

ZBORNİK RADOVA

- **PREDGOVOR**
- **SPONZORI**
- **POČASNI ODBOR**
- **NAUČNO-STRUČNI ODBOR
„PROCESINGA 2010“**
- **ORGANIZACIONI ODBOR
„PROCESINGA 2010“**
- **NAUČNO-STRUČNI ODBOR
„ZAVARIVANJA 2010“**
- **ORGANIZACIONI ODBOR
„ZAVARIVANJA 2010“**
- **ORGANIZACIONI I
STRUČNI ODBOR
„IBR-a 2010“**
- **ORGANIZATORI**
- **PROGRAM**
- **SADRŽAJ**

ZBORNİK RADOVA

Dvadeset treći međunarodni kongres o procesnoj industriji

PROCESING 2010

Dvadeset šesto savetovanje sa međunarodnim učešćem

ZAVARIVANJE 2010

Dvadeset šesto savetovanje sa međunarodnim učešćem

IBR 2010

(Tara, 2-4 jun 2010)

Izdavači

Savez mašinskih i elektrotehničkih
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS)

Sekcija za procesnu tehniku

Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd

Društvo za unapređivanje
zavarivanja u Srbiji (DUZS)
Grčića Milenka 67, 11000 Beograd

Srpsko društvo za ispitivanje
bez razaranja (SDIBR)
Grčića Milenka 67, 11000 Beograd

Glavni urednik

Ilija Kovačević, dipl. inž.

Uređivački odbor

dr Dejan Radić, dipl. inž.,

dr Vencislav Grabulov, dipl. inž.,

mr Đurđija Čašić, dipl. inž.

Kompjuterska priprema

„Kvartet V“, Beograd

Štampa

„NO-KAČI“, Beograd

Tiraž

400 primeraka

*Ministarstvo za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije i
Inženjerska komora Srbije finansijski su pomogli
organizovanje savetovanja „Zavarivanje 2010“*

PREDGOVOR

Pozitivni komentari učesnika, odjek iz privrede, promovisanje struke kroz osamnaest plenarnih predavanja od ukupno sto četrnaest, kao i impozantan broj od tri stotine učesnika iz zemlje i inostranstva, ponovo su udružili, Savez mašinskih i elektrotehničkih inženjera i tehničara Srbije (SMEITS), Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji (DUZS) i Srpsko društvo za ispitivanje bez razaranja (SDIBR) u želji da zajednički organizuju svoje tradicionalne skupove i da na taj način zajednički ostvaruju postavljene ciljeve:

- *objedinjeno razmatranje komplementarne problematike („Procesinga 2010“, „Zavarivanja 2010“ i „IBR 2010“);*
- *da na jednom mestu, u isto vreme i sa jednom kotizacijom stručnjaci jednog preduzeća učestvuju na tri respektabilna naučno-stručna skupa;*
- *dopunjavanje tematskih oblasti koje omogućava učesnicima da slede logičan niz u životu jednog proizvoda (projekta, izrade - zavarivanja, ispitivanja, puštanja u rad, održavanja, popravke itd.);*
- *da radovi koji se pripremaju za skup budu sa tematikom iz svakodnevnog inženjerskog rada, kako bi se omogućilo učesnicima da reše ili dobiju ideju kako da reše konkretne probleme iz prakse;*
- *povećanje broja učesnika i članstva u SMEITS-u, DUZS-u i SDIBR-u;*
- *međusobno povezivanje učesnika, privrednih društava i organizatora kongresa odnosno savetovanja u cilju promovisanja struke i stalnog poslovnog kontakta u periodima između dva skupa;*
- *da zajedničko savetovanje postane embrion organizovanja budućih regionalnih skupova.*

Sa željom da kvalitet rada skupa podignu na viši nivo, organizacioni i naučno-stručni odbori sva tri skupa su nakon prispeća i razvrstavanja radova napravili plan skupa koji podrazumeva zajednička plenarna izlaganja svih radova u istoj sali, osim šest radova za koje su se naučno-stručni odbori odlučili da budu prezentirani na posterima.

Na ovom disku su kompletni radovi pisani za sva tri skupa. Disk se uručuje učesnicima „trojnog“ skupa zajedno sa štampanim zbornikom rezimea (na srpskom i engleskom) tih radova. Pored osnovnih informacija o skupu - naziva pokrovitelja i sponzora, sastava odbora, programa skupa i oglasnog dela, na disku je i prednacrt „Pravilnika o tehničkim uslovima za obavljanje delatnosti punjenja, transporta, skladištenja i distribucije boca sa tehničkim gasovima“, kome je u programu skupa posvećen okrugli sto.

U Beogradu, maja 2010.

*ORGANIZACIONI ODBORI
„Procesinga 2010“,
„Zavarivanja 2010“,
„IBR 2010“*

Dvadeset treći međunarodni kongres
o procesnoj industriji
PROCESING 2010

Dvadeset šesto savetovanje sa međunarodnim učešćem
ZAVARIVANJE 2010

Dvadeset šesto savetovanje sa međunarodnim učešćem
IBR 2010

održavaju se pod pokroviteljstvom
Ministarstva rudarstva i energetike
Republike Srbije

Ministarstva za nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije
Ministarstva ekonomije i regionalnog razvoja Republike Srbije
Sekretarijata za energetiku i mineralne
sirovine AP Vojvodine
Privredne komore Srbije
Inženjerske komore Srbije

SPONZORI



BACCO

Beograd

 **delta inženjering**

Beograd



Rumunija



Zagreb, Hrvatska



**EVEREST
SERVICES**

Beograd



Beograd



Bečež



Messer Tehnogas AD

Beograd



METAL
INSPEK DOO

Beograd

MIP

Procesna oprema d.o.o.

Čuprija



Novi Sad



Beograd

SGS

Beograd



Beograd



Beograd

ZAVOD ZA ZAVARIVANJE a.d

POČASNI ODBOR

Ernst Bode	Messer Tehnogas , Beograd
Marinko Bokić	EuroGas , Subotica
Nicolae Crunteanu	Ductil - Air Liquide Welding , Rumunija
Miroslav Cvetičanin	Remming , Novi Sad
Branko Cvetković	Bacco , Beograd
Vencislav Grabulov	Društvo za unapređivanje zavarivanja u Srbiji , Beograd
Branko Grbić	Delta inženjering , Beograd

Nenad Ilibašić *Everest services*, Beograd
Branislav Jačimović *Mašinski fakultet*, Beograd
Aleksandar Jakovljević *JP EPS*, Beograd
Slobodan Janjušević *Kirka - SURJ*, Beograd
Slobodan Macedonić *Linde Gas Srbija - Industrija gasova*,
 Bečej
Tomislav Papić *Sekretarijat za energetiku APV*,
 Novi Sad
Milutin Prodanović *Ministarstvo rudarstva i energetike RS*,
 Beograd
Dragoljub Radojičić *Srpsko društvo za ispitivanje bez*
razaranja, Beograd
Milena Radujković *ELIMP, Zagreb*, Hrvatska
Aleksandar Stanković *SAGAX*, Beograd
Goran Sofronić *Zavod za zavarivanje*, Beograd
Miodrag Stojiljković *SMEITS*, Beograd
Slobodan Stošić *MIP - Procesna oprema*, Čuprija
Dragoslav Šumarac *Inženjerska komora Srbije*, Beograd
Miomir A. Todorović *Privredna komora Srbije*, Beograd
Dimitrije Voronjec *Mašinski fakultet*, Beograd

NAUČNO-STRUČNI ODBOR „PROCESINGA 2010“

Gradimir Ilić *Mašinski fakultet*, Niš
Ioan Laza *Mašinski fakultet*, Temišvar, Rumunija
Slobodan Macedonić *Linde Gas Srbija*, Bečej
Dejan Radić *Mašinski fakultet*, Beograd
 (predsednik Odbora)
Miroslav Stanojević *Mašinski fakultet*, Beograd

ORGANIZACIONI ODBOR „PROCESINGA 2010“

Aleksandar Dedić *Šumarski fakultet*, Beograd
Aleksandar Enbulajev *BGA*, Beograd
Srbislav Genić *Mašinski fakultet*, Beograd
Ilija Kovačević *Pro-ING*, Beograd
 (predsednik Odbora)
Zoran Nikolić *Messer Tehnogas*, Beograd
Aleksandar Petrović *Mašinski fakultet*, Beograd
Vukašin Simeunović *Toplana*, Kraljevo
Aleksandar Stanković *SAGAX*, Beograd
Slobodan Stošić *MIP - Procesna oprema*, Čuprija
Dragomir Šamšalović *SMEITS*, Beograd
Dejan Vračar *Babcock borsig power usluge*, Beograd

NAUČNO-STRUČNI ODBOR „ZAVARIVANJA 2010“

Milica Antić *Zavod za zavarivanje*, Beograd
Katarina Gerić *FTNS*, Novi Sad
Vencislav Grabulov *Institut za ispitivanje materijala*,
 Beograd (predsednik Odbora)
Vukić Lazić *Mašinski fakultet*, Kragujevac
Zoran Odanović *Institut za ispitivanje materijala*,
 Beograd
Aleksandar Radović *DUZS*, Beograd
Aleksandar Sedmak *Mašinski fakultet*, Beograd

ORGANIZACIONI ODBOR

„ZAVARIVANJA 2010“

Vera Božić *DUZS*, Beograd
Aleksandar Đorđević *Messer Tehnogas*, Beograd
Vencislav Grabulov *Institut za ispitivanje materijala*,
Beograd
Vladimir Lilić *Weld-ing*, Beograd
(predsednik Odbora)
Branislav Lukić *Institut za zaštitu
na radu*, Novi Sad
Dragan Mišković *REFIT INŽENJERING*, Beograd
Dragan Mitić *Zavod za zavarivanje*, Beograd
Ana Nanut *HIP „Petrohemija“*, Pančevo

ORGANIZACIONI I

STRUČNI ODBOR

„IBR-a 2010“

Đurdija Čašić *Institut „Vinča“*, Beograd (predsednik
Odbora)
Ljiljana Dunderski *JP „Srbija gas“*, Zrenjanin
Aleksandar Jakovljević *JP EPS*, Beograd
Nenad Marković *Goša*, Smederevska Palanka
Vesna Peruničić *Termoelektro*, Beograd
Dragoljub Radojčić *Kontrol inspekt*, Beograd
Goran Sofronić *Zavod za zavarivanje*, Beograd

ORGANIZATORI

„PROCESING 2010“

Savez mašinskih i elektrotehničkih
inženjera i tehničara Srbije (SMEITS),
Sekcija za procesnu tehniku
Kneza Miloša 7a/II, 11000 Beograd
Tel. +381 (0) 11 3230-041, +381 (0) 11 3031-696,
tel./faks +381 (0) 11 3231-372
E-mail: office@smeits.rs,
web: www.smeits.rs

Savetovanje „ZAVARIVANJE 2010“

Društvo za unapređivanje
zavarivanja u Srbiji (DUZS),
Grčića Milenka 67, 11000 Beograd
Tel./faks +381 (0) 11 2850-794
E-mail: duzs@eunet.rs,
web: www.duzs.org.rs

Savetovanje „IBR 2010“

Srpsko društvo za ispitivanje
bez razaranja (SDIBR),
Grčića Milenka 67, 11000 Beograd
Tel. +381 (0) 11 2851-079,
faks +381 (0) 11 2850-648
E-mail: zzzgo1@eunet.rs,
web: www.sdibr.org.rs

VI. Osnovne operacije, aparati i mašine u procesnoj industriji

37. BRZINA TEČNOSTI PRI INVERZNOJ FLUIDIZACIJI U BARBOTAŽNOJ KOLONI SA KONCENTRIČNOM CEVI
Dragica Z. Jovičević, Ivana M. Šijački,
Milenko S. Tokić i Predrag S. Kojić
38. KORELISANJE PRELAZA TOPLOTE PRI KONTAKTNOJ KONDENZACIJI NA SEGMENTNIM PODOVIMA
Branislav M. Jaćimović, Srbislav B. Genić i Ljubiša A. Vladić
39. FORMIRANJE VRTLOGA UNUTAR DUBOKIH CAVITY (ŠUPLJINA) PRIMENOM LATTICE BOLTZMANN METODE
Nataša Lj. Lukić, Jelena Đ. Marković,
Predrag M. Tekić i Jelena B. Rađenović
40. ANALIZA STRUJANJA FLUIDA I FORMIRANJA VRTLOGA IZMEĐU DVE NERAVNE PLOČE PRIMENOM NUMERIČKIH METODA
Jelena Đ. Marković, Nataša Lj. Lukić,
Predrag M. Tekić i Jelena B. Rađenović
41. UTICAJ DODATKA ALKOHOLA I TIPA DISTRIBUTORA NA HIDRODINAMIKU BARBOTAŽNE KOLONE SA KONCENTRIČNOM CEVI
Milenko S. Tokić, Predrag S. Kojić,
Ivana M. Šijački i Dragica Z. Jovičević
42. ANALIZA SLIČNOSTI PROCESA IZMENA TOPLOTE I MASE U MAGLENOJ KOMORI KLIMATIZACIONOG UREĐAJA
Šefik M. Bajamak
43. TESTIRANJE GASNO NEPROPUSNOG OBJEKTA PRIMENOM DIFUZIONOG - EFUZIONOG MATEMATIČKOG MODELA ZA ODREĐIVANJE KOEFICIJENTA PROPUŠTANJA D_u
Slobodan Rackov i Slobodan Ristić

RADOVI NA ZAVARIVANJU 2010

I. Konvencionalni i nekonvencionalni postupci zavarivanja

44. ZAVARIVANJA I REZANJE METALA PODVODNOM TEHNOLOGIJOM
S. Ju. Maksimov, V. S. But, O. I. Oleinik i D. Bajić
45. ELEKTROLUČNO ZAVARIVANJE POPUNJAVAJUĆOM ELEKTRODOM
G. V. Kuzmenko i D. Bajić
46. TEHNOLOGIJA ORBITALNOG ZAVARIVANJA CJEVOVODA PRIMJENOM AKTIVIRAJUĆEG TOPITELJA
S. Ju. Savitsky, D. Bajić, M. M. Savitsky,
V. N. Vashchenko, A. F. Lupan i Ju. M. Skrabaliuk

47. UTICAJ PARAMETARA FSW POSTUPKA ZAVARIVANJA NA KVALITET ZAVARENOG SPOJA ALUMINIJUMSKE LEGURE 5052
Miroslav Mijajlović, Aleksandar Živković, Dragan Milčić i Igor Radisavljević
48. KOMPARACIJA METODA KONAČNIH ELEMENATA I METODA KONAČNIH VOLUMENA NA PROBLEMU JEDNODIMENZIONOG NESTACIONARNOG PRENOSA TOPLOTE
E. Džih, S. Isić i S. Pašić

II. Osnovni, dodatni i pomoćni materijali

49. ANALIZA KVALITETA ZAVARENOG SPOJA ČELIKA X10CrNiMoTi18.10 DOBIJENOG ZAVARIVANJEM ELEKTRODOM PIVA 18/8/6B
Ž. Blečić, A. Vukosavljević, D. Blečić, V. Grabulov i I. Nikolić
50. ZAVARIVANJE I NAVARIVANJE POD PRAŠKOM - NOVOSTI
Jožica Cankar, Marjan Bregant i Mojca Šolar
51. KISELA ILI RUTILNA OBLOGA NA ELEKTRODI ZA REL POSTUPAK VARENJA?
Z. Karastojković, Z. Kovačević, Z. Janjušević i N. Bajić
52. OPTIMIZACIJA REŽIMA ZAVARIVANJA KORIŠĆENJEM TOPITELJA
D. Bajić, M. M. Savitsky i Ž. Blečić
53. STRUKTURA METALA ŠAVA I ZUTA DOBIJENA SA PUNJENOM ŽICOM MAG POSTUPKOM
Nikola Bajić, Vera Šijački-Žeravčić, Marko Rakin i Slobodan Stojadinović
54. TEORIJSKO-EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE BRZINE HLAĐENJA PRI NAVARIVANJU KOVAČKIH ALATA I UTICAJ TE BRZINE NA KORISNE OSOBINE NAVARIVANIH ALATA
Vukić Lazić, Milorad Jovanović, Ružica Nikolić, Srbislav Aleksandrović, Božidar Krstić i Milan Mutavdžić
55. OCENA ZAVARLJIVOSTI I IZBOR NAJPOVOLJNIJEG POSTUPKA I TEHNOLOGIJE ZAVARIVANJA ČELIKA POVIŠENE JAČINE WELDOX 700
Milorad Jovanović, Vukić Lazić, Petar Marinković, Branislav Nedeljković, Srbislav Aleksandrović i Dragan Milosavljević

III. Integritet konstrukcija i osiguranje kvaliteta

56. TRIBOLOŠKE KARAKTERISTIKE I MIKROSTRUKTURNA SVOJSTVA NAVARENIH SLOJEVA SA NAJMANJOM I NAJVEĆOM OTPORNOŠĆU NA HABANJE
M. Perović, D. Veljić i A. Živković

**TEORIJSKO-EKSPERIMENTALNO ODREĐIVANJE BRZINE
HLAĐENJA PRI NAVARIVANJU KOVAČKIH ALATA I UTICAJ TE
BRZINE NA KORISNE OSOBINE
NAVARIVANIH ALATA**

**THEORETICAL-EXPERIMENTAL DETERMINATION OF THE COOLING
RATE AND ITS INFLUENCE ON PROPERTIES OF THE HARD-FACED
FORGING DIES**

**VUKIĆ LAZIĆ, MILORAD JOVANOVIĆ, RUŽICA NIKOLIĆ,
SRBISLAV ALEKSANDROVIĆ I BOŽIDAR KRSTIĆ,
MAŠINSKI FAKULTET, KRAGUJEVAC, I
MILAN MUTAVDŽIĆ,
PREDUZEĆE ZA PUTEVE „KRAGUJEVAC“, KRAGUJEVAC**

U ovom radu je izložen pregled uslova rada kovačkih alata, osobina navarivanih materijala, metodologije izbora optimalne tehnologije navarivanja i dodatnog materijala. Prikazani su i eksperimentalni rezultati uticaja režima navarivanja na izlazne osobine navarenih kovačkih alata. U prvom redu, određivana je brzina hlađenja u kritičnom temperaturskom intervalu faznih promena i praćen njen uticaj na tvrdoću i mikrostrukturu, tj. uspostavljena je veza između ulaznih i izlaznih karakteristika korišćenjem odgovarajućih (raspoloživih) transformacionih dijagrama za dati čelik.

Ključne reči: *reparatura; navarivanje; temperaturski ciklusi;
vreme hlađenja – $t_{8/5}$; kovački alati*

This paper presents a review of the forging dies operating conditions, properties of the hard-faced materials, methodology of selecting the optimal hard-facing technology and filler metals. It also presents the experimental results about the hard-facing regime influence on output properties of the hard-faced forging dies. Primarily, the cooling rate over the critical temperature range of phase transformations was determined and its influence on hardness and micro structure was monitored, i.e., the relationship was established between the input and output characteristics by the application of the corresponding (available) transformation diagrams for the considered steel.

Key words: *repairs; hard-facing; temperature cycles; cooling time – $t_{8/5}$; forging dies*

1. USLOVI RADA KOVAČKIH ALATA

Kovački alati su u toku rada izloženi mnogobrojnim cikličnim udarnim opterećenjima na povišenim temperaturama, što posle određenog vremena rada dovodi do oštećenja gravure tako da se alat mora zameniti ili reparirati. Statistička ispitivanja oštećenih alata [1, 7, 10, 16] pokazala su da glavni uzroci njihovog povlačenja iz eksploatacije mogu biti: promena dimenzija i oblika gravure zbog trenja i habanja, prsline po celom alatu zbog termičkog zamora i mikroprsline izazvane dejstvom koncentratora napona.

Habanje izazvano dejstvom udarno-pritisnih opterećenja karakteriše se pojavom deformacija i povećanog trenja, kao i prsline na određenoj dubini od radnih površina. Mogu se

pojaviti i zamorne prsline, takođe na određenoj dubini ispod površine.

Habanje nastalo na povišenim temperaturama je posledica oksidacije, stvaranja kovarine na visokim temperaturama, pada mehaničkih osobina na površinskim slojevima, što uz delovanje termičkog zamora dovodi do porasta sopstvenih napona i najzad do razaranja površine. Ubrzano habanje površina alata koji rade na povišenim temperaturama ispoljava se karakterističnim prslinama i čak krunjenjem usled termičkog zamora. Faktori koji utiču na termički zamor su: termo-fizičke osobine materijala (termička provodnost, specifična toplota i koeficijent termičkog linearnog širenja), geometrija dela (veličina, oblik, vrsta površine) i osobine materijala (mehaničke, hemijske, strukturne).

Nepovoljno deluju termički naponi izazvani temperaturnim gradijentom, a takođe i strukturni naponi koji su zavisni od hemijskog sastava čelika, kinetike promene austenita, odnosno brzine hlađenja. Pod uticajem ciklične promene termičkih napona, mogu nastati inicijalne prsline na površini materijala.

Analizom promene fizičkih osobina alatnih čelika u procesu termo-mehaničkog zamora, utvrđeno je da razaranje materijala nastaje u tri faze: prvo pada jačina, zatim nastaje nagomilavanje dislokacija i najzad pojava prsline. U prvoj fazi, povišena temperatura dovodi do spontane termičke obrade otpuštanja što prouzrokuje pad jačine i tvrdoće čelika, kao i porasta udela karbida i njihove koagulacije. U drugoj fazi nastaje proces plastične deformacije na hladno što dovodi do ojačanja materijala. U trećoj fazi, odlučujući uticaj ima koagulacija karbida i nagomilavanje defekata kristalnih rešetki što stvara inicijalne prsline od već postojećih pora i mikroprsline. Ako postoji mogućnost dejstva dislokacionih mehanizama za stvaranje zamornih prsline onda su u brojnim slučajevima inicijatori tih prsline površinski zarezi, greške u materijalu tehnološkog porekla (uvaljani oksidi, mikroprsline na međufaznim granicama tvrdih faza i plastične osnove, nemetalni uključci, krte faze) [1, 7, 8, 10, 16].

U konkretnom slučaju analizirali smo kovačke alate namenjene za izradu delova u automobilskoj i kamionskoj industriji. Pri dužem praćenju alata u eksploatacionim uslovima uočeno je da "otkaz" (povlačenje alata iz eksploatacije) mogu nastati iz sledećih razloga:

- povećanja dimenzija otkovaka zbog istrošenosti matrice,
- deformacije tankozidnih delova kalupa (rebra, trnovi),
- pojave vidljivih prsline na pojedinim delovima matrice i
- lokalnih lomova.

2. MATERIJALI ZA IZRADU ALATA ZA RAD NA TOPLO I NJIHOVE OSOBINE

Ovde je reč o alatima koji rade na povišenim temperaturama do oko 600°C, a izloženi su većim statičkim pritiscima ili udarnim opterećenjima. Dodaci Cr, W, V i Mo, kao i povećan sadržaj ugljenika (0.3-0.6% C) daju dobru prokaljivost neophodnu za veće preseke alata kao i za zadržavanje visoke tvrdoću i na povišenim temperaturama [1, 7].

Kao najčešće primenjivani materijali ovde se navode dva tipična čelika za kovačke alate: Č5742 (JUS) - 56NiCrMoV7 (DIN) - namenjen za kovačke kalupe svih vrsta i Č4751 (JUS) - X38CrMoV51 (DIN) - namenjen prvenstveno za livačke alate neželeznih metala. Navedeni čelici se najviše koriste za proizvodnju automobilskih i kamionskih otkovaka ("Zastava Kovačnica" a. d., Kragujevac). Hemijski sastav, mehaničke osobine i mikrostruktura ovih čelika dati su u tablicama 1 i 2 [1].

Tablica 1. Hemijski sastav i uporedne oznake Č5742 i Č4751

Red br.	Oznaka po JUS-u	Hemijski sastav, %									Veza sa drugim standardima	
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	DIN	UNI
1.	Č5742	0.55	0.3	0.7	0.035	0.035	1.1	1.7	0.5	0.12	56NiCrMoV7	U52NiCrMo6KU
2.	Č4751	0.40	1.0	0.4	0.025	0.025	5.0	-	1.3	0.4	X38CrMoV5	UX35CrMo05K

Tablica 2. Mehaničke osobine i mikrostruktura Č5742 i Č4751

Red. br.	Oznaka po JUS-u	Meko žarenje			Otpuštanje			Temperatura predgrevanja (formula Seferijana)	Mikrostruktura O.M.
		T, °C	HV _{max}	R _m , MPa	T, °C	HRC	R _m , MPa		
1.	Č5742	670-700	250	850	400-700	50-30	1700-1100	≈ 300	M + B (međufazna)
2.	Č4751	800-830	250	850	550-700	50-30	1700-1100	≈ 300	M + B (međufazna)

Pošto spomenuta Kovačnica upotrebljava kovačke alate u termički poboljšanom stanju (kaljenje i visoko otpuštanje), to se svi eksperimentalni uzorci-modeli podvrgavaju gore navedenoj termičkoj obradi, koja odgovara eksploatacionim uslovima. Na izabranim uzorcima-modelima merena je tvrdoća posle termičke obrade i ona se kretala od 40-42 HRC za Č5742. Ovi uzorci (debljine 7.4 i 29 mm) navarivani su pak posle predgrevanja, s ciljem da se smanji sklonost gore navedenih čelika ka zakaljivanju ($C > 0.35\%$). Temperatura predgrevanja računski je određivana prema formuli Seferijana [6, 8, 9] i ona se kretala od $T_p = 286^\circ\text{C}$ za $s = 7.4 \text{ mm}$ do $T_p = 305^\circ\text{C}$ za $s = 29 \text{ mm}$. Usvojena je pri tome $T_p \approx 300^\circ\text{C}$ [1, 12, 13, 14]. Realne temperature predgrevanja kontrolisane su merenjem pre početka navarivanja (vidi tab. 5 i 6).

Dugotrajnim praćenjem u radu čelika za kovačke alate došlo se do zaključka da najmanju otpornost na termički zamor u temperaturskoj oblasti 200-760°C imaju materijali sa većim sadržajem volframa; zamena tog legirajućeg elementa molibdenom popravlja otpornost čelika prema prslinama. Hrom takođe popravlja otpornost čelika u stepenu zavisnom od sadržaja volframa. Legiranje niklom po pravilu ne doprinosi povećanju otpornosti na termički zamor. Otpornost čelika na termički zamor smanjuje se povećanjem sadržaja ugljenika ($C > 0.3\%$). Mangano uglavnom popravlja otpornost na termički zamor [1, 7].

3. IZBOR TEHNOLOGIJE I DODATNOG MATERIJALA

Navarivanje izabranih uzoraka izvedeno je u Laboratoriji za mašinske materijale i tehnologiju zavarivanja Mašinskog fakulteta u Kragujevcu korišćenjem obloženih elektroda. Tehnološki parametri navarivanja određeni su prema [1, 3, 4, 15, 16], a navarivanje je izvedeno sa jednim, dva i tri prolaza da bi se procenio uticaj razblaživanja i utvrdilo u kom se sloju postižu osobine navara deklarisanе od strane proizvođača elektroda. Merena je brzina navarivanja pri svakom prolazu, a takođe je pre nanošenja svakog narednog sloja, proveravana temperatura predgrevanja, odnosno međuprolazna temperatura (interpass). Za njeno merenje korišćen je digitalni merni uređaj Tastoherm D1200 (sa termoparom NiCr-NiAl mernog opsega od -50 do 1200°C).

Kao dodatni materijal korišćene su visokolegirane bazične elektrode UTOP 38 (E3-UM-40T Ø3.25 mm - DIN 8555) i UTOP 55 (E6-UM-60T Ø5.00 mm - DIN 8555). One su namenjene za navarivanje alata, kao što su: utopi, čelični kalupi, matrice i trnovi za presovanje. Navari izvedeni ovim elektrodama su žilavi, otporni prema habanju i udarnom opterećenju.

Tvrdoća navara je prema našim ispitivanjima, postojana do temperature otpuštanja od $T_{otp} \approx 570^{\circ}\text{C}$ [1, 12, 13], a prema preporukama proizvođača elektroda do 600°C [17-SŽ Fiprom].

Pre upotrebe, elektrode su sušene po režimu: zagrevanje u peći do temperature $350\text{-}400^{\circ}\text{C}$, držanje 2 h na temperaturi sušenja i hlađenje u peći u toku 1 h pri čemu temperatura nije pala ispod 150°C . Tako zagrejane elektrode su korišćene za navarivanje predgrejanih uzoraka, čime se znatno snižava količina unetog vodonika i umanjuje opasnost od vodonikom indukovanih prslina.

U tablicama 3 i 4 dati su parametri navarivanja (struja navarivanja niža je za oko 10% od preporučene za zavarivanje), kao i osobine dodatnog materijala [1, 6, 9, 12, 13, 14, 16, 17-SŽ Fiprom].

Tablica 3. Parametri navarivanja REL postupkom

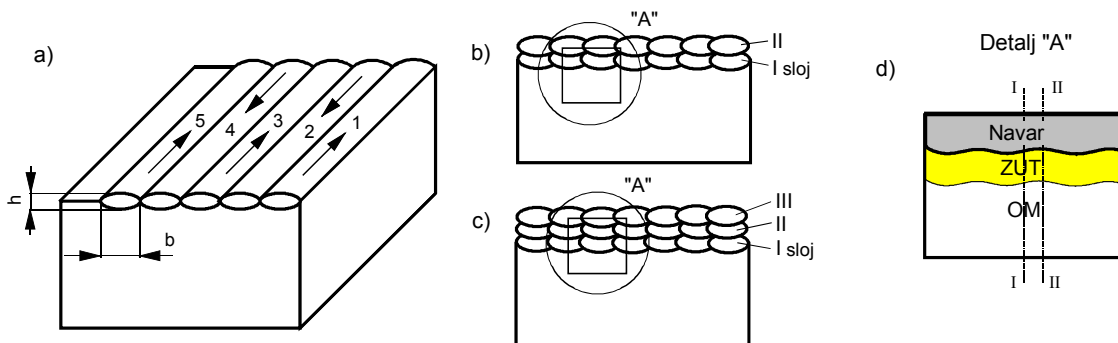
Red. br.	Oznaka elektrode		Prečnik jezgra, d_e, mm	Struja zavarivanja, I, A	Napon, U, V	Brzina navarivanja, $v_z, \text{cm/s}$	Pogonska energija, $q_l, \text{J/cm}$
	SŽ Fiprom	DIN 8555					
1.	UTOP 38	E3-UM-40T	3.25	115	26	0.241-0.136	9543-16911
2.	UTOP 55	E6-UM-60T	5.00	190	29	0.257-0.130	16912-32738

Tablica 4. Osobine dodatnog materijala

Red. br.	Oznaka elektrode		Hemijski sastav*, %					Vrsta struje	Tvrdoća navara, HRC	Namena
	SŽ Fiprom	DIN 8555	C	Cr	Mo	V	W			
1.	UTOP 38	E3-UM-40T	0.13	5.0	4.0	0.20	+	= (+)	36-42	Navarivanje alata za rad u toplom i hladnom stanju
2.	UTOP 55	E6-UM-60T	0.50	5.0	5.0	0.60	+	= (+)	55-60	- II -

* Sadržaj P i S je niži od 0.025%, jer je reč o žicama dobijenim od visokokvalitetnih čelika iz elektrolučnih peći

Redosled nanošenja navara dat je na slici 1a, s tim što je pre svakog narednog prolaza odstranjivana troska čeličnom četkom. Prema ovoj shemi nanošeni su i ostali slojevi (drugi - sl. 1b i treći - sl. 1c).



Slika 1. Redosled polaganja navara: a - 1 sloj, b - 2 sloja, c - 3 sloja, d – uzorak za metalografska ispitivanja

Širina prolaza navarenog elektrodom $\phi 3.25\text{ mm}$ bila je $b \approx 10\text{-}12\text{ mm}$, visina navara $h \approx 1.5\text{ mm}$, a elektrodom $\phi 5.00\text{ mm}$ $b \approx 16\text{-}18\text{ mm}$ i $h \approx 2.1\text{ mm}$.

4. ODREĐIVANJE VREMENA HLAĐENJA IZMEĐU 800 I 500°C - $t_{8/5}$

Pri navarivanju čelika Č5742, nije dovoljno voditi računa samo o tehnološkim parametrima kojima se postiže pravilno formiranje navara, već se mora računati i na negativno dejstvo unete toplote pri navarivanju. Zato se kod ovih čelika uzima u obzir i uticaj temperaturskih ciklusa na porast tvrdoće u zoni uticaja toplote, promena mehaničkih osobina i sklonost ka prslinama. Glavne karakteristike temperaturskih ciklusa jesu: *maksimalna temperatura, vreme zadržavanja iznad A_{C3} temperature i brzina hlađenja pri temperaturi najmanje stabilnosti austenita.*

Optimalni parametri tehnologije navarivanja mogu se odrediti iz uslova da brzina hlađenja i vreme zadržavanja iznad A_{C3} temperature budu u granicama kojima se postižu najbolje tražene osobine navara.

Za određivanje brzine hlađenja, u literaturi postoje određeni empirijsko-analički izrazi ali se iz praktičnih razloga umesto brzine daje vreme hlađenja između 800 i 500°C - $t_{8/5}$. Najčešće primenjene formule za proračun vremena hlađenja $t_{8/5}$ date su jednačinama 1, 2 i 4.

a) Proračun $t_{8/5}$ na bazi *granične debljine lima* ($t_{8/5} = f(s_{gr})$) [3, 6, 9, 11]

- za *tanke* limove ($s \leq s_{gr}$)

$$t_{8/5} = \frac{q_l^2 \cdot N_2}{4 \cdot \pi \cdot \lambda \cdot \rho \cdot c \cdot s^2} \cdot \left[\left(\frac{1}{500 - T_o} \right)^2 - \left(\frac{1}{800 - T_o} \right)^2 \right]. \quad (1)$$

- za *debele* limove ($s > s_{gr}$)

$$t_{8/5} = \frac{q_l \cdot N_3}{2 \cdot \pi \cdot \lambda} \cdot \left(\frac{1}{500 - T_o} - \frac{1}{800 - T_o} \right). \quad (2)$$

$$s_{gr} = \sqrt{\frac{q_l \cdot N_3}{2 \cdot \rho \cdot c} \cdot \left(\frac{1}{500 - T_o} + \frac{1}{800 - T_o} \right)}. \quad (3)$$

b) Proračun vremena hlađenja $t_{8/5}$ na osnovu formule *japanskih* autora Ito, Bessyo [2, 9]

$$t_{8/5} = \frac{k \cdot q_l^n}{\beta \cdot (T_{sr} - T_o)^2 \cdot \left[1 + \frac{2}{\pi} \cdot \arctg \left(\frac{s - s_o}{\alpha} \right) \right]}. \quad (4)$$

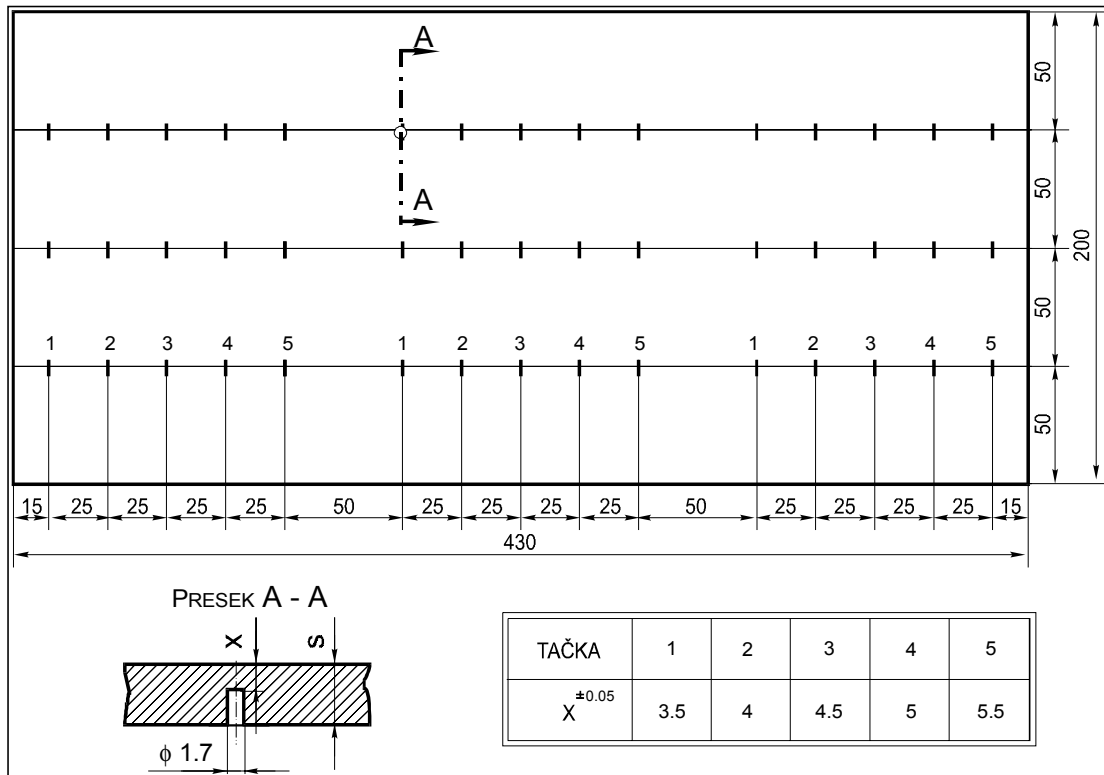
Podaci neophodni za proračun vremena hlađenja - $t_{8/5}$, po formulama 1, 2 i 4 dati su u odgovarajućoj literaturi [2, 6, 9, 11].

Za proračun vremena hlađenja izvedeno je više izraza, koji daju ne male razlike u rezultatima. Iz tog razloga smo u ovom radu procenili tačnost gornjih izraza (1, 2 i 4) uzimajući u obzir: *debljinu navarivanih ploča (s), pogonsku energiju navarivanja (q_l) i temperaturu predgrevanja (T_o).*

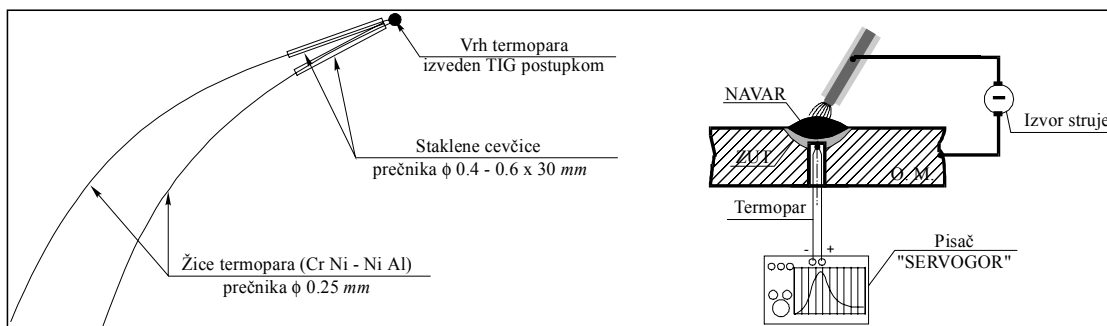
Temperaturski ciklus ZUT-a se može odrediti eksperimentalno i računski. Iz eksperimentalno dobijenog ciklusa direktno se očitava vreme $t_{8/5}$ koje može poslužiti za ocenu tačnosti gornjih empirijskih izraza, odnosno za procenu novonastale strukture i tvrdoće ZUT-a.

Modeli-uzorci za eksperimentalna istraživanja pripremljeni su prema slici 2. Shema merenja temperatura pomoću termoparova data je na slici 3. Pored oklopljenih termoparova poznate karakteristike (tip "K", firme Philips), korišćeni su i priručni termoparovi prečnika Ø0.25

Ø0.40 mm, čija je karakteristika (sl. 4) određivana baždarenjem na različitim temperaturama. Temperaturni ciklusi su određivani u uslovima bez predgrevanja i sa predgrevanjem i pri variranju parametara navarivanja. Rezultati merenja za tanku i debelu ploču dati su u tablicama 5 i 6 [1, 4].

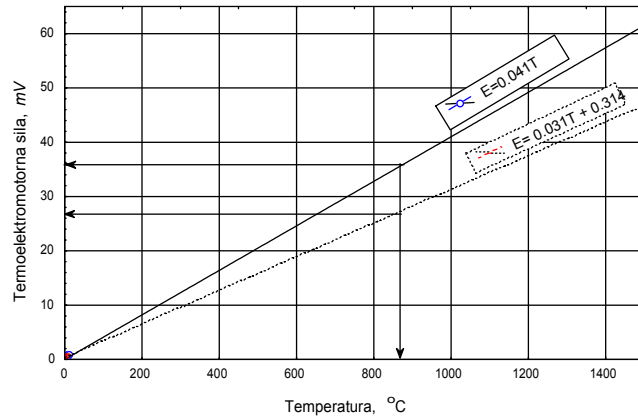


Slika 2. Izgled modela - ploča za merenje temperatura ($s = 7.4$ i 29 mm) [1]



Slika 3. Shema merenja temperatura [1]

Analizom rezultata datih u tablicama 5 i 6 uočavaju se velike razlike (nedopustive greške) u vremenu hlađenja po formuli $t_{8/5} = f(s_{gr})$, dok najbolju saglasnost sa eksperimentalnim rezultatima daje formula japanskih autora [1, 3, 4]. Izvedeni zaključak odnosi se na navarivanje ravnih ploča, dok sa drugim oblicima navarivanih površina-geometrijskih tela nisu izvedeni detaljni eksperimenti.



Slika 4. Karakteristike (E-T) korišćenih termoparova [1]

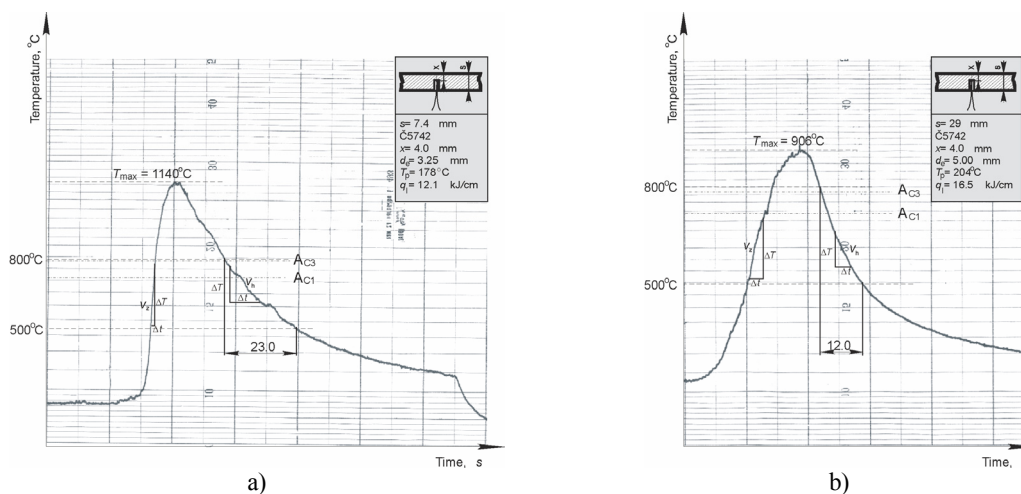
Tablica 5. Uporedne vrednosti vremena hlađenja $t_{8/5}$ ($s = 7.4 \text{ mm}$, $I = 115 \text{ A}$, $U = 25 \text{ V}$, $q_{ef} = 2300 \text{ W}$) [1]

Brzina navarivanja $v_z, \text{ cm/s}$	Pogonska energija navarivanja $q_b, \text{ J/cm}$	Temperatura predgrevanja $T_o = T_p, \text{ }^\circ\text{C}$	Vreme hlađenja $t_{8/5}, \text{ s}$				Tačka/Sloj
			$(t_{8/5})^J$ j-na (4)	$(t_{8/5})^{Sgr}$ j-ne (1, 2)	$(t_{8/5})^{EXP}$	$(t_{8/5})^R$ j-na Rikalina [5]	
0.238	9663	20	8.62	24.00	14.50	16.5-20	1/1
0.220	10560	20	9.85	29.10	17.00	20-21	24/1
0.186	12192	20	13.34	43.63	16.00	24-26	21/1
0.241	9543	70	10.14	31.17	16.50	20.5-23.5	21/2
0.172	13372	273	44.20	273.9	28.00	88-90	17/1
0.169	13609	280	47.35	304.50	34.00	94-98	10/1
0.136	16911	185	39.00	206	23.50	70-76	9/1
0.208	11058	180	20.1	84.9	27.00	42-50	18/1
0.175	13142	240	35.50	194.2	30.50	71-78	18/2
0.190	12105	178	22.80	100.3	23.00	48-54	11/1
0.183	12568	178	24.05	107.3	19.00	48.5-57	19/1
0.215	10698	169	18.19	73.4	19.50	36-43	3/1
0.150	15333	180	32.90	163.2	24.50	59-68	2/1
0.158	14557	290	55.80	386.7	31.00	104-113	2/2

Tablica 6. Uporedne vrednosti vremena hlađenja $t_{8/5}$ ($s = 29 \text{ mm}$, $I = 190 \text{ A}$, $U = 28 \text{ V}$, $q_{\text{ef}} = 4256 \text{ W}$) [1]

Brzina navarivanja $v_z, \text{ cm/s}$	Pogonska energija navarivanja $q_l, \text{ J/cm}$	Temperatura predgrevanja $T_o = T_p, \text{ }^\circ\text{C}$	Vreme hlađenja $t_{8/5}, \text{ s}$				Tačka/Sloj
			$(t_{8/5})^J$ j-na (4)	$(t_{8/5})^{\text{Sgr}}$ j-ne (1, 2)	$(t_{8/5})^{\text{EXP}}$	$(t_{8/5})^R$ j-na Rikalina [5]	
0.148	28757	20	11.20	14.10	16.0	10.8-12.5	2/1
0.130	32738	355	76.17	287.50	78.0	70.5-74.5	16/1
0.161	26436	231	24.36	47.30	25.0	24.27	14/1
0.152	28049	218	24.80	47.80	22.0	23.2-25.5	7/1
0.142	29870	231	29.30	60.40	24.0	27-29.6	7/2
0.258	16500	204	10.43	14.89	12.0	13.5-14.5	6/1
0.257	16912	204	10.83	15.52	12.0	13.6-14.7	6/2
0.167	25414	178	17.60	28.80	16.0	18-20	13/1
0.185	23000	235	20.20	37.10	20.5	21-23.5	21/1
0.163	26136	271	30.12	66.80	23.0	30-32	19/2

Karakteristični temperatski ciklusi prikazani su na slici 5a i 5b.

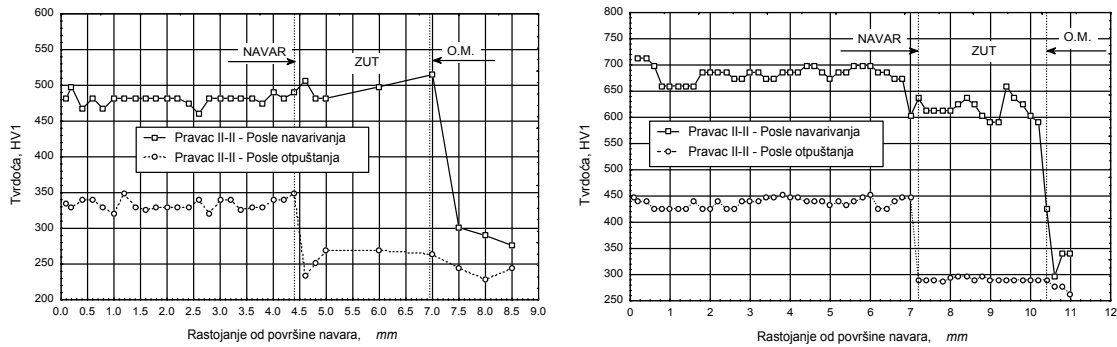


Slika 5. Temperatski ciklusi ZUT-a navara: a) tanka ploča – 11/1, b) debela ploča – 6/1 [1, 4]

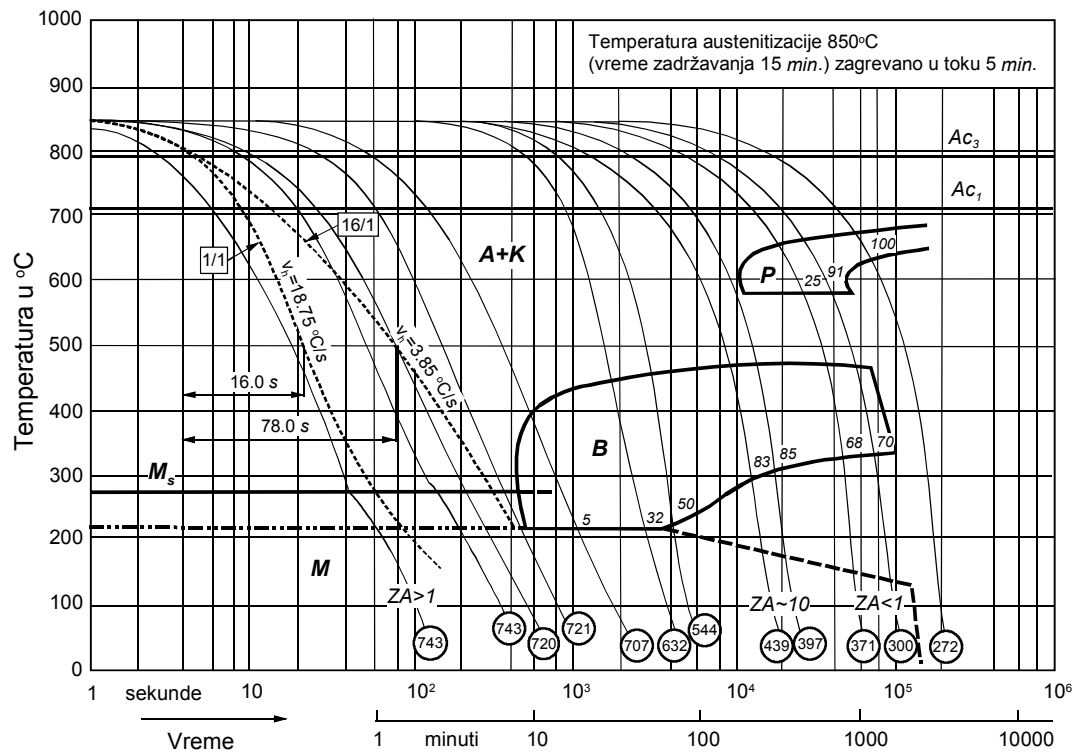
5. VEZA IZMEĐU ULAZNIH I IZLAZNIH KARAKTERISTIKA POMOĆU KH-DIJAGRAMA

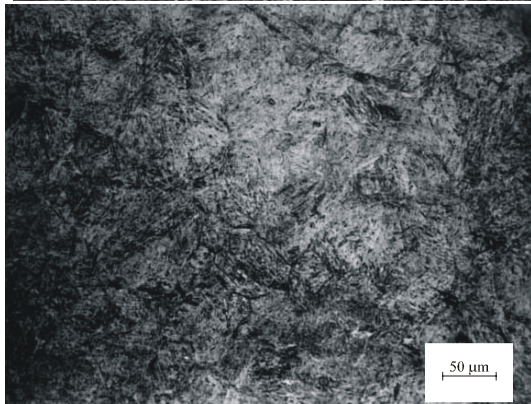
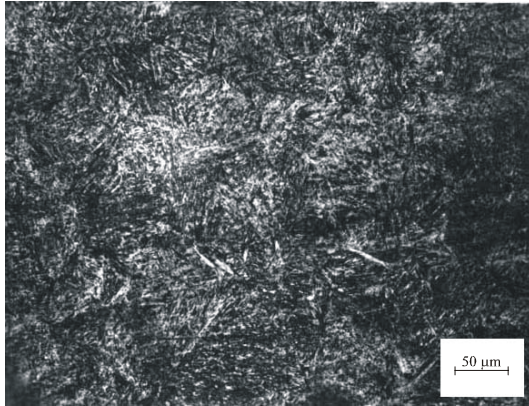
Na slici 6 prikazan je KH- dijagram za čelik 56NiCrMoV7.

Slika 6. KH-dijagram - čelik 56NiCrMoV7 [10]

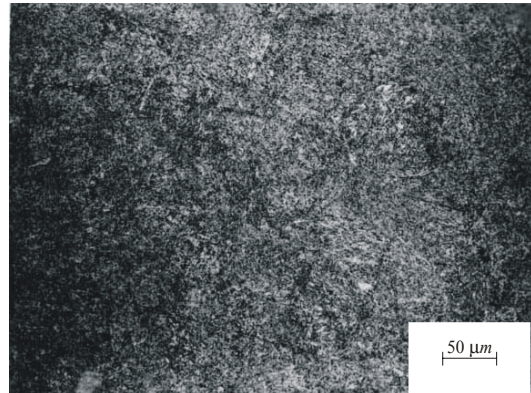
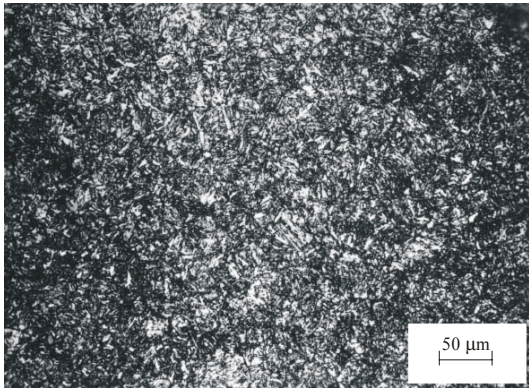


Hemijski sastav, %	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	W
	0.52	0.29	0.70	0.01	0.01	1.09	0.43	1.72	0.74	-





Posle navarivanja



Posle otpuštanja

a)

b)

Slika 7. Raspodela tvrdoće i mikrostruktura ZUT-a navara a) UTOP 38 - $s = 7.4$ mm, b) UTOP 55 - $s = 29$ mm [1]

Unošenjem vremena hlađenja $t_{8/5}$ u KH-dijagram (sl. 6) za dati čelik, procenjuje se novonastala struktura i tvrdoća ZUT-a. Na osnovu poznatih krivih hlađenja nekih karakterističnih temperaturnih ciklusa upoređivane su strukture očitane iz KH-dijagrama i dobijene metalografskim ispitivanjima (sl. 7). Granično vreme hlađenja $t_{8/5} = t_{100} \approx 500$ s uz predgrevanje ($T_p = 300^\circ\text{C}$), moglo bi se postići sa $q_1 = 60$ kJ/cm za $s = 7.4$ mm, odnosno $q_1 = 150$ kJ/cm za $s = 29$ mm. Ove vrednosti energija nije moguće ostvariti REL postupkom, što znači da se bez obzira na ulazne parametre navarivanja (q_1 i T_p) uvek dobija martenzitno-

karbidna struktura ZUT-a, tvrdoće između 721 i 743 HV. Zapaža se velika korelacija ulaznih i izlaznih karakteristika, a izvesna odstupanja proizlaze zbog neminovnih razlika u uslovima izvođenja opita i dobijanja KH-dijagrama. Dobijeni rezultati pokazuju da se u cilju povećanja plastičnosti, smanjenja tvrdoće i sniženja zaostalih napona mora izvesti visoko otpuštanje navarenih delova, na temperaturi koja po pravilu prevazilazi radnu temperaturu [1, 17-Železarna Ravne].

6. ZAKLJUČAK

Na osnovu eksperimentalnih rezultata, utvrđeno je da se vreme hlađenja $t_{8/5}$ u kritičnom intervalu temperatura od 800 do 500°C, može najtačnije odrediti pomoću formule japanskih autora. Isto tako, dokazano je da se primenom empirijskog izraza (4) može sa dovoljnom tačnošću odrediti vreme $t_{8/5}$ koje je osnova za izbor optimalnih parametara režima navarivanja.

Cilj ovog rada je da se ukaže na to kako se može dovoljno tačno odrediti brzina hlađenja, a da se ne ponavlja skupa eksperimentalna procedura koja se može izvesti samo u laboratorijskim uslovima. Brzina hlađenja određena sa dovoljnom tačnošću omogućuje da se iz KH-dijagrama očita struktura i tvrdoća ZUT-a.

LITERATURA

- [1] Lazić, V., Optimizacija procesa navarivanja sa aspekta triboloških karakteristika navara i zaostalih napona, doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2001.
- [2] Ito, Y., Bessyo, K., Weld crackability formula of high strength steels, J. Iron and Steel Inst., Jap., No 13., 1972.
- [3] Jovanović, M., Lazić, M., Adamović, D., Ratković, N., An estimate of accuracy of empirical formulae for calculating the cooling time ($t_{8/5}$) after hard-facing, Fourth International Conference HEAVY MACHINERY – HM 2002, Proceedings, Kraljevo, 2002., pp. B.21-B.26.
- [4] Lazić, V., Sedmak, A., Živković, M., Aleksandrović, S., Čukić, R., Jovičić, R., Ivanović, I., Theoretical-experimental determining of cooling time ($t_{8/5}$) in hard facing of steels for forging dies, Thermal science, Vol. 14, No. 1, pp. 235-246, 2010.
- [5] Рыкалин, Н., Н., Расчеты тепловых процессов при сварке, Машгиз, Москва, 1951.
- [6] Kuncipal, J., Specialni tehnologije i svarovani, Edični stredisko VŠSE, Plzen, 1988.
- [7] Prowans, S., Materialoznawstwo, Wydanie drugie, Warszawa-Poznan 1980.
- [8] Grupa autora: Poradnik inżyniera - Spawalnictwo II, WNT, Warszawa, 1983.
- [9] Jovanović, M., Adamović, D., Lazić, V., Tehnologija zavarivanja - priručnik, samostalno izdanje, Kragujevac, 1996.
- [10] Wernoski, A., Zmeczzenie cieplne metali, Wydawnictwa Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1983.
- [11] Brozda, J., Pilarczyk, J., Zeman, M., Spawalnicze wykresy przemian austenity CTPc-S, Wydawnictwo, "Slask", Katowice, 1983.
- [12] Jovanović, M., Josifović, D., Lazić, V., Adamović, D., Nedić, V., Determination of Optimum Relaxation Temperature in Hard Facing of the Forging Dies for Working at Elevated Temperatures, JOM 9, Heslingor, Denmark, 1999., pp. 312-317.

- [13] Lazić, V., Jovanović, M., Ristović, J., Nedeljković, B., Josifović, D., Adamović, D., Uticaj termičke obrade posle navarivanja na radne karakteristike navarenih kovačkih alata, Zavarivanje i zavarene konstrukcije, Vol. 46, No. 1-2, Beograd, Jugoslavija, 2001., str. 5-11.
- [14] Lazić, V., Sedmak, A., Aleksandrović, S., Milosavljević, D., Čukić, R., Grabulov, V., Reparation of damaged mallet for hammer forging by hard facing and weld cladding, Technical Gazete 16, 4(2009), 107-113.
- [15] Nedeljković, B., Babić, M., Mutavdžić, M., Ratković, N., Aleksandrović, S., Nikolić, R., Lazić, V., Reparatory hard facing of the rotational device knives for terrain leveling, Journal of the Balkan Tribological Association, Vol. 16, No 1. 46-75 (2010).
- [16] Lazić, V., Adamović, D., Srećković, B., Josifović, D., Jovanović, M., Primena navarivanja za regeneraciju kovačkih alata, XXII Jugoslovenski majski skup, Održavanje tehničkih sistema, Kragujevac, 20-22 maj 1998., Vol. 1, str. 361-368.
- [17] Katalozi, Verkaufsgesellschaft M.B.H., Vosendorf., Železarna Ravne, Železarna Jesenice-Fiprom, Bohler-Kapfenberg, Messer Griesheim-Frakfurt am Main, Esab-Goteborg, Lincoln Electric-SAD, Atlas zur warmebehandlung der stahle etc.