14) vezana za ekscentar (15), Pomoću sistema ekscentar - nazubljena letva - zubčanik postiže se reverzibilno zakretanje diska.



Sl. 1 - Shematski prikaz uređaja

M. 36.04.

Pogonski deo se sastoji iz reduktora broja obrtaja (16); reduktor je pokretan elektromotorom (17).

Princip rada uređaja je sledeći: Savijanje. Pošto se prethodno podesi željeni ugao otklona, uzorak, traka ili žica, se donjim krajem pričvrsti čeljustima, dok gornji kraj slobodno prolazi kroz prorez držača (4). Uzorak se postavi vertikalno u nulti položaj. Pripajanjem frikcionih ploča (8) i (9) uređaj za savijanje se spaja sa pogonskim delom, tako da se uključivanjem elektromotora disk reverzibilno zakreće u odnosu na vertikalni, nulti položaj. Zakretanjem, disk savija uzorak preko radijusa čeljusti, levo i desno.

Merenje ojačavanja odnosno omekšavanja uzorka. Otpor materijala prema deformaciji meri se na sledeći način. Frikcione ploče se razdvoje, tako da se deo I može nezavisno zakretati. Trenje mora biti tako malo da se disk bez uzorka zakreće pod opterećenjem od 0,5 g. Uzorak se savija za odredjeni ugao otklona ($\pm \alpha$) pod dejstvom opterećenja (P), koje se postiže stavljanjem tegova na tas. Opterećenje se postepeno povećava, po 10, g i meri zavisnost "P-ugao otklona" od ($\pm \alpha$) = 0° do ($\pm \alpha$) = željeni ugao. Na ovaj način se ostvaruje savijanje u prvoj četvrtini prvog ciklusa da bi se utvrdile karakteristike materijala pre zamaranja. Zatim se spajanjem frikcionih ploča deo I vezuje sa delom II i III i uzorak izlaže dejstvu naizmenično promenljivog savijanja. Savijanje se prekida posle određenog broja ciklusa (n) npr. n = 1, 2, 5, 10, 50 i 10, 20, 30 - 100% N (gde je N broj ciklusa do loma) i na isti način meri otpor prema deformaciji.

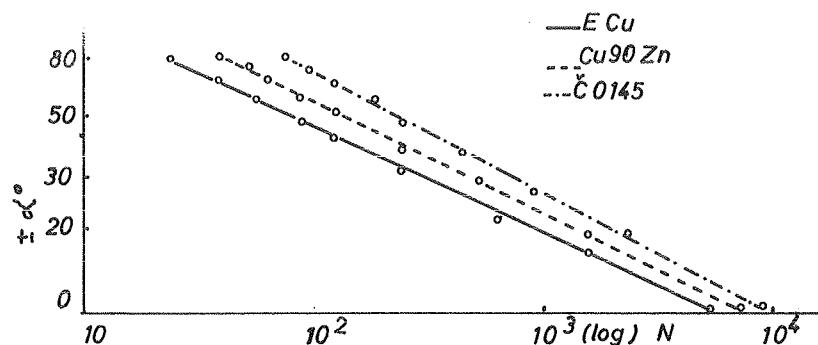
Rezultati se prikazuju dijagramski, kao zavisnost "P-($\pm \alpha$)" posle različitog broja ciklusa, za dati ugao otklona. Kao mernilo promena izazvanih deformacija uveden je pojam "stepen ojačavanja" odnosno "stepen omešavanja", npr. stepen ojačavanja (η) iznosi:

$$\eta = \frac{P_1 - P_0}{P_1} 100\%$$

gde je P_0 opterećenje potrebno da se dati ugao otklona postigne u prvoj četvrtini prvog ciklusa, a P_1 opterećenje da se isti ugao postigne posle određenog broja ciklusa. Na isti način se može izračunati stepen omekšavanja. Kako je momenat savijanja za $\alpha = \text{const.}$ proporcionalan opterećenju (P), a deformacija (ε) ugla otklona (α) to ove krive odgovaraju uobičajenom načinu prikazivanja odnosa deformacija-naprezanje za slučaj savijanja.

3. Primena uređaja

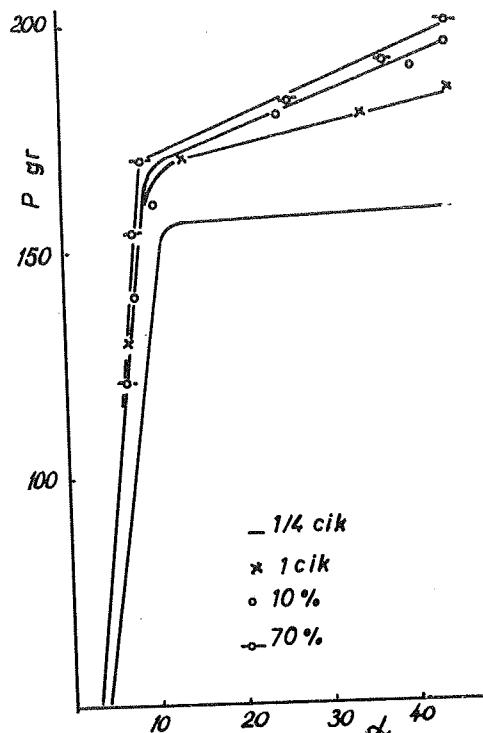
Na uzorcima čelika Č.0145, elektrolitičkog bakra ECu i mesinga Cu90Zn ispitana je mogućnost određivanja zavisnosti $N = f(\varepsilon)$, koja prema utvrđenoj empirijskoj jednačini, tzv. Coffinovom pravilu, glasi: $N^n \varepsilon_r = C$. Uslovi ispitivanja bili su: deformacija - ugao otklona ($\pm \alpha$) od $\pm 10^\circ$ do $\pm 90^\circ$ u intervalima od po 10° ; frekvencija 60 c/min; karakteristika ciklusa - sime-trični naizmenično promenljivi. Rezultati su prikazani na sl.2.



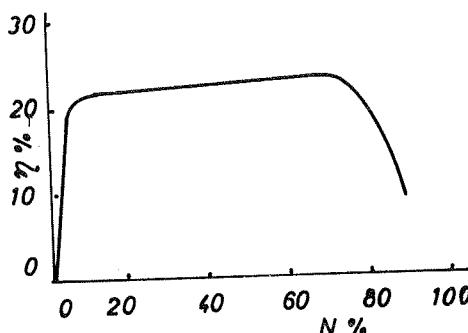
Sl. 2- Zavisnost deformacije, (izražene uglom otklona) i broja ciklusa do preloma N

Prema ovim rezultatima, sve tačke za jedan određeni materijal leže na pravoj čiji koeficijent pravca odgovara približno 0,5. Prema tome, ispitivanje na uredjaju daje rezultate koji u odnosu na Coffinovo pravilo odgovaraju rezultatima postignutim u drugim laboratorijama.

Rezultati merenja ojačavanja prikazani su na slikama 3 i 4.



Sl. 3- Zavisnost opterećenje - ugao otklona za $\alpha = \pm 45^\circ$

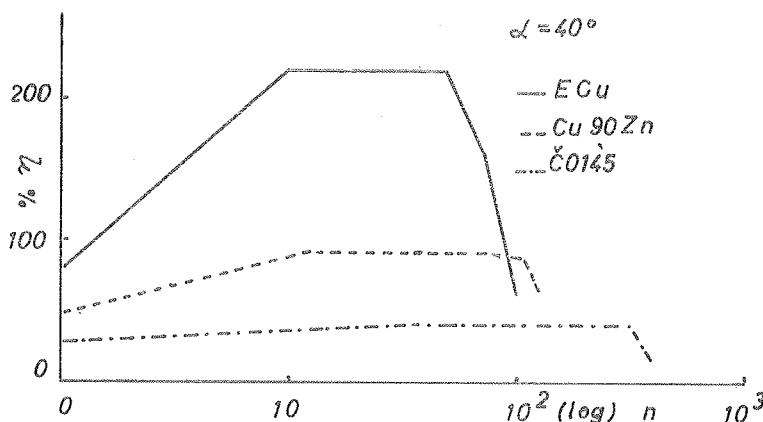


Sl. 5- Promena stepena ojačavanja u zavisnosti od broja ciklusa n

Na slici 3 prikazane su promene u čeliku Č.0145 u toku zamara- nja za ugao otklona $\alpha = \pm 45^\circ$ u koordinatama opterećenje (P) -

deformacija (α), a na slici 4, stepen ojačavanja izračunat na bazi ovih merenja, u zavisnosti od broja ciklusa n . Izgled krive na slici 4 predstavlja tipični oblik krive ojačavanja pri periodično promenljivoj plastičnoj deformaciji, koju karakteriše intenzivno ojačavanje u prvim ciklusima i dugi period stagnacije.

Razlika u intenzitetu i brzini ojačavanja, kao i dužini perioda stagnacije uslovljena različitim karakteristikama materijala, utvrđena uporednim ispitivanjem uzoraka Č.0145, EG Cu i Cu90Zn za ugao $\alpha = \pm 40^\circ$ prikazana je na slici 5. Broj ciklusa do preloma za ugao $\alpha = \pm 40^\circ$ iznosio je: $N_{\text{Č}} = 270$, $N_{\text{Cu}} = 111$ i $N_{\text{Cu90Zn}} = 136$.



Sl. 5- Zavisnost stepena ojačavanja od vrste materijala

Uredjaj se pokazao takodje pogodnim za utvrđivanje histerezisne petlje, merenje Bauschingerovog efekta /9/, merenje uticaja termičkog taloženja u legurama Cu i dr.

Na osnovu dosadašnjih ispitivanja može se konstatovati da je opisani laboratorijski uredjaj za ispitivanje ponašanja metala

pri naprezanju savijanjem dovoljno osetljiv da omogućava praćenje vrlo finih promena u strukturi, da daje reproduktivne i vrlo očigledne rezultate. Prednost mu je jednostavnost izvođenja eksperimenta i izrade epruveta što omogućava serijska ispitivanja i daje sigurnost u tumačenju rezultata.

Želimo da istaknemo da primarna namena ovog uređaja nisu merenja koja se mogu direktno koristiti za konstrukcione svrhe nego da se ispitivanjem u kontrolisanim, laboratorijskim uslovima dobiju kvantitativni podaci za fizičko-metalurško tumačenje mehanizma niskocikličnog zamaranja.

4. Literatura

1. W.A. Wood, S.Me. Cousland, K.R. Sargent, Systematic Micro-structural Changes Peculiar to Fatigue Deformation, *Acta Met.*, 11 (1963) 7, str. 643
2. L.M. Rybakova, R.F. Merenkova, B.M. Rovinskij, Mehanizam plastičeskoj deformacii metallov, Akademija Nauk Ukrainskoj SSR, Kiev, 1965, str. 54
3. R.C. Boettner, C. Laird, A.J. McEvily, Crack Nucleation and Growth in High Strain - Low Cycle Fatigue, *Trans. ALME*, 233 (1965) Feb. str. 379
4. R.P. Wei, A.J. Baker, A Metallographic Study of Iron Fatigued in Cyclic Strain at Room Temperature, *Phil. Mag.* 12 (1965) Nov. str.1005
5. A.T. Price, W.J. Elder, High - Strain Fatigue and Crack Propagation in Type 316 Steel, *J. Iron Steel Inst.*, 204 (1966) 6, str. 594
6. L.F. Coffin Jr., Cyclic Strain - Softening Effects in Metals, *Transactions ASM*, 60 (1967) str. 160
7. P.P. Benham, Testing Machines for High - Strain - Low Endurance Fatigue, *Proc. IME*, 1965-66, 180 (3 A) str.155

8. V. Rastogi, A Machine for Low - Cycle High - Temperature Fatigue Testing, J. Materials, 1 (1966) 4, str. 791
9. D. Mihajlović, Ispitivanje plastičnosti metala i legura kao metoda za proučavanje procesa u kristalnoj rešetci metala, doktorska disertacija, Tehnološko-metalurški fakultet, Beograd, 1965.

A MACHINE FOR MEASUREMENT OF WORK HARDENING OF METALS IN CYCLIC - PLASTIC STRAIN

The design and performances of a low - cycling alternate bending machine is described. The specific feature of this machine is that it enables the direct measurement of work hardening of the sample at any time cycling interval.

The general performances of this machine are:

1. angle of deflection - $\pm 1^\circ$ to $\pm 90^\circ$
2. bending diameter - 2 to 10 mm
3. frequency - 10 to 120 c/min
4. specimens - wire \varnothing 2 mm, band $0,5 \times 8$ mm
5. automatic counting of cycle number
6. measurement of work hardening

Selected results of measurement of copper, brass and mild steel are also given. The machine is a simple and reliable unit for laboratory purposes.

VII SAVETOVANJE PROIZVODNOG MAŠINSTVA, NOVI SAD, 1971.

Z. Smolčić, M. Popović^x

UTJECAJ PUNILA NA TEHNOLOŠKA SVOJSTVA PLASTIČNIH MATERIJALA ^{xx}

I. Uvod

Razmjerno mali modul elasticiteta uobičajenih plastičnih materijala, relativno velike deformacije oblika pri opterećenju i ograničenu mehaničku čvrstoću moguće je poboljšati dodatkom punila, što se naročito često primjenjuje kod izrade masa za prešanje na bazi duroplasta, a poslijednje vrijeme sve više i kod termoplasta.

Dodatak punila duroplastičnoj smoli poboljšava mehanička svojstva, pri čem vrsta punila /kemijski sastav, struktura i porijeklo/ određuje intenzitet nastalih promjena svojstava. Međutim uz navedene prednosti punjenih plastičnih masa, velika im je mana, da je kod izrade velikih dijelova teško postići jednoličnu raspodjelu plastične smole i punila, naročito u slučaju punila s krupnijim česticama, što dovodi do nehomogenosti strukture, zareznog djelovanja i pojava unutarnjih napetosti, što je nepovoljno kod titrajnih opterećenja.

Termoplastičnim masama najčešće se dodaju kao punila staklena vlakna, tvrda maziva i metalni prašci sa svrhom povećanja termičke postojanosti, povišenja čvrstoće i žilavosti, smanjenja upijanja vode, poboljšanja tarnih svojstava, povećanja dimenzionalne stabilnosti i dr. Potpuno je jasno, da se pri tom mora voditi računa o optimalnoj koncentraciji punila. Ispitiva-

^x Zora Smolčić - Žerdik, dipl.ing., izv.profesor Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu.
Magali Popović, dipl. ing., stručni suradnik O K I - TPM, Zagreb i vanjski stručni suradnik Katedre za drvo i nemetalne F S B u Zagrebu

^{xx} Saopštenje iz Katedre za drvo i nemetale Fakulteta strojarstva i brodogradnje, Sveučilišta U Zagrebu, koje se zasniva na rezultatima iz jednog dijela naučnog rada : "Istraživanje u cilju iznalaženja najpogodnijih postupaka za dobivanje sintetskih polimera i intermedijara", koji financira Savezni fond za naučni rad uz učešće industrije.

nja raznih autora pokazala su, da je poboljšanje tarnih svojstava polimernih kompozicija usko povezano s poboljšanjem mehaničkih svojstava materijala.

Medjutim o promjenama trajne i dinamičke čvrstoće polimernih kompozicija imade u literaturi vrlo malo podataka, pa je definiranje tih svojstava uz definiranje statičke čvrstoće i tarnih svojstava upravo cilj ovoga rada, čija realizacija je u toku.

2. Metodika ispitivanja

Polimerne kompozicije na bazi visokomolekularnog polietilena /Hostalen GUR/ pripremane su mehaničkim mješanjem polimernog praha sa ispitivanim punilom u porculanskom laboratorijskom kugličnom mlinu. Ispitivane su ove vrste punila :

- grafit : porijeklo Cejlon; čistoća 99,5 %; veličina zrna iznad 0,056 mm 80%, 0,056-0,050mm 10%, 0,050-0,032mm 10 %.
- molibden disulfid : čistoća 98,5 %, veličina zrna 0,2 do 0,5 mikrona
- željezo, kemijski čisto, dobiveno redukcionim postupkom, prah nepravilnog zrna
- Fe_3O_4 /crni 303 T, BAYER/, veličina zrna 99,5 % ispod 0,032 mm
- silicijev dioksid, čistoća 96,1 %, veličine zrna 15 % iznad 0,056mm, 11 % 0,056-0,045mm, 8 % 0,045-0,032mm, 66 % ispod 0,032 mm

Iz pripravljenih kompozicija prešane su ploče dimenzija 250 x 250 x 3 mm kod temperature 230°C i pritiska 476 atm. Iz ploča su izrezane epruvete za ispitivanje, koje su temperovane u zraku 120 minuta kod temperature 110°C i kondicionirane 7 dana na normalnoj klimi, te podvrgnute ispitivanjima promjene svojstava u ovisnosti o vrsti i koncentraciji punila. Promjena svojstava definirat će se : specifičnom težinom, čvrstoćom na vlek /DIN 53 455/, relativnim istezanjem pri opterećenju na vlek /DIN 53 455/, modulom elasticiteta /DIN 53 455/, tvrdićom s kuglom /DIN 53 456/, postojanošću oblika u toplini po Vicat-u /VDE 0302/, titrajnog čvrstoćom na umaralici za koju je konstrukcija izradjena na katedri u okviru ovog rada /prof.

Dr. ing. Hribar/ i promjenom koeficijenta trenja i otpornosti na habanje pri trenju po čeličnoj ploči.

3. Rezultati ispitivanja

Rezultati do sada izvršenih ispitivanja prikazani su grafički na slikama 1 - 6, a koji omogućuju slijedeći zaključak :

3.1 Karakter i intenzitet promjena svojstava polimernog materijala funkcija je vrste /kemijskog sastava, strukture i oblike čestica/ i količine dodanog punila :

3.1.1 dodatak MoS_2 uzrokuje ove promjene u odnosu na čisti polietilen : porast tvrdoće, povećanje krutosti i termičke stabilnosti, smanjenje istezanja kod opterećenja na vlak. Krivulja čvrstoće na vlak kod loma naglo opada do 20 % MoS_2 , nakon čega poprima približno konstantnu vrijednost, dok krivulja naprezanja kod tačke popuštanja ima minimum kod 5 % MoS_2 i maksimum kod 20 % MoS_2 .

3.1.2 dodatak grafita uzrokuje porast tvrdoće, krutosti i termičke stabilnosti. Vlačna čvrstoća kod loma s porastom koncentracije grafita opada približno po hiperboli, a kod tačke popuštanja se bitno ne mijenja do 25 % grafita. Krivulja istezanja kod loma naglo pada do 5 % grafita, od 5 do 10 % grafita se praktički ne mijenja, a zatim skoro linearne opada do 2,4% za 50 % grafita u polietilenu. Dodatak grafita iznad 50% povećava krutost materijala, tako da postaje tehnički neupotrebiv /lomi se/.

3.1.3 dodatak Fe_3O_4 polietilenu uzrokuje porast tvrdoće i termičke stabilnosti, smanjenje istezanja uz izrazito smanjenje sposobnosti povratnih deformacija /krivulja istezanja kod loma i nakon loma se približuje kod većih koncentracija Fe_3O_4 / . Do cca 30 % Fe_3O_4 konstatiran je polagani porast E-modula, a zatim nagli, tako da kod 50 % Fe_3O_4 dostiže skoro dvostruku vrijednost E-modula za čisti polietilen. Krivulja čvrstoće na vlak opada naglo do koncentracije do cca 20 % Fe_3O_4 , a zatim polaganje, dok krivulja naprezanja kod tačke popuštanja ima minimum kod 20 % Fe_3O_4 , a zatim izrazito raste.

3.1.4 dodatak čistog željeza uzrokuje porast tvrdoće do 5 % Fe, nakon čega do cca 20 % Fe tvrdoća pada, da zatim ponovo raste.

E-modul se praktički ne mijenja do 30 % Fe. Istezanje opada tek kod koncentracija većih od 20 % Fe. Krivulja čvrstoće na vlasti naglo opada do 10 % Fe, zatim raste i ima maksimum kod 20 % Fe, nakon čega ponovo naglo opada. Naprezanje kod tačke popuštanja do 20 % Fe opada, a zatim polagano raste. Termička stabilnost s povećanjem sadržaja željeza tek neznatno raste do 25 % Fe, nakon čega nešto brže.

3.1.5. dodatak SiO₂ uz 5 % grafita uzrokuje porast tvrdoće do 10 % SiO₂, od 10 do 20% SiO₂ tvrdoća je skoro konstantna, nakon koje koncentracije naglo raste. Iznad 20 % SiO₂ dolazi do naglog porasta termičke stabilnosti. Vlačna čvrstoća kod loma opada s porastom koncentracije silicijevog dioksida približno po hiperboli, a kod tačke popuštanja naglo opada do cca 15 % SiO₂, nakon čega aproksimira vrijednosti od 180 kp/cm². Istezanje kod opterećenja na vlasti naglo opada s povećanjem koncentracije SiO₂, kao i sposobnost povratnih deformacija. Porast koncentracije SiO₂ uzrokuje porast krutosti.

3.2 Iz tačke 3.1 slijedi da su optimalne koncentracija ispitivanih punila za visokomolekularni polietilen na osnovu ispitivanja statičkih mehaničkih svojstava i postojanosti oblika u toplini :

grafit	5 - 10 %
MoS ₂	10 - 15 %
Fe ₃ O ₄	iznad 20 %
Fe	iznad 20 %
SiO ₂ + grafit	10 % + 5 %

3.3 Ako se na temelju dobivenih rezultata izvrši analiza nosivosti vlačnog štapa težine 1 p/cm slijedi tabela 1.

Analizom tabele 1. može se utvrditi da i male težine mogu podnijeti velike sile. Ako se vrijednosti za PE-kompozicije iz tabele 1. usporede sa vrijednostima za Alu-legure, vidljivo je da unatoč povećanja krutosti punjenog polietilena u odnosu na čisti PE nije postignuto povećanje nosivosti, već smanjenje i da je nosivost 3 - 7,5 puta manja nego kod Alu-legura.

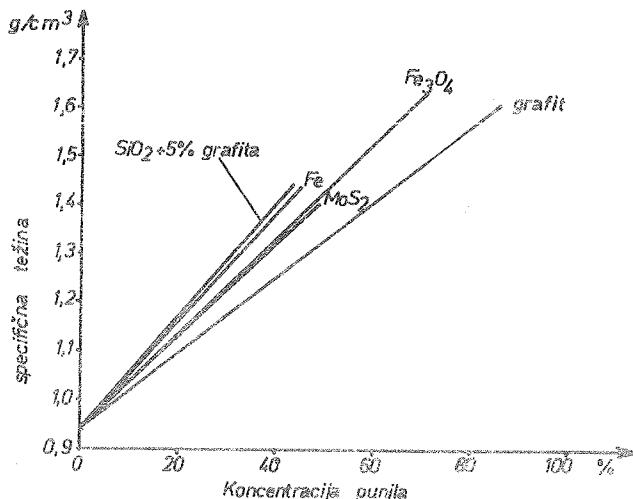
Stoga je primjena visokomolekularnog polietilena, čistog ili punjenog opravdana samo kada njegova specifična svojstva osiguravaju izrazitu prednost pred metalnim materijalima, na pr. kada se zahtjeva fleksibilnost strojnog dijela, otpornost M.37.04.

prema abrazivnom trošenju, visoka sposobnost prigušivanja titraja itd. Dodatak punila polietilenu ima opravdanje kada se želi povećati tvrdoča, krutost i termička stabilnost, a smanjiti istezanje, pri čem se uvjek mora računati s određenim padom prekidne vlačne čvrstoće i nosivosti sa povećanjem koncentracije punila.

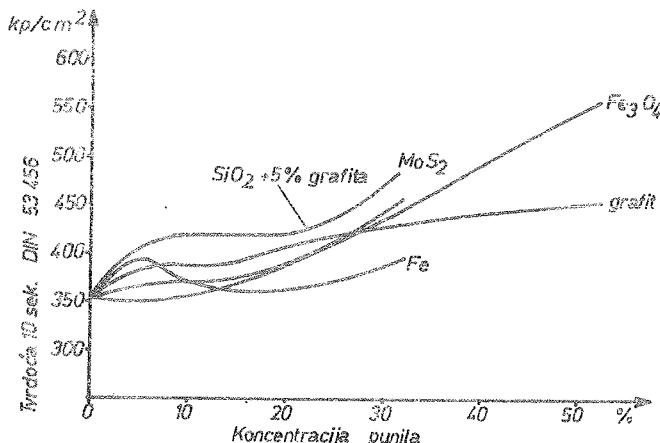
Tabela 1. - Sposobnost nosivosti vlačnog štapa težine 1 p/cm za PE-kompozicije

Kompozicija	E-modul kp/cm ²	Vlačna čvrstoća kp/cm ²	Sp.tež. p/cm ³	Nosivost kp	A ^X cm ²	Istezanje za F=1 cm ² mm/m
PE, čisti	7929	440	0,936	470	1,07	12,6
PE + 5%grafita	7890	227	0,957	247	1,09	12,7
10% "	8568	221	1,006	219	0,99	11,7
15% "	10193	207	1,045	198	0,96	9,8
20% "	10516	202	1,085	186	0,92	9,5
25% "	11514	191	1,125	170	0,89	8,7
50% "	15815	187	1,327	141	0,75	6,3
PE+ 5%MoS ₂	8102	308	0,992	311	1,01	12,3
10% "	8559	316	1,028	307	0,97	11,7
20% "	10210	235	1,122	209	0,89	9,8
30% "	11049	237	1,233	193	0,82	9,1
PE+10% Fe	8178	260	1,045	249	0,96	12,2
20% "	8305	310	1,155	269	0,87	12,1
30% "	8254	244	1,271	192	0,97	12,1
PE+10% Fe ₃ O ₄	8483	311	1,047	297	0,95	11,8
20% "	9144	273	1,142	239	0,88	10,9
50% "	15544	234	1,425	164	0,70	6,5
PE+ 5%grafita						
+10% SiO ₂	9067	218	1,052	207	0,95	11,0
20% "	9651	196	1,170	167	0,85	10,4
30% "	11429	177	1,285	138	0,78	8,7
Alu-legura	750000	280C	2,650	1040	0,37	0,13

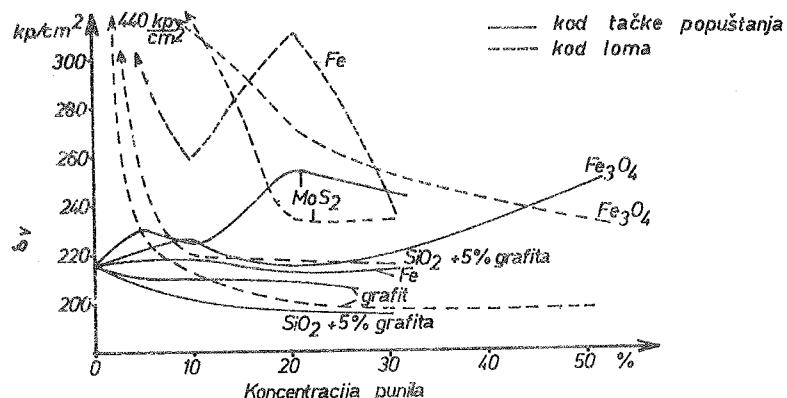
A^X ekvivalentni pesjak za vlačni štap 1 p/cm



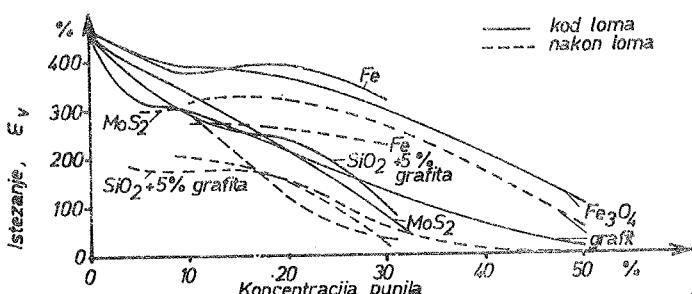
Slika 1.- Porast specif. težine s povećanjem koncentracije punila u polietilenu v.m. (f0,936)



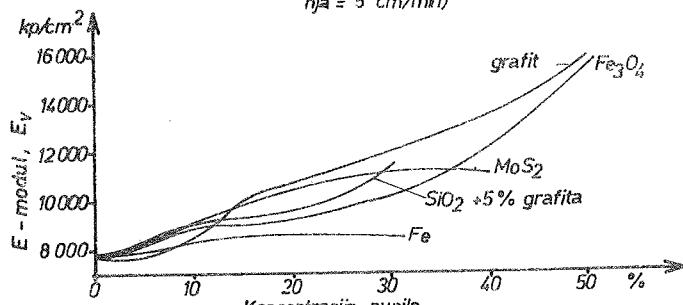
Slika 2. - Ovisnost tvrdoće polietilen v.m. - kompozicija o vrsti i koncentraciji punila (F=13,5 kp)



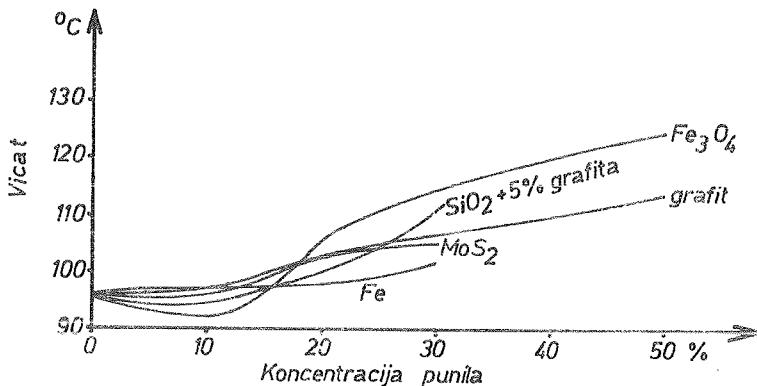
Slika 3. - Čvrstoća na vlak polietilen v.m.- kompozicija u ovisnosti o vrsti i koncentraciji punila (brzina istezanja=5 cm/min)



Slika 4. - Istezanje kod opterećenja na vlak za polietilen v.m.- kompozicije u ovisnosti o vrsti i koncentraciji punila (brzina istezanja = 5 cm/min)



Slika 5. - E -modul (kod vlaka) polietilen v.m.- kompozicija u ovisnosti o vrsti i koncentraciji punila (brzina istezanja = 0,5 cm/min)



Slika 6. - Postojanost oblika u toplini po Vicat-u polietilen v.m.- kompozicija u ovisnosti o vrsti i koncentraciji punila

4. Literatura

1. Plastični materijali za klizne ležaje, Nauka, Moskva 1965
2. Chapmann F.M.: Properties and applications of reinforced Teflon ; Machine Design, 1958, 30, 148
3. D.C.Mitchell, G.Pratt : Friction, Wear and physical properties of some filled PTFE bearing materials ; Proc. Conf. on Lubrication and Wear, London, 1-3 Octobar, 1957, p 416
4. G.Schulz : Die Kunststoffe, München, 1959
5. H.Hagen : Glasfaserverstärkte Kunststoffe, Berlin, 1961
6. R.D. Voronkov : Ležaji suhog trenja, Mašinostrojenie, Leningrad, 1968

Z.Smolčić-Zerdik, M.Popović

Über den Einfluss von Füllstoffen auf die technologischen Eigenschaften von Kunststoffen

In dieser Mitteilung werden die Prüfergebnisse über den Einfluss einiger Füllstoffe /fester Schmierstoffe, Metallpulver und anorganischer Oxyde/ auf die statische Festigkeit von hochmolekularem PE sowie eine Analyse der Tragfähigkeit der geprüften Kunststoff-Füllstoff Kompositionen gegeben. Die Prüfergebnisse sind graphisch dargestellt.

Die angeführten Prüfergebnisse stellen einen Teil der bisher im Rahmen der cit. Forschungsarbeit ausgeführten Versuche über den Einfluss thermischer, chemischer und mechanischer Interventionen in polymeren Systemen /Kunststoffen/ auf die Struktur derselben sowie auf ihre mechanisch-technologischen Eigenschaften dar.



