

<https://doi.org/10.24867/JPE-1989-06-029>

ORIGINALNI NAUČNI RAD

D. Kakaš, L. Šidjanin, V. Bajić*

UTICAJ POLAZNOG STANJA ČELIKA ZA RAD NA TOPLO NA REZULTATE TERMIČKE OBRADÉ

Rezime

U radu je prikazan uticaj polaznog stanja čelika Č.4751 na rezultate termičke obrade dobijenih u sonim kupatilima, pećima sa kontrolisanom atmosferom i vakuum pećima. Najpovoljniji rezultati su dobijeni pri termičkoj obradi u sonim kupatilima, što se može objasniti optimalnim uslovima hladjenja zbog upotrebe termalne kupke.

Medjutim, iako su postignuti značajniji rezultati u pogledu žilavosti, ni sa jednim postupkom se ne mogu postići uobičajeni rezultati žilavosti definisani u svetu jer polazno stanje strukture čelika je ne adekvatno.

THE INFLUENCE OF INICIAL MICROSTRUCTURE OF DIES CASTING STELL ON HEAT TREATMENT RESULTS

Summary

This paper presents the influence of the initial microstructure of dies casting steel Č.4751, on the heat treatment results, which were obtained by the furnace with controled atmosphere, vacuum furnace and salt baths. The best results were got with salt bath specimens, as result of the optimume cooling rate conditions.

However the results of the thoughness obtained from the specimens treated in salt baht were never as good as the results suggested by standards, because the initial steel microstructure was not appropriate.

*Dr Damir Kakaš, doc.; Dr Leposava Šidjanin, doc.; Mr Vladimir Bajić, asistent
Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad,
V. Perića-Valtera 2.

1. U V O D

Razvoj alata za rad na toplo u velikoj meri zavisi od kvaliteta čelika. Pri tome odlučujuću ulogu na izbor optimalnog materijala imaju radni uslovi alata, tako da će u ovom izlaganju osnovna pažnja biti posvećena problemima alata za livenje pod pritiskom.

Alati za livenje pod pritiskom izloženi su kompleksnom delovanju mehaničkih i toplotnih napona, kao i eroziji, koroziji, toplotnom zamoru, temperaturnom šoku i drugim uticajima. Primena novih aluminijumskih legura u mašinstvu sa sve višom proizvodnošću mašina, postavljaju pred materijal alata sve strožije zahteve. Istovremeno se traže sve trajniji alati radi smanjenja troškova proizvodnje.

Problem kvaliteta kod ovih alata u velikoj meri zavisi od rezultata termičke obrade, ali i od polaznog stanja i vrste čelika. Na primeru čelika Č.4753 jasno se može ilustrovati kako proces hladjenja pri kaljenju utiče na žilavost i duktilnost, kao vrlo značajne karakteristike /1/.

Brzo hladjenje

Žilavo

- A. Otpušteni martenzit - bez karbida
- B. Donji beinit - bez karbida
- C. Otpušteni martenzit + karbidi po granicama zrna
- D. Otpušteni martenzit + beinit + karbidi po granicama zrna
- E. Gornji geinit + veliki karbidi

Sporo hladjenje

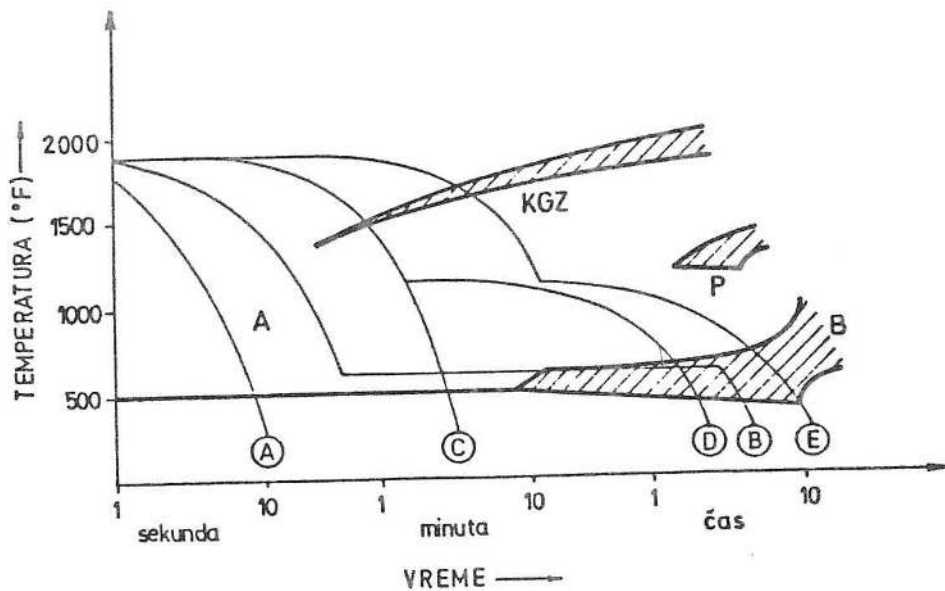
Krto

Na proces hladjenja pri kaljenju u velikoj meri utiče tip opreme u kojoj se vrši samo hladjenje. Na sl. 1. su prikazane različite krive hladjenja u grafikonu transformacije za čelik Č.4753 gde su sa različitim slovima od A do E označene brzine hladjenja koje se mogu ostvariti u različitoj opremi.

Na bazi saznanja stečenih uvidom u savremenu svetsku literaturu može se konstatovati da su trenutno u svetu dominantna dva pravca razvoja materijala za alate za livenje pod pritiskom:

- usavršavanje postojeće koncepcije materijala i stvaranje "premium kvaliteta" kod već poznatih čelika
- razvoj potpuno novih kvaliteta čelika

Strukture koje se dobiju u toku procesa hladjenja jako zavise i od vrste čelika za rad na toplo, odnosno pre svega od hemijskog sastava materijala ali i način proizvodnje čelika.



Sl.1.

Kod alata za livenje čija je radna temperatura relativno niska, standardni kvalitet čelika Č.4751 uglavnom zadovoljava u pogledu postojanosti alata. Medjutim, kod alata za livenje aluminijumskih legura, gde su radne temperature povišene (500-600°C), mogu se pojaviti površinske prsline u vidu mreže već nakon relativno kratkog trajanja eksploatacije - čak ispod 10.000 ciklusa livenja.

Konkretan problem drastičnog skraćenja veka trajanja alata, relativno složene konfiguracije, bio je povod za raspravu šta je glavni uzrok ove pojave:

1. Uslovi eksploatacije
2. polazno stanje materijala
3. postupak termičke obrade

Provera uslova livenja je odmah isključila uslove eksploatacije kao razlog za brzu pojavu mreže površinskih prslina. Stoga je dalja pažnja bila koncentrisana na istraživanje medjusobnog uticaja procesa termičke obrade i polaznog kvaliteta materijala.

2. OSNOVNI ZAHTEVI VEZANI ZA KVALITET MATERIJALA Č.4751

Pored standrdom propisanog hemijskog sastava, čelik pre svega mora da ima i sledeće karakteristike:

- a) čistoću
- b) homogenost
- c) strukturu žarenja.

U pogledu čistoće važno je postići odgovarajući nizak nivo sadržaja sumpora 0,005%, kao i smanjenje broja i dimenzija nemetalnih uključaka. Pri tome su oksidi nešto manje štetni od sulfida, naročito u pogledu smanjenja transferzalnih osobina - žilavosti i duktilnosti. Snižanje sadržaja nečistoća se uglavnom rešava pretapanjem čelika pod šljakom /EPŽ) ili pretapanjem u vakuumu.

U pogledu homogenosti potrebno je pre svega sniziti, odnosno eliminisati trakavost strukture, u sve tri pravca. Takodje je veoma značajno smanjiti broj i veličinu primarnih eutektičkih karbida.

Žarenjem polufabrikata postiže se željena polazna mikrostruktura čelika za rad na toplo, kao najvažniji kriterijum kvaliteta materijala, tako da su u svetu razradjeni različiti standardi za ocenu prihvatljivosti strukture čelika /3/ putem definisanja stepena razbijenosti granice primarnog austenitnog zrna sa izdvojenim proeutektičkim karbidima /4/.

Veoma značajn podatak o polaznom kvalitetu materijala je veličina udarne žilavosti. Npr. kod čelika H13, koji odgovara našem čeliku Č.4753, žilavost iznosi:

Vrsta	Žilavost u transverzalnom pravcu u % od žilavosti u uzdužnom Površina	Centar
Konvencionalni H13	40-50	20-30
EPŽ pretopljeni H13	70-80	60-70

3. POSTUPCI TERMIČKE OBRADJE

Termička obrada alata za rad na toplo u principu se sastoji iz sledećih operacija:

a) Stabilizaciono žarenje - postupak žarenja koji ima zadatak da smanji unutrašnje napone u alatu a sa ciljem da se izbegnu deformacije ili čak opasnost od pucanja alata u toku procesa kaljenja.

b) Kaljenje - koje sadrži tri delikatne faze, od kojih svaka ima izuzetan uticaj na rezultate termičke obrade.

Prva faza je proces zagrevanja do temperature austenitizacije, gde se preporučuje dvostepeno predgrevanje, prvo na 550°C - 600°C , a drugo na 850°C . Brzine zagrevanja kao i trajanje zadržavanja na temperaturi predgrevanja uglavnom zavise od vrste opreme, dimenzija i složenosti oblika alata.

Druga faza je proces austenitizacije koji se odvija na određenoj temperaturi ($1020^{\circ}\text{C}\pm 40^{\circ}\text{C}$) pri čemu trajanje procesa ima veliki značaj za rezultate kaljenja. Previsoke temperature i predugo držanje na temperaturi austenitizacije izazivaju povećanje zrna i izlučivanje karbida po granicama zrna, što omogućava postizanje veće tvrdoće ali istovremeno smanjuje žilavost. Prekratko trajanje i preniske temperature onemogućavaju homogenizaciju austenita što smanjuje tvrdoću alata i temperaturu na kojoj se vrši otpuštanje. Očigledno da na ovu fazu procesa kaljenja značajan uticaj ima i homogenost materijala u polaznom stanju.

Uticaj treće faze je prikazan na slici 1. Osnovni problem se sastoji u tome da način izvodjenja procesa hladjenja uglavnom zavisi od tipa uredjaja u kojem se vrši termička obrada, tako da npr. postupak izotermalnog kaljenja u sonim kupkama ne može biti primenjen kada se termička obrada vrši u vakuumskoj peći. Prema našim iskustvima, sa aspekta kvaliteta alata i smanjenja opasnosti od pucanja pri hladjenju, najpovoljnije je alat nakon austenitizacije hladiti određeno vreme u rastopu soli, iznad M_s temperature, a zatim hladjenjem na vazduhu postići strukturu martenzita sa minimumom izlučenih karbida po granicama zrna.

c) Otpuštanje - ima trostruku funkciju u pogledu postizanja optimalnih osobina alata.

Prvo otpuštanje treba da omogući postizanje visoke sekundarne tvrdoće, usled izlučivanja karbida koji moraju biti što finiji i što ravnomernije dispergovani. Najpovoljniji slučaj nastaje kada se izluče karbidi tipa MC, što povišuje otpornost materijala ka otpuštanju na radnoj temperaturi alata.

Drugo otpuštanje treba da omogući postizanje unapred zadate tvrdoće koja se bira u zavisnosti od funkcija alata, a najčešće kod ovog čelika iznosi oko 46 HRC.

Treće otpuštanje ima prvenstveni cilj da otkloni unutrašnje napone nastale nakon termičke obrade i završnog poliranja (ili brušenja), sa čime se povišava trajnost alata i smanjuje sklonost ka nastanku makroprslina.

Rezultati termičke obrade jako zavise od tipa uređaja, odnosno sredine u kojoj se vrši proces zagrevanja i hladjenja. Osnovni tipovi uređaja su:

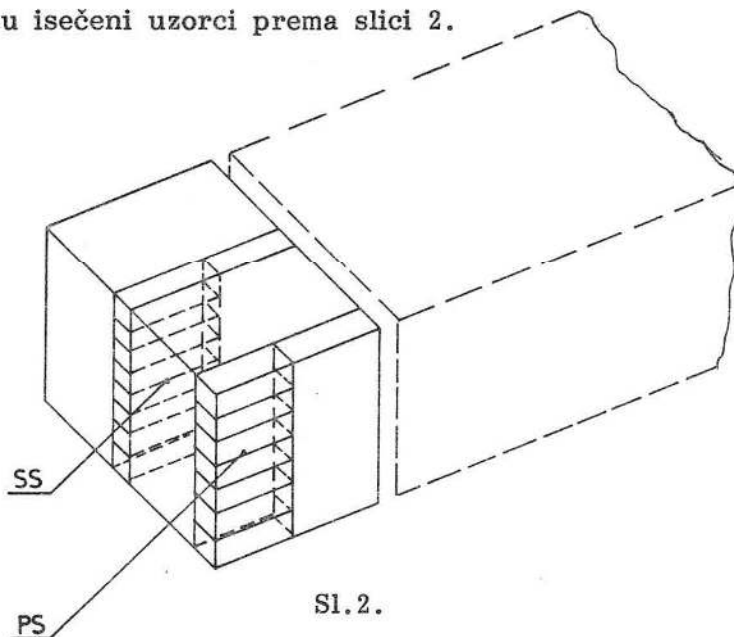
- sona kupatila
- peći sa kontrolisanom atmosferom
- vakuum uređaji

Svaki od ovih tipova uređaja ima prednosti i nedostatke, tako da smo u istraživanju uporedili rezultate dobijene korišćenjem sve tri vrste uređaja uz variranje parametara procesa.

4. POSTAVKA EKSPERIMENTA

Istraživanje je vršeno na čeliku Č.4751 (Utop Mo1)

- uzorak ploča A sa dimenzijom 96x196x296 u mm
- Iz ploče su isečeni uzorci prema slici 2.



Sl. 2.

Pri ispitivanju korišćene su dve vrste uzoraka: uzorak 10x10x55 (ep-ruveta za ispitivanje žilavosti) i kocka sa stranicom koja je bila jednaka debljini ploče iz koje je isečena.

Na uzorcima su vršena sledeća ispitivanja:

- hemijska analiza (u centru i na površini)
- ispitivanje mehaničkih osobina (žilavost i tvrdoća)
- metalografska analiza (analiza preloma i strukture).

Termička obrada uzoraka je vršena po tri osnovne varijante: u peći sa kontrolisanom atmosferom, u sonom kupatilu i vakuum peći sa variranjem trajanja austenitizacije i vremenu zagrevanja. Pre termičke obrade izvršeno je

stabilizaciono žarenje na 630^oC zbog smanjenja napona.

Varijanta 1.

Radjeno je u peći sa zaštitnom atmosferom u industrijskim uslovima:

- | | | |
|--|--------------------|------------------|
| a) I predgrevanje | 700 ^o C | 5 časova |
| b) II predgrevanje | 840 ^o C | 2 časa |
| c) Kaljenje sa 1020 ^o C sa zadržavanjem | | 2 časa |
| d) Hladjenje posle kaljenja vršeno je u tri faze u trajanju od | | 2 časa i 40 min. |
| - u retorti sa cirkulacijom azota | | |
| - na mirnom vazduhu | | |
| - izjednačenje temperature šarže u retorti od 150 ^o C | | |
| e) I otpuštanje na | 540 ^o C | 2 časa |
| f) II otpuštanje na | 580 ^o C | 2 časa |
| g) III otpuštanje na | 590 ^o C | 6 časova. |

Varijanta 2.

Radjena je u sonom kupatilu za epruvete 10x10x55.

- | | | |
|--|---------------------|--------|
| a) I predgrevanje | 400 ^o C | 4 časa |
| b) II predgrevanje | 840 ^o C. | 15 min |
| c) kaljenje sa 1020 ^o C | | 10 min |
| d) hladjenje u term.kupki na a zatim na mirnom vazduhu | 550 ^o C | |
| e) I otpuštanje na | 550 ^o C | 90 min |
| f) II otpuštanje na | 615 ^o C | 60 min |

Varijanta 3.

Radjeno je u vakuum pećima a uzorak je bio u obliku kocke.

- | | | |
|--|---------------------|----------|
| a) I predgrevanje na | 650 ^o C | 6 časova |
| b) II predgrevanje na | 850 ^o C | 2 časa |
| c) kaljenje sa | 1020 ^o C | 3,5 časa |
| d) Hladjenje u struji inertnog gasa do | 150 ^o C | 45 min. |
| e) I otpuštanje na | 610 ^o C | 8 časova |

5. REZULTATI I DISKUSIJA

5.1. Rezultati hemijske analize

	U Z O R A K	
	položaj PS	položaj SS
C%	0,4	0,41
Si%	1,0	1,01
Cr%	5,25	5,39
Mo%	1,25	1,29
V%	0,35	0,37
Mn%	0,37	0,38
P%	0,015	0,016
S%	0,019	0,019

Hemijska analiza je vršena pomoću kvantometra na pločicama isečenim u zoni površine (PS) i u zoni sredine ploče (SS). Nisu uočljive značajnije razlike u pogledu hemijskog sastava na površini i prema sredini ispitivane ploče, a nema ni odstupanja od poprečnog hemijskog sastava.

5.2. Rezultati ispitivanja mehaničkih osobina

Izvršeno je ispitivanje udarne žilavosti po Šarpiju na epruvetama sa V zarezom, kao i merenje tvrdoće. Merenja su vršena na uzorcima sa polaznom strukturom i termički obradjenom stanju. Epruvete su isecane iz površinskog dela kocke i u zoni sredine kocke odnosno ploče.

Polazno stanje materijala ploče

Mesto isecanja	oznaka epruvete	VH ₃₀	Žilavost J	srednja vrednost žilavosti J
Zona površine	P2	247	34,3	
Zona površine	P5	250	32,4	33,36
Zona površine	P7	251	33,4	
Zona sredine	S1	247	26,5	
Zona sredine	S5	250	25,0	25,33
Zona sredine	S6	248	24,5	

Termički obradjeno po Varijanti 3.

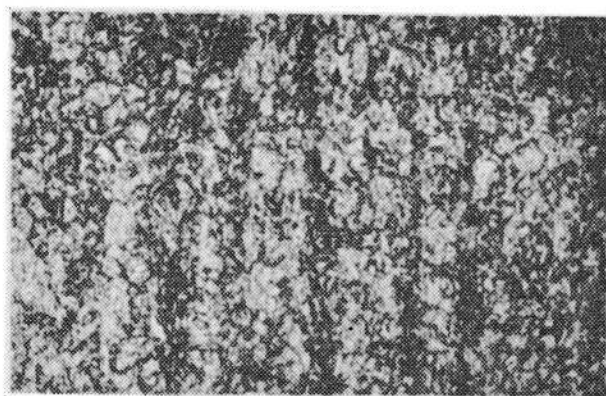
Tip epruvete	Mesto isecanja	oznaka epruvete	Tvrdoća HRC	Žilavost J	srednja vrednost J
Kocka	zona površine	P21-1		7,6	
	zona površine	P21-2	39-42	7,0	7,4
	zona površine	P21-3		7,7	
	zona sredine	S21-1		6,4	
	zona sredine	S21-3	39-41	6,8	6,8
	zona sredine	S21-4		7,1	

Na osnovu rezultata ispitivanja mehaničkih osobina koji su dati u prethodnim tabelama može se konstatovati da izborom procesa termičke obrade možemo bitno uticati na rezultate termičke obrade, ali da nemožemo postići nivo uobičajenih vrednosti žilavosti od na primer 25 J za tvrdoću nakon otpuštanja na 45 HRC. Isto tako se pokazalo da se odredjenim variranjem brzine zagrevanja i trajanja austenitizacije ne može bitno povisiti žilavost koja je dobijena za definisani tip opreme, odnosno za definisani postupak termičke obrade.

5.3. Rezultati metalografske analize

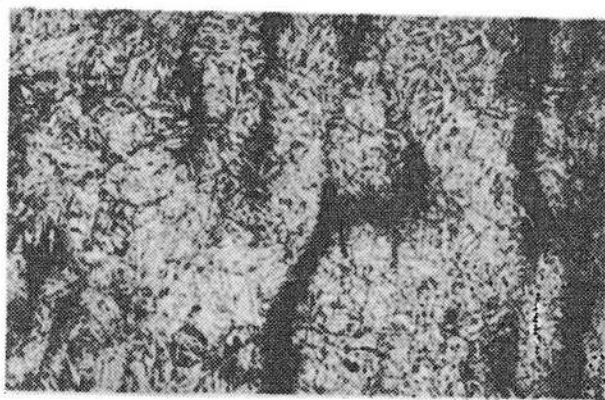
Struktura polaznog stanja materijala

Struktura polaznog stanja materijala je prikazana na slikama 3. do 5.



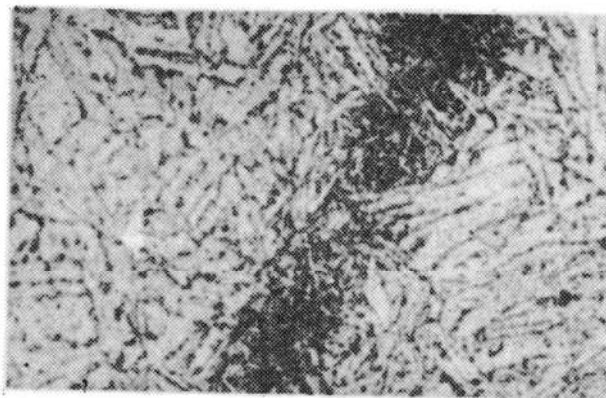
Sl. 3.

100x



Sl. 4.

100x



Sl. 5. 500x

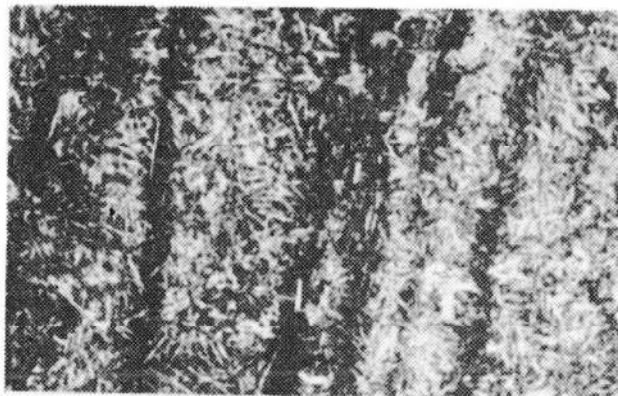
U ispitivanim uzorcima istovremeno su prisutni nemetalni uključci tipa A-2, B-3, D-2 i C-3. Gustina nemetalnih uključaka po preseku je povećana.

Struktura metalne osnove na poprečnom i uzdužnom preseku se sastoji iz ferita i koaguliranih karbida koji su izlučeni neravnomerno kako u feritnim zrnima tako i po granicama feritnih zrna. Većina feritnih zrna ima igličastu orijentaciju.

Pored toga i na uzdužnom i na poprečnom preseku prisutna je mikrosegregacija karbida u vidu traka. Segregacija je jače izražena na poprečnom preseku.

Metalografska analiza strukture i preloma uzoraka kaljenih po varijanti 1.

Rezultati ispitivanja su prikazani na slikama 6-9.



Sl. 6. 100x



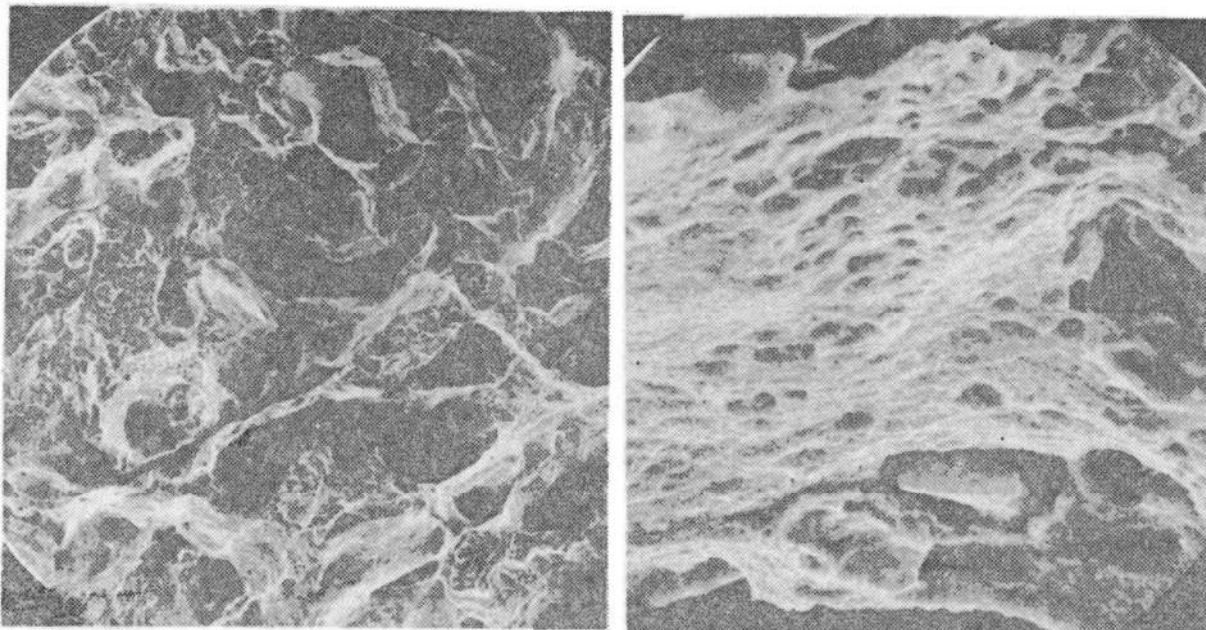
Sl. 7. 500x

Termički obradjeno po Varijanti 1.

Mesto isecanja	oznaka epruvete	HRC	Žilavost (J)	srednja vrednost žilavosti(J)
Zona površine kocke	KP ₁	42	9,3	7,6
	KP ₃	43	7,8	
	KP ₅	43	5,8	
Zona sredine kocke	KS ₂	43	6,4	5,85
	KS ₃	43	5,4	
	KS ₅	44	5,8	

Termički obradjeno po Varijanti 2.

Tip uzorka	Mesto isecanja	oznaka epruvete	HRC	Žilavost(J)	srednja vrednost žilavosti(J)
Epruvete 55x10x10 mm	Zona površina	P ₁	46,5	18,7	18,4
		P ₃	46,0	18,7	
		P ₆	47,0	17,7	
	Zona sredine	S ₂	45,0		12,7
		S ₄	45	8,8	
		S ₇	46	16,7	
Kocka	Zona površine	PJ1	47,5	11,0	7,8
		PJ2	48	7,8	
		PJ3	48	5,4	
		PJ4	46	5,4	
		PJ5	47	9,6	
	Zona sredine	SJ1	48	7,8	6,4
		SJ2	49	5,8	
		SJ3	48	7,1	
		SJ4	48	5,7	
		SJ5	47,5	5,7	



Sl. 8. 200x

Sl. 9. 3000x

Pored nemetalnih uključaka, već napomenutih i na uzdužnom i na poprečnom preseku prisutna je mikrosegregacija. Struktura metalne osnove je nehomogena pretežno se sastoji iz gornjeg beinita sa efektima izlučenih karbida u procesu otpuštanja. Pored gornjeg beinita prisutne su i zone otpuštenog martenzita sa izlučenim karbidima. Analiza preloma pokazuje da je lom mešovitog karaktera. Preovladjuje kruti interkristalni lom. Na pojedinim interkristalnim površinama prisutne su sitne i krupnije jamice, tj. jamica od izlučenih karbida u zoni beinitne strukture i delimično zbog nemetalnih uključaka. Pored interkristalnog loma prisutne su i zone transkristalnog loma sa zonama kvazicepanja - karakterističan za strukturu otpuštenog martenzita.

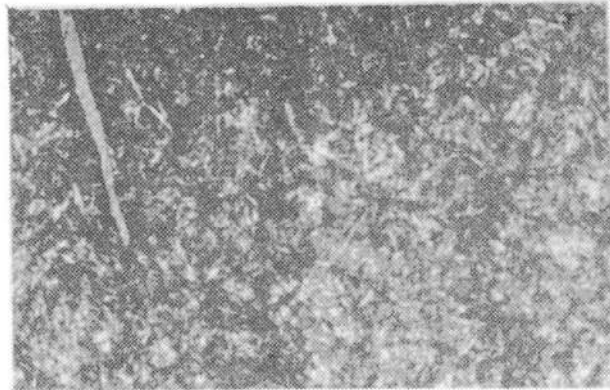
Metalografska analiza strukture i preloma uzoraka kaljenih po varijanti 2.

Rezultati ispitivanja su prikazani na slikama 10.-12.

Pored pomenutih nemetalnih uključaka, struktura metalne osnove je struktura otpuštanja, a sastoji se iz otpuštenog martenzita.

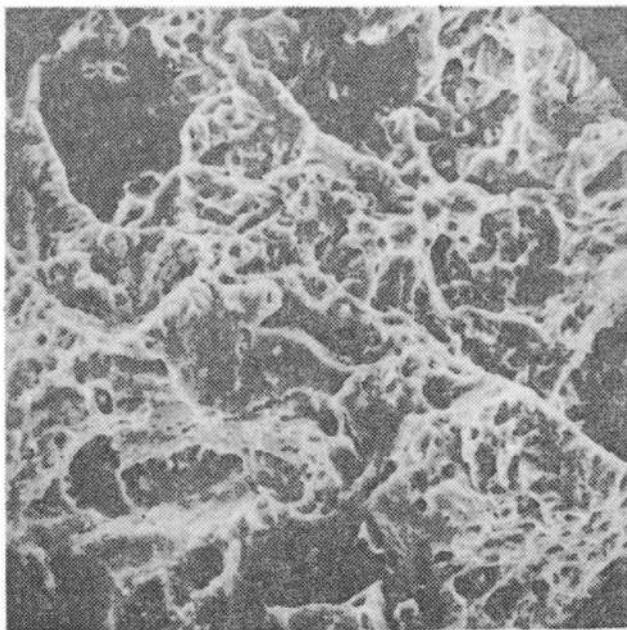
Analiza prelomljene površine pokazuje da je lom mešovitog tipa - transkristalni i interkristalni. Preovladjuje transkristalni lom. Zone transkristalnog loma su duktilne zone i sastoje se iz duktilnih jamica, posledica izlučivanja finih karbida tipa MC. U tim zonama transkristalnog loma pojavljuju

se i zone interkristalnih površina što pokazuje da se u čeliku javio delimično efekat interkristalne krtosti.



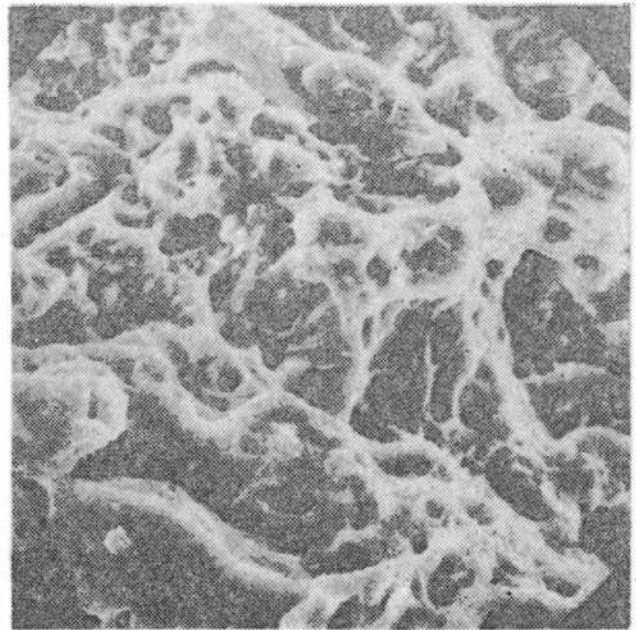
Sl.10.

500x



Sl.11.

1200x



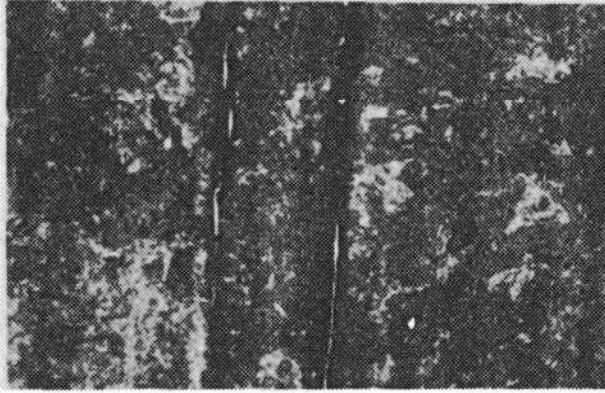
Sl.12.

3000x

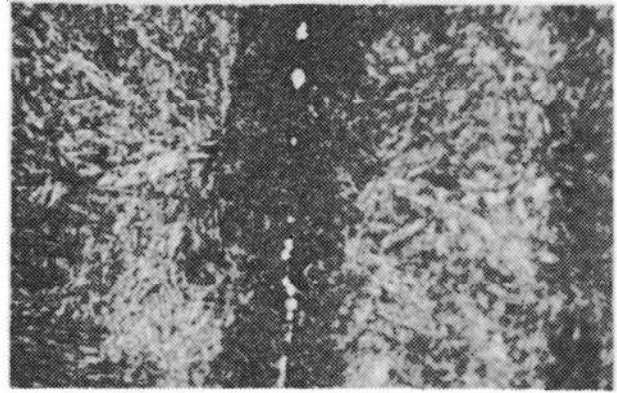
Metalografska analiza strukture preloma uzoraka kaljenih po varijanti 3.

Rezultati ispitivanja su prikazani na slikama 13.-16.

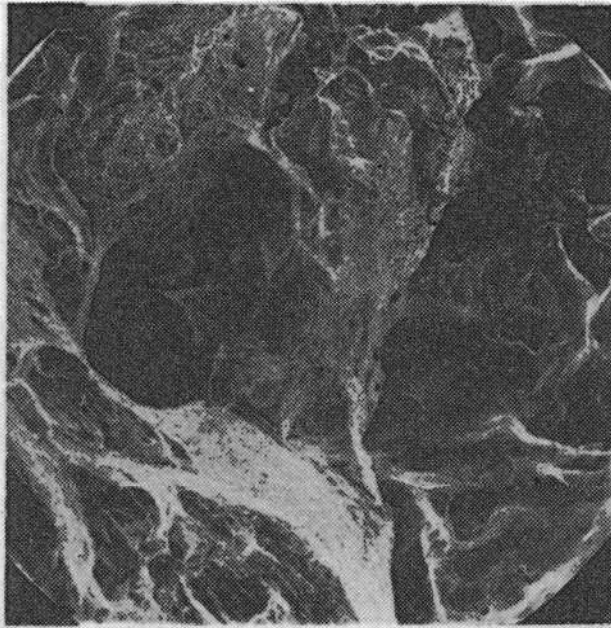
Pored nemetalnih uključaka tipa A-3 struktura metalne osnove je segregirana u vidu traka. Struktura otpuštanja u tim trakama morfološki se razlikuje. Pored sitnih izlučenih sekundarnih karbida prisutni su i veći karbidi izlučeni po granicama predhodnih austenitnih zrna.



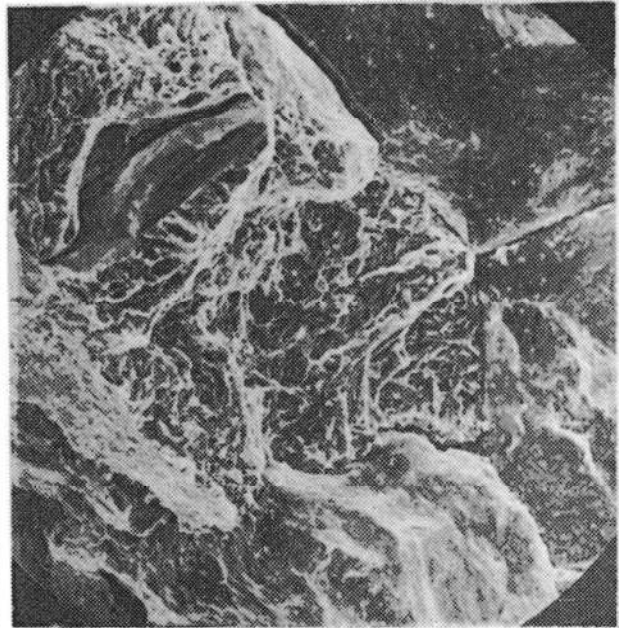
Sl. 13. 100x



Sl. 14. 500x



Sl. 15. 150x



Sl. 16. 500x

Karakter preloma je mešoviti, interkristalni i transkristalni. Interkristalni lom u pojedinim delovima je potpuno krt sa ravnim površinama nastalim na granicama predhodnih austenitnih zrna, a na drugim mestima, te interkristalne površine su pokrivene duktilnim jamicama.

U zonama transkristalnog loma postoje zone čistog duktilnog loma sa sitnim jamicama i zone sa kvazicepanjem.

Rezultati metalografskog ispitivanja polazne strukture (sirovo stanje) ukazuje da je stepen mikrosegregacije izražen kako na površini tako i po dubini ploče. Ovaj tip strukture spada u red neprihvatljivih struktura po

preporukama American Die Casting Institute.

Posebno je značajno istaći prisustvo veće količine nemetalnih uključaka.

Struktura uzoraka dobijena nakon termičke obrade po različitim varijantama pokazuje da mikrosegregacija koja je postojala u polaznom stanju nije otklonjena termičkom obradom pa u tim strukturama imamo prisutne različite zone, od zone gornjeg beinita sa izlučenim karbidima, do zone otpuštenog martenzita na istom uzorku.

Morfologija prelomljenih površina pokazuje da se tip loma potpuno slaže sa rezultatima žilavosti.

Najpovoljniji tip preloma je dobijen kod termičke obrade u sonim kupatilima, mada i ovde ima prisustva zona interkristalnog loma.

6. ZAKLJUČAK

Rezultati koji su prezentirani u ovom radu ukazuju na problem koji je prisutan u mnogim pogonima termičke obrade alata - kako definisati stepen odgovornosti termičke obrade za pad kvaliteta alata.

Na ovom primeru je pokazano da određene greške u polaznom stanju čelika (iako je zadovoljen zahtev za kvalitet čelika po JUS-u) bitno utiču na smanjenje kvaliteta termički obradjenog alata, ali u različitom stepenu, zavisno od postupka i opreme koji su korišćeni.

Najpovoljniji rezultati su dobijeni pri termičkoj obradi u sonim kupatilima, što se može objasniti optimalnim uslovima hladjenja, zbog upotrebe termalne kupke.

Iako su postignute značajne razlike u pogledu žilavosti, ni sa jednim postupkom se ne mogu postići uobičajeni rezultati žilavosti koja se dobija kod dobrog polaznog stanja čelika (kako ga definišu u svetu).

7. LITERATURA

- /1/ Wallace J.: Die Casting Management, Mart-April, 1986, strane 16-21.
- /2/ Gaven J.A., Norstrom L.A., Worby J.: Proceeding - 12 th International Die Casting Congress and Exploatation, Paper No G-T83-011, 1983.
- /3/ Nichols h.: Die Casting Engineer, Januar-Fabruar, 1988, str.12.
- /4/ Roberts W., Norström L.A.: Proceeding - 14 th International Die Casting Congress, 1987 (Paper No G-T87-009).