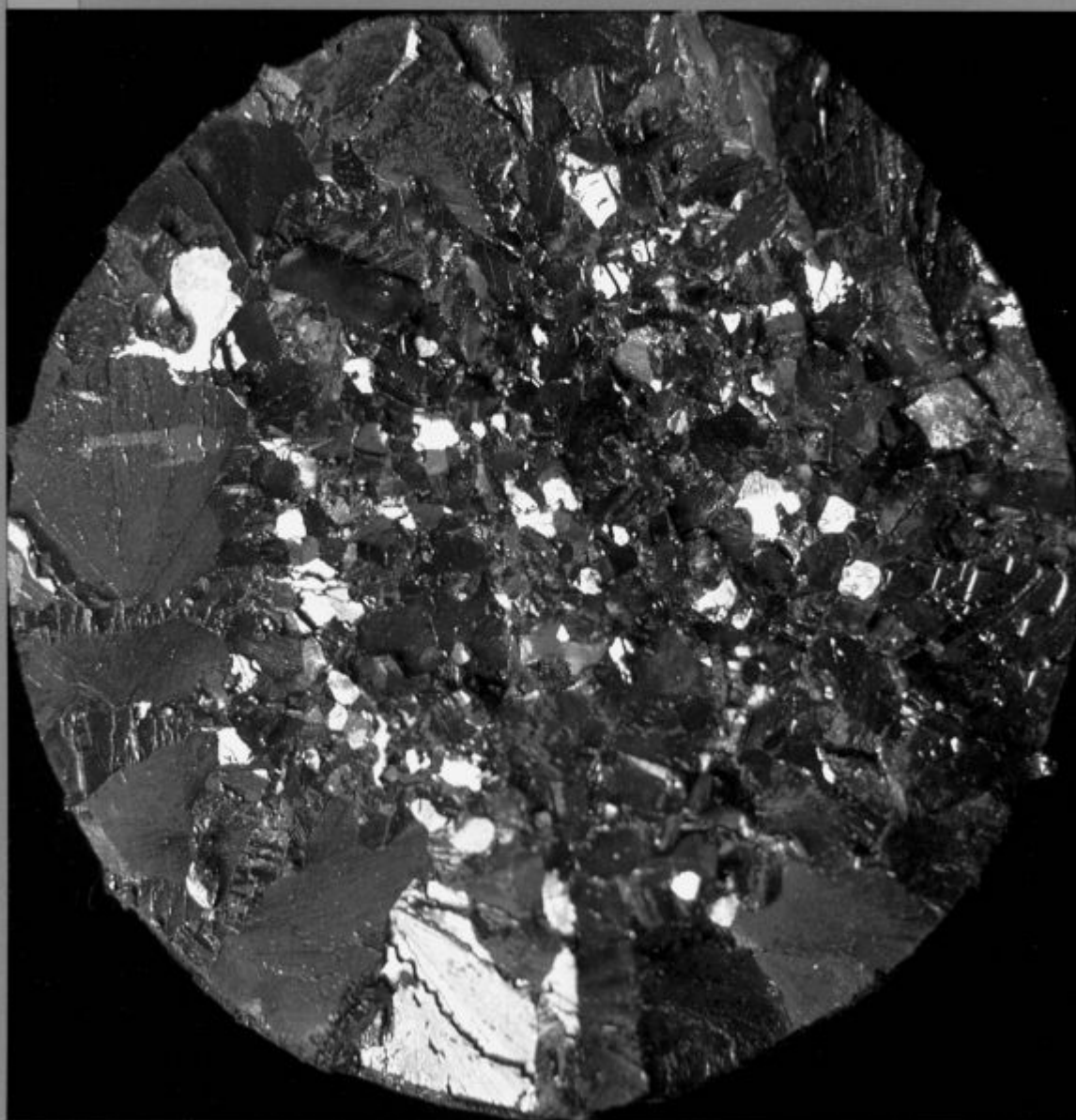


# KOVINE ZLITINE TEHNOLOGIJE

METALS ALLOYS TECHNOLOGIES

LETO 27 št. 3. 1993



IZDAJAO ŽELEZARNA JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN INŠTITUT ZA KOVINSKE  
MATERIALE IN TEHNOLOGIJE LJUBLJANA  
REVIJA JE PREJ IZHAJALA POD NASLOVOM ŽELEZARSKI ZBORNIK

ISSN 1318-0010

## Navodila avtorjem za pripravo člankov za objavo v reviji Kovine, zlitine, tehnologije

V letu 1992 uvajamo nov način tehničnega urejanja in priprave za tisk revije *Kovine, zlitine, tehnologije*. Da bi pocenili tiskarske stroške, skrajšali čas od prejema članka do njegove objave in prepustili avtorju končno odgovornost za morebitne neodkrita tipografske napake, smo se v uredništvu odločili, da izkoristimo možnosti, ki jih danes nudi namizno *založništvo*.

Avtor lahko pošlje članek napisan klasično – s pisalnim strojem. Zaželeno je, da avtor odda uredništvu članek oz. besedilo napisano na računalnik z urejevalniki besedil:

- WORDSTAR, verzija 4, 5, 6, 7 za DOS
- WORD za DOS ali WINDOWS
- WORDPERFECT.

Če je besedilo napisano z urejevalnikom besedil: CHI WRITER, naj ga avtor prekonvertira v WORDSTAR DOCUMENT.

Naprošamo avtorje, da pošljejo uredništvu disketo z oznako datoteke in računalniškim izpisom te datoteke na papirju.

Formule naj bodo v datoteki samo naznačene, na papirju pa ročno izpisane.

### Vsebina članka

Kako naj članek izgleda vsebinsko, naj si avtorji ogledajo v starih izdajah *Železarskega zbornika*. Vsak članek pa mora vsebovati:

- slovenski in angleški naslovi članka,
- imena ter naslove avtorjev,
- povzetka v angleščini in slovenščini,
- reference, ki naj bodo v besedilu članka označene z zaporednimi številkami, primer<sup>1-5</sup>. Način citiranja članka: avtor, inicialkam naj sledi priimek, naslov članka, ime revije, letnik, strani, leto. Način citiranja knjige: avtor, naslov, založnik in kraj izdaje, leto, po potrebi poglavje ali strani.

Besedilo članka naj bo razdeljeno na razdelke (označene z zaporednimi številkami) in po potrebi še na podrazdelke (označene z decimalno številko, kjer celi del označuje razdelek).

### Slike

Vse slike naj bodo na posebnih listih papirja, z jasno označeno številko slike. Slike naj bodo označene z zaporednimi številkami povsod v članku. Originali za vse vrste slik naj bodo ostri in brez šuma. *Risbe* naj bodo narisane s črnim na belem ozadju. Vse oznake in besedila na risbah naj bodo v istem jeziku kot besedilo članka in dovolj velike, da omogočajo pomanjšanje slike na 8 cm. Le izjemoma lahko slika sega čez obe koloni besedila (16,5 cm). *Fotografije* so lahko katerekoli običaj-

ne dimenzije, na svetlečem papirju in z dobrim kontrastom. Mikroskopska in makroskopska povečevanja označite v podpisu na sliki, še bolje pa z vrisanjem ustrezne skale na fotografiji.

Za vsako sliko naj avtor predvidi, kam naj se slika v besedilu članka uvrsti, kjer naj se nahaja ustrezen podnapis z zaporedno številko slike (na primer: "Slika 3 prikazuje...", nikakor pa ne: "Na spodnji sliki vidimo...").

### Tabele

Avtor naj se izogiba zapletenih tabel z mnogo podatki, ki bralca ne zanimajo, posebej še, če so isti podatki tudi grafično ponazorjeni. Nad vsako tabelo naj se nahaja zaporedna številka tabele s pojasnilom. Tabele naj bodo povsod v članku označene z zaporednimi številkami.

### Pisanje besedil na računalniku

Avtorje naprošamo, da pri pisanju besedil na računalniku upoštevajo naslednja navodila, saj le-ta precej olajšajo naše nadaljnje delo pri pripravi za tisk:

- ne puščajte praznega prostora pred ločili (pikami, vejicami, dvopičji) in za predklepaji oziroma pred zaklepaji,
- puščajte prazen prostor za vsemi ločili (pikami, vejicami, dvopičji) – razen decimalno piko,
- pišite vse naslove in besede z majhnimi črkami (razen velikih začetnic in kratic),
- besedilo naj ne vsebuje deljenih besed na koncu vrstice.

Če avtor pripravlja ilustracije na računalniku, ga naprošamo, da priloži datoteke s slikami na disketo z besedilom članka, s pojasnilom, s katerim programom so narejene.

### Krtačni odtis

Krtačni odtis – končna podoba članka – bo poslan avtorju v končno revizijo. Avtorja naprošamo, da čim hitreje opravi korekture in ga pošlje nazaj na uredništvo. Hkrati naprošamo avtorje, da popravljajo samo napake, ki so nastale med stavljenjem članka. Če avtor popravljenega članka ne vrne pravočasno, bo objavljen nepopravljen, kar bo tudi označeno.

*Uredništvo*

# KOVINE ZLITINE TEHNOLOGIJE

METALS ALLOYS TECHNOLOGIES

|| 229280

---

## KOVINE ZLITINE TEHNOLOGIJE

Izdajajo (Published by): SŽ ACRONI Jesenice, METAL Ravne, JEKLO Štore in Inštitut za kovinske materiale in tehnologije Ljubljana

Izdajanje KOVINE ZLITINE TEHNOLOGIJE delno sofinancira:  
Ministrstvo za znanost in tehnologijo

### UREDNIŠTVO (EDITORIAL STAFF)

**Glavni in odgovorni urednik (Editor):** Jožef Arh, dipl. ing.

**Uredniški odbor (Associate Editors):** dr. Aleksander Kveder, dipl. ing., dr. Jože Rodič, dipl. ing., prof. dr. Andrej Paulin, dipl. ing., dr. Monika Jenko, dipl. ing., dr. Ferdo Grešovnik, dipl. ing., Franc Mlakar, dipl. ing., dr. Karel Kuzman, dipl. ing., Jana Jamar

**Tehnični urednik (Production editor):** Jana Jamar

**Lektorji (Lectors):** Cvetka Martinčič, Jana Jamar

**Prevodi (Translations):** prof. dr. Andrej Paulin, dipl. ing., dr. Nijaz Smajič, dipl. ing. (angleški jezik), Jožef Arh, dipl. ing. (nemški jezik)

### NASLOV UREDNIŠTVA (EDITORIAL ADDRESS): KOVINE ZLITINE TEHNOLOGIJE,

Železarna Jesenice d.o.o., 64270 Jesenice, Slovenija

Telefon: (064) 861 441

Telex: 37219

Telefax: (064) 861 379

Žiro račun: 51530-601-25734

**Stavek:** Majda Kuraš, **Tisk:** Gorenjski tisk, Kranj, **Oblikovanje ovitka:** Ignac Kofol

**Fotografija na naslovnici:** Lita struktura preloma dinamo jekla, **Foto:** Franci Sluga

### IZDAJATELJSKI SVET (EDITORIAL ADVISORY BOARD):

Predsednik: prof. dr. Marin Gabrovšek, dipl. ing.; člani: dr. Božidar Brudar, dipl. ing., prof. dr. Vincenc Čižman, dipl. ing., prof. dr. D. Drobnjak, dipl. ing., prof. dr. Blaženko Koroušič, dipl. ing., prof. dr. Ladislav Kosec, dipl. ing., prof. dr. Josip Krajcar, dipl. ing., prof. dr. Alojz Križman, dipl. ing., dr. Karel Kuzman, dipl. ing., dr. Aleksander Kveder, dipl. ing., prof. dr. Andrej Paulin, dipl. ing., prof. dr. Z. Pašalič, dipl. ing., prof. dr. Ciril Pelhan, dipl. ing., prof. dr. Viktor Prosenc, dipl. ing., prof. dr. Boris Sicherl, dipl. ing., dr. Nijaz Smajič, dipl. ing., prof. dr. J. Sušnik, dr. Leopold Vehovar, dipl. ing., prof. dr. Franc Vodopivec, dipl. ing.

Po mnenju Ministrstva za znanost in tehnologijo Republike Slovenije št. 23-335-92 z dne 09. 06. 1992 šteje KOVINE ZLITINE TEHNOLOGIJE med proizvode, za katere se plačuje 5-odstotni davek od prometa proizvodov.





## Vsebina

<i>Rodič, Jože, K. Habijan, M. Strohmaier, A. Rodič, A. Osojnik, J. Žvokelj:</i> Domače superzlitine za stomatološko protetiko .....	221
<i>Cundrič, Ivo, M. Lah, S. Mihelčič, M. Hladnik:</i> Izračun stroškovnih nosilcev oz. kalkulacije s pomočjo analize in sinteze poteka dela po metodi REFA .....	227
<i>Drofenik, Bernarda:</i> Mehanske lastnosti in korozijska odpornost superzlitine Ravnic2 .....	237
<i>Godec, Boštjan, J. Vojvodič-Gvardjančič, L. Vehovar:</i> Korozijska odpornost tračno navarjenih posod izdelanih iz drobnozrnatega mikrolegiranega jekla NIOMOL 490 .....	241
<i>Gnamuš, Janko:</i> Napetostno žarjenje orodij podaljšuje njihovo življensko dobo .....	249
<i>Legat, Franc:</i> Vpliv nitriranja na premene jekla X38CrMoV51 .....	253
<i>Arzenšek, Boris, D. Kmetič, A. Lagoja:</i> Maziva in hladno preoblikovanje jekel .....	261
<i>Tehnične novice</i>	
<i>Kejžar, Rajko, M. Hrženjak, V. Živkovič, J. Vižintin, L. Kosec, J. Cankar, P. Žmitek:</i> Izbira dodatnega materiala in tehnologije varjenja tekalnega kolesa žerjava .....	267
<i>Kejžar, Rajko, A. Zajc, B. Kejžar, M. Hrženjak, K. Nekrep, J. Cankar:</i> K - sintetični minerali (osvajanje in študija uporabnosti sintetičnih mineralov) .....	267
<i>Kejžar, Rajko, A. Zajc, U. Kejžar, B. Kejžar, M. Hrženjak, J. Begeš:</i> Vpliv vlage in sestave elektrodne obloge na stabilnost varjenja (izpopolnjevanje dodatnih materialov za varjenje) .....	268
<i>Kejžar, Rajko, M. Hrženjak, V. Kralj, L. Kosec, J. Žlof:</i> Navarjanje pod legiranim aglomeriranim praškom .....	269
<i>Novaković, Dragan B.:</i> Popravilo z navarjanjem obrabljene transportne plošče .....	272



## Domače superzlitine za stomatološko protetiko

### Domestic Superalloys for Dental Prosthetics

J. Rodič, K. Habijan, M. Strohmaier, MIL-PP d.o.o., Ljubljana  
A. Rodič, A. Osojnik, J. Žvokelj, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana

*Raziskovalni program razvoja dentalnih zlitin je zaključen z uvedbo standardiziranega postopka proizvodnje z napredno tehnologijo horizontalnega kontinuirnega litja palic na osnovi optimiranja kemijske sestave zlitine in parametrov litja.*

*Z novim alternativnim materialom so dane na področju fiksne protetike realne možnosti za dentalna dela visoke kakovosti.*

*Optimalna kemijska sestava zlitine zagotavlja, da se na temperaturi peke porcelana ob primernem delu, porcelanske plasti ne obarvajo zelenkasto.*

*Rezultati eksperimentov kažejo, da nikljeva zlitina, izdelana z visoko tehnologijo, zagotavlja optimalno kombinacijo najpomembnejših fizikalnih, adhezivskih, mehanskih, kemičnih in antikorozijskih lastnosti ter biokompatibilnost.*

*Ključne besede: superzlitine, dentalne zlitine, stomatološka protetika, horizontalno kontinuirno litje.*

*The research program was completed with the introduction of standardized manufacturing process with advanced technology of horizontal continuous rod casting which is based on optimized chemical composition and casting parameters. New alternative material for fixed prosthetics enables real possibilities for high level of dental work.*

*Optimal chemical composition of the alloy is assuring that greenish tint does not appear on the surface during fritting.*

*Experimental results show that the nickel-base alloy, produced with the advanced technology is assuring optimal combination of the most important physical, adhesive, mechanical, chemical and anticorrosive properties and the biocompatibility.*

*Key words: superalloys, dental superalloys, dental prosthetics, horizontal continuous casting.*

#### 1. Uvod

Poteklo je desetletje od prvih začetkov razvoja domačih dentalnih zlitin z neposrednim sodelovanjem slovenskih stomatologov in metalurgov<sup>1</sup>.

V okviru raziskovalne naloge Metalurškega inštituta<sup>2</sup>, ki sta jo sofinancirali Raziskovalna skupnost Slovenije in Zlatarna Celje, so razvili tehnološki postopek za proizvodnjo ulitkov CoCrMo stelitne zlitine z imenom "Skeleton" in preizkusili njeno bio-kompatibilnost pri uporabi v zobni protetiki. Razvojni dosežki so bili vzpodbudni, tako v proizvodnji kot v uporabi.

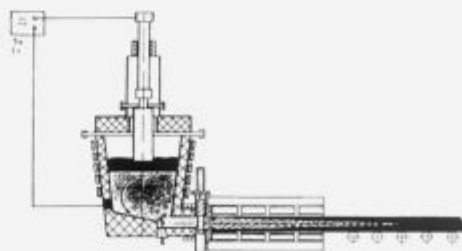
#### 2. Današnje tehnološke in proizvodne možnosti

Z najmodernejšo napravo visoke tehnologije za horizontalno kontinuirno litje tankih palic<sup>3</sup> v pilotni proizvodnji Metalurškega inštituta so se v letu 1990 odprle nove tehnološke možnosti za mednarodno konkurenčno proizvodnjo tudi na področju dentalnih superzlitin<sup>4</sup>.

Taljenje zlitine poteka v indukcijski peči z varovalno atmos-

fero ob prepihanju taline s čistim argonom. Kontinuirno litje poteka na napravi s tremi žilami (slika 1).

Dolge palice se brusi, razrezuje na 5 g valjčke, polira, označuje in pakira z navodili za uporabo.



Slika 1. Shema postopka horizontalnega kontinuirnega litja (HKL) tankih palic<sup>3</sup>

Figure 1. Schematic presentation of horizontal continuous casting process for fine rods<sup>3</sup>

Razvoj proizvodnje na novih napravah je bil učinkovit in uspešen.

V okviru mednarodne kooperacije z že obstoječo zaščito patentov ter blagovnih znamk na svetovnem trgu je naš izvoz izdelkov iz teh zlitin že v drugem letu presegel količino ene tone malih valjčkov, kooperacijski dogovor pa omogoča tudi oskrbo domačega tržišča.

Ministrstvo za znanost in tehnologijo RS je razvoj te domače izvozne usmerjene proizvodnje visokovrednih izdelkov podprlo s sofinanciranjem projekta industrijsko-razvojnih raziskav v dveh delih:

Prvi del obsega dentalne superzlitine na osnovi niklja (Ni-Cr-Mo) in je že zaključen. Zato te zlitine in njihove uporabne lastnosti predstavljamo.

Drugi del projekta se nanaša na kobaltove (Co-Cr-Mo) dentalne zlitine, ki se sicer tudi že proizvajajo, nekatere raziskave iz programa projekta pa še potekajo. Zato bomo to skupino zlitin predstavili v II. delu članka po zaključku raziskovalnega projekta.

### 3. Dentalne superzlitine na osnovi niklja

Pri izbiri in oceni uporabnosti zlitin v ustnem okolju je pomembno poznati njihovo stabilnost in biokompatibilnost. Korozijski pojavi s tvorbo netopnih korozijskih produktov so specifičen problem, ki ga je treba z zagotavljanjem lastnosti zlitine celovito obvladati. Ni-Cr-Mo in Co-Cr-Mo zlitine so realne tehnične in pomembne ekonomske alternative klasičnim visoko plemenitim zlitinam, s katerimi lahko obstojnost neposredno primerjamo.

Pasivnost je v bistvu ugoden rezultat interakcij določenih kovinskih zlitin z okoljem, pri čemer nastane nevidljiv film debeline nekaj atomskih plasti, ki je sposoben "izolirati" material od agresivnega okolja, ki ga obdaja.

Pasivnost se doseže pri teh zlitinah s kritičnimi količinami kinetsko aktivnih elementov Cr in Mo. To je mogoče "kalibrirati in usmerjati" z ustrezno sestavo in procesiranjem, da bi dosegli

čimboljše rezultate, tako glede odpornosti proti spremembam v agresivnih medijih, kakor tudi glede hitrosti samoceljenja poškodb pasivacijskega filma ob zunanjih erozijskih in/ali mehanskih vplivih.

Osnovne lastnosti dokazujejo, da je razvoj Ni-Cr-Mo zlitine omogočil nadomestitev plemenitih zlitin. Najvišja kinetična plemenitost je dosežena s pasivacijskimi fenomeni ob zagotavljanju primerne oblikovalnosti, obdelovalnosti, ustreznih mehanskih lastnosti in dobre kovinsko-porcelanske adhezivnosti. Alternativne zlitine predstavljajo celo določene tehnične prednosti, ki poudarijo ekonomske razloge za uveljavitev v primerjavi s plemenitimi zlitinami. Biokompatibilnost zagotavlja odlična pasivnost zlitine v ustnem okolju.

Z Ni-Cr-Mo zlitinami so bile opravljene obsežne primerjalne raziskave, ki so dale odlične rezultate posebno glede stabilnosti teh zlitin v ustnem okolju<sup>5,6</sup>.

Treba je poudariti, da še ne obstaja prava in ustrezna normativa glede uporabe dentalnih zlitin. Obstajajo le avtoritativni napotki nekaterih vodilnih svetovnih proizvajalcev.

Na svetovnem trgu je veliko število komercialnih imen, ki predstavljajo zelo diferencirane Ni-Cr-Mo zlitine tako po kemijski sestavi, kakor tudi po širokem spektru fizikalnih in kemijskih lastnosti ter odpornosti proti koroziji v ustnem okolju.

Superzlitina, ki jo predstavljamo v dveh razvojnih variantah za kovinsko-porcelansko tehniko pod imenom **MILDENT 1/CSM 01** in **MILDENT 11/CSM 11**, je na svetovnem tržišču uveljavljena pod zaščitno znamko **BIOMATE<sup>®</sup>-C** za fiksno protetiko in spada v skupino Ni-Cr-Mo-dentalnih zlitin.

#### 3.1 Najpomembnejše uporabne lastnosti

Pregled najpomembnejših lastnosti je podan v **tabeli 1**, dodatno pa zlitino predstavljamo z rezultati in ugotovitvami obsežnih mednarodnih raziskav.

Izbor nikljeve osnove, kateri se dodajajo elementi, ki so kinetično aktivni pri zagotavljanju popolne pasivnosti in pomembni za metalurško tehnološke značilnosti ter doseganje

**Tabela 1.** Pregled lastnosti Ni-Cr-Mo dentalne zlitine

	<b>Varianta A MILDENT 1/CSM 01</b>	<b>Varianta B MILDENT 11/CSM 11</b>
<b>Kemijska sestava</b> v %	<b>65% Ni 24% Cr 7% Mo</b> max.0,02% C 3,3% Si 0,4% B 0,05% Ce max 0,06% N brez Be, Ga, Cd, Pb	<b>62% Ni 25% Cr 9,5% Mo</b> max.0,02% C 3,3% Si Al+Cu+Mn+Fe = max.1% brez Be, Ga, Cd, Pb
<b>Mehanske lastnosti</b>		
- Natezna trdnost R <sub>m</sub>	500-600 N/mm <sup>2</sup>	550-650 N/mm <sup>2</sup>
- Meja razteznosti R <sub>p0,2</sub>	300-450 N/mm <sup>2</sup>	350-460 N/mm <sup>2</sup>
- Raztezek A	8-15 %	5-10 %
- Kontrakcija Z	6-12 %	4-10 %
- Trdota HV <sub>30</sub>	220-280	250-300
<b>Talilno območje</b> (solidus-likvidus)	1150-1280° C	1200-1320° C
<b>Temperatura litja</b>	1290-1380° C	1330-1420° C
<b>Gostota</b>	8,1 g/cm <sup>3</sup>	8,2 g/cm <sup>3</sup>
<b>Linearni Termični Koefficient Raztezanja</b>	LTRK v območju 20° C - 600° C	
	14,6 x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	14,2 x 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>
<b>Korozijska hitrost</b>	(4+6) x 10 <sup>-4</sup> mm/leto	
<b>Sprostitvev niklja:</b>	pri 37° C v umetni slini po Ringerju	
- surov ulitek	po 30 dneh 7 µg/cm <sup>2</sup>	
- polirano in žarjeno	po 30 dneh 0,35 µg/cm <sup>2</sup>	



fizikalnih in tehničnih lastnosti, je bil načrtovan na osnovah znanstvene literature tega področja<sup>4</sup>. Velik del raziskav je bil opravljen tudi na področju praktične uporabnosti<sup>5,7</sup>.

Weber<sup>8</sup> na osnovi kliničnih analiz za Ni-Cr zlitine zaključuje, da mnenja o toksikološki nevarnosti uporabe nedragocenih korozijsko obstojnih dentalnih zlitin niso osnovana. Tudi testiranja na področju alergije pacientov na Co in Ni so dala ugodne rezultate za zlitino na osnovi Ni-Cr<sup>9</sup>.

Simonpaoli<sup>10</sup> poroča, da na Univerzitetni kliniki v Parizu od leta 1968 zlitina Ni-Cr ni izzvala nobenega primera reakcije alergije.

Tudi Moffa<sup>11</sup> ugotavlja, da ni nobenega objektivnega zadržka za uporabo Ni-Cr zlitine, kar potrjuje tudi Spiechowicz<sup>12</sup> na osnovi kontrole eventualnih pojavov alergije za milijone uporabljenih Ni-Cr protez na Poljskem.

Meyer<sup>13</sup> dodatno poroča, da so zlitine na osnovi Ni z dodatki Cr, Mo in Mn zelo pasivne in je tako zmanjšana nevarnost galvanskih problemov z drugimi dragocenimi zlitinami v ustni votlini. Tudi ta ugotovitev je zelo pomembna.

Berilij je element, ki je prisoten v mnogih starejših dentalnih zlitinah ameriškega izvora na osnovi Ni-Cr. Nekatere zlitine ga vsebujejo 1,6 - 2,0 utežna odstotka. To ob nizki gostoti (1,85 g/cm<sup>3</sup>) pomeni, da je berilija v takem primeru kar 10% atomov zlitine. To močno vpliva na obnašanje med obdelavo in uporabo. Berilij ugodno vpliva na obdelovalnost, zmanjšuje talilni interval in površinsko napetost. To je ugodno pri izdelavi kompleksnih ulitih baz in fiksnih konstrukcij protez. Prispeva tudi adhezivnosti med kovino in porcelansko maso, žal pa je že dolgo znano, da je berilij tudi kancerogen.

V zakonodaji nekaterih držav so predpisane omejitve Be v delovnem okolju 0,002 mg/m<sup>3</sup>.

Zaradi toksičnosti berilija je ta v specifikaciji naše zlitine popolnoma izključen skupaj z drugimi nevarnimi elementi (Ga, Cd, Pb). Ugodne metalurške vplive berilija nadomeščajo drugi odnosi elementov v zlitini.

### 3.2 Biokompatibilnost

Ob pomanjkanju kvalifikacijskih testov in standardov se mora zlitina dobro obnašati v medijih, ki simulirajo pogoje v ustih. Poročajo o odlični korelaciji med testi v simuliranih pogojih<sup>14</sup> in zanimiva je splošna ugotovitev, da je bilo obnašanje "v živo" boljše kot v simulacijskih testih<sup>15</sup>.

Za ovrednotenje pasivnosti zlitin obstajajo različne elektrokemijske metode. Največ se uporabljajo metode potenciostatskega preizkušanja pri konstantnem potencialu ali pri potencialu, ki se v toku časa spreminja. To imenujemo potenciodinamično preizkušanje pri določeni hitrosti sprememb.

Zlitina MILDENT 1/CSM 01 je pri tovrstnem preizkusu v umetni slini pri 37°C po Ringerju<sup>4,5,7</sup> pokazala odlično obstojnost.

### 3.3 Polarizacijska odpornost

Z motenjem ravnotežnega potenciala med kovino in umetno slino po Ringerju je mogoče določiti polarizacijsko odpornost Rp zlitine. Ta količina je obratno sorazmerna trenutni korozijski hitrosti.

Rp merimo v kΩ/cm<sup>2</sup> in izvršena je bila primerjava sedmih komercialnih zlitin<sup>4</sup>, med katerimi je bila z vrednostjo Rp = 430 po 10 minutah zlitina BIOMATE<sup>R</sup>-C najodpornjša.

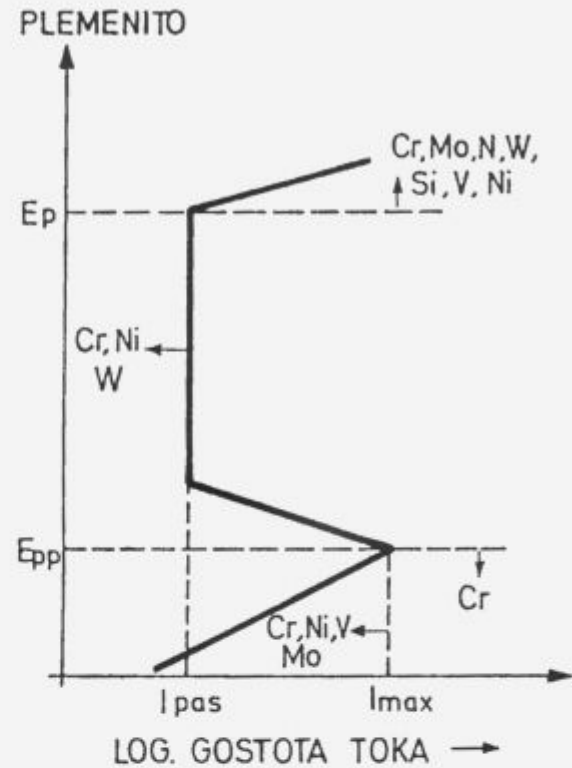
Zanimivo je poudariti, da po 24 urah potapljanja postane vrednost Rp za zlitino BIOMATE<sup>R</sup>-C večja od 10<sup>6</sup> ohm/cm<sup>2</sup>, kar pomeni skoraj popolno pasivnost.

### 3.4 Potenciodinamične elektrokemijske študije

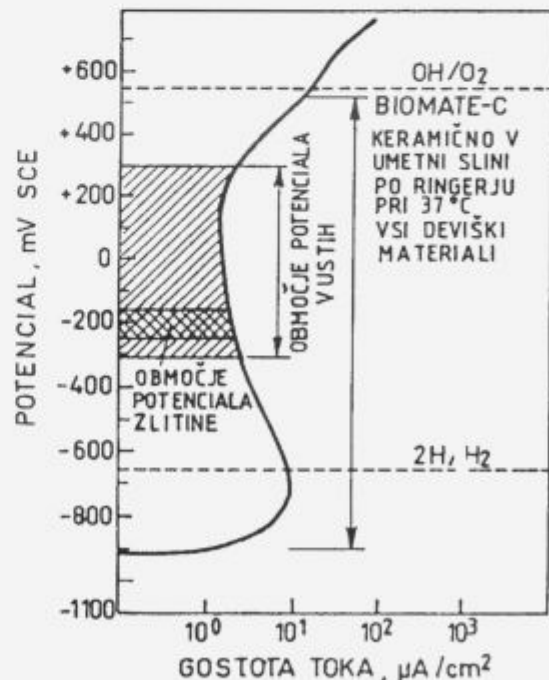
S potenciodinamično metodo je mogoče vrednotenje korozijskega obnašanja zlitin za določeno okolje v odvisnosti od

potenciala in primerjava različnih materialov na osnovi relativnih karakteristik "napetost-tok"<sup>16\*</sup>.

Slika 2A kaže shematično vplive elementov v sestavi zlitine na karakteristike potenciodinamične krivulje, slika 2B pa potenciodinamično krivuljo za zlitino BIOMATE<sup>R</sup>-C<sup>4,5,7</sup>.



Slika 2A. Potenciodinamična krivulja-shema  
Figure 2A. Potentiodynamic curve-schematic



Slika 2B. Potenciodinamična krivulja zlitine BIOMATE<sup>R</sup>-C v slini po Ringer-ju pri 37°C  
Figure 2B. Potentiodynamic curve for the BIOMATE<sup>R</sup>-C alloy in the saliva according to Ringer<sup>4</sup>, at 37°C

**Pasivacijski tok** je merilo "kakovosti" pasivacijskega filma. Film je toliko bolj pasiven, kolikor je pasivacijski tok manjši. **Vrh toka** na krivulji ponazarja težavnost tvorbe pasivacijskega filma določene zlitine. **Področje pasivacijskega potenciala** je izredno široko. Krivulja predstavlja za strokovnjaka odlično kvantitativno primerjalno osnovo.

Omenjeni dejavniki označujejo odlično stabilnost lastnosti zlitine BIOMATE<sup>®</sup>-C v uporabi, ker zlitina s svojo sestavo dosega značilni optimum navedenih elektrokemičnih parametrov. Prav ti odločajo o korozijski obstojnosti zlitine v določenem okolju uporabe, ki smo ga simulirali. Te krivulje so primerjali s tistimi za plemenite zlitine in razlika med raziskovano Ni-Cr-Mo zlitino in platino v pomembnem območju potencialov je komaj opazna.

### 3.5 Meritve sproščanja niklja

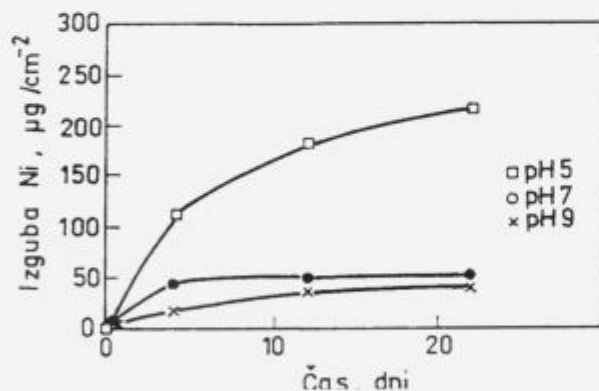
Za kvantitativno primerjavo obnašanja superzlitine na osnovi niklja v okolju ustne votline so bile opravljene meritve sproščanja Ni<sup>2+</sup> v raztopini umetne slin po Ringer-ju pri temperaturi 37°C.

Izbrani so bili trije pH nivoji slin:

- pH 5 simulira pogoje infekcije,
- pH 7 simulira normalne fiziološke pogoje in
- pH 8 simulira pogoje oteklina.

Vzorce so potopili v Ringerjevo raztopino v kemično inertnih posodah, ki so bile vzdrževane v vodi na temperaturi 37°C. Majhne količine raztopine za določanje Ni<sup>2+</sup> s pomočjo plazma emisijske spektrometrije so odvzeli v določenih intervalih po metodi, ki omogoča določanje 0,1 ppm Ni v raztopini. Meritve so zelo selektivne in kažejo odlične lastnosti preiskovane Ni-zlitine.

Na slikah 3 in 4 so prikazane krivulje sproščanja Ni<sup>2+</sup> v toku časa<sup>17</sup> in to za lito stanje.



Slika 3. Sproščanje Ni<sup>2+</sup> iz komercialne zlitine 22Cr6MoSiB v litem stanju, izpostavljene umetni slini pri 37°C, za različne pH. Komercialni ulitek

Figure 3. Commercial 22Cr6MoSiB alloy, as-cast. Liberation of Ni<sup>2+</sup> from the commercial alloy, exposed to synthetic saliva at 37°C and various pH. Commercial casting

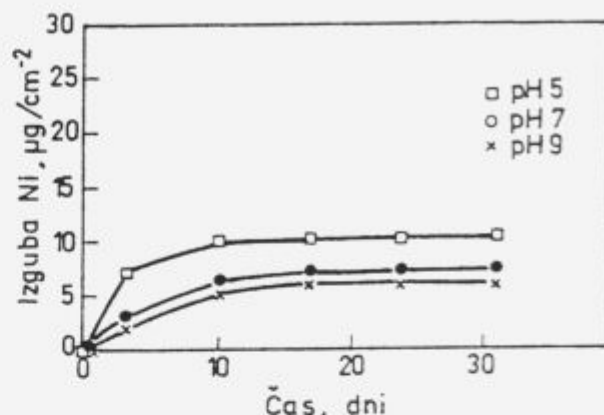
Toplotna obdelava z žarjenjem porcelanske mase ima močan vpliv na homogenizacijo lite mikrostrukture.

Sproščanje Ni<sup>2+</sup> iz zlitine BIOMATE<sup>®</sup>-C pri implantaciji je omejeno na približno 0,35 milijoninke grama na kvadratni centimeter izpostavljene kovinske površine po enem mesecu v umetni slini v normalnih fizioloških pogojih (pH = 7). Iz slike 6 je razvidno, da sproščanje poteka pretežno v prvih 8-10 dneh, kasneje pa to ni več pomembno.

Največje merjeno sproščanje na kvadratni centimeter in sicer 0,1 µg/dan za žarjeno in polirano zlitino po 2 - 3 dneh izpostavljanja slini je popolnoma nepomembno v primerjavi s 300 - 400 µg, ki jih dnevno absorbiramo z dihanjem in s hrano<sup>18,19</sup>.

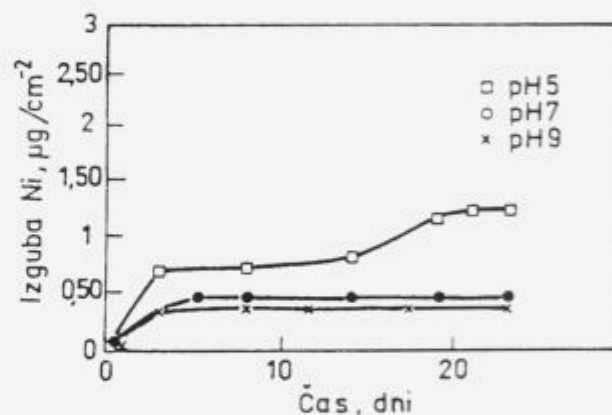
Slika 5 prikazuje to sproščanje Ni<sup>2+</sup> pri uporabi "v živo".

Slika 6 pa na osnovi podatkov iz slike 5 prikazuje sproščanje Ni<sup>2+</sup> na dan.



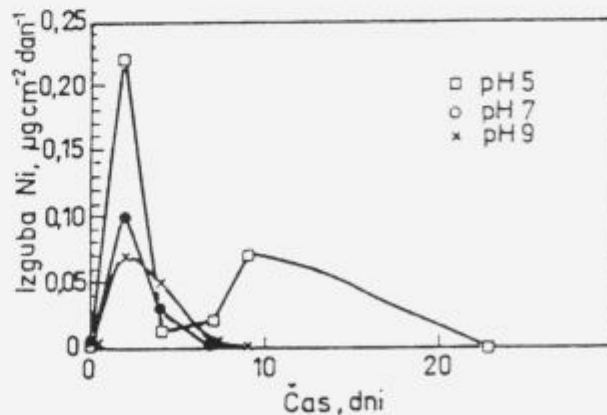
Slika 4. Sproščanje Ni<sup>2+</sup> iz zlitine BIOMATE<sup>®</sup>-C v litem stanju, izpostavljene umetni slini pri 37°C, za različne pH. Komercialni ulitek

Figure 4. BIOMATE-C, alloy as cast. Liberation of Ni<sup>2+</sup> from the BIOMATE<sup>®</sup>-C alloy, exposed to synthetic saliva at 37°C and various pH. Commercial casting



Slika 5. Sproščanje Ni<sup>2+</sup> iz zlitine BIOMATE<sup>®</sup>-C, žarjene in polirane, izpostavljene umetni slini pri 37°C, za različne pH. Pripravljeno za uporabo "v živo".

Figure 5. BIOMATE-C, fritted and polished. Liberation of Ni<sup>2+</sup> from the BIOMATE<sup>®</sup>-C alloy, exposed to synthetic saliva at 37°C and various pH. Prepared for "live" application



Slika 6. BIOMATE<sup>®</sup>-C, žarjena in polirana. Dnevno sproščanje Ni<sup>2+</sup> določeno iz krivulj na sliki 5

Figure 6. BIOMATE-C, fritted and polished. Liberation of Ni<sup>2+</sup> per day, determined from curves in Fig. 5

Pri stalnem izvoru niklja moramo upoštevati vodo, prehranske artikle (olje, margarina, sadje, zelenjava itd.) in sproščanje niklja iz pribora za pripravo in uporabo hrane. Ta je v veliki meri iz nerjavnih jekel, ki vsebujejo poprečno 10-12% Ni.

Absorpcija z vdihavanjem je v glavnem povezana z industrijskimi plini, z motorji, dimom in tobakom. Poleg tega pa je nikelj prisoten v mnogih drugih predmetih, s katerimi prihaja človeško telo v stik.

Vse to je v razumljivi zvezi z vsem, kar smo že omenili glede alergije na dentalne izdelke iz Ni-Cr-Mo korozijsko obstojnih zlitin, ki ne pride do izraza niti pri bolnikih, ki so sicer alergični na nikelj<sup>7</sup>.

Toplotna obdelava s peko porcelana močno vpliva na homogenizacijo lite mikrostrukture, kar izboljšuje kemične lastnosti.

### 3.6 Adhezija med kovino in porcelanom

Parameter, ki ima odločilno vlogo pri lastnostih, katere pomembno kvalificirajo uporabnost dentalne zlitine za fiksno protetiko, je **linearni termični razteznostni koeficient (LTRK)**. Ta predstavlja fizikalno lastnost zlitine in merilo "kompatibilnosti" zlitine s porcelanom, ki odloča o tem, kako zdrave in trajne so konstrukcije fiksnih protez.

Karakteristična koeficienta obeh uporabljenih materialov, zlitine in porcelanske mase morata biti optimalno usklajena.

Na osnovi opravljenih raziskav o vplivih posameznih elementov v kemični sestavi znamo optimirati sestavo zlitine za doseganje potrebnih razteznostnih koeficientov. Glavni trije elementi Ni, Cr in Mo so seveda odločilni, jakost njihovega vpliva pa se izraža zelo različno.

Zlitine, ki se uporabljajo za fiksno protetiko, imajo med 20°C in 600°C LTRK v širokem območju (13,8 + 15,5) 10<sup>-6</sup> K<sup>-1</sup>, za posamezne kombinacije pa mora biti LTRK zlitine optimalno prilagojen in čim bližje določeni ciljani vrednosti za uporabljeno porcelansko maso.

Ustrezni razteznostni koeficient je odločilnega pomena pri zagotavljanju adhezije med kovino in porcelanom, ni pa zadosten kriterij za zagotovitev maksimalne adhezije. Ta je odvisna od vrste in kakovosti kemično-difuzijske vezi med komponentama. Oksidi in sledovi določenih elementov v zlitini odločilno vplivajo na stično površino v ciklusih peke porcelana.

Posebne študije so pokazale, kakšna je vez med porcelanom in superzlitino BIOMATE<sup>®</sup>-C v toku žganja pri cca 950°C<sup>8</sup>. Z elektronsko mikroskopijo in XPS spektrometrijo so bile opravljene obsežne raziskave z meritvami koncentracijskih profilov pomembnih kemijskih elementov, ki medsebojno difundirajo med porcelanom in zlitino ter zagotavljajo popolno adhezijo<sup>9</sup>.

Edina poznana specificirana zahteva se nanaša na dragocene zlitine za porcelan (ADA nr.38) in predpisuje dimenzijske spremembe med 0,61% in 0,71% v temperaturnem intervalu 25-500°C. Naša zlitina dosega dimenzijske spremembe v tem območju 0,67%, torej zagotavlja kompatibilnost tudi s porcelanom, ki se uporablja za dragocene zlitine po normativu v specifikaciji ADA nr. 38.

### 3.7 Odpornost proti oksidaciji

Optimalna kemijska sestava zlitine zagotavlja, da na temperaturi peke porcelana, ob primernem delu ne pride do neestetskega zelenkastočrnega obarvanja porcelanskih plasti.

## 4. Sklepne misli

Za dentalna dela visoke kakovosti z novim alternativnim materialom na področju fiksne protetike so dane realne možnosti.

Optimalna kemijska sestava zlitine zagotavlja, da se na temperaturi peke porcelana ob primernem delu porcelanske plasti ne obarvajo zelenkasto.

Rezultati eksperimentov kažejo, da nikljeva zlitina, izdelana z napredno visoko tehnologijo, zagotavlja optimalno kombinacijo najpomembnejših fizikalnih, adhezijskih, mehanskih, kemičnih in antikorozijskih lastnosti ter biokompatibilnosti.

Drugi del članka o razvoju dentalnih zlitin na osnovi Co-Cr-Mo bo objavljen kot nadaljevanje.

## 5. Zahvale

Raziskave je v okviru industrijsko-razvojnih projektov sofinanciralo Ministrstvo za znanost in tehnologijo na osnovi prijave MIL-PP d.o.o., podjetja za razvoj in proizvodnjo specialnih zlitin, LJUBLJANA s sodelovanjem Inštituta za kovinske materiale in tehnologije, LJUBLJANA.

Za raziskovalno-razvojno sodelovanje in trženje se zahvaljujemo inštitutu Centro Sviluppo Materiali, Roma, Italia, pri čemer se je za učinkovito sodelovanje zavzemal posebno Dr.Ing. Alberto Tamba.

Za dragocene strokovne nasvete in predstavitev domače proizvodnje dentalnih zlitin v Zobozdravstvenem vestniku se posebej zahvaljujemo prof. dr. Rajku Sedeju in prof.dr. Ljubu Marionu iz Univezitetne stomatološke klinike in Uredništva Zobozdravstvenega vestnika.

## LITERATURA:

1. Sedej R., B. Breskvar, D. Gnidovec, M. Kališnik, L. Marion: RAZISKAVA DOMAČIH Co-Cr-Mo ZLITIN NA BOKOMPATIBILNOST, Medicinska fakulteta Univerze v Ljubljani, Katedra za stomatološko protetiko, M 329/1244-79, 1980.
2. Breskvar B., D. Gnidovec, F. Vodopivec, R. Sedej: TEHNOLOGIJA IZDELAVE SUPERZLITIN, Poročilo SŽ-Metalurškega inštituta v Ljubljani št. 85-072, april 1986.
3. Rodič J.: SKRAJŠEVANJE TEHNOLOŠKEGA POSTOPKA OD TALINE DO ŽICE, Železarski zbornik 22, 4., 1988, str. 101-109.
4. Rodič J., K. Habijan, M. Strohmatier, A. Osojnik, A. Rodič, J. Žvokelj: RAZVOJ HORIZONTALNEGA KONTI-LITJA (HKL) DENTALNIH SUPERZLITIN, Poročilo RR naloge po pogodbi 42-0389 Ministrstva za znanost in tehnologijo RS.
5. Tamba A., S. Fioravanti: NEW Ni-base DENTAL SUPER-ALLOY FOR CERAMO-METAL RESTORATIONS - Int. Conf. Evolution of Advanced Materials, AIM-ASM, Milano, May 31-June 2, 1989, p.p. 583-590.
6. Craig R.G., W.J.O'Brien, J.M. Powers: DENTAL MATERIALS-PROPERTIES AND MANIPULATION" 2 ed., c.v. Mosby Co., St.Luis 1979.
7. Tamba A., S. Fioravanti: SUPERLEGHE DELLA LINEA BIOMATE<sup>®</sup> PER IMPIEGHI DENTALI, izdaja Centro Sviluppo Materiali, Roma.
8. Weber H.: EDELMETALLFREIE (NEM) KRONENBRÜCKEN UND GESCHIEBEPROTHETIK, Quintessenz, Berlin 1985, p. 215.
9. Ibidem p. 221.
10. Nora S., Y. Simonpaoli: Le Chirurgien Dentiste de France 54, No. 282, Sept 1984.
11. Moffa J.P., J. Ada: 104, 501 (1982).
12. Spiechowicz E.: 4<sup>th</sup> Congress European Prosthodontic Ass., Warsaw, Poland, 1980.
13. Meyer J.M.: Corr. Sci. 17, 971 (1977).

14. Laub L.W., J.W. Stanford: Gold Bull. **14**, 13 (1981).
15. Nagay K.: "Dental Materials Research" Ed. G. Dickson and J.M. Cassel, 201, 1972, Washington D.C., National Bureau of Standards.
16. Corso P.P. Jr., R.M. German, H.D. Simmons Jr.: J. Dent. Res. **64**, 854 (1985).
17. Degrange M., M. Sadoun, B. Oudard: Etude de la Faculté de Chirurgie Dentaire, Paris V.
18. Louria D.B., M.M. Joselow, A.A. Browder: Ann. Inter. Med. **76**, 307 (1972).
19. Schroder H.A., J.J. Balasse, I.H. Tipton: J. Chronic. Dis. **15**, 51 (1962).



## DODAJNI MATERIALI ZA VARJENJE



Dobri varilci

uporabljajo naše dodatne materiale za varjenje že 50 let

 ŽELEZARNA JESENICE  
**FI PROM**

64270 Jesenice, Cesta železarjev 8  
telex: 37219, 37212 SI ŽELJSN

Telefax: 064/861-442, 861-412  
Telefon: 064/861-441  
Int. tel.: 28-02, 27-43

# Izračun stroškovnih nosilcev oz. kalkulacije s pomočjo analize in sinteze poteka dela po metodi REFA

## The Model of the Prime Cost Calculation by Analysis and Synthesis According to REFA Methods

I. Cundrič, M. Lah, S. Mihelčič, M. Hladnik, Železarna Jesenice

Prikazan je model kalkulacij za hladno valjane jeklene izdelke v obratu Hladne valjarne Bela, ACRONI METALURGIJA - Železarna Jesenice. Model je izdelan s pomočjo ANALIZE in SINTEZE poteka dela po REFA metodah. Izračun stroškovnih nosilcev je izdelan z dodatki in strojnimi urami. Kot primer je naveden izračun izdelavnih časov in stroškov postopka.

**Ključne besede:** hladna valjarina, kalkulacija, REFA

The model of the prime cost calculation for cold rolled steel products in Cold Rolling Plant Bela -Iron and Steel Works Jesenice is presented. It is made with the help of ANALYSIS and SYNTHESIS according to REFA methodes. The calculation of costs carriers is made with additions and engine costs. The calculation of the manufacturing times and the costs of process is shown as an example.

**Key words:** cold rolling plant, calculation, REFA

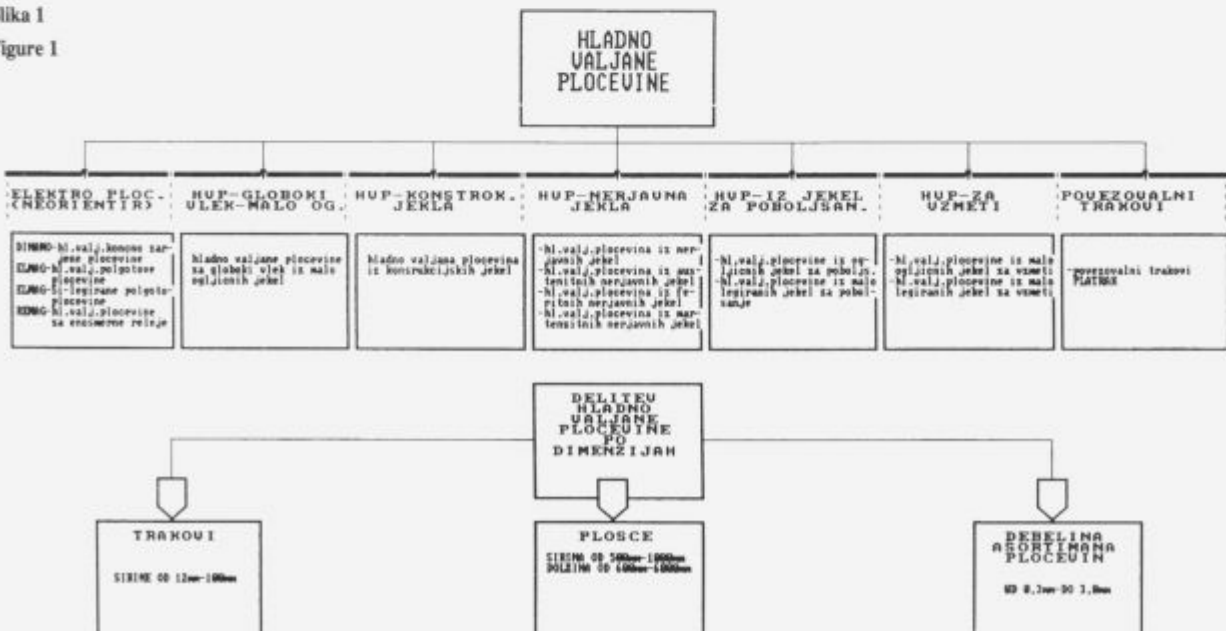
### 1. Uvod

Z modelom kalkulacij, ki ga objavljamo, želimo poudariti problem obvladovanja stroškov. Študijo objavljamo v zborniku zato, da z njo seznanimo tudi druge tehnične strokovnjake.

Vprašanja možnosti proizvodnje, ustrezne kvalitete in doseganja optimalnih stroškov so neločljivo povezana. Pri nas

velja prepričanje, da so kalkulacije le stvar ekonomistov in ne tehničnega kadra. Kako zmotno je to mišljenje smo spoznali na REFA izobraževanju, kjer smo obravnavali tudi naslovno temo. Do izračuna pridemo le s povezovanjem znanj iz področij tehnike-tehnologije, študija dela in časa, ekonomije in ostalih področij. V podjetjih obstajajo kalkulacije, iz katerih lahko le zaključimo, da je lastna cena previsoka. Te kalkulacije ne povedo,

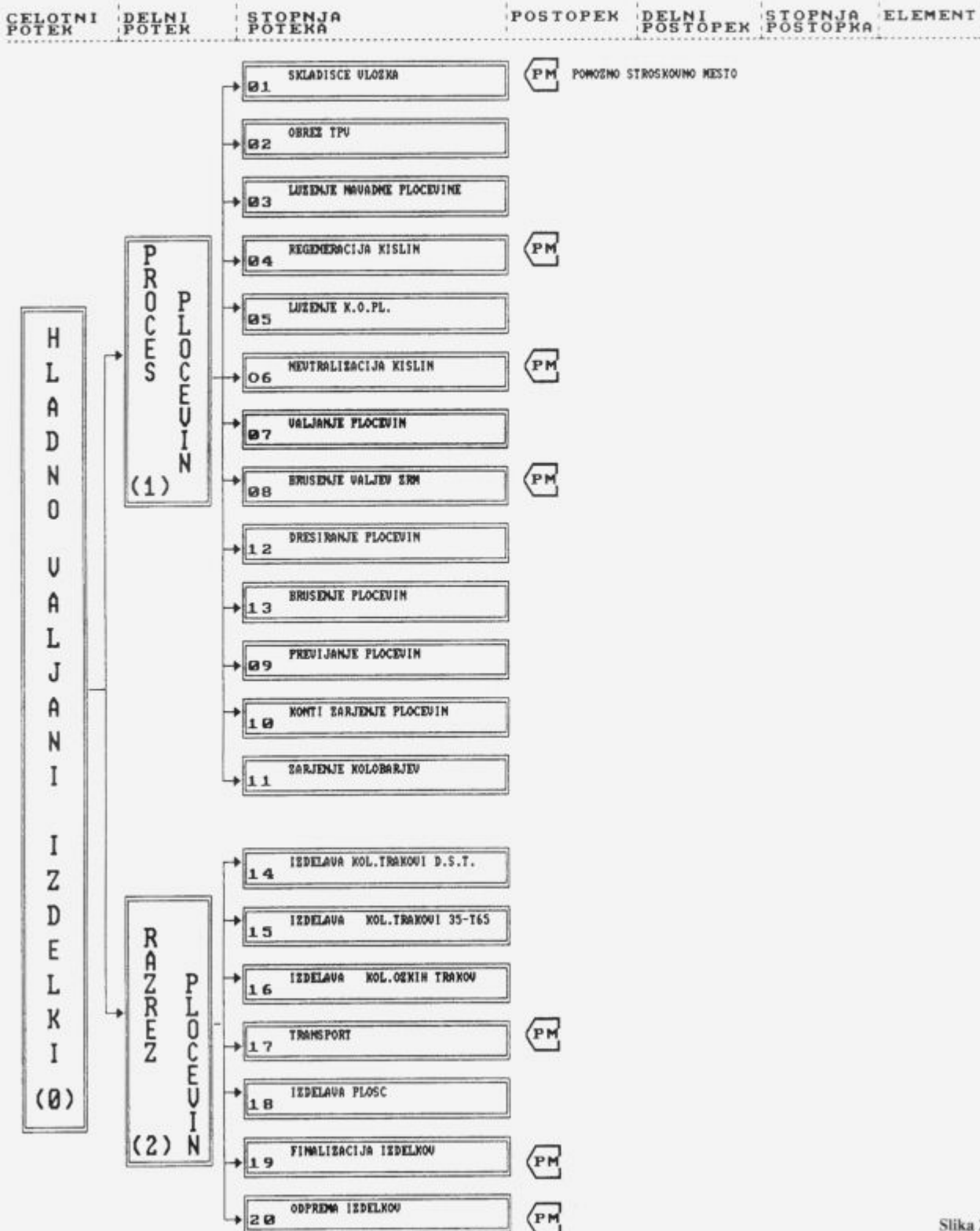
Slika 1  
Figure 1



# ANALIZA DELA

RAZCLENITEV DELOUNEGA POTEKA U HUB-(SIFRANT POTEKA A-B-CC-D)  
12.10.1992 ANALIZATOR

ODSEKI POTEKOV →



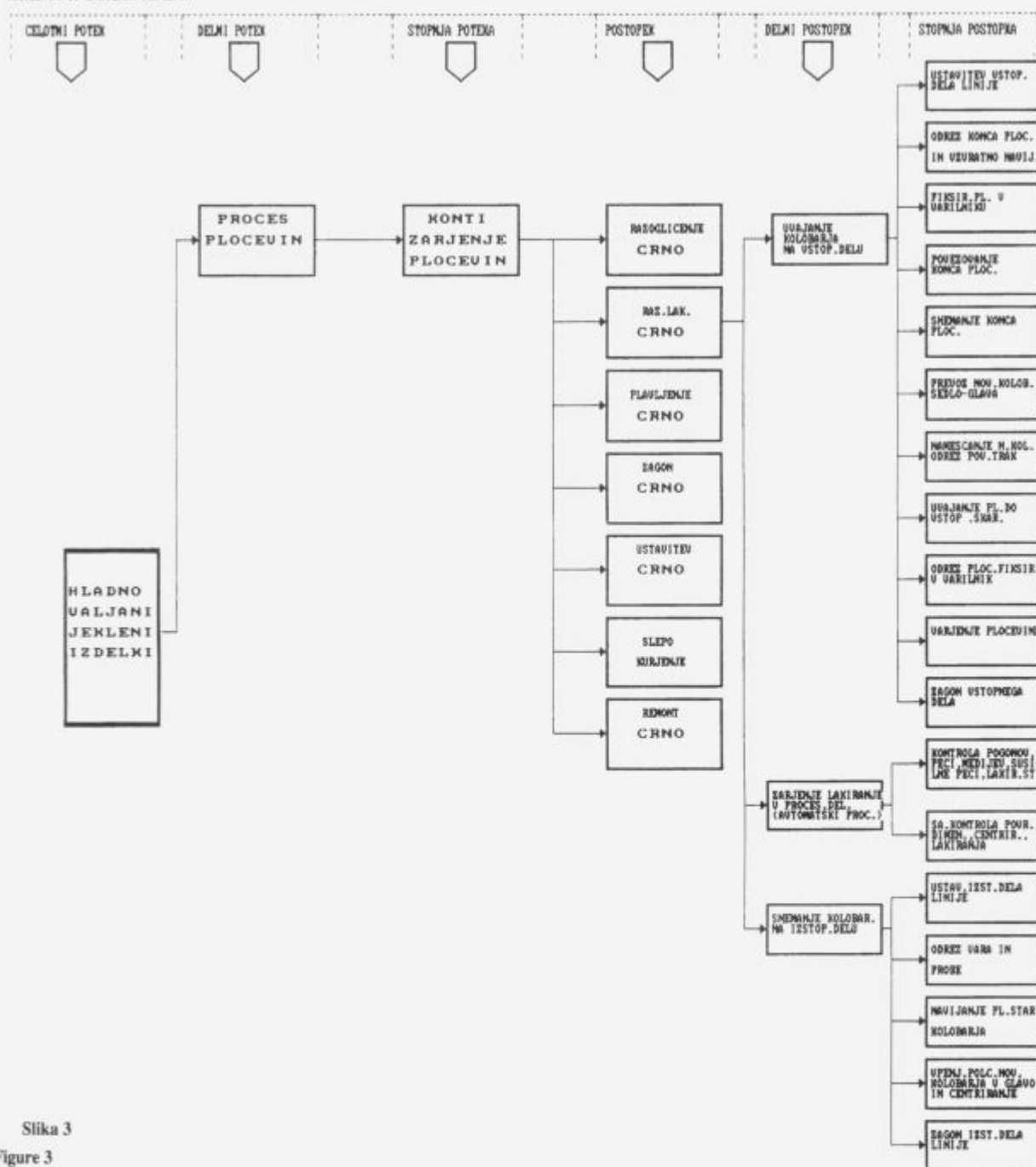
Slika 2  
Figure 2

## ANALIZA POTEKA DELA

22. 09. 1992

PRIMER KONTI ZARJENJA PLOCEVIN

TABELE 1



Slika 3

Figure 3

kaj naj naredimo, kje naj ukrepamo in kakšne možnosti sploh imamo, da proizvode pocenimo. Kalkulacije bi morale izhajati iz analize in sinteze poteka dela, vrst časov in stroškov.

S študijem dela sta se že v začetek našega stoletja ukvarjala Friderik W. Taylor in Frank B. Gilbert. Leta 1924 je bila ustanovljena v Berlinu REFA zveza, ki je po drugi svetovni vojni postala privatna neprofitna zveza, v kateri so zastopani različni predstavniki delodajalcev in delojemalcev.

REFA daje osnovo za uspešno organiziranost podjetij v več kot dvajsetih državah Evrope, Latinske Amerike in Azije. V letu 1989 je bila ustanovljena REFA zveza tudi v Sloveniji kot RE-

FA center pri Delavski univerzi Maribor, ki je pričela s programom izobraževanja.

Usmeritev REFA je razvoj in uporaba metod za dvig produktivnosti in humanizacije dela na vseh področjih gospodarstva in negospodarstva. Če se bomo pripravljene spoprijeti z reševanjem nakopičenih problemov, bomo morali upoštevati REFA metode.

## 2. MODEL KALKULACIJ

### 2.1 Predstavitev proizvodnje obrata

Izdelave modela smo se lotili v najbolj vitalnem delu ŽELEZARNE JESENICE, v obratu HLADNA VALJARNA

BELA, ki je finalni obrat in izdeluje različne vrste hladno valjanih izdelkov. Asortiman izdelkov oz. pločevin, ki nastopajo kot trakovi in plošče v različnih širinah in težah in so vseh debelin, je razviden iz **slike 1**.

Proizvodnja pločevin poteka na trinajstih proizvodnih linijah (avtomatizirane proizvodne linije) s kontinuirnim in nekontinuirnim načinom dela. Za oskrbo teh glavnih linij služijo še pomožne naprave in dejavnosti.

Vsaka vrsta pločevine ima svojo tehnološko pot (zaporedje in število naprav), zato imamo deset glavnih tehnoloških poti. Če upoštevamo ves debelinski in širinski assortiman ter vse vrste izdelkov, dobimo preko devetsto poti. Tehnološke poti imajo skupne le nekatere naprave. Na istih napravah so za različne kvalitete pločevin različni tehnološki parametri (hitrost, število operacij itd.). Ti so potem še odvisni od ostalih vplivnih veličin, kot so teža in dimenzija vložka, izdelka, pripravljalni časi, serija naročila itd. Kvalitete pločevin imajo lahko na istih napravah dodatne porabe materialov in različno porabo energije (izklopi določenih delov naprav).

## 2.2 Analiza poteka dela

Pred izdelavo modela smo naredili podrobno razčlenbo ali ANALIZO celotnega poteka dela do najmanjših smiselnih odsekov poteka:

- analizo izdelkov
- analizo celotnega poteka dela po odsekih
- analizo izplena materiala
- analizo tehnoloških poti po postopkih
- analizo vrst dejavnosti

- analizo časovnih vrst vseh postopkov
- analizo vrst stroškov vseh postopkov

Na **sliki 2** je prikazana celotna analiza poteka dela po odsekih.

Celotni potek hladno valjanih izdelkov razdelimo najprej na delne poteke, kot sta proces pločevin in razrez pločevin, nato pa naprej na pripadajoče stopnje potekov. Nadaljnja razčlenba na postopke in naprej do stopenj postopkov je prikazana s primerom stopnje poteka KONTI ŽARJENJE PLOČEVIN na **sliki 3**. Na vsakem odseku združujemo (sinteza) različne vrste izračunov časov in stroškov, kar je prikazano na **sliki 4**. Prejšnja razčlenba do stopnje postopka je potrebna za ugotavljanje pomožnih časov, ki jih potem dobimo s časovnim snemanjem. Ugotavljanje pomožnih časov je potrebno, saj predstavljajo lahko od 30 do 80% časa v izdelavnem času postopkov.

## 2.3 Sinteza poteka dela

S pomočjo SINTEZE poteka dela, ki je prikazana na **sliki 4** izdelamo model izračuna kalkulacij, ki smo ga predvideli v naslednjih korakih:

- izdelavni časi postopkov
- izdelavni stroški postopkov
- izdelavni stroški izdelka
- materialni stroški izdelka
- proizvodni stroški izdelka
- lastna cena izdelka

### 2.3.1 Izdelavni časi in izdelavne ure postopkov

Vrste časov, izdelavne čase in izdelavne ure postopka, ki so prirejeni našim napravam in načinu dela, prikazuje **slika 5**.

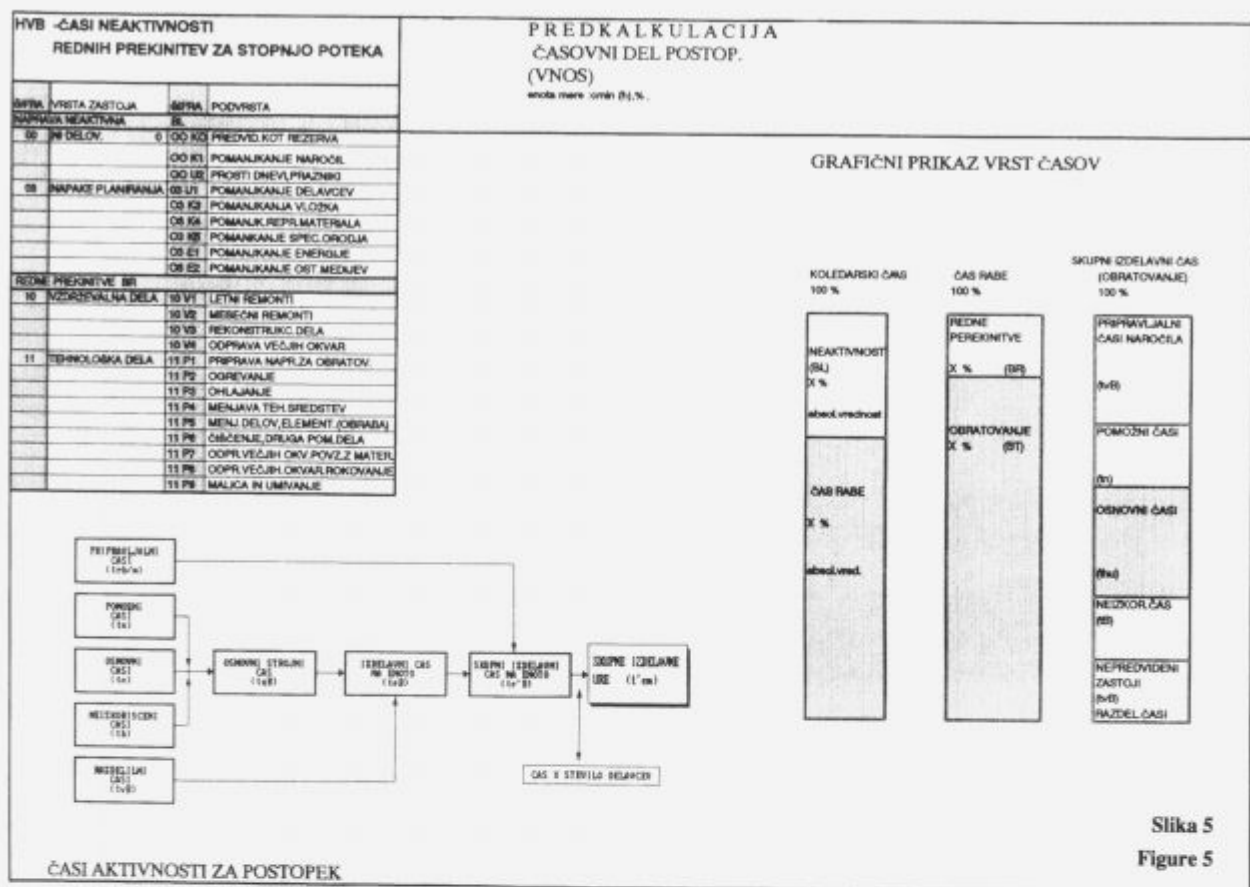
PREGLED ZAJEMANJA ČASOV IN STROSKOV NA ODSEKIH POTEKOV DELA IN METODE DOLOČEVANJA

Slika 4

Figure 4

ANALIZA POTEKA DELA	SINTEZA POTEKA DELA			
	CASI	METODE DOLOČ.	STROŠKI	METODE DOLOČEVANJA
<p>PROJEKTA</p>	-REAKTIVNOST -REDNE PREDIKTIVNE -OBRTAVNOST	-PLANIRANJE -PLANIRANJE, PRIMERJAVNE -IZRAČUN	-STROŠKI MESTO (NAPRAVA) -MALA OBRISTI (SA) -MALA OBRISTI (KZ) -STR. PROSTORA (KZ) -STR. UČROČEVANJA (KZ) -SPLOŠNI STROŠKI IZDEL.	-VREDNOTENJE, OČENJAVANJE -PLANIRANJE -PLANIRANJE, PRIMERJAVNE -PLANIRANJE, PRIMERJAVNE -OBRATN. STROŠK. LIST (SAB)
<p>POSTOPEK</p>	-SKUPNI IZDELAVNI ČAS NA ENOTO (t <sub>1</sub> eB) -SKUPNE IZDELAVNE URE (t <sub>1</sub> eB) -TEHNOLOŠKA POT (ZAPOREDJE VSEH POSTOP.)	-IZRAČUN -IZRAČUN	-STR. ENERGIJE IN POTROŠNIK (KZ) -POSREDI. PIS. STR. IZDEL. -IZOBISTEN. MATERIALA (IZPLEN)	-METRICE, PRIMERJAVNA -ZAVT. RUPCA, PRIMERJAVNA -PLANIRANJE, PRIMERJAVNE -IZRAČUN
<p>DELNI POSTOPEK</p>	-PRIPRAVLJALNI ČAS NA ENOTO (t <sub>1</sub> eB) -RAZREZILNI ČAS (t <sub>1</sub> eB) -OSNOVNI ČAS NAPRAVE (t <sub>1</sub> eB)	-CASOVNO SREDNANJE, PRIMERJAVNE -PRIMERJAVNE -IZRAČUN		
<p>STOPNJA POSTOPKA</p>	-POMOŽNI ČAS (t <sub>1</sub> e) -OSNOVNI ČAS (t <sub>1</sub> e) -NEIZKORISNI ČAS (t <sub>1</sub> e) -TEŽE IN DIMENZIJE IZDELKOV (ENOTI) -ŠTEVILU OPERACIJ IN HITROSTI	-CASOVNO SREDNANJE -IZRAČUN PROCESNIH ČASOV -CASOVNO SREDNANJE -TEHNIČNE ZMOGNOSTI IN ZAVITVE RUPCEV -TEHNIČNE ZMOGNOSTI OBRZNE		





Slika 5  
Figure 5

Navadno govorimo, da imamo vse kapacitete zasedene in da ne moremo nič storiti. Če pogledamo vrste časov na **sliki 5**, vidimo, da to ne drži. Izdelujemo oz. proizvajamo le v osnovnem času, v vseh drugih časih pa naprava miruje. Za nekontinuirne naprave se gibljejo osnovni časi od 20 do 70%, za kontinuirne naprave pa od 70 do 100% izdelavnih časov. Lahko si predstavljamo, kaj se zgodi npr. s fiksnimi stroški, če povečamo delež osnovnih časov, oz. zmanjšamo ostale čase. Delež osnovnih časov je zato najvažnejši pokazatelj nivoja proizvodnje.

Večkrat pozabljamo na pripravljalne čase, ki so močno odvisni od serije naročila, saj so v večini primerov večji od izdelavnih časov. Razdelilni časi so časi nepredvidenih zastojev. Kažejo, kako obvladujemo proizvodni proces, kako imamo vzdrževane stroje, s kakšnim vložnim materialom delamo, kako imamo izučene delavce. Neizkoriščeni časi so posledica neuklajenosti kapacitet in organizacijskih težav.

S spremljanjem vrst časov oz. dejavnosti na napravah ugotavljamo, kako smo se odmaknili od vnaprej določenih časov. Vnaprej določene čase moramo postaviti kot normativne čase, ki služijo nagrajevanju različnih nivojev.

### 2.3.2 Izdelavni stroški postopkov

Pod stroški razumemo v denarju ovrednoteno porabo dobrin in storitev za nek proizvodni postopek. Stroške razporedimo po vrstah stroškov, ki nastopajo v glavnem v kontnem razredu 4. Najpomembnejše vrste stroškov so:

- stroški izdelavnega materiala
- stroški direktnih in režijskih OD
- stroški odpisa in obresti
- stroški vzdrževanja

Stroške združujemo na stroškovnih mestih, kjer tudi nastajajo. Na **sliki 6** so prikazani stroški na stroškovnem mestu za določen postopek.

Stroške nato preračunamo na nosilce stroškov (izdelek ali storitev), kar je v našem primeru kolobar hladno valjane pločevine (osnovna enota). Na sliki prikazana strojna ura je sestavljena iz stroškov za obratna sredstva in za pomožna sredstva, ki jih lahko direktno pripišemo stroškovnemu nosilcu. Tako ostane le del stroškov kot splošni strošek izdelave.

Kalkulativni odpis (amortizacija) je največji strošek. V ceno izdelka vračunamo delež amortizacije, zato da dobimo povrnjeno investicijo. Ker investicija predstavlja kapital, moramo vračunati tudi obresti. Letno amortizacijo dobimo, če nabavno ceno (investicijo) naprave delimo z življenjsko dobo, ki smo jo predvideli za to napravo. Če to delimo še s časom obratovanja v letu, dobimo vrednost amortizacije na uro. Stroški prostora predstavljajo najemnine, zavarovalnine, stroške zgradb, amortizacije zgradb itd, ki so po ključu (m<sup>2</sup> prostora) pripisane stroškovnemu nosilcu.

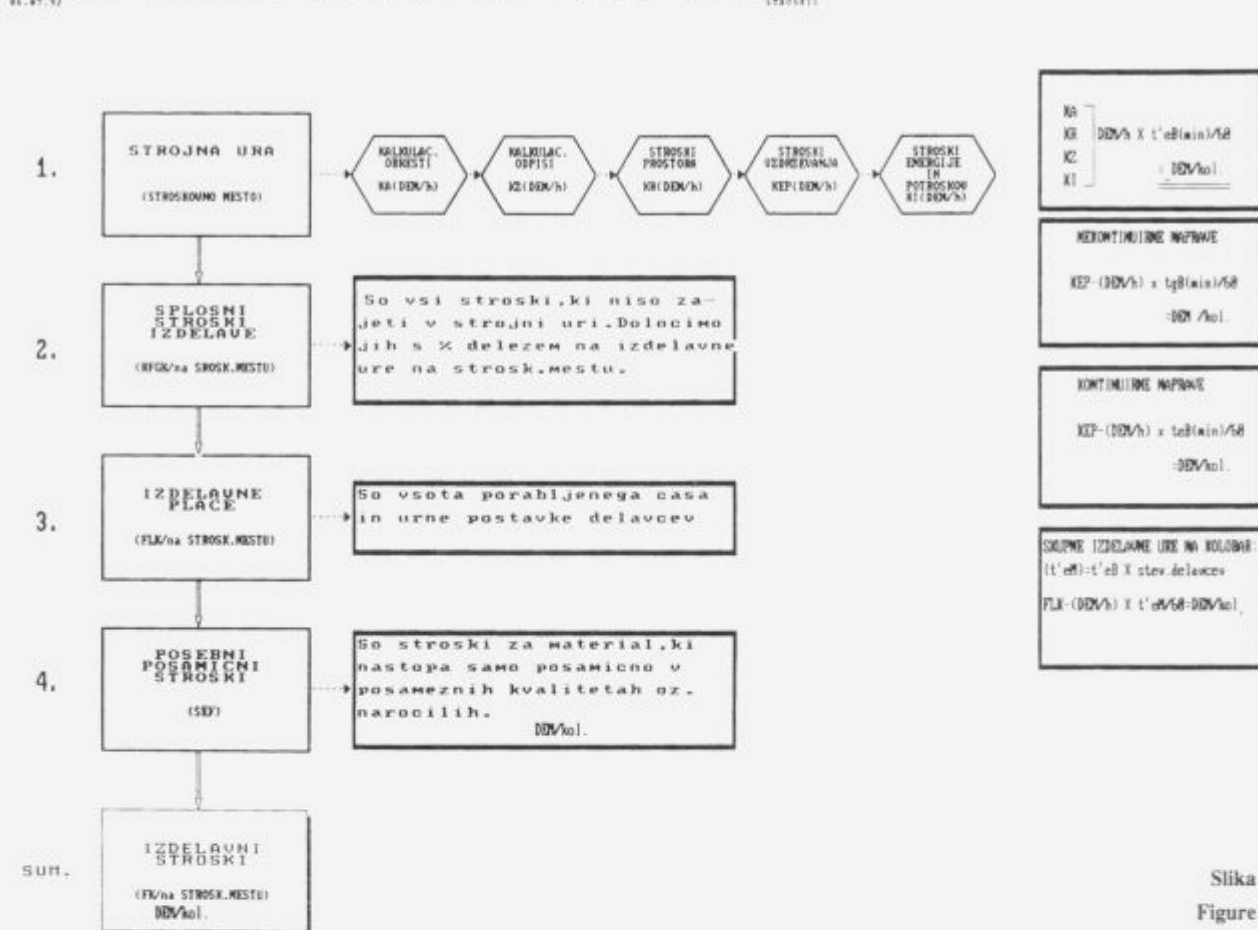
Ker so stroški izraženi v SIT oz. DEM na obratovalno uro, jih moramo preračunati na osnovno enoto izdelka, tako da jih pomnožimo s skupnim izdelovalnim časom t'eB, porabljenim na enoto izdelka. Skupni izdelovalni čas dobimo s seštevanjem pripravljalnega časa (deleža), razdelilnega časa, pomožnih časov, osnovnega časa in neizkoriščenega časa, prikazanih na **sliki 5**.

### 2.3.3 Primer izdelavnih stroškov postopka

Obdelali smo primer izdelavnih stroškov za enega od devetdesetih postopkov poteka dela, kjer je procent glavne rabe zelo ugoden. Prvi primer je izračunan za eno, dvo in triizmensko delo z deležem rednih prekinitev 20,4%, obratovanjem 79,6% v času tako imenovane rabe stroja.

V drugem primeru npr. z boljšo organizacijo zmanjšamo čas rednih prekinitev za 30% in razdelilni čas (nepredvideni zastoji) za 50%.

## IZDELAJNI STROŠKI NA STROSKOUNEM MESTU - za določen postopek



Slika 6  
Figure 6

Za tretji primer veljajo predpostavke prejšnjega primera, povečamo pa težo osn. enote (kolobarja) za 100% oz. iz 8 na 16t.

Razlike stroškov v prvem primeru med eno, dvo in tri izmenskem delu so izrazite. Stroški nam padejo iz 111.6 na 63.6 DEM/t, kar je razvidno iz prvih treh stolpcev primerjave stroškov na **sliki 8**. Razlika je zaradi zmanjšanja stroška amortizacije zaradi večjega obsega obratovanja. Deleži vrst časov v izdelavnem času ostajajo enaki za vse tri variante prvega primera in so prikazani v prvem stolpcu primerjav časov na **sliki 7** in **8**.

V drugem primeru so se spremenila razmerja časov v izdelavnih časih. Povečal se je delež osnovnega časa in zaradi tega so se zmanjšali izdelavni stroški postopka.

V tretjem primeru so se razmerja spremenila še naprej v dobro izdelavnih časov in dobimo najmanjše izdelavne stroške 48.3 DEM/t.

### 2.3.4 Izdelavni, materialni in proizvodni stroški izdelka

Izdelavne stroške izdelka dobimo s seštevanjem vseh postopkov poteka dela po tehnološki poti. Izdelavni stroški procesa so stroški izdelka HVPN, ki pomeni hladno valjano pločevino s toplotno in drugo končno obdelavo, maksimalne širine in v obliki kolobarja. Ta izdelek potem še vzdolžno in prečno razrezujemo in dobimo iz njega ostale izdelke, ki nastopajo pri razrezu. S seštevanjem vseh izdelavnih stroškov, direktnih ter splošnih materialnih stroškov dobimo **PROIZVADJALNE STROŠKE** nekega izdelka, kar prikazuje **slika 9**.

Direktni stroški materiala so najvišji stroški, saj pomenijo več kot 70% stroškov. V našem primeru predstavljajo stroške vložnega materiala oziroma toplo valjano pločevino in posebne embalažne in druge materiale. Izredno važen je izkoristek

vložnega materiala. S pomočjo analize poteka dela smo izdelali model izkoristkov materiala, ki upošteva tehnične možnosti izdelave in predstavlja ciljni izkoristek. Vsekakor je potrebno dosegati take izkoriste, kot jih dosegajo konkurenti.

### 2.3.5 Lastna cena izdelka

Da pridemo do končnega izračuna **LASTNE CENE**, moramo proizvodnim stroškom dodati še prevajene stroške, ki jih dodamo kot ustrezne procenete proizvodnih stroškov, kar prikazuje **slika 10**.

## 3. Zaključek

Pred izdelavo kalkulacij smo morali pridobiti vse potrebne podatke. Glavna opora pri zbiranju podatkov je bila analiza celotnega poteka dela. S to analizo smo razčlenili celotni potek dela do najmanjših odsekov poteka oz. do stopnje postopka. S pomočjo primerjanja, časovnega snemanja, izvrednotenja, planiranja smo prišli do podatkov vseh vrst časov in potroškov.

S pomočjo sinteze smo postavili odnose med podatki. Kot osnovo za potek dela smo vzeli postopek. Na nivoju postopka po modelu izračunamo izdelavne čase, izdelavne ure in izdelavne stroške. Tehnološka pot izdelave izdelka je sestavljena iz posameznih postopkov na napravah. S seštevanjem ustreznih postopkov izračunamo izdelavne stroške izdelka. Proizvodni stroški izdelka so sestavljeni iz izdelavnih in materialnih stroškov izdelka. Lastno ceno dobimo, ko proizvodnim stroškom dodamo še prevajene stroške.

Iz izračunov, ki smo jih izdelali, je razvidno, da moramo čim bolj izkoristiti koledarski čas, zmanjšati neaktivnosti in redne

## PRIMER 1.3

## PLANSKI ČASI :

Čas rabe	: 6264 h/leto	100.0 %
Redne prekinitve:	1278 h/leto	20.4 %
Obratovanje	: 4986 h/leto	79.6 %

## TEHNOLOŠKI PODATKI:

Teža kolobarja	: 8000 kg
Vhodna širina	: 1000 mm
Vhodna debelina	: 2.4 mm
Končna debelina	: 0.5 mm
Serijska naročila	: 20
Plan prevlekov	: EN 2.4/0.5/5

## IZRAČUN ČASOV :

1. Redne prekinitve (BR)	:			20.4 %
2. Pripravljalni čas (trB/M)	:	1.00 min./kol.	0.13 min./t	2.3 %
3. Pomožni čas (tn)	:	9.00 min./kol.	1.13 min./t	20.4 %
4. Osnovni čas (thu)	:	20.09 min./kol.	2.51 min./t	45.4 %
5. Neizkoriščeni čas (tb)	:	2.00 min./kol.	0.25 min./t	4.5 %
6. Osnovni čas naprave (tgB)	:	31.09 min./kol.	3.89 min./t	
6. Razdelilni čas (tvB)	:	3.11 min./kol.	0.39 min./t	7.0 %
Izdel.čas na enoto (teB)	:	34.20 min./kol.	4.27 min./t	
Skupni izd.čas na enoto (t"eB):	:	35.20 min./kol.	4.40 min./t	
Skupne izdelavne ure (t"eM)	:	140.80 min./kol.	17.60 min./t	

## IZRAČUN STROŠKOV :

1. Kalkul. odpisi KA	:	164.73 DEM/kol.	20.59 DEM/t	32.4 %
2. Kalkulacijske obresti (KZ):	:	16.47 DEM/kol.	2.06 DEM/t	3.2 %
3. Stroški prostora (KR)	:	10.88 DEM/kol.	1.36 DEM/t	2.1 %
4. Stroški vzdrževanja (KI)	:	98.84 DEM/kol.	12.35 DEM/t	19.4 %
5. Stroški energije (KE)	:	62.73 DEM/kol.	7.84 DEM/t	12.3 %
6. Stroški sp.orođij+olj (KP):	:	93.10 DEM/kol.	11.64 DEM/t	18.3 %
7. Splošni stroški (RFGK)	:	33.79 DEM/kol.	4.22 DEM/t	6.6 %
8. Izdelavne plače (FLK)	:	28.16 DEM/kol.	3.52 DEM/t	5.5 %
9. Posebni pos. stroški	:	0.00 DEM/kol.	0.00 DEM/t	0.0 %
Izdelavni stroški	:	508.69 DEM/kol.	63.59 DEM/t	

Slika 7

Figure 7

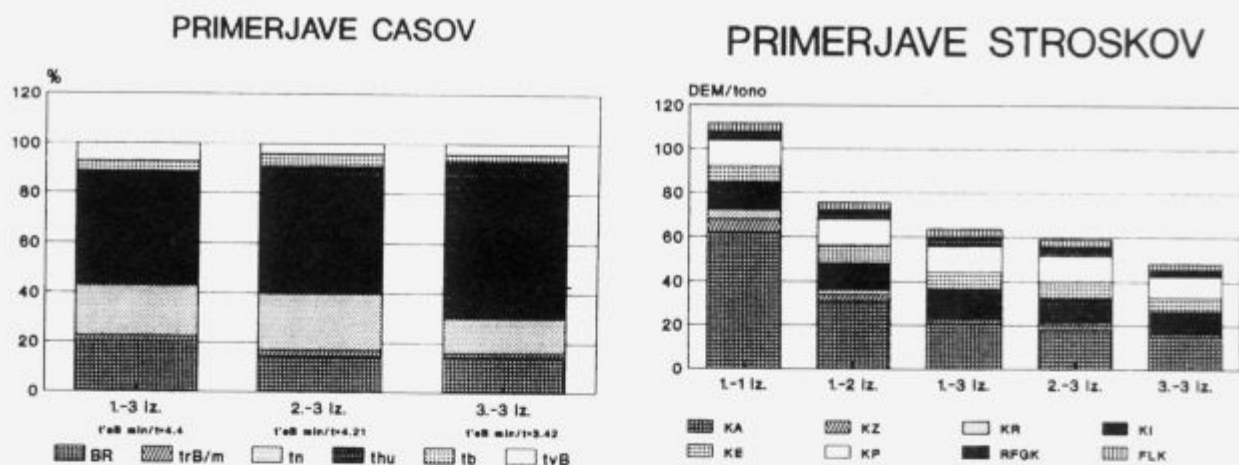
prekinitve, saj s tem občutno zmanjšujemo fiksne stroške. Znotraj obratovanja pa moramo skrajšati vse vrste časov (pripravljalni, pomožni, osnovni, neizkoriščeni, razdelilni čas), da dobimo čim krajše izdelavne čase in s tem manjše izdelavne stroške. Zavedati se moramo, da proizvajamo le v osnovnem času, ki predstavlja manjši delež vsega razpoložljivega časa obratovanja. Iz modela vidimo tudi vpliv materialnih stroškov in vseh prevajenih stroškov, ki jih pripišemo našemu izdelku.

Pomembno je, da vse čase, porabe in potroške, ki jih vnesemo v kalkulacijo, postavimo kot normative, s katerimi spremljamo dejanska doseganja v proizvodnji in drugod. Izračun lastne cene smo izdelali kot računalniški model za PC računalnik. Plani, predpostavke, meritve, ugotovitve, izvedenosti, cene, izkoristki, tehnološke poti itd. predstavljajo datoteke. Kot zunanji vnos smo predvideli vse poznane vplivne veličine, ki nastopajo pri izračunu. Lastno ceno lahko izračunamo kot mejno kalkulacijo, kjer ne upoštevamo splošnih stroškov, upoštevamo pa

vsekakor amortizacijo. Delovne naprave so izredno drage in ne upoštevanje amortizacije pomeni "samomor".

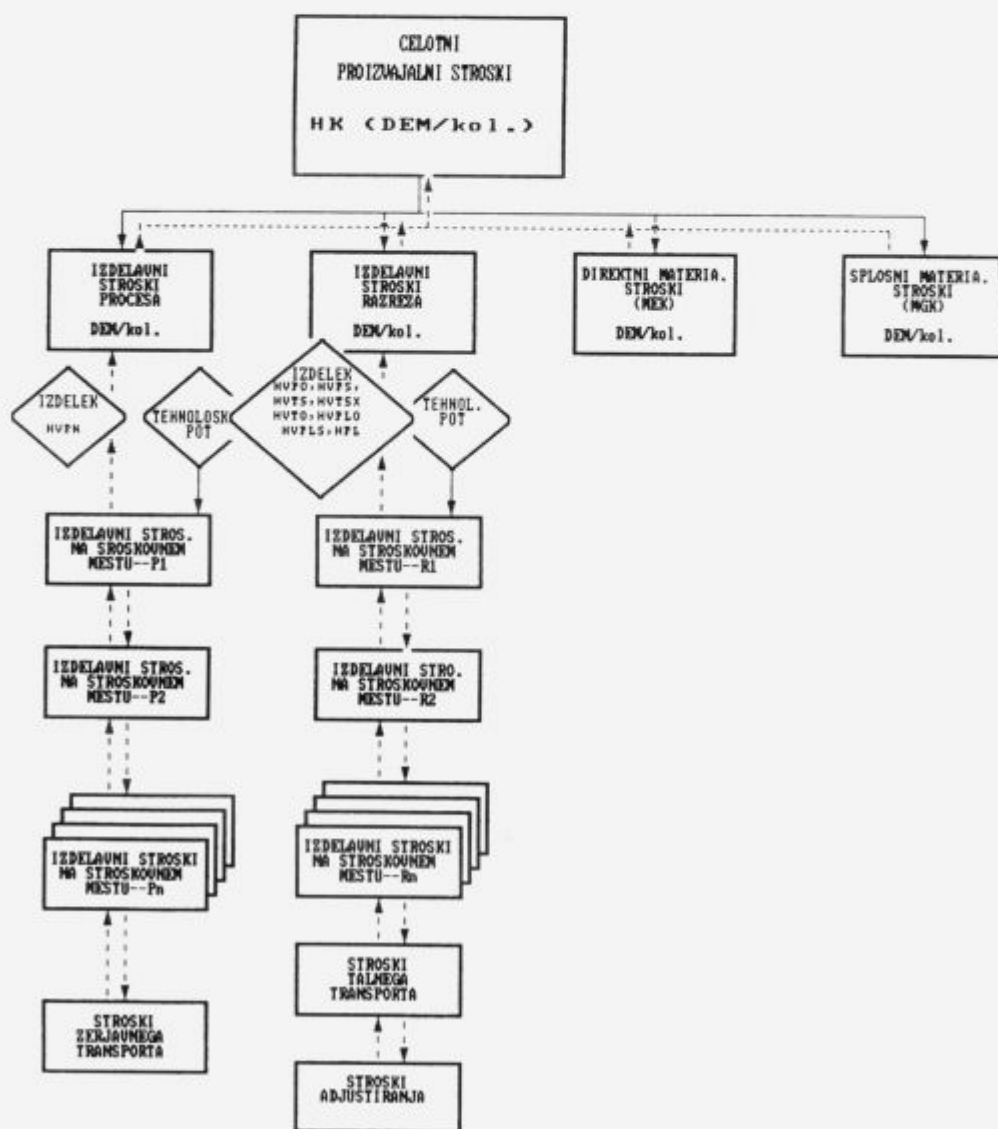
Model izračuna bomo predvideli tudi kot izračun pokalkulacije. Iz obračuna dejanskih stroškov moramo dobiti ustrezne podatke, ki jih potem vnesemo v model. Na žalost pa stroškovni sistem tega ne omogoča. Potreben je korenite prenove, ki se mora pričeti pri šifrantih materialov, stroškovnih vrstah, stroškovnih mestih pri osnovnih sredstvih, pri vseh predpisih, potrebnih dogovorjenih ključih, planskih cenah itd. Končno je potrebno izdelati obratni stroškovni list BAB, ki je osnova za izdelavo pokalkulacije. Iz časovnega dela stroškovnega izračuna lahko izpeljemo sistem normiranja časov, terminiranje proizvodnih postopkov, pretočne čase in čase naročila.

Z analizo in sintezo poteka dela postavimo osnove zagotavljanja kakovosti, ugotavljamo število potrebnih delovnih mest in drugo. Iz modela kalkulacij lahko načrtujemo potrebne racionalizacije, investicije, izpeljemo donosnost izdelkov itd.



Slika 8  
Figure 8

**HEMA CELOTNIH STROSKOV (HK)**  
 07.07.92 STROSK12

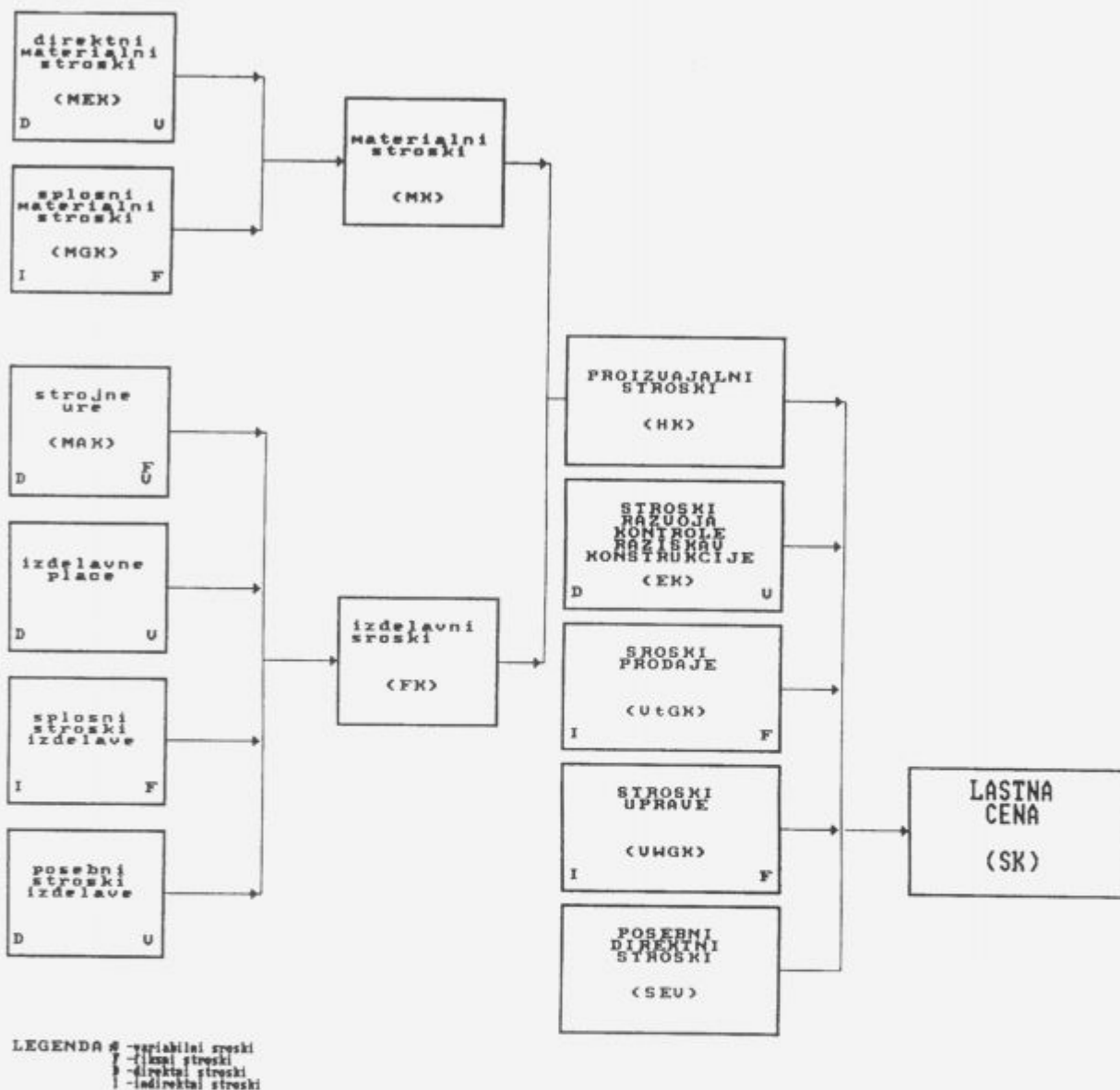


Slika 9  
Figure 9

**POLNA KALKULACIJA z dodatki in strojnimi urami (osnovna shema)**

18. 07. 1992

VERBAND



Slika 10  
Figure 10

Na koncu se moramo zahvaliti kolegom, ki so razumeli našo iniciativo. Prišli smo do zanimivih in upoštevanja vrednih ugotovitev in prepričani smo, da brez REFA znanj v prihodnosti ne bo šlo.

**4. Literatura**

1 REFA Verband für Arbeitsstudien und Betriebsorganisation: Methodenlehre des Arbeitsstudiums Teil 1, 2, 3



## IZDELUJE

- navadna konstrukcijska jekla
- drobnozrnata konstrukcijska jekla
- ogljična in legirana jekla
  - za poboljšanje
  - za cementacijo
- jekla za elektro pločevino
- nerjavna jekla

**ELEKTRO PLOČEVINE  
IN TRAKOVI**

**NERJAVNA  
JEKLA**

**MIKROLEGIRANA  
JEKLA**

**VISOKO OGLJIČNA  
JEKLA za poboljšanje**

- toplo valjane pločevine, trakove ter lamele
- hladno valjane pločevine, široke in ozke trakove
- hladno oblikovane profile
- kovinske podboje za vrata
- izsekance

## NUDIMO TUDI STORITVE:

- prevajanje
- izsekevanje (štančanje)
- krojenje
- ravnanje
- toplotne obdelave pločevin



## Mehanske lastnosti in korozijska odpornost super zlitine Ravnic2

### Mechanical Properties and Corrosion Resistance of Superalloy Ravnic2

B. Drogenik, D. Oblak, Železarna Ravne

*V naslednjem prispevku so podani rezultati preiskave zlitine Ravnic2. Določili smo optimalno temperaturo toplotne obdelave, mikrostrukturo, mehanske lastnosti ter oksidacijsko in korozijsko odpornost. Dobljene rezultate smo nato primerjali z rezultati ostalih proizvajalcev.*

*Ključne besede: zlitina Ravnic2, kemijska sestava in mikrostruktura, toplotna obdelava, mehanske lastnosti, trajna mirujoča trdnost, oksidacijska in korozijska odpornost*

*In the given paper the results of investigation of alloy Ravnic2 are presented. Optimal temperature of heat treatment, microstructure, mechanical properties and oxidation and corrosion resistance were investigated. Our results were compared with the results of other producers.*

*Key words: alloy Ravnic2, chemical composition and microstructure, heat treatment, mechanical properties, creep resistance, oxidation and corrosion resistance.*

#### Uvod

Ravnic2 je Ni-Cr-Co zlitina, ki se precipitacijsko utrjuje. Ima visoko trdnost in dobro odpornost proti lezenju do temperature 920°C, odporna je proti visokotemperaturni koroziji in oksidaciji. Zaradi teh lastnosti se uporablja za delo v toplem, za plinske turbine, vzmeti in v letalski industriji<sup>(1)</sup>.

V Železarni Ravne je bila v specialni jeklarni v vakuumski indukcijski peči izdelana poskusna šarža zlitine. Odliti sta bili dve elektrodi, ki smo jih pretalili po EPŽ postopku. Ingote smo nadalje predelali s kovanjem do dimenzije  $\Phi$  90 mm.

Raziskali smo lastnosti superzlitine Ravnic 2: mehanske lastnosti pri sobni in pri povišani temperaturi, trajne statične lastnosti pri povišani temperaturi ter oksidacijsko in korozijsko odpornost.

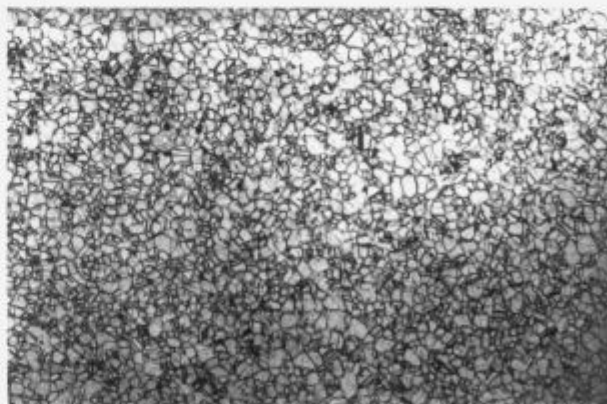
#### 1. Kemijska sestava in mikrostruktura

Kemijska sestava zlitine Ravnic2: 19% Cr, 19% Co, 2,5% Ti, 1,5% Al, maks.1,5% Fe, ostalo Ni. Zlitina je sestavljena iz austenitne nikljeve osnove, ki je precipitacijsko utrjena. Utrjevanje povzroča faza  $\gamma'$ , ki se formira v matrici in delno po mejah zrn. Izloča se v obliki finih precipitativ s sferično ali kubično morfologijo. Faza  $\gamma'$  ima ploskovno centrirano kubično kristalno strukturo, ki je koherentna s ploskovno centrirano kubično kristalno strukturo matrice. Ti precipitati imajo majhno površinsko energijo, kar povzroča večjo stabilnost pri delu v vročem. Poleg faze  $\gamma'$  se po mejah zrn pojavljajo še titanovi karbonitridi in karbidi. Zaželeno je, da ima zlitina optimalno količino in porazdelitev karbidov po mejah zrn in sicer v obliki globularnih mejnih karbidov<sup>(1,2)</sup>.

Na slikah 1a in 1b je prikazana mikrostruktura vzorcev v surovem stanju. Zrna so enakomerne poligonalne oblike, po mejah vidimo precejšnjo količino izločenih karbidov. Faze  $\gamma'$  z optičnim mikroskopom ne vidimo. Da dobimo po toplotni obdelavi

ustrezno velikost zrn in s tem zadovoljive mehanske lastnosti, je pomembna velikost zrn v surovem stanju. Ta ne sme biti večja od 4 po ASTM E112. V našem primeru je velikost zrn 6-8, kar ustreza tej zahtevi.

Na slikah 2a in 2b je prikazana mikrostruktura vzorcev, ki so bili raztopno žarjeni 8 ur pri 1080°C. Po žarjenju dobimo ponovno austenitno mikrostrukturo. V primerjavi z vzorci v surovem stanju so zrna v toplotno obdelanih vzorcih večja (2-4 ASTM E112), količina karbidov je manjša, izločeni so tako po mejah kakor tudi po zrnih.



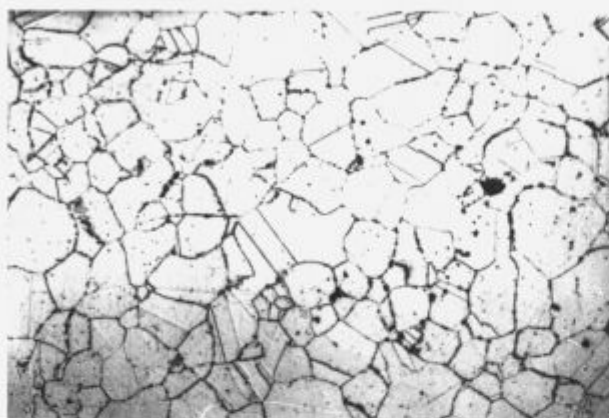
Slika 1a. Surovo stanje (100x)

Figure 1a. Initial state (100x)

#### 2. Določitev optimalne toplotne obdelave

Iz gredice  $\Phi$  90 mm smo izrezali vzorce za toplotne, metalografske in žilavostne preiskave ter jih raztopno žarili pri temperaturah 1050 in 1080°C ter časih 4, 8 in 10 ur v komorni in

vakumski peči. Po žarjenju smo vzorce še izločevalno utrdili pri 700°C 16 ur. Ko smo primerjali med seboj mehanske lastnosti ter mikrostrukturo različno žarjenih vzorcev, nismo opazili bistvenih razlik. Tudi žarjenje v vakuumu ni vplivalo na lastnosti zlitine. Pri naših raziskavah bi bilo zadostno že štiriurno žarjenje, vendar sklepamo, da je to posledica majhnih premerov vzorcev (Ø 10 mm). Na podlagi tega smo se odločili za naslednjo toplotno obdelavo: raztopno žarjenje pri 1080°C 8 ur, ohlajanje na zraku in izločevalno utrjevanje pri 700°C 16 ur, ohlajanje na zraku.



Slika 1b. Surovo stanje (500x)  
Figure 1b. Initial state (500x)



Slika 2a. 1080°C, 8h, kom. (100x)  
Figure 2a. 1080°C, 8h, kom. (100x)



Slika 2b. 1080°C, 8h, kom. (500x)  
Figure 2a. 1080°C, 8h, kom. (500x)

### 3. Mehanske lastnosti pri sobni temperaturi

Različno toplotno obdelane vzorce smo preizkusili na univerzalnem servohidravličnem stroju AMSLER, instrumentiranem Charpy kladivu PW300/150 ter izmerili trdoto po Brinelu. Rezultati vzorcev, ki so bili raztopno žarjeni pri 1080°C 8 ur, so podani v tabeli 1. V tabeli 1 imamo za primerjavo podatke po ISO DIS 9723<sup>(3)</sup> ter The Nimonic alloys<sup>(1)</sup>. Rezultati zlitine Ravnic2 v Železarni Ravne se zadovoljivo skladajo z rezultati drugih proizvajalcev.

	eksperiment. podatki ŽR / lit. podatki ISO DIS 9723 * - The Nimonic Alloys			SUROV
	TOPLOTNO OBDELAN VZ.			
	gašen	raztop.žar.	raztop.žar. + izloč. utr.	
Trdota(HB)	219	176/269	247/322*	330
Žil(J)			146	
Rp (N/mm)			675/695	
Rm (N/mm)			1108/1080	
A (%)			35/25	
Z (%)			41	
Velik zrn ASTM E112		3-4(2)	2-3(5-6)	6-8

Tabela 1. Mehanske lastnosti pri sobni temperaturi

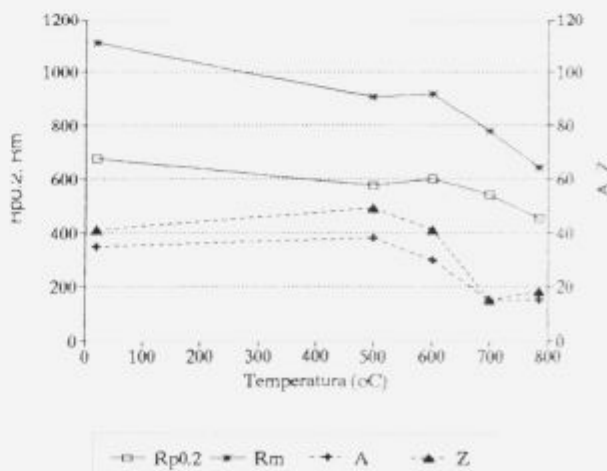
### 4. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi

Vzorce, ki so bili obdelani po poprej določeni toplotni obdelavi, smo preizkusili na servohidravličnem stroju tipa AMSLER. Dobljeni rezultati so podani v tabeli 2 in sliki 3. Iz diagrama vidimo, da so mehanske lastnosti Rp<sub>0.2</sub> in Rm, kakor tudi raztezek in kontrakcija obstojne do približno 700°C, nato s temperaturo postopno padajo.

Temp. (°C)	Rp0.2 [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm [N/mm <sup>2</sup> ]	A [%]	Z [%]	Rp0.2** [N/mm <sup>2</sup> ]	Rp0.2** [N/mm <sup>2</sup> ]	Rm** [N/mm <sup>2</sup> ]
20	675	1108	35	41	810	514	1109
500	574	905	38	49	750	485	948
600	601	915	30	41	720	462	907
700	542	776	15	15	690	457	807
785	453	642	15	18			
800					451	338	578
900					190	157	222
1000					30	23	113

\*\* - Boehler  
\* - The Nimonic Alloys

Tabela 2. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi



Slika 3. Mehanske lastnosti pri povišani temperaturi  
Figure 3. Mechanical properties at elevated temperatures



### 5. Preizkušanje trajne statične trdnosti pri povišani temperaturi

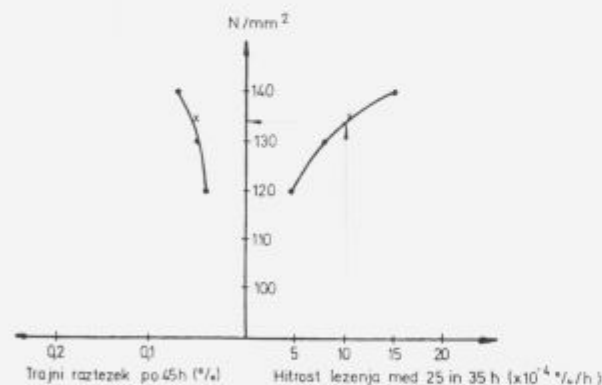
Preizkus lezenja smo izvedli na agregatu DSTM 702-AM-SLER. Cilj preizkušanja s trajnimi obremenitvami pri povišani temperaturi je, dobiti informacijo o obnašanju materiala pri danih pogojih.

V praksi se pogosto uporablja takoimenovana DVM meja lezenja: to je napetost, ki pri določeni temperaturi v časovnem intervalu med 25 in 35 uro preizkušanja izzove hitrost lezenja  $10 \times 10^{-4} \% / h$  pod pogojem, da trajna deformacija po 45 uri od začetka preizkušanja ne bo večja od 0,2%<sup>(5)</sup>.

DVM mejo smo določili pri temperaturi 870°C in začetni napetosti 140 N/mm<sup>2</sup>. Rezultati preizkusov so podani v **tabeli 3** in **sliki 4**. Na sliki vidimo, da obremenitev 140 N/mm<sup>2</sup> izzove med 25 in 35 uro lezenja hitrost  $15 \times 10^{-4} \% / h$ , medtem ko 0,2% trajnega raztezka po 45 urah ne dosežemo. Vendar predstavlja DVM mejo lezenja manjša vrednost teh dveh napetosti. Iz krivulje odčitamo DVM mejo pri temperaturi 870°C 134 N/mm<sup>2</sup>. Ko smo dobili DVM mejo, smo raziskali še vpliv temperature na lezenje. Vzorce smo obremenili s silo 135 N/mm<sup>2</sup> pri temperaturah 500 do 1000°C. Rezultati so podani v **tabeli 4**. Iz podatkov lahko razberemo, da je hitrost lezenja pri temperaturah 500, 600, 700 in 800°C zanemarljivo majhna. Pri 900°C se hitrost lezenja skokovito poveča, saj znaša  $107 \times 10^{-4} \% / h$ . Trajni raztezek po razbremenitvi je 2,2%. Pri 1000°C pa hitrosti lezenja nismo mogli določiti, ker so se vzorci takoj po obremenitvi porušili.

T = 780°C	NAPETOST (N/mm <sup>2</sup> )			
	120	130	135	140
Trajna def. po 45h (%)	0.038	0.049	0.045	0.074
Skupna def. pri 25h (%)	0.047	0.064	0.054	0.065
Skupna def. pri 35h (%)	0.051	0.072	0.065	0.081
Hitr. lezenja (graf.) $\times 10^{-4} \% / h$	4.5	6	6	15
Hitr. lezenja (rac.) $\times 10^{-4} \% / h$	4	8	9	16

Tabela 3. Vrednosti lezenja pri povišani temperaturi (pri konstantni temperaturi)



Slika 4. Določitev DVM meje lezenja

Figure 4. Determination of DVM creep limit

### 6. Določitev oksidacijske odpornosti

Zlitino smo raziskali pri temperaturi 700 do 1000°C. En vzorec je bil surov, eden raztopno žarjen pri 1080°C, ostali pa žarjeni pri 1080°C in izločevalno utrjeni pri 700°C. Dva od teh smo vsakih 24 ur vzeli iz peči in ju ohladili - na zraku in v vodi, dva pa smo kontinuirno žarili 50 oziroma 100 ur.

Zlitina ima dobro oksidacijsko odpornost pri vseh raziskanih temperaturah. Izredna oksidacijska obstojnost je posledica formi-

NAPETOST 135 N/mm <sup>2</sup>	TEMPERATURA (°C)				
	500	600	700	800	900
Trajna def. po 45h (%)	0.021	0.008	0.006	0.026	
Skupna def. pri 25h (%)	0.3	0.017	0.034	0.056	0.286
Skupna def. pri 35h (%)	0.03	0.017	0.037	0.056	2.869
Hitr. lezenja (graf.) $\times 10^{-4} \% / h$	0.5	0.5	2.7	1.7	107
Hitr. lezenja (rac.) $\times 10^{-4} \% / h$	0.3	0	2.7	0.7	138

Tabela 4. Vrednosti lezenja pri povišani temperaturi (pri konstantni napetosti)

ranja kompaktne oksidne plasti na površini, ki raste s temperaturo in časom ter upočasnji hitrost oksidacije.

### 7. Določitev korozijske obstojnosti

Zlitino smo raziskali v 4%, 10% in koncentrirani H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> in HCl. Naredili smo še preizkus odpornosti zlitine proti interkristalni koroziji po standardu DIN 50914. Vzorci so bili raztopno žarjeni pri 1080°C in izločevalno utrjeni pri 700°C. Rezultati so podani v **tabeli 5**.

	sobna temp.:		povišana temp.:		čas(t)
H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub>	4%	0	1		96
	10%	1	3		96
	konc.	1	1		96
H <sub>3</sub> PO <sub>4</sub>	4%	0	0		96
	10%	0	0		96
	konc.	0	3		96
HCl	4%	1	2		96
	10%	1	3		96
	konc.	2	3(48h)		96

0 - popolnoma obstojen material  
1 - dobro obstojen material  
2 - slabo obstojen material  
3 - neuporaben material

Tabela 5. Korozijska odpornost zlitine Ravnic2

Po standardu DIN 50914 je material odporen proti interkristalni koroziji.

### Zaključek

V Želzarni Ravne je bila v specialni jeklarni izdelana poskusna šarža zlitine Ravnic2. Zlitino smo mehansko preizkusili, opravili metalografski pregled in raziskali oksidacijsko in korozijsko odpornost. Dobljene vrednosti smo nato primerjali z razpoložljivimi podatki drugih proizvajalcev. Ugotovili smo sledeče: Rezultati preizkušanj mehanskih lastnosti pri sobni in povišani temperaturi zlitine Ravnic2 se skladajo s podatki po standardu ISO DIS 9723, prav tako s podatki iz knjige The Nimonic Alloys. Boehlerjeve vrednosti zlitine NiCr20Co18Ti, ki odgovarja zlitini Ravnic2 pa so precej višje. Oksidacijska obstojnost zlitine je zelo dobra, saj je odporna še pri 1000°C, prav tako je odporna proti interkristalni koroziji. Korozijska obstojnost zlitine v raztopinah H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> in HCl je pri sobni temperaturi zelo dobra, pri povišani temperaturi pa je neodporna v 10% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, koncentrirani H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> in v HCl.

### Literatura

- W. Betteridge, J. Heslop: The Nimonic Alloys, Edward Arnold (Publishers) Limited 1974
- H. Kaker: Mikrostruktura svojstva niklovih superslitina, Zbornik predavanja u Želzarni Ravne, Ravne 1998
- ISO DIS 9723, Nickel and nickel alloy bars, International Organization for Standardization
- Boehler: Edelstahl - Handbuch
- D. Dobi: Preizkušanje trajne statične trdnosti pri povišanih temperaturah, Informativni fužinar, 1991, 9.



INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE  
IN TEHNOLOGIJE p.o.

INSTITUTE OF METALS  
AND TECHNOLOGIES p.o.

61000 LJUBLJANA, LEPI POT 11, POB 431,  
SLOVENIJA

Telefon: 061/1251-161, Telefax: 061 213-780

**SLOVENSKO DRUŠTVO ZA MATERIALE  
SLOVENIAN SOCIETY OF MATERIALS**

61000 Ljubljana, Lepi pot 11  
tel.: 061 1251 161, Fax.: 061 213 780

# SLOVENSKO DRUŠTVO ZA MATERIALE

## PROGRAMSKA IZHODIŠČA

Slovensko društvo za materiale je bilo ustanovljeno z namenom, da se v njem povežejo vsi strokovnjaki, ki se ukvarjajo z materiali (anorganski nekovinski, polimeri in kovinski materiali), da bi v javnosti delovalo kot asociacija, ki mora biti konsultirana pri pomembnih odločitvah. Programska izhodišča Slovenskega društva za materiale so naslednja:

- povezava strokovnjakov, ki se ukvarjajo z materiali (anorganski nekovinski, polimerni, kovinski) v strokovno združenje;
- pričetek konstruktivnega sodelovanja na področju raziskovanja in izobraževanja;
- organizacija strokovnih predavanj, ki naj služijo boljšemu medsebojnemu poznavanju in afirmaciji mladih strokovnjakov;
- organizacija izobraževalnih seminarjev;
- razširitev vsakoletnega jesenskega srečanja v Portorožu;
- priprava spiska neodvisnih ekspertov za ocenjevanje projektov na področju materialov;
- vključitev v Evropsko federacijo za materiale, kar bi omogočilo tudi organizacijo mednarodnih manifestacij;

Sedež Slovenskega društva za materiale je na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana, Lepi pot 11.

V društvo se lahko včlanijo vsi strokovnjaki z visoko izobrazbo in študentje.

## Korozijska odpornost tračno navarjenih posod izdelanih iz drobnozrnatega mikrolegiranega jekla NIOMOL 490

### Corrosion Resistance of Vessels Manufactured from Finegrained Microalloyed Steel NIOMOL 490 with Built-up Strips

B. Godec, J. Vojvodič-Gvardjančič, Inštitut za metalne konstrukcije, Ljubljana  
L. Vehovar, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana

*Izdelana je bila podnica D/R/v/t = 1000/1000/100/12 z rotacijskim vlečenjem po hladnem postopku iz mikrolegiranega fino-zrnatega jekla NIOMOL 490, nanj pa navarjen nerjavni trak INOX-TR 22/12/9. Raziskali smo korozijsko odpornost tako izdelane podnice s pomočjo korozijskih testov po ASTM in selektivnih elektrokemičnih korozijskih meritev, z namenom določiti korozijsko obstojnost navara v medijih procesne tehnike, prehrabene, papirne in kemične industrije. Določili smo vrsto korozije, ki se v dani situaciji lahko manifestira in nevarnost, ki jo ta predstavlja.*

*Ključne besede: tračno navarjanje, posoda, korozijska odpornost*

*Cold rotary drawing was applied to manufacture a bottom of the following dimensions: D/R/v/t = 1000/1000/100/12. Low-alloyed finegrained NIOMOL 490 steel was used as the base material. An INOX - TR 22/12/9 stainless steel strip was welded onto the bottom. Corrosive resistance of thus manufactured bottom was tested according to the ASTM corrosion tests, and with selective electrochemical corrosion measurements in order to find the corrosion of weld resistance in the media existing in the food in the paper and in the chemical industry. The type of corrosion was determined which could appear in a given situation and represent a danger for a possible failure.*

*Key words: built up-strips welding, vessel, corrosion resistance.*

#### 1. Uvod

Uporaba posebnih pločevin za izdelavo tlačnih posod, rezervoarjev in druge opreme za skladiščenje agresivnih medijev iz ekonomskega stališča ni vedno najboljša rešitev, saj za zaščito pred škodljivimi vplivi medija zadošča tanka plast tega materiala, nosilni del konstrukcije pa je smotrno izdelati iz običajnih kvalitet jekla. Rešitev tega je lahko platirano jeklo, kjer osnovni material zagotavlja ustrezno nosilnost, plemeniti sloj pa ustrezno obstojnost v agresivnem mediju.

Raziskali smo možnost izdelave tračno navarjenih pločevin z uporabo mikrolegiranega jekla NIOMOL 490.

Preiskave smo vršili na podnici, ki predstavlja najbolj kritični del posode. Podnica je dimenzij D/R/v/t = 1000/1000/100/12 mm in izdelana z rotacijskim vlečenjem po hladnem postopku (slika 1). Podnica je izdelana iz jekla NIOMOL 490 debeline 12 mm, za tračno navarjanje pod praškom pa smo izbrali dodatni material domače proizvodnje in sicer nerjavni trak INOX-TR 22/12/9 in aglomerirani prašek OP 71 Cr Železarne Jesenice.

Iz dosedanjih preiskav smo ugotovili, da oblikovanje podnice na stroju za rotacijsko vlečenje po hladnem postopku

poslabša žilavost materiala. Meja plastičnosti in natezna trdnost sta se pri tem zvišali, čemur je vzrok utrjevanje materiala pri hladni deformaciji, ki je najbolj izraženo na skrajnem robu podnice in na prehodu območja malega radija v območje ravnega



Slika 1. Prikaz tračno navarjene podnice.  
Figure 1. Appearance of bottom with a built-up strip.

priviha. Izkazalo se je tudi, da je pravilnejša tehnika dvo-varkovnega navarjanja, ker je pri enovarkovnem navaru struktura pod navarom neugodna. Zaradi vnosa toplote je velikost zrna prevelika, medtem ko termični vpliv drugega navara ugodno vpliva na strukturo v toplotno vplivanem področju<sup>1</sup>.

Korozijska obstojnost podnice je vezana s korozijskimi lastnostmi navarjenega nerjavnega navara. Pod vplivom varjenja (vnos toplote) pride do določenih sprememb, kar lahko spremeni korozijsko obstojnost navara.

## 2. Namen raziskav

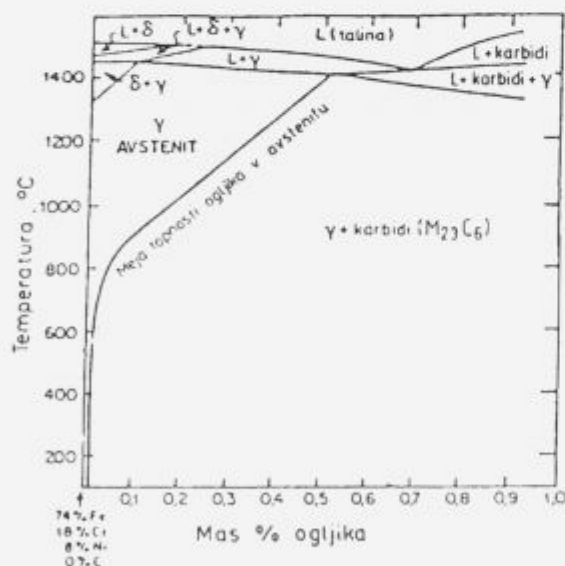
Ker se bodo posode uporabljale za skladiščenje različnih medijev, smo želeli ugotoviti korozijsko obstojnost navara v različnih medijih. Zanimalo nas je katera vrsta korozije se v dani situaciji lahko manifestira in kakšno nevarnost predstavlja. Želeli smo določiti lastnosti pasivnega filma, ki se tvori na nerjavnem jeklu in kakšne so njegove sposobnosti repasivacije pri poškodbah v določenih agresivnejših medijih.

## 3. Korozijska odpornost austenitnih nerjavnih jekel

Austenitna nerjavna jekla vsebujejo krom in nikelj, nekatera pa še molibden. To so nemagnetna jekla, ki jih ne moremo toplotno obdelati. S hladno predelavo postanejo rahlo magnetna. Tipični predstavnik teh jekel je kvaliteta Č.4580, ki vsebuje 18% Cr in 18% Ni<sup>2</sup>.

Pri austenitnih nerjavnih jeklih lahko nastopi interkristalna korozija, ki jo povzročajo kromovi karbidi, izločeni po mejah austenitnih zrn in pa nastajanje  $\delta$  ferita, ki je ravno tako s kromom bogata faza<sup>1</sup>.

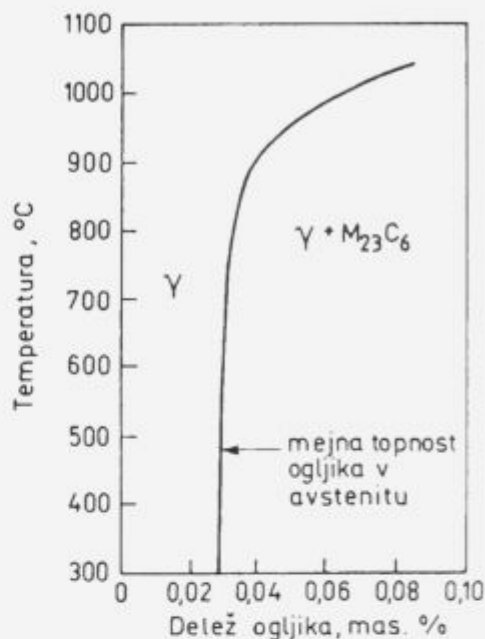
Do izločanja karbidov po mejah austenitnih zrn pride pri počasnem ohlajanju v temperaturnem območju med približno 425 in 870°C. Topnost ogljika v 18-8 nerjavnem jeklu je prikazana na sliki 2<sup>1</sup>.



Slika 2. Binarni diagram za Fe-18%Cr-8%Ni zlitino z različnim deležem ogljika.

Figure 2. Binary diagram of Fe-18%Cr-8%Ni alloy with various carbon amounts.

Iz diagrama lahko povzamemo, da austenit raztoplja v odvisnosti od temperature le določeno količino ogljika. To je na diagramu prikazano s črto, ki je označena kot meja topnosti ogljika v austenitu. Z ohlajanjem iz višje temperature pa se ogljik izloča v obliki različnih karbidov  $M_{23}C_6$ .



Slika 3. Topnost ogljika v austenitu pri različnih temperaturah in izločanje  $M_{23}C_6$  karbidov.

Figure 3. Carbon solubility in austenite at various temperatures, and the precipitation of  $M_{23}C_6$ .

Iz diagrama na sliki 3 je razvidno, da v primeru, ko je vsebnost ogljika več kot 0,03% se bodo pri ohlajanju po črti topnosti izločali karbidi  $M_{23}C_6$ . Ker je glavni karbidotvorec krom, so izločeni karbidi prvenstveno  $Cr_{23}C_6$ . Kromovi karbidi izločeni po mejah zrn povzročajo osiromašenje neposredne okolice s kromom in s tem so dani pogoji za interkristalno korozijo, oziroma napetostno interkristalno korozijo, če je material obremenjen.

## Vpliv $\delta$ ferita

Ta faza je bogata s kromom. Predstavlja precejšnje težave pri predelavi v vročem, njena prisotnost pa znižuje korozijsko odpornost proti pitting koroziji. Če  $\delta$  ferit izolira feritna zrna v duplex nerjavnih jeklih, potem znatno izboljša odpornost do napetostne korozije. Izločena v obliki neprekinjene mreže po mejah zrn pa povečuje občutljivost materiala na interkristalno korozijo. Zvari austenitnih nerjavnih jekel pa tudi litin vsebujejo določeno količino  $\delta$  ferita, kar je zaželeno. V kloridnih raztopinah  $\delta$  ferit znižuje občutljivost austenitnih nerjavnih jekel do napetostne korozije, kar zavira širjenje transkristalnih razpok po austenitnih zrnih<sup>1</sup>.

## 4. Eksperimentalni del

### 4.1. Kemična sestava navara

Tračno navarjanje je bilo izvedeno z nerjavnim trakom INOX TR 22/12/9 in aglomeriranim praškom OP 71 Cr Železarne Jesenice. Na velikem radiju je varjeno enovarkovno (C - navar enovarkovno), dočim je na malem radiju varjeno dvo-varkovno (A - navar dvo-varkovno zgoraj, B - navar dvo-varkovno spodaj), s polovično širino traku.

Nerjavni trak in nerjavni navar imata po proizvajalčevih podatkih naslednjo sestavo in lastnosti:

Tabela 1. Kemična sestava in dimenzija traku

Kemična sestava traku	C	Si	Mn	Cr	Ni
INOX-TR 22/12/9 (%)	0,18	0,50	9,0	21,5	11,5
Dimenzija traku (mm)	60 x 50				

**Tabela 2.** Lastnosti navarov

	Višina (mm)		Širina (mm)		
Enoslojni navar	4,2		63		
Dvoslojni navar	8		65		
Kemična sestava navara (%)	C	Si	Mn	Cr	Ni
Enoslojni navar	0,18	1,0	5,5	16	8,5
Dvoslojni navar	0,18	1,0	6,5	19,5	9,5
Trdota navara (HV 2/30)					
Enoslojni	160 HV				
Dvoslojni	169 HV				

Izvršena je bila kemična analiza navara na preiskovani podnici in sicer navar A. Analiza je dala naslednje rezultate:

**Tabela 3.** Kemična sestava čistega navara

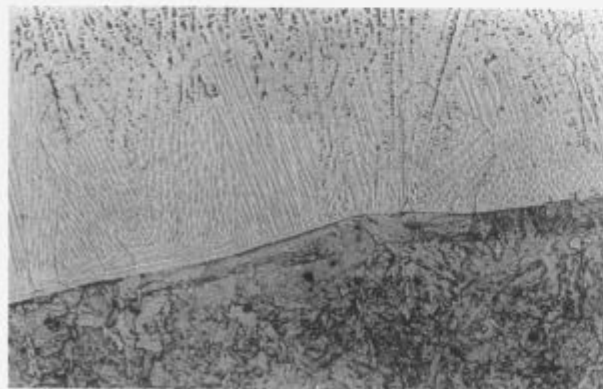
Kemična sestava navara (%)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
	0,21	1,28	5,55	0,028	0,008	21	11,89
	Mo	Cu	Nb	Ti	Co	Al	W
	0,12	0,10	0,028	0,007	0,042	0,009	0,047

Analiza kaže na nekoliko višjo vsebnost Cr in Ni in na nekoliko nižjo vsebnost Mn, kot jo predvideva proizvajalec. Vsebnost C je precej visoka, Nb in Ti ne delujeta kot stabilizatorja, ker se nahajata v premajhni količini.

#### 4.2. Metalografska preiskava navara

##### 4.2.1 Mikrostrukturne značilnosti dvoslojnega in enoslojnega navara

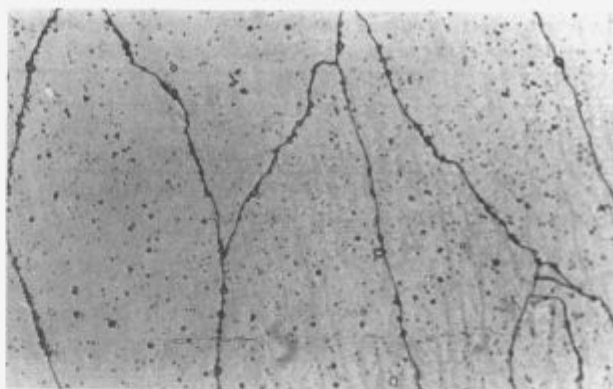
Na **sliki 4** je prikazana mikrostruktura na prehodu med osnovnim materialom in nerjavnim navarom. Osnova je NIOMOL 490 s feritno bainitno mikrostrukturo v razmeroma široki toplotno vplivani coni, v kateri se je izoblikovalo grobo zrno. V navaru se je izoblikovala transkristalna cona, kar je običajno za hitro odvajanje toplote. V coni mešanja je manj izločenih karbidov, kar je posledica nižje vsebnosti ogljika (NIOMOL 490 ima od 0,05-0,10 % C) in kroma. V čistem zvaru (zgoraj) je austenit z izločenimi karbidi po mejah grobih transkristalov in v meddendritnih prostorih.



**Slika 4.** Mikrostruktura na prehodu med osnovnim materialom NIOMOL 490 in nerjavnim navarom B, pov. 100x.

**Figure 4.** Microstructure in the transition between the base NIOMOL 490 and built-up B, magn. 100x.

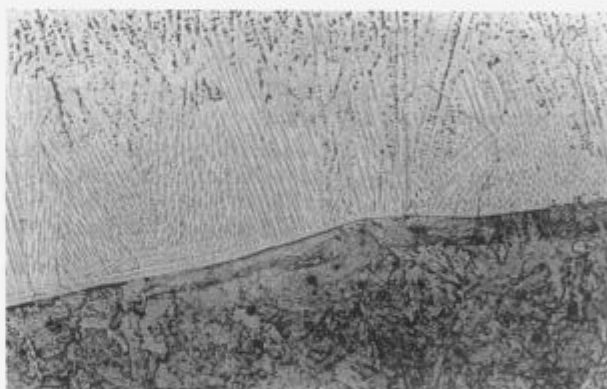
Po mejah transkristalov in v notranjosti so lepo vidni izločeni kromovi sekundarni karbidi ( $Cr_7C_3$ ). V medprostorih transkristalov so še vidni ostanki dendritov (**slika 5**).



**Slika 5.** Mikrostruktura navara B z velikimi transkristali po mejah po katerih so zvezno izločeni kromovi karbidi (zgoraj), pov. 200x.

**Figure 5.** Microstructure of built-up B with big fringe crystals on boundaries where chromium carbides are continuously precipitated (on top), magn. 200x.

Mikrostruktura zadnjega navara, ki je prikazana na **sliki 6** in je sestavljena iz  $\delta$  ferita, ki je izločen v dendritnih mejah in iz austenita v meddendritnih prostorih.  $\delta$  ferit je ponekod razpadel v  $\sigma$  fazo.



**Slika 6.** Mikrostruktura navara A, v kateri zasledimo  $\delta$  ferit,  $\sigma$  fazo in kromove karbide, pov. 200x.

**Figure 6.** Microstructure of built-up A where  $\delta$  ferrite,  $\sigma$  phase, and chromium carbides were found, magn. 200x.

Številni karbidi, ki so izločeni po mejah transkristalov in v manjši meri v njihovi notranjosti, kromovi karbidi,  $\delta$  ferit in  $\sigma$  faza, ki so bogati na kromu, povzročajo osiromašenje s Cr v njihovi bližini.

#### 4.3. Korozijske raziskave

##### 4.3.1 Odpornost proti pitting koroziji

Preiskavo odpornosti proti nastajanju pitting korozije smo izvedli v raztopini železovega klorida, po ASTM G48-76 in z elektrokemično metodo "ciklične polarizacije".

##### FeCl<sub>3</sub> test:

Odpornost proti nastajanju pitting korozije smo preiskali na dveh vzorcih dimenzije 50 x 25 x 4 mm, odvzetih iz navara n sicer:

Vzorec P-1 - C enoslojni navar

Vzorec P-2 - A dvoslojni navar zgoraj

Vzorca sta bila izpostavljena 6 % raztopini FeCl<sub>3</sub>, s temperaturo  $22 \pm 2$  °C. Po 3 dnevni izpostavi je bila določena izguba teže različnih navarov, kar je podano v **tabeli 4**.

**Tabela 4.** Izguba teže po 72 urih izpostavi C-enoslojnega navara (P-1) in A-dvoslojnega navara zgornji (P-2)

Vzorec	izguba teže (g/m <sup>2</sup> )
P-1	704,22
P-2	605,12

Izmerili in ocenili smo gostoto, velikost in globino pittingov po standardnih kartah (ASTM G 46-76)<sup>9</sup>.

Vzorec P-1

GOSTOTA - A-5; Gostota pittingov je 1,17.10<sup>7</sup>/m<sup>2</sup>

VELIKOST - B-1; Povprečna velikost pittingov je 0,0019 mm<sup>2</sup>

GLOBINA - C-1

Vzorec P-2

GOSTOTA - A-5; Gostota pittingov je 1,08.10<sup>7</sup>/m<sup>2</sup>

VELIKOST - B-1; Povprečna velikost pittingov je 0,0019 mm<sup>2</sup>

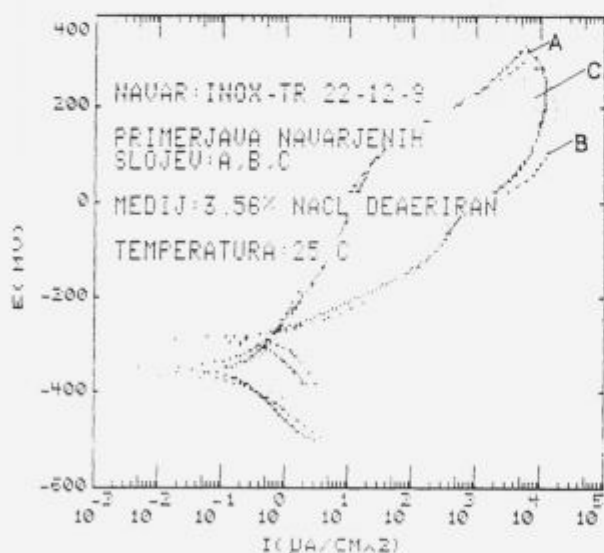
GLOBINA - C-1

Iz rezultatov v tabeli in vizuelnega pregleda stanja korodirane površine smo ugotovili, da navar ni odporen proti pitting koroziji v FeCl<sub>3</sub> raztopini. Pri podrobnem opazovanju pod mikroskopom smo opazili, da se pitti pojavljajo v bližini mej zm.

Ciklična potenciodinamična polarizacija je bila izvedena po ASTM G61-78 v 3,56 % NaCl pri 20°C. Kisik je bil odstranjen iz medija z 1 urnim prepihanjem z dušikom, pred polarizacijo pa je bil vzorec 1 uro odstavljen v tako deaeriranem mediju. Povratna polarizacija iz transpasivnega področja je bila izvedena pri 5000 µA.

Preiskava je bila narejena za INOX-TR 22/12/9 in sicer za vse tri tipe navarov A, B in C (Slika 7).

Na osnovi diagrama ciklične potenciodinamične polarizacije, lahko sklepamo, da je jeklo neodporno proti nastajanju jamičaste koroziji v kloridnih medijih. V pasivni v film so se vgrajevali Cl<sup>-</sup> ioni, ki na ta način tudi povzročajo njegovo nehomogenost.



**Slika 7.** Določevanje odpornosti navara proti pitting koroziji z metodo ciklične polarizacije.

**Figure 7.** Determination of the build-up resistance to pitting corrosion by the method of cyclic polarization.

Iz primerjave ciklične polarizacije za različne navarjene sloje, vidimo, da so med posameznimi navari A, B in C zelo majhna odstopanja. Pri vseh pa se zanka zaključuje nizko. Material je kljub visoki vsebnosti Cr (21 %) podvržen nastopanju pittinga, zaradi že omenjenega osiromašenja s kromom.

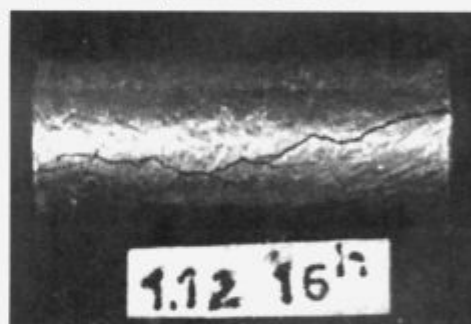
#### 4.3.2 Odpornost proti napetostni koroziji

Odpornost proti napetostni koroziji smo določili v nasičeni raztopini MgCl<sub>2</sub> pri temperaturi 155°C, kot to zahteva ASTM G 36-87. Način vpenjanja in vnašanja napetosti v preizkušance v obliki črke U je definirano v ASTM G 30-7. Tako preiskovan material je odporen na napetostno pokanje, če se v 168 urah izpostave ne pojavijo razpoke<sup>7,8</sup>.

**Tabela 5.** Rezultati preiskav testa za določanje odpornosti proti napetostni koroziji (U - bend test), za nerjavni navar INOX - TR 22/12/9

Vzorec št.	Čas potreben za nastanek prve razpoke (ure)
2.5	168
2.6	168
2.7	20
2.8	112
1.9	16
1.10	16
1.11	40
1.12	16

Primer izgleda vzorca, kjer se je po izpostavi v MgCl<sub>2</sub> pojavila razpoka po šestnajstih urah (slika 8).



**Slika 8.** Vzorec 1.12 po izpostavi v MgCl<sub>2</sub>.

**Figure 8.** Specimen 1.12 after the exposure to MgCl<sub>2</sub>.



**Slika 9.** Napetostno korozijsko pokanje na vzorcu 1.10 ima interkristalni, mestoma tudi transkristalni karakter; pov. 50x.

**Figure 9.** Stress corrosion cracking in the 1.10 specimen has intercrystalline, locally also transcrystalline character; magn. 50x.

Nerjavni navar INOX-TR 22/12/9 je neodporen na napetostno korozijo v kloridnih medijih. Ker je zaradi vnosa toplote pri varjenju prišlo do zveznega izločanja kromovih karbidov po mejah zrn, kakor tudi do nastanka grobih transkristalov, propagirajo razpoke prvenstveno po mejah zrn, kar je ponazorjeno na **sliki 9**. Če primerjamo enovarkovni zvar z dvovarkovnim vidimo nekoliko boljše napetostno korozijske lastnosti v prid slednjega. Treba pa je poudariti, da je v obeh varkih močno prisotna tendenca napetostno korozijskega pokanja.

#### 4.3.3 Odpornost proti interkristalni koroziji

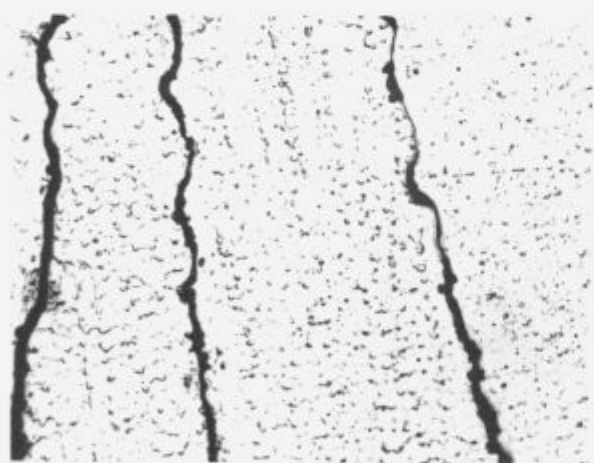
Meritve odpornosti proti interkristalni koroziji smo izpeljali po zahtevah standarda ASTM A262 postopek C (Huy-ev test)<sup>6</sup>. Preizkušanca dimenzije 50 x 30 x 2 mm, vzeta iz dvovarkovnega in enovarkovnega vara, tik pod površino, sta bila izpostavljena vreli 65 % dušikovi kislini (HNO<sub>3</sub>) v času petih period po 48 ur. Z določitvijo izgube teže v tem času smo določili senzibilnost jekla na interkristalno korozijo (**tabela 6**).

Vzorec H-1 - navar A dvovarkovni zgoraj

Vzorec H-2 - navar C enovarkovni

**Tabela 6.** Izguba tež vzorcev jekla v HNO<sub>3</sub>

Vzorec	H <sub>1</sub>	H <sub>2</sub>
Površina vzorca (cm <sup>2</sup> )	33,0465	33,0693
Teža vzorca (g)	22,6235	21,9578
Hitrost korozije (g/m <sup>2</sup> h) (izguba teže po 48 urnih period.)		
I. cikel	1,9997	3,7717
II. cikel	5,3214	8,2780
III. cikel	5,2426	
Povprečje	4,1879	6,02485



**Slika 10.** Slika mikrostrukture po končanem Huy-evem testu, pov. 100x.

**Figure 10.** Micrograph, after the Huy test, magn. 100x.

Izgube teže kažejo na to, da je material izredno neodporen na interkristalno korozijo.

#### 4.3.4 Anodna polarizacija in Tafel

Elektrokemične korozijske raziskave so bile narejene na aparaturi PAR-MODEL 342. V praksi bo tako narejena podnica v kontaktu z različnimi korozijskimi mediji, katerih sestava, stopnja disociacije, pH vrednost, temperatura ali hitrost gibanja bodo različne. S pridobljenimi podatki o korozijski odpornosti, obliki korozijskega napada ali morebitni pasivaciji pri udeležbi

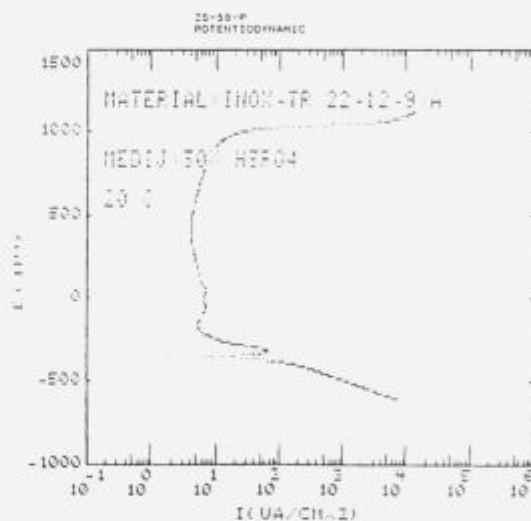
le določenih korozijskih parametrov, bo možno ustvariti približno sliko o njeni uporabnosti.

Elektrokemične preiskave smo izvajali v sledečih medijih: 5 %, 30 %, 3 N H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> (žveplena kislina) 5 %, 10 %, 30 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (fosforna kislina) 5 %, 10 % HCOOH (mravljinčna kislina) 5 %, 10 % CH<sub>3</sub>COOH (ocetna kislina) 3,56 %, 5 % NaCl (natrijev klorid) 5 % NaOH (lug)

Poskusi so bili izvedeni do določenih koncentracij medijev, ki se v praksi najpogosteje pojavljajo.

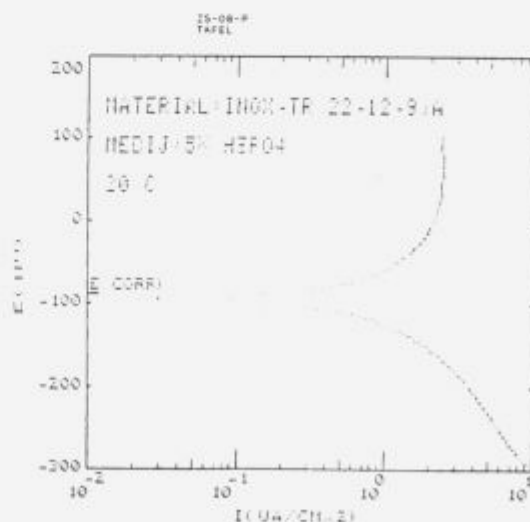
#### Fosforna kislina

Jeklo INOX-TR 22/12/9 se pri višjih koncentracijah fosforne kisline pasivira. V 5 % fosforni kislini je pasivacija slabo izražena, vendar je hitrost korozije dobljena s Taflovim zapisom majhna (0,048 mm/leto). INOX-TR 22/12/9 kaže dobro korozijsko odpornost tudi v 30 % fosforni kislini. Diagram anodne polarizacije in Taflov zapis v raztopini H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> je prikazan na **sliki 11** in **12**.



**Slika 11.** Potentiodinamična anodna polarizacija INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 30 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

**Figure 11.** Potentiodynamic anodic polarization of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 30 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

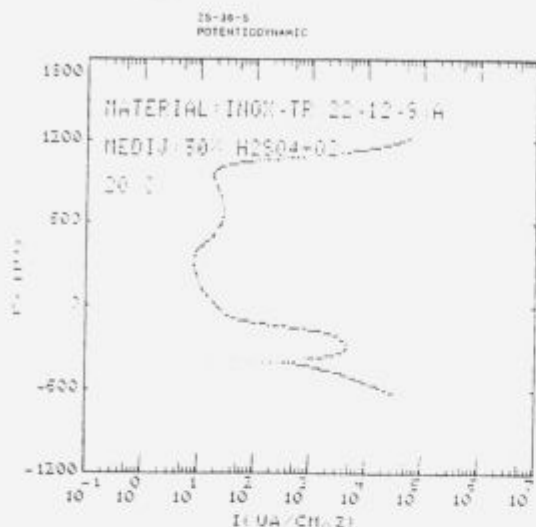


**Slika 12.** Taflov zapis INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 5 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

**Figure 12.** Tafel record of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 5 % H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub>.

### Žveplena kislina

Pri INOX-TR 22/12/9 v žvepleni kislini pasivacija nastopa, vendar je  $I_{\text{kor}}$  - korozijski tok, ki je bil potreben za nastanek pasivnega filma izredno velik, kar povzroči nastanek debelih nehomogenih pasivnih filmov. Diagram anodne polarizacije je prikazan na **sliki 13**.

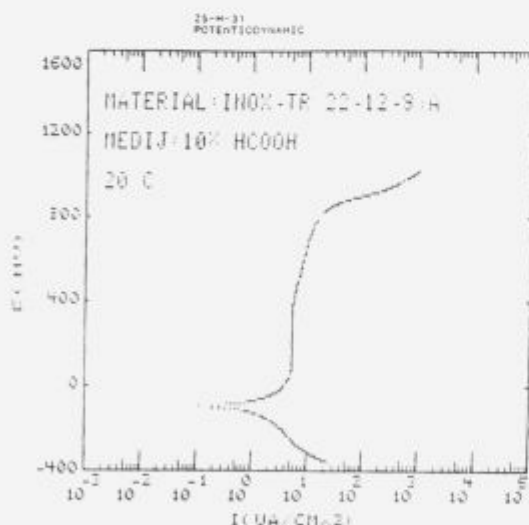


**Slika 13.** Potenciodinamična anodna polarizacija INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 30 %  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$ .

**Figure 13.** Potentiodynamic anodic polarization of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 30 %  $\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{O}_2$ .

### Mravljična kislina

Pri jeklu INOX-TR 22/12/9 ne zasledimo značilnega nosa, ki se tvori pri pasivnosti, vendar je korozijski tok majhen, tudi pri večjih koncentracijah mravljične kisline. Pri jeklu INOX-TR 22/12/9 opazimo tendenco rahlega povečanja korozijske hitrosti z večanjem koncentracije mravljične kisline. Diagram anodne polarizacije je prikazan na **sliki 14**.



**Slika 14.** Potenciodinamična anodna polarizacija INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 10 %  $\text{HCOOH}$ .

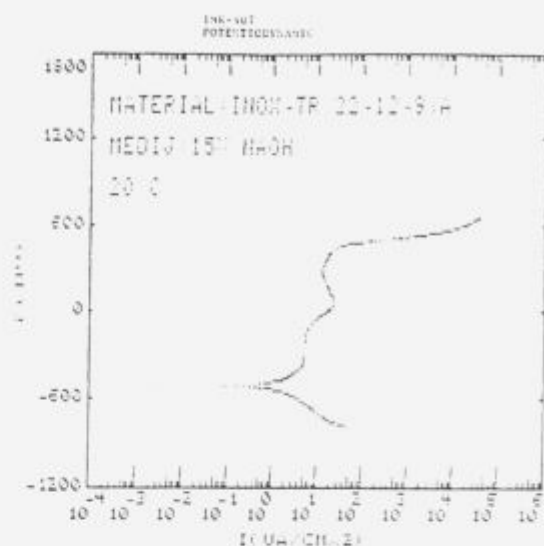
**Figure 14.** Potentiodynamic anodic polarization of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 10 %  $\text{HCOOH}$ .

### Lug

Anodne polarizacijske krivulje kažejo dobro možnost pasivacije in s tem visoko korozijsko odpornost v lužnatih medijih.

246

Diagram anodne polarizacije je prikazan na **sliki 15**.

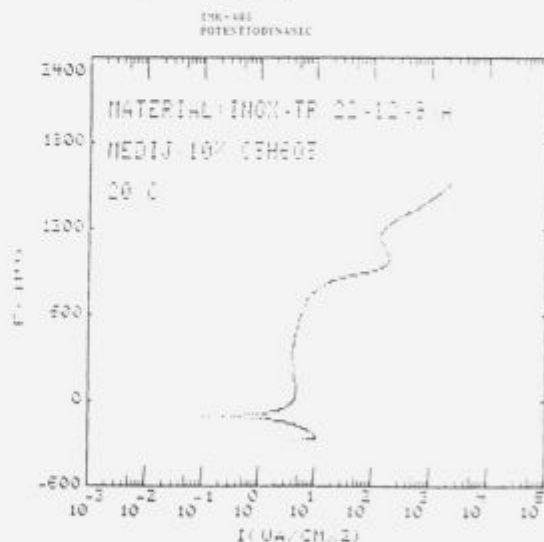


**Slika 15.** Potenciodinamična anodna polarizacija INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 15 %  $\text{NaOH}$ .

**Figure 15.** Potentiodynamic anodic polarization of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 15 %  $\text{NaOH}$ .

### Mlečna kislina

Jeklo INOX TR 22/12/9 je dobro obstojno v mlečni kislini. Diagram anodne polarizacije je prikazan na **sliki 16**.



**Slika 16.** Potenciodinamična anodna polarizacija INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 10 %  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ .

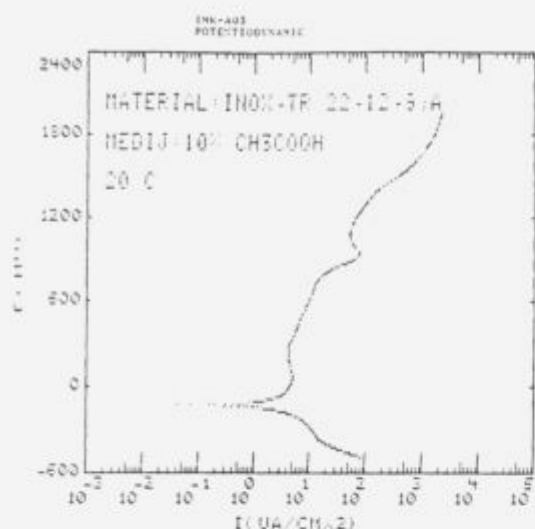
**Figure 16.** Potentiodynamic anodic polarization of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 10 %  $\text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2$ .

### Ocetna kislina

Jeklo INOX TR 22/12/9 ima dovolj široko pasivno področje in majhen  $I_{\text{kor}}$ , tako da ga smatramo dobro obstojnega v tem mediju.

Vsa preiskana nerjavna jekla se v tem mediju pasivirajo. Pasivno področje za INOX-TR 22/12/9 je dovolj široko in tudi pasivni film je zadovoljiv v tem mediju. Diagram anodne polarizacije je prikazan v diagramu na **sliki 17**.



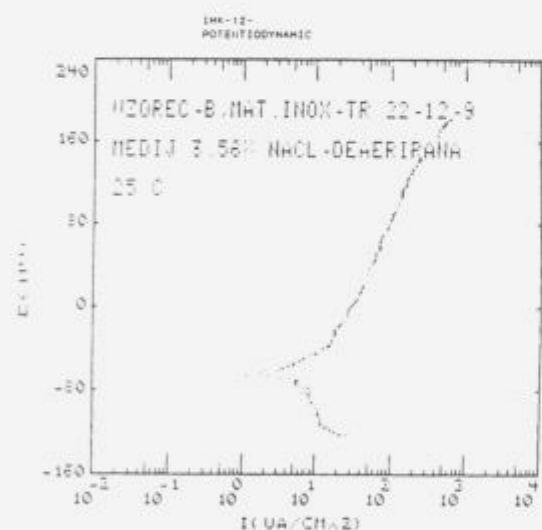


Slika 17. Potenciodinamična anodna polarizacija INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 10 % CH<sub>3</sub>COOH.

Figure 17. Potentiodynamic anodic polarization of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 10 % CH<sub>3</sub>COOH.

### 3,65 % NaCl

Pasivacija nikjer ne nastopa. Jeklo je podvrženo stalni koroziji. Vidimo, da večjih razlik med posameznimi sloji ni. Diagram anodne polarizacije in Taflov zapis je prikazan na sliki 18 in 19.



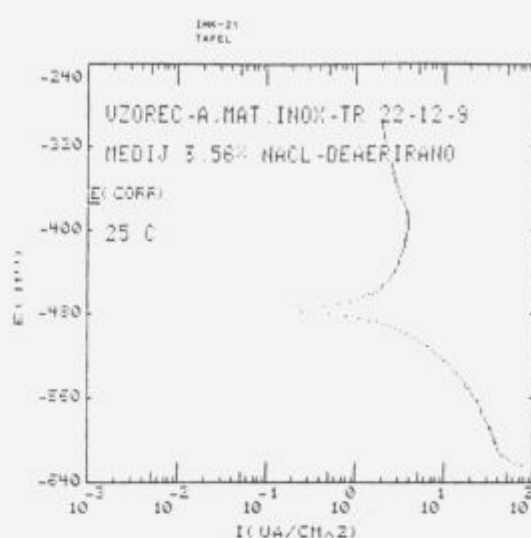
Slika 18. Potenciodinamična anodna polarizacija INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 3,65 % NaCl.

Figure 18. Potentiodynamic anodic polarization of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 3,65 % NaCl.

Večina materialov ni odporna v prisotnosti Cl<sup>-</sup> ionov. INOX-TR 22/12/9 v tem mediju ni odporen. Čeprav na prvi pogled korozijske hitrosti niso zelo velike, pa bo v tem mediju prišlo pri tem jeklu do močne pitting korozije. Diagram anodne polarizacije je prikazan na sliki 20.

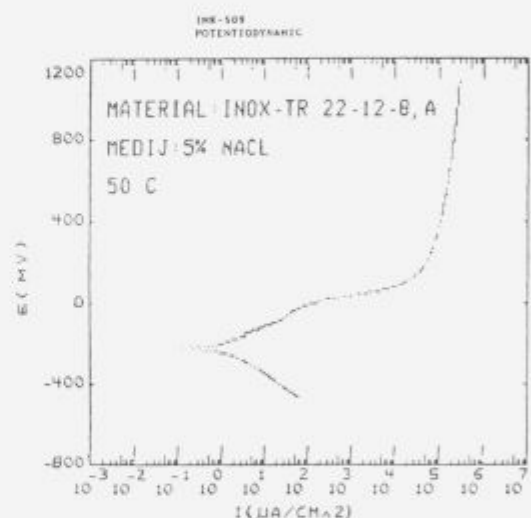
### 5. Diskusija rezultatov

Nerjavno jeklo INOX-TR 22/12/9, s katerim je bilo izvedeno navarjanje podnice ima visoko vsebnost kroma in kot tako je odporno na korozijo tudi v agresivnejših medijih. Nerjavni trak ima precej visok % C, ki ni stabiliziran. Proces varjenja je za-



Slika 19. Taflov zapis INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 3,65 % NaCl.

Figure 19. Tafel record of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 3,65 % NaCl, 50°C.



Slika 20. Potenciodinamična anodna polarizacija INOX-TR 22/12/9 (A) jekla v 5 % NaCl temp. 50°C.

Figure 20. Potentiodynamic anodic polarization of INOX-TR 22/12/9 (A) steel in 5 % NaCl temp. 50°C.

pustil v nerjavnem traku spremembo mikrostrukture. Prišlo je do pojava zveznega izločanja kromovih karbidov po mejah zrn in s tem do osiromašenja matrice s kromom. Tako predeli ob meji zrna vsebujejo prenižek Cr, ki bi še omogočal pasivacijo. Nastajajo tudi precejšnje potencialne razlike med osiromašeno cono in matrico, oziroma kristalnimi mejami, kjer so izločeni karbidi, bogati s kromom. Matrica kot tudi kristalna meja deluje kot katoda, neposredna s kromom osiromašena okolica pa je anoda.

Poleg tega smo zasledili veliko  $\delta$  ferita, ki je razporejen precej neenakomerno. Ta faza je prav tako bogata na Cr.

Korozijske preiskave so pokazale, da ima jeklo sicer dobro splošno korozijsko odpornost v številnih medijih, da pa tako jeklo ni odporno na agresivnejše medije. Pri ciklični potenciodinamični polarizaciji in FeCl<sub>3</sub> testu se je izkazalo, da jeklo ni odporno na pitting korozijo. Popolnoma negativen pa je bil test na interkristalno korozijo v HNO<sub>3</sub>, kjer se je pojavila močna interkristalna korozija. Prav tako se je izkazalo, da nerjavni trak ne nudi ustrezne odpornosti proti napetostni koroziji.

## 6. Zaključek

Takšen navar bo marsikje odporen, moramo pa se izogniti kloridnim in drugim agresivnejšim medijem.

Smiselneje bi bilo v prihodnje navarjati z austenitnim nerjavnim trakom, ki ima ne več, kot 0,08 % C in je stabiliziran s Ti ali Nb. V tem primeru do večine teh nevsječnosti ne bi prišlo.

Izkazalo se je, da je prav tako s stališča korozijske odpornosti bolj primerno dvovalkovno navarjanje, ki ima ugodnejšo kemično sestavo.

## 7. Literatura

- <sup>1</sup> J. Vojvodič-Gvardjančič: Analiza karakteristik drobnozrnatega mikrolegiranega jekla NIOMOL 490 in študija lastnosti na tem jeklu z dodatnim materialom domače proizvodnje (Raziskovalna naloga: URP/RP 06-2685-218/87)
- <sup>2</sup> Mars G. Fontana: Corrosion Engineering, Mc Graw-Hill Book Company, 1987, 181-186

- <sup>3</sup> L. Vehovar, Korozija kovin in korozijsko preizkušanje, Monografija, samozaložba 1991
- <sup>4</sup> Corrosion, Volume 13, Metals Handbook Ninth Edition, 1987, 546-565
- <sup>5</sup> ASTM G48-76: Standard Test Methods for Pitting and Crevice Corrosion Resistance of Stainless Steel and Related Alloys by the use of Ferric Chloride Solution
- <sup>6</sup> ASTM A 262-75: Standard Recommended Practice for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion
- <sup>7</sup> ASTM G36-87: Standard Practice for Evaluating Stress-Corrosion-Cracking of Metals and Alloys in a Boiling Magnesium Chloride Solution
- <sup>8</sup> ASTM G30-79: Standard practice for Making and Using U Band Stress-Corrosion Test Specimens
- <sup>9</sup> ASTM G46-76: Standard Recommendation Practice for Examination and Evaluation of Pitting Corrosion

# Napetostno žarjenje orodij podaljšuje njihovo življenjsko dobo

## Stress-relieving Annealing of Tools Prolongs their Operating Life

J. Gnamuš, Železarna Ravne

*Napetostno žarjenje orodij med proizvodnimi cikli podaljšuje njihovo življenjsko dobo. Zasledovali smo več različnih orodij, posebno skrbno pa smo obdelali sendzimir valje. Vpliv napetostnega žarjenja med proizvodnimi cikli se kaže predvsem v zmanjšanju napak oz. poškodb valjev, ki se normalno na valjih pojavljajo. Ekonomski efekt pri valjih se kaže v manjši porabi valjev (30–40%) na tono zvaljanega jekla.*

*Ključne besede: metalurgija, vzdržljivost orodij, napetostno žarjenje, tehnologija napetostnega žarjenja*

*Stress-relieving annealing of tools between individual production stages prolongs their operating life. We made studies for several different tool types whereby special attention was paid to Sendzimir rolls. The influence of stress-relieving annealing between production stages is particularly evident in the reduction of defects and/or damaging of rolls which is very common. The economic effect on rolls can be seen in a lower consumption (30-40%) of rolls per ton of rolled steel.*

*Key words: life of tools, stress-relieving, annealing-technology.*

### 1. Uvod

Že več kot deset let potekajo sistematske preiskave o učinku napetostnega žarjenja med proizvodnimi cikli na podaljšanje življenjske dobe orodij.

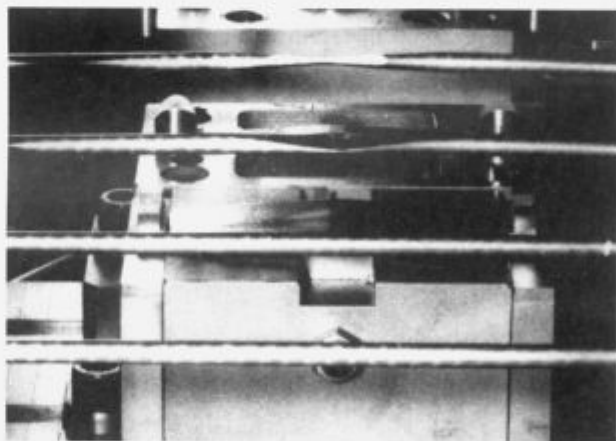
Na osnovi dobljenih rezultatov napetostnega žarjenja orodij smo napetostno žarjenje izvedli tudi za valje za valjanje v hladnem. Iz grupe valjev smo za naše raziskave izbrali sendzimir valje, nadaljujemo pa tudi z ostalimi valji za valjanje jekel in barvnih kovin. Dobljeni rezultati učinka napetostnega žarjenja pri orodjih in valjih (če valje smatramo za orodje) so različni. Rezultati se predvsem nanašajo na rezultate, ki so dobljeni v proizvodnji. Vpliv napetostnega žarjenja smo zasledovali na naslednjih vrstah orodij:

- orodje za stiskanje jekla (slika 1),
- orodje za tlačno litje (slika 2),
- industrijski noži (slika 3),
- valji za valjanje v hladnem (slika 4)

### 2. Teoretične osnove vpliva napetostnega žarjenja

V proizvodnji smo zasledovali učinke vseh štirih navedenih skupin orodij. Rezultati zasledovanj so podobni, zato smo se odločili, da podamo le rezultate za sendzimir valje, ki so najbolj natančno in tudi najbolj temeljito in kvantitativno obdelani.

Iz skupine sendzimir valjev smo izbrali delovne in prve podporne valje, ki so med obratovanjem najbolj obremenjeni. Valji se pri obratovanju površinsko utrjujejo. Posledica so dodatne napetosti, ki povzročajo veliko nevarnost, da pride do poškodbe površine valja in v končni fazi do loma.

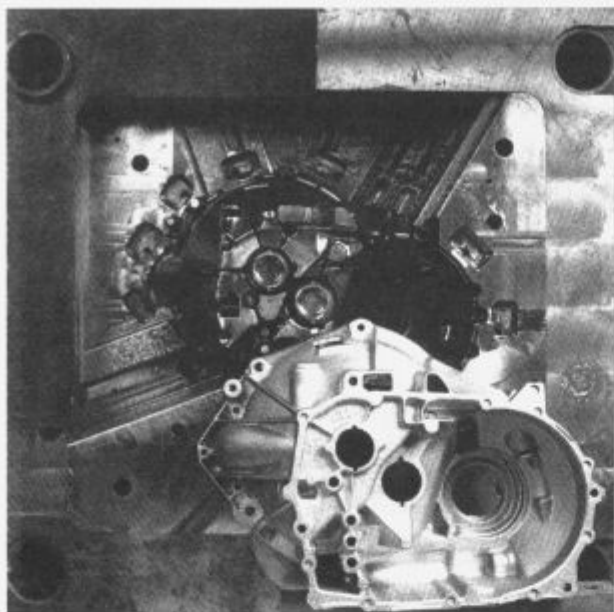


Slika 1. Orodje za stiskanje jekla

Figure 1. Tools for steel extrusion

Zasledovali smo spreminjanje površinskih trdot med cikli valjanja. Trdota sorazmerno narašča v odvisnosti od dolžine ciklusa valjanja. Prav tako naraste tudi globina utrjene plasti v odvisnosti od trajanja ciklusa valjanja in je različna na delovnih in prvih podpornih valjih. Prav tako je porast trdote v globino odvisen od dolžine ciklusa valjanja in je različen na delovnih in prvih podpornih valjih.

Hladno utrjena plast se razlikuje tudi po barvi mikrostrukture v kaljenem in popuščanem stanju. Ta hladno utrjena plast je ze-



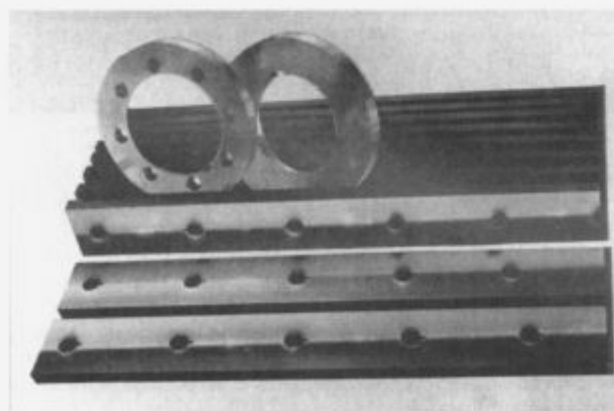
Slika 2. Orodje za tlačno litje  
Figure 2. Tools for die casting

lo občutljiva za mikro razpoke, ki so v prvi fazi globoke samo nekaj mikrometrov. Če je cikel brušenja zadosti pogost, se te mikrorazpoke odstranijo in ni nevarnosti, da bi prišlo do luščenja v naslednjih ciklikih valjanja.

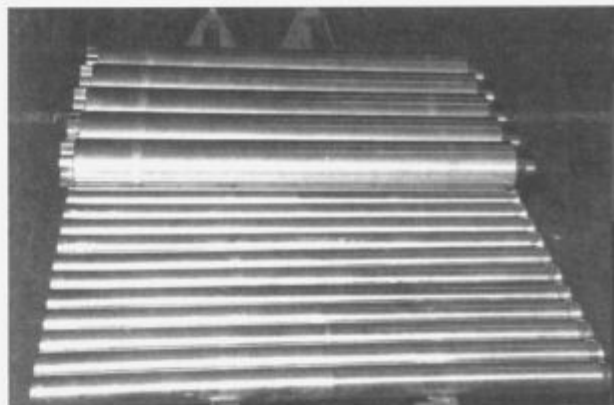
S pravilnim napetostnim žarjenjem napetosti delno odstranimo, ostale pa se enakomerno porazdelijo. Ugotovili smo, da se razpoke, ki so nastale v utrjeni plasti, lahko pri brušenju širijo v globino. Na valjih, ki so predhodno napetostno žarjeni, se rast razpok ustavi in jih zato lažje odbrusimo.

Življenjska doba sendzimir valjev se z napetostnim žarjenjem podaljša. Učinkovitost napetostnega žarjenja smo daljše obdobje zasledovali na valjavskem sendzimir ogrodju ZR22B 52 in ugotovili, da je prihranek različen. V povprečju znaša za delovne valje do 30%, za vmesne in pogonske valje pa do 40%. Na osnovi teh podatkov je enostavno izračunati ekonomski efekt napetostnega žarjenja orodij.

Zanimivo je, da se pri orodjih za stiskanje in orodjih za tlačno litje z napetostnim vmesnim žarjenjem poveča vzdržljivost neprimerno bolj kot pri valjih. Tako se poraba teh orodij zaradi povečane vzdržljivosti za nekajkrat zmanjša.



Slika 3. Industrijski noži  
Figure 3. Industrial tools



Slika 4. Valji za valjanje v hladnem  
Figure 4. Rolls for cold rolling

Napetostno žarjenje valjev je učinkovito le, če se izvede pravočasno in zelo natančno. Najbolj enostavno in najbolj učinkovito je, da se napetostno žarjenje izvede po vsakem ciklusu valjanja. V praksi se je pokazalo, da niso vsi tipi peči primerni za tako napetostno žarjenje. Najvažnejša je enakomernost temperature po preseku in globini peči. V praksi se je najbolj obnesla jaškasta peč, kjer je možno doseči enakomerno porazdelitev temperature v območju  $\pm 2^{\circ}\text{C}$  s pravilnim kroženjem zraka. Peč mora biti pravilne konstrukcije in dodatno opremljena z ustrezno računalniško vodeno regulacijo temperature. Primer take peči je prikazan na sliki 5.

Za enakomernost ogrevanja je važno pravilno zalaganje, tako da je možno doseči enakomerno temperaturo po premeru in dolžini valjev. Pri tem je potrebno poudariti, da je zalaganje in transport brušenih valjev posebej občutljiv zaradi možnega na-



Slika 5. Elektro jaškasta peč za napetostno popušcanje  
Figure 5. Electric shaft furnace for stress relieving

stanka površinskih poškodb. Način dela ter sredstva za obežanje in transport morajo biti temu prilagojena.

Solne kopeli za napetostno žarjenje niso najbolj primerne iz dveh razlogov:

- z regulacijo temperature ne dosežemo idealnih pogojev,
- soli so škodljive za okolje.

Temperatura napetostnega žarjenja je odvisna od vrste jekla in predhodne toplotne obdelave, izredno pomembna je hitrost ogrevanja do temperature napetostnega žarjenja. Predvsem ne sme biti prehitra.

Postopek je zaradi večje vzdržljivosti orodij učinkovit, vendar le pri pogoju, da je napetostno žarjenje pravočasno in strokovno izvedeno.

### 3. Sklepi

- Večletno preizkušanje učinka napetostnega žarjenja na raznih orodjih nam je dalo dobre rezultate glede na vzdržljivost orodja.
- V preiskave smo vključili valje za valjanje v hladnem in ugotovili, da so rezultati podobni kot pri orodjih.
- Izdvojili smo sendzimir valje in smo to področje temeljito obdelali.
- Prihranki so pri povečani vzdržljivosti s stališča ekonomike upoštevanja vredni.
- Za napetostno žarjenje so solne kopeli manj primerne kot pa elektro peči. Programi na pečeh morajo biti računalniško vodeni.



INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE  
IN TEHNOLOGIJE p.o.

INSTITUTE OF METALS  
AND TECHNOLOGIES p.o.

61000 LJUBLJANA, LEPI POT 11, POB 431,  
SLOVENIJA

Telefon: 061/1251-161, Telefax: 061 213-780

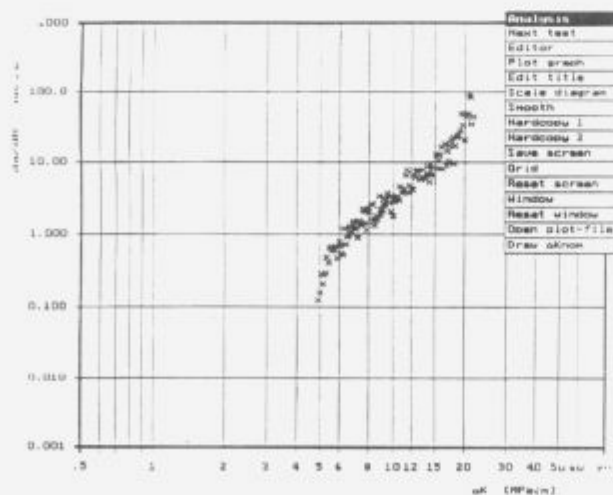
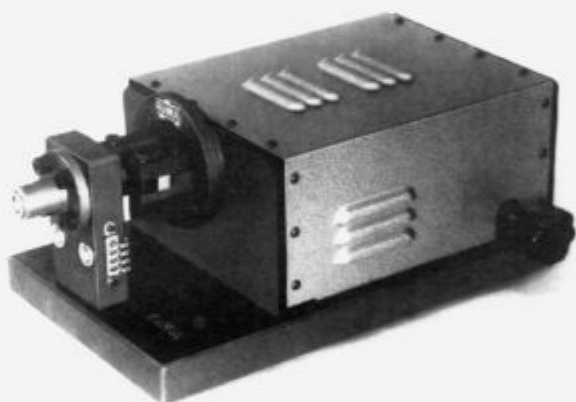


## NOVO NA IMT!

Rezonantni pulzator CRACKTRONIC,  
naprava za raziskave v mehaniki loma ter  
merjenja kinetike propagacije utrujenostnih  
razpok.

Naprava je računalniško vodena, omogoča  
pa merjenja na preiskušancih, ki niso večji  
od charpyjevih preiskušancev za merjenje  
udarne žilavosti.

S to napravo prihranite čas in denar.



Računalniška obdelava rezultatov dosledno  
upoštevata zahteve ASTM standardov.  
Na osnovi meritev z rezonantnim  
pulzatorjem CRACKTRONIC lahko uspešno  
napovedujemo preostalo življenjsko dobo  
dinamično obremenjenih konstrukcij.

# Vpliv nitriranja na premene jekla X38CrMoV51

## Nitriding Influence on Transformation Temperature by Steel X38CrMoV51

F. Legat, Veriga Lesce

*Na tankih, v celoti nitriranih probah jekla za delo v toplem, kvalitete X38CrMoV51, smo izvedli preizkuse za določitev temperature premene v odvisnosti od hitrosti ogrevanja. Analizirali smo stanje austenita v odvisnosti od pogojev austenitizacije in ugotovili potek premen podhlajenega austenita v različnih pogojih austenitizacije. Z nitriranjem se ravnotežne temperature premene znižajo iz 833°C na 650°C ( $Ac_{1b}$ ), oziroma iz 885°C na 820°C ( $Ac_{1e}$ ). Za potek premen nitriranega jekla je karakteristično pospeševanje eutektoidne in bainitne fazne premene, maksimalno povečanje trdote neposredno po končani tvorbi austenita in velik padec trdote pri dolgih časih zadrževanja.*

*Ključne besede: toplotna obdelava, nitriranje, orodja za delo v vročem.*

*Thin, nitrided specimens of the hot work die steel X38CrMoV51 (Utop Mo1) had been used to investigate the change of transformation temperature in dependence on the heating rate, to analyze the order of austenit in dependence on austenitizing conditions and to describe the transformation behaviour of the cooled down austenite by different austenitizing conditions. By nitriding the equilibrium transformation temperatures decreased from 833°C to 650°C and from 885°C to 820°C ( $Ac_{1e}$ ). Characteristic of the transformation behaviour of the nitrided steel are the important acceleration of the eutectoid and the bainitic transformation the maximal hardening direct after termination of austenitizing and the strong decrease of hardness by long holding times.*

*Key words: heat treatment, nitriding, hot work tools.*

### 1. Uvod

Pri termodinamični obremenitvi nitriranih orodij za delo v kovačnici lahko pride do faznih premen v nitriranem sloju, ki znatno vplivajo na uporabnost orodij. Za pravi izbor materiala so pomembni podatki o poteku premen nitriranega sloja. Poleg tega je poznavanje temperature premene ferit-austenit predpogoj za določitev mejne temperature za feritno nitriranje. Opomnimo naj tudi na možno kombinacijo termične obdelave pri veliki hitrosti, da dosežemo lokalno izboljšanje premen. Tudi tu je potrebno poznavanje poteka premen v robni coni.

Pri podhladitvi austenita, ki vsebuje dušik, lahko dobimo v odvisnosti od hitrosti ohlajevanja eutektoidno premeno v braunit (ferit in  $\alpha$ -nitrid). Stabilizacijski učinek dušika na austenit daje pri nelegiranih in malolegiranih jeklih znižanje temperature premene ferit-austenit, zakasnitev eutektoidne in bainitne premene in znižanje martenzitne temperature. Delež zaostalega austenita narašča z vsebnostjo dušika. Nasprotno tej trditvi smo opazili pri karbonitridnem kaljenju Cr-legiranih jekel anomalije trdote na površini kot vzrok zmanjšanja kaljivosti robne cone. To si razlagamo z osiromašenjem osnove na Cr zaradi tvorbe karbonitridov, ki vsebujejo Cr in ki se pri običajnih pogojih austenitizacije le nepopolno topijo.

### 2. Material in izvedba preizkusov

Jeklo naj bi bilo iz Železame Ravne (Utop Mo1), celoten preizkus pa je bil ponovljen v tovarni verigi v Brücklu - Avstrija.

Kemična sestava jekla je navedena v tabeli 1. Za primerjavo smo vzeli poleg dveh serij prob nitriranja še jeklo v mehko žarjenem stanju.

Uporabili smo probe v ploščicah v izmeri 10 mm x 10 mm x 0,5 mm z namenom, da bi dobili približno enakomerno vsebnost dušika po vsej debelini probe. Proba dovoljuje tudi izvedbo dilatometričnih meritev, ki dopolnjujejo metalografske preiskave na istih probah.

Probe smo nitrirali po plinsko-oksidativnem nitrirnem postopku, ki smo ga razvili v Freiburgu. Da bi preprečili razogljčenje, vsebuje nitrirni medij zemeljski plin, čigar delež je v skladu s procentom ogljika v jeklu.

**Tabela 1.** Kemična sestava jekla X38CrMoV51 v izhodnem stanju (utežni deli v %)

Stanje	C	Cr	Mo	V	N 3	
					Rob	Jedro
Nenitrirano, žarjeno	0,41	4,94	1,00	0,36	0,014	0,014
Nitrirano, serija 1	0,415	4,91	0,92	0,36	2,5	2,0
Nitrirano, serija 2	0,425	4,91	0,92	0,36	3,1	2,2

Kot je razvidno iz table 1, se obe probni seriji razlikujeta poleg željenih razlik v vsebnosti dušika, le malo v vsebnosti ogljika. Preiskave z mikrosondo so pokazale, da nismo dosegli enakomerne porazdelitve dušika po preseku prob.

Na primer: vsebnost dušika v robu ploščice serije 2 je znašala 3,1%, v jedru le 2,2%. Probe so pokazale majhno spremembo trdote po debelini ploščice (trdota na robu 1150 HV 0,1 in trdota v jedru 1100 HV 0,1). Glede na razdelitev trdote in sestave po debelini ploščic lahko sklepamo, da predstavljajo probe prvih 150  $\mu\text{m}$  območja robu na orodju le "površinsko nitiranje".

Težišče preiskav je bilo:

- določitev temperature premen kot funkcija ogrevanja, z dilatomerskimi in metalografskimi preiskavami,
- analiza stanja austenitizacije v odvisnosti od pogojev austenitizacije z metalografskimi preiskavami, z določanjem trdote in sestave faze,
- opis poteka premen podhlajenega austenita za različna stanja austenitizacije s pomočjo TTT-diagramov.

Za racionalno vrednotenje preizkusov in za zmanjšanje subjektivnih napak pri določanju temperatur premen, smo uporabili računalniško podprto vrednotenje dilatomerskih krivulj v OFF-LINE sistemu.

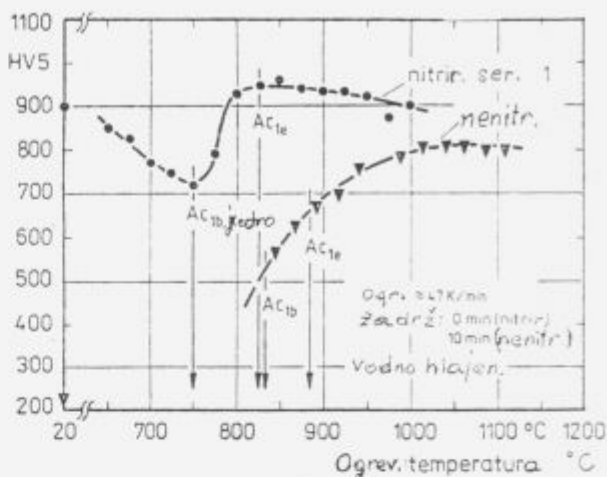
Na slikah in v tabelah navedene ogrevne in ohlajevalne hitrosti se nanašajo na temperaturno območje od 800°C do 500°C (pri austenitizacijskih temperaturah pod 800°C na temperaturno območje od 700°C do 500°C). Določanje vsebnosti zaostalega austenita in vsebnosti Cr-nitrida smo izvedli rentgenografsko z uporabo Co-K $\alpha$ -sevanja. Rentgenografsko analizo strukture smo dopolnili z meritvami z magnetno tehtnico.

### 3. Rezultati preizkusov

#### 3.1 Potek austenitizacije

Rezultati preizkusov in vpliv nitiranja na temperature premen pri ogrevni hitrosti med 2 K/min in 13700 K/min so navedeni na **sliki 1**. Iz tega sledi, da dušik močneje zniža temperaturo začetka austenitizacije ( $A_{c10}$ ), kot pa temperaturo konca tvorbe austenita ( $A_{c12}$ ). Omenjene razlike v vsebnosti dušika med robom in jedrom se kažejo v različnih temperaturah začetka tvorbe austenita. Na konec strukturne premene nimajo nobenega merljivega vpliva.

Tako kot kažejo razlike v temperaturah premene med robom in jedrom kot tudi na **sliki 1** navedene razlike med probami ra-



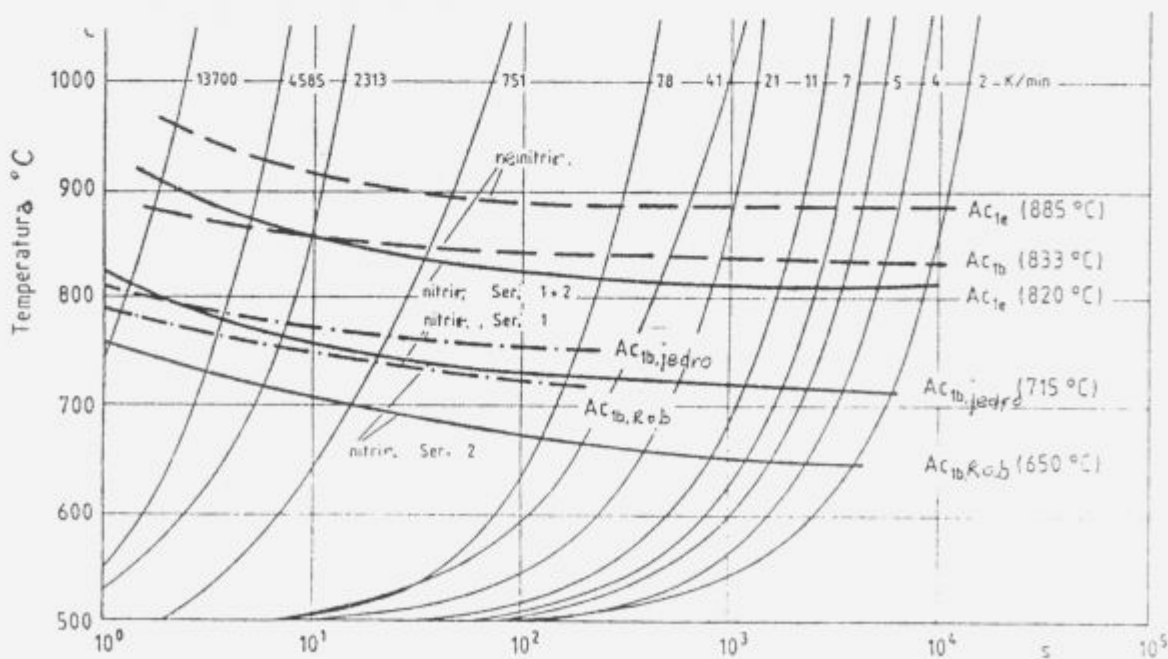
**Slika 2.** Vpliv temperature ogrevanja na kalilno trdoto  
**Figure 2.** Influence of the heating temperature on the hardness

zličnih serij, reagira temperatura  $A_{c10}$  zelo občutljivo na stanje nitiranja. Zato je v praksi računati z velikim raztrosom temperatur premen  $A_{c10}$  pri nitiranih orodjih.

Pri ogrevni hitrosti 3K/min dobimo ravnovesne temperature premen za začetek in konec premene ferit-austenit tako kot so navedene na **sliki 1**. Naraščanje dušika na okrog 3,1% v jeklu za delo v toplem, kvalitete X38CrMoV51, daje do 3x večje zmanjšanje temperature  $A_{c10}$  v primerjavi z  $A_{c12}$ .

Dobljene vrednosti se dobro ujemajo z rezultati v literaturi, ki navaja temperaturo  $A_1$  s 660°C za nitirani sloj podobnega jekla za delo v toplem, kvalitete X40CrMoV51. Zasedovanje postopka austenitizacije z merjenjem trdote je pokazalo, da ima martenzit nitiranega jekla že neposredno po končani tvorbi austenita maksimalno trdoto, to pomeni, da doseže to brez sledečega zadrževanja (**slika 2**).

Medtem pa nenitrirano jeklo doseže maksimalno trdoto šele po prekoračitvi temperature  $A_{c12}$  za okrog 100K in pri času



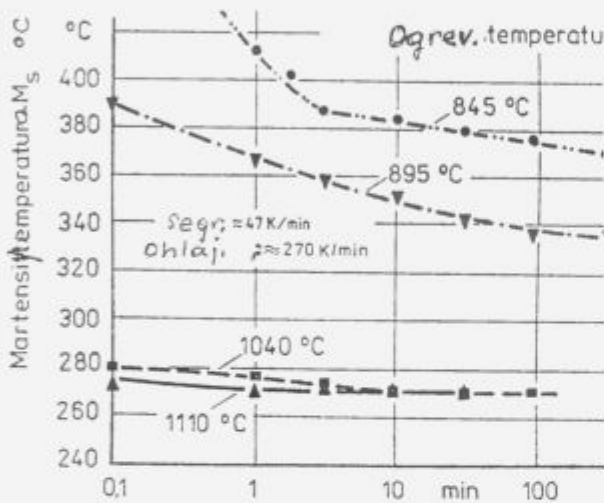
**Slika 1.** Vpliv hitrosti ogrevanja na temperature premen  
**Figure 1.** Influence of the heating rate on the transformation temperatures



zadrževanja 10 minut (za topnost posebnih karbidov se zahteva visoka austenitizacijska temperatura in daljši časi zadrževanja). Za nitrirana stanja veljajo v osnovi druga razmerja. Poleg dušika, ki je vezan kot Cr-nitrid ima feritna osnova preko ravnotežne vrednosti raztopljen "prebitek dušika". Poleg tega se je med nitriranjem zaradi premene nitridov, ki vsebujejo Cr, v Cr-karbonitrid oziroma Cr-nitrid, izločil prosto nastali ogljik kot lažje topni železov karbid. V nitriranem stanju lahko zato austenit prevzame že med ogrevanjem večje količine dušika in ogljika.

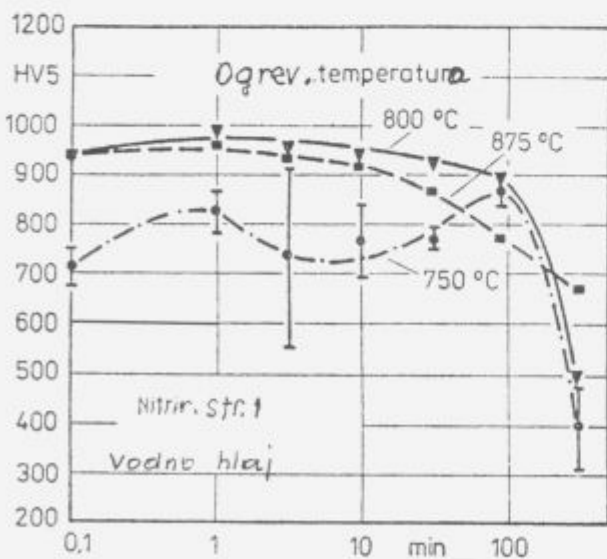
Sprememba trdote preiskovanega jekla v obeh stanjih glede na čas zadrževanja poudarja razlike v poteku austenitizacije. Z večjim časom zadrževanja pri nitriranem jeklu do raztapljanja karbidov in do izravnave koncentracij.

Pri ogrevanju na 1040°C s časom zadrževanja preko 5 minut kalimo iz območja homogenega austenita. Kalilna trdota in martenzitna temperatura se zato z rastočim časom zadrževanja in s temperaturo austenitizacije ne spremenita več (slika 3).



Slika 3. Vpliv časa zadrževanja na trdoto in na  $M_s$ -temperaturo za jeklo X38CrMoV51.

Figure 3. Influence of the holding time on the hardness and  $M_s$  of X38CrMoV51.



Slika 4. Vpliv časa zadrževanja na trdoto nitriranega jekla X38CrMoV51

Figure 4. Influence of the holding time on the hardness of nitrided steel X38CrMoV51

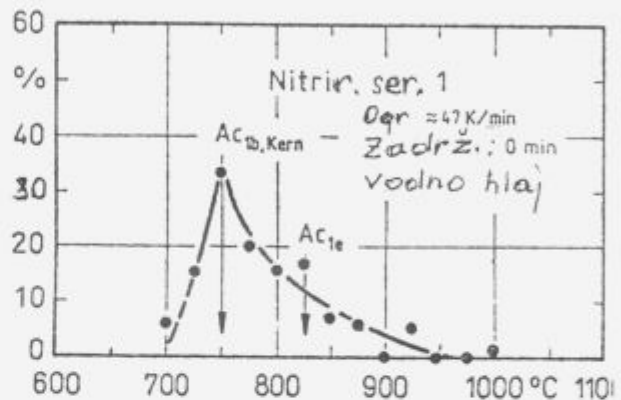
Pri ogrevanju na 845°C oziroma na 895°C dobimo večfazno strukturo (ferit, austenit in karbidi). S časom zadrževanja dajeta rastoči delež austenita in napredujoča topnost karbidov povečanje martenzitne trdote in padec martenzitne temperature.

V nitriranem stanju ne obstajajo, kot kaže slika 2, pri ogrevanju na 800°C in na 875°C, praktično nobene razlike (slika 4).

Ogrevanje jedra probe na temperaturo  $A_{c3}$  (750°C) daje pri času zadrževanja 90 minut nehomogeno kalilno strukturo z velikimi razlikami v trdoti. Z večjim časom zadrževanja nastalo zmanjšanje trdote si razlagamo z denitriranjem prob, ki se z naraščajočo temperaturo začenja vedno prej.

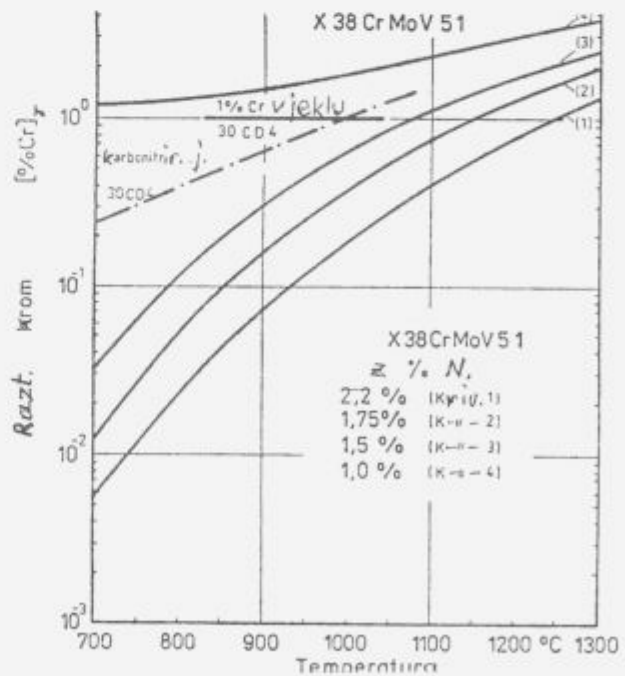
Vzroke kalilne trdote lahko potrdimo z določanjem vsebnosti zaostalega austenita. Kot kaže slika 5 daje ogrevanje tik nad temperaturo  $A_{c3}$  zelo veliko vsebnost zaostalega austenita.

Po tem sklepamo na zelo veliko vsebnost dušika v austenitnih kaleh.



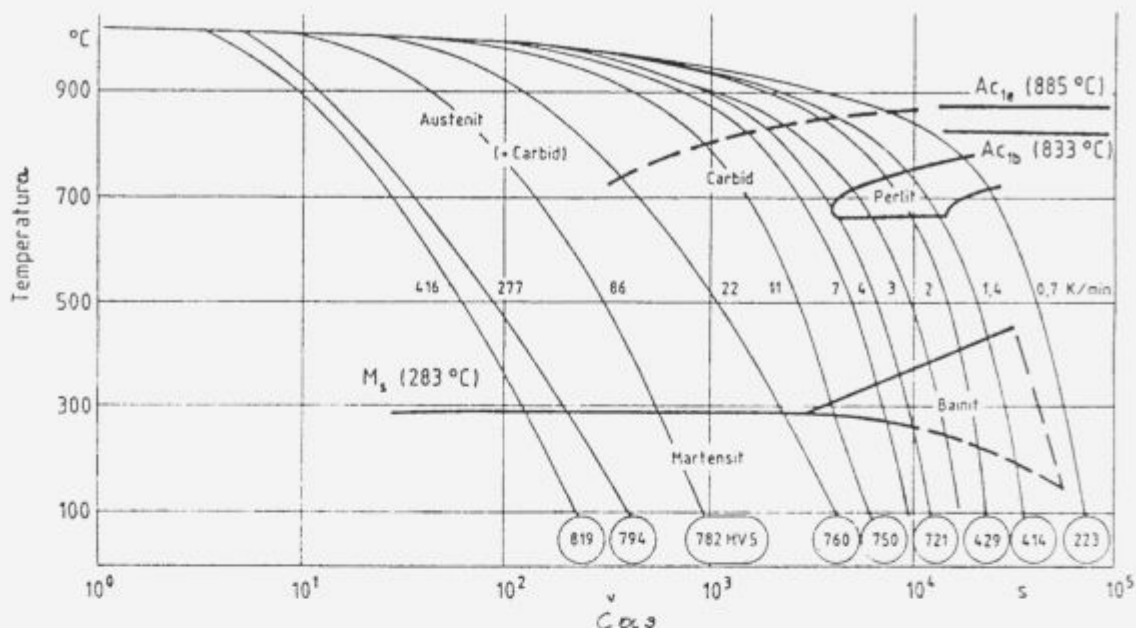
Slika 5. Vsebnost zaostalega austenita v nitriranih probah v odvisnosti od temperature austenitizacije

Figure 5. Residual austenitic content in dependence of temp. aust. of the nitrided spec.



Slika 6. Vpliv temperature na vsebnost Cr, ki je raztopljen v austenitu (izračunano)

Figure 6. Influence of the temperature on the content of Cr solved in austenite



Slika 7. Kontinuirni TTT-diagram za jeklo X38CrMoV51 (hitrost ogrevanja 47 K/min, austenitizacija: 1030°C 10 min)

Figure 7. Continuous TTT-diagram of the steel X38CrMoV51, aust. temp.: 1030°C

Nitrirano jeklo je bilo v vsem preiskovanem temperaturnem območju in časovnem zadrževanju ekstremno fino zrnato. Ta fino zrnatost kaže na prisotnost termično stabilnih izcejev. Čeprav moramo iz metalografskih preiskav računati z zmesnimi nitridi oziroma z zmesnimi karbonitridi, ki so v nitriranem jeklu, smo zaradi pomanjkanja termodinamičnih podatkov za izračun, privedli prisotnost stehiometričnega kromnitrida CrN. Kot lahko iz slike 6 razberemo, je glede na zasnovo v dodatku, v austenitu raztopljen procent Cr znatno manjši od skupne vsebnosti Cr v jeklu.

Iz lastnih raziskav analizirana območja temperature austenitizacije (do 1100°C) kažejo, da moramo računati z znatnimi deleži neraztopljenih kromnitridnih izcejev tipa CrN.

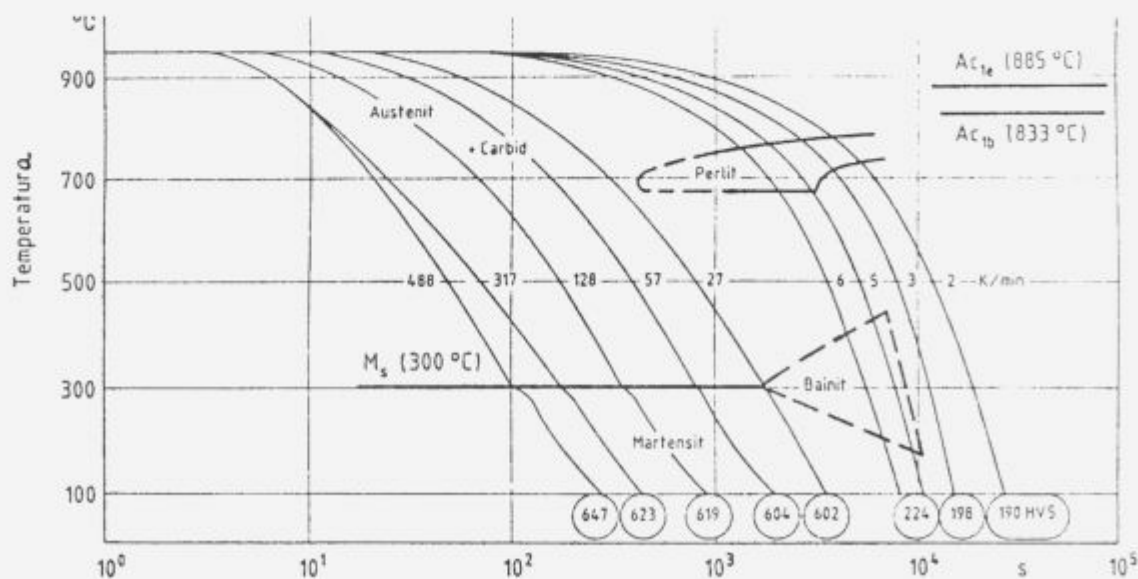
Ta trditev velja tako za obnašanje topnosti CrN izcejev v jedru prob pri vsebnosti dušika v jedru 2,2%, kot tudi v primeru zmanj-

šanja dušika zaradi denitriranja. Na sliki 6 je to prikazano za tri stanja denitriranja, z 1,75% N, 1,5% N in 1,0% N.

### 3.2 Potek premen pri podhlajenem austenitu

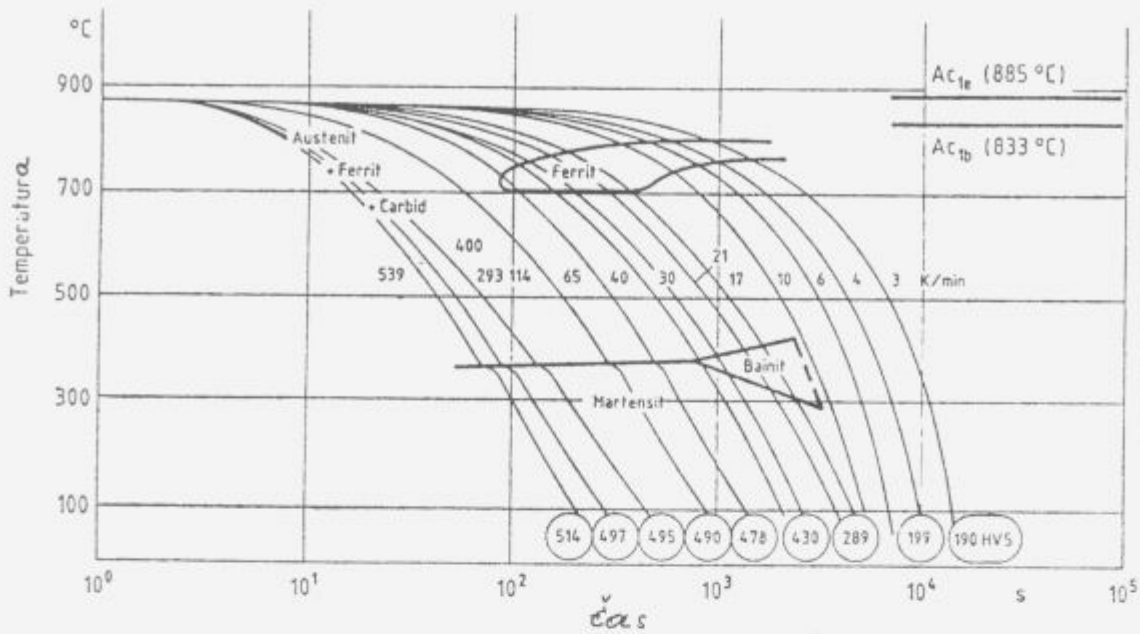
Da bi analizirali vpliv različnih stanj austenitizacije na potek premen v podhlajenem austenitu, kot na primer zaradi temperaturnih gradientov pri lokalni toplotni obdelavi z veliko hitrostjo, oziroma, ki utegnejo nastopiti pri termični obremenitvi orodij, smo izdelali TTT-diagrame za različne pogoje austenitizacije, oziroma za temperature austenitizacije.

Temperatura austenitizacije stanja I leži okrog 130 K nad  $A_{c1}$ . Pri nitriranem jeklu odgovarja to običajni kalilni temperaturi. Kaljenje se izvede iz območja strukturno homogenega austenita. Struktura nitriranega jekla se pri tej temperaturi sest-



Slika 8. Kontinuirni TTT-diagram za jeklo X38CrMoV51 (hitrost ogrevanja: 47 K/min, austenitizacija: 950°C 10 min)

Figure 8. Continuous TTT-diagram of the steel X38CrMoV51, aust. temp.: 950°C



Slika 9. Kontinuirni TTT-diagram za jeklo X38CrMoV51 (hitrost ogrevanja: 47 K/min, austenitizacija: 875°C 10 min)  
 Figure 9. Continuous TTT-diagram of the steel X38CrMoV51, aust. temp.: 875°C

ji iz austenita in nitrida. Stanja austenitizacije II in III so značilna za dvojne različnih topnostnih stanj. Austenitizacija v stanju II (okrog 60 K nad  $Ac_{1e}$ ) sledi v dvofaznem območju austenit-ferrit-karbid (-nitrid).

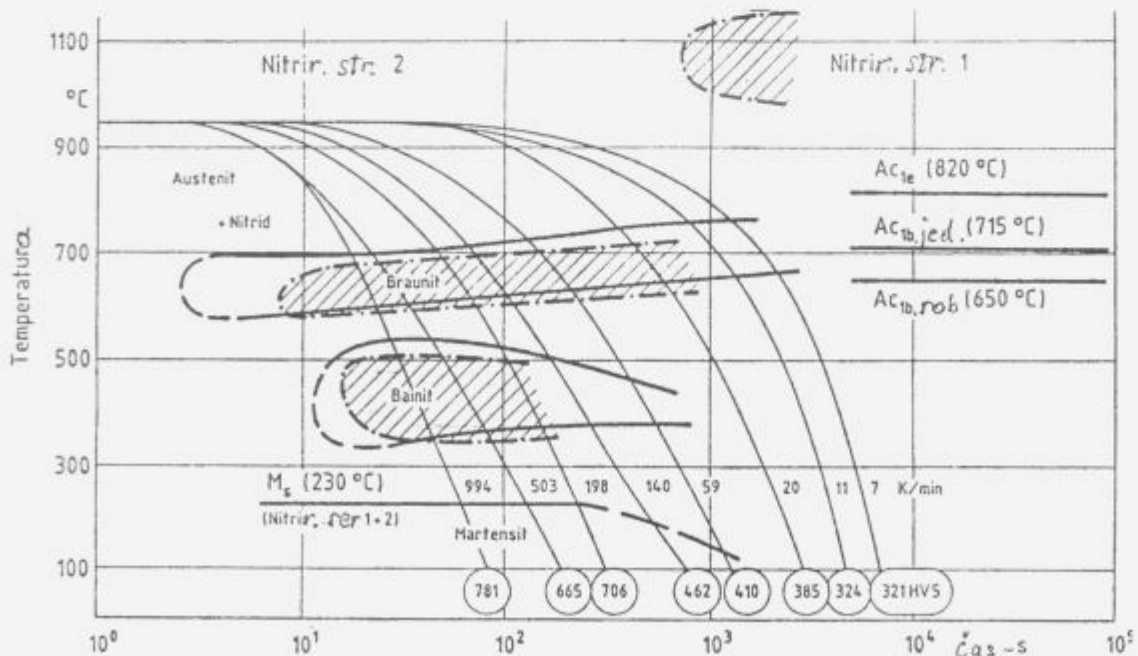
Izbor pogojev za preizkus (tabela 2) je določen na podlagi dosedanjih rezultatov preizkusov za obnašanje austenitizacije v obeh stanjih materiala kot tudi s ciljem naravnavanja temperatur austenitizacije, ki leže medsebojno zelo blizu. To je potrebno zaradi možnosti direktne primerjave.

Če izhajamo iz literarnih podatkov o primerjalnih potekih premen nitriranega jekla v stanju austenitizacije I (slika 7), vodi zmanjšanje temperature austenitizacije (sliki 8 in 9) k

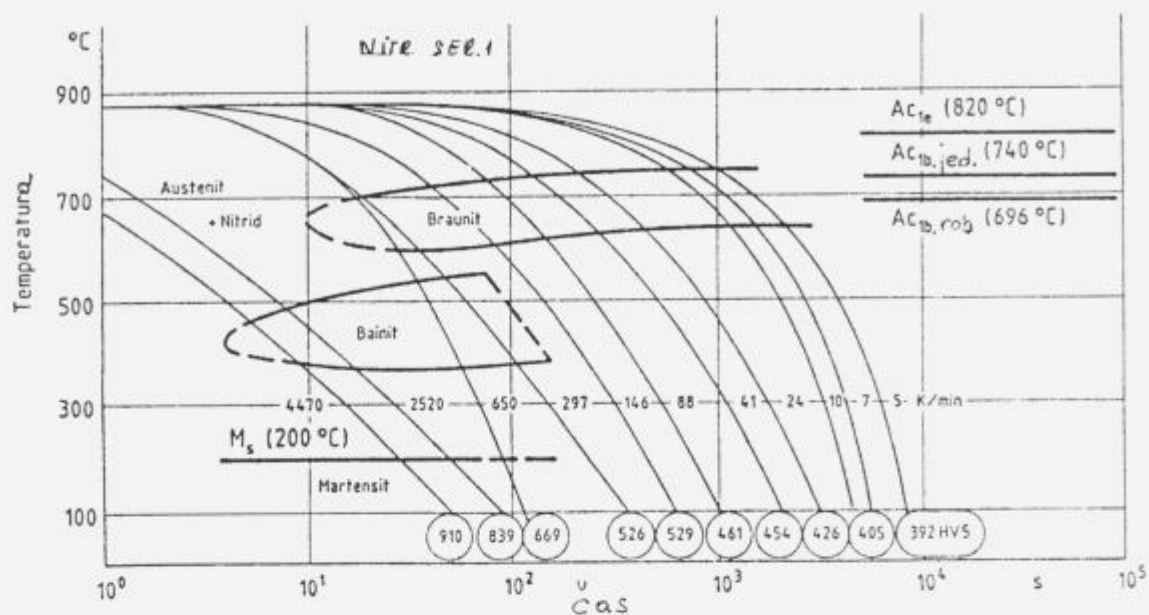
pospeševanju premene v perlitni in bainitni fazi k zvišanju  $M_s$ -temperature in k finoizmatosti strukture, ki se z metalografskim mikroskopom ne da določiti.

Tabela 2. Pogoji austenitizacije

Stanje austenitizacije	Stanje materiala Nitrirano	Stanje materiala Nitirano
I	1030°C 10 min	950°C 10 min
II	950°C 10 min	875°C 10 min
III	875°C 10 min	750°C 10 min



Slika 10. Kontinuirni TTT-diagram nitriranega jekla X38CrMoV51 (hitrost ogrevanja: 42 K/min, austenitizacija: 950°C 10 min)  
 Figure 10. Continuous TTT-diagram of the nitrided steel, aust. temp.: 950°C



Slika 11. Kontinuirni TTT-diagram nitiranega jekla X38CrMoV51 (hitrost ogrevanja: 42 K/min, austenitizacija: 875°C 10 min)

Figure 11. Continuous TTT-diagram of the nitrided steel, aust. temp.: 875°C

Pri nitiranem jeklu opazimo, v primerjavi z nenitriranim jeklom, zelo močno pospeševanje evtektoidne premene braunita in bainita (slika 10 do 12). Znižanje temperature austenitizacije od 950°C na 875°C daje v nasprotju z nenitriranim jeklom, zmanjšanje  $M_s$ -temperature.

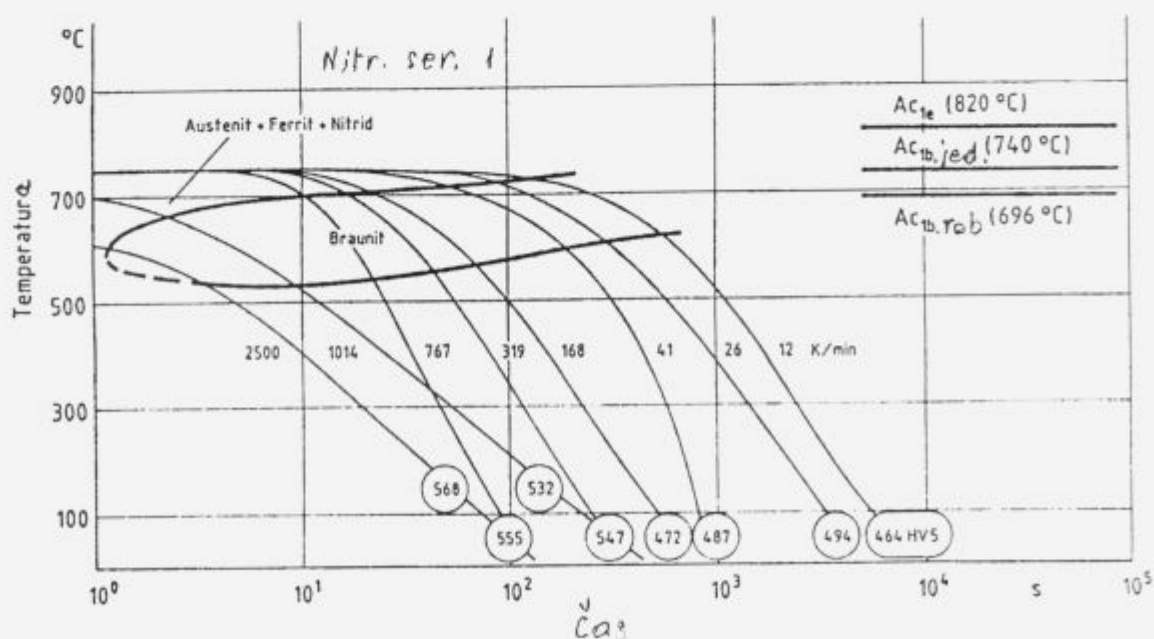
Iz slike 12 lahko povzamemo, da kažejo probe različnih serij nitiranja (in z različnim potekom austenitizacije) po austenitizaciji skoraj enak potek premen, kar kaže na zmanjšanje razlik posameznih serij nitiranja (stanje izcej, vsebnost raztopljenega dušika) in vzpostavitev primerljivih stanj austenitizacije.

Iz TTT-diagramov, oziroma iz prikaza trdote proti hitrosti ohlajevanja lahko dobimo zgornje kritične hitrosti ohlajevanja. Kot lahko povzamemo iz tabele 3, je nagnjenje za premene bistveno večje pri nitiranih probah kot pri nenitriranem jeklu. Z

Tabela 3. Zgornja kritična hitrost ohlajevanja za preiskovana stanja austenitizacije

Stanje austenitizacije	Stanje material	
	Nenitrirano	Nitrirano
I	10 K/min. ca.	2000 K/min.
II	20 K/min. ca.	4000 K/min.
III	100 K/min.	> 10000 K/min.

upoštevanjem rezultatov za oceno stanja austenitizacije kot tudi iz literature, si lahko razlagamo to pospešeno nagnjenje k premenam s prisotnostjo neraztopljenih izcej, ki: odzamejo austenitu legirni element Cr, ki zavira premene; tvorijo kali za eutek-



Slika 12. Kontinuirni TTT-diagram nitiranega jekla X38CrMoV51 (hitrost ogrevanja: 46 K/min, austenitizacija: 750°C)

Figure 12. Continuous TTT-diagram of the nitrided steel, aust. temp.: 750°C

toidne premene; posredno s preprečevanjem rasti austenitnega zrna dajejo dodatne kalji za premene.

#### 4. Zaključki

Vpliv nitiranja na potek premen jekla za delo v toplem, kvalitete X38CrMo51 (Utop Mo1) smo preizkušali s pomočjo dilatometra, z merjenjem trdote, z metalografijo kot tudi z rentgenografskimi in z magnetnimi analizami faz. Z dušikom se znižajo ravnotežne temperature premena jekla X38CrMoV51 od 833°C na 650°C ( $Ac_{1c}$ ) oziroma iz 850°C na 820°C ( $Ac_{1c}$ ).

Zato je možno dvigniti temperaturo za feritno nitiranje na preko 590°C. Maksimalna temperatura nitiranja sledi iz zahtevane trdnosti jekla v odvisnosti od popuščne obstojnosti jekla. Pri nitiranih orodjih za delo v toplem iz jekla X38CrMoV51 mora biti zagotovljeno, da temperatura uporabe ne presega 630°C, da s tem preprečimo fazne premene. Potek premen nitiranega jekla se jasno razlikuje od nenitiranega jekla. Poudariti moramo znatno pospeševanje evtektoidne in bainitne fazne premene, doseganje maksimalne kaljivosti neposredno po ogrevanju na temperaturo tik nad  $Ac_{1c}$ , veliko zmanjšanje trdote pri dolgem času zadrževanja, velik delež zaostalega austenita pri ogrevanju na temperaturo pod  $Ac_{1c}$  in zelo veliko termično stabilnost kromnitridnih CrN izcej v austenitu. Kot rezultat teh preizkusov je zaključek, da pri ohlajevanju delov konstrukcije in orodij po nitiranju na visoki temperaturi ne moremo vzpostaviti martenzitne kaljene strukture, ker ima nitrimi sloj zelo veliko nagnjenje za premene ter se zahtevane velike ohlajevalne hitrosti na orodjih ne da doseči. Lokalna termična obdelava bo pri optimiranem vodenju postopka predvidoma zaradi realizirane velike ohlajevalne hitrosti dala znatne učinke. Za stanje austenitizacije II in III na nenitiranih probah izdelani TTT-diagrami dajo

napotke za razlago struktur po premenah po lokalnem kaljenju s postopkom ogrevanja z veliko hitrostjo.

#### Literatura

1. Bell, T., Farnell, B. C.: An Electron Microscopy Studz of Braunitic and Bainitic Transformations, *Jernkont. Ann.*, 155 (1971), 8, s 415-421
2. Biswas, M. G. A., Codd, I.: An Electron Transmission Studz of Iron-Nitrogen Martensite, *Journal Iron & Steel Institute*, 206 (1968), 5, s 494-497
3. Edenhofer, B., Trenkler, H.: Beitrag zum Einfluss der Stahlzusammensetzung auf die Lage der A<sub>1</sub>-Temperatur von Nitrierschichten, *Hürerei-Tech. Mitt.*, 35 (1980), 4, s 175-181
4. Spies, H.-J., Trubitz, P., Wehner, W.: Untersuchungen zum Umwandlungsverhalten des nitrierten Warmarbeitsstahls 38CrMoV21.14, *Neue Hütte*, 28 (1983), 4, s 157-158
5. Trubitz, P.: Beitrag zum Umwandlungsverhalten des nitrierten Warmarbeitsstahls 38CrMoV21.14, *Dr.-Ing. Diss.*, Bergakademie Freiberg, 1985
6. Salonen, L. et al.: Einfluss von Legierungselementen auf den Kohlenstoff- und Stickstoffgehalt von karbonitrierten Einsatzstählen, *Hürerei-Tech. Mitt.*, 25 (1970), 3, s 161-164
7. Zenker, R.: Kombinierte thermochemische Hochgeschwindigkeitswärmebehandlung einige Grundlagen und Behandlungsergebnisse, *Neue Hütte*, 31 (1986), 1, s 1-6
8. Spies, Trubitz: Einfluss des nitrierens auf das Umwandlungsverhalten, *HTM*, 43 (1988).



INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE  
IN TEHNOLOGIJE p.o.

INSTITUTE OF METALS  
AND TECHNOLOGIES p.o.

61000 LJUBLJANA, LEPI POT 11, POB 431,  
SLOVENIJA

Telefon: 061/1251-161, Telefax: 061 213-780

## VACUUM HEAT TREATMENT LABORATORY

### Vacuum Brazing

Universally accepted as the most versatile method of joining metals. Vacuum Brazing is a precision metal joining technique suitable for many component configurations in a wide range of materials.

### ADVANTAGES

- Flux free process yields clean, high integrity joints
- Reproducible quality
- Components of dissimilar geometry or material type may be joined
- Uniform heating & cooling rates minimise distortion
- Fluxless brazing alloys ensure strong defect free joints
- Bright surface that dispense with expensive post cleaning operations
- Cost effective

Over five years of Vacuum Brazing expertise at **IMT** has created an unrivalled reputation for excellence and quality.

Our experience in value engineering will often lead to the use of Vacuum Brazing as a cost effective solution to modern technical problems in joining.

### INDUSTRIES

- |               |              |              |
|---------------|--------------|--------------|
| • Aerospace   | • Hydraulics | • Nuclear    |
| • Mechanical  | • Pneumatics | • Automotive |
| • Electronics | • Marine     |              |

### QUALITY ASSURANCE

Quality is fundamental to the **IMT** philosophy. The choice of process, all processing operations and process control are continuously monitored by **IMT Quality Control Department**.

The high level of quality resulting from this tightly organised activity is recognised by government authorities, industry and International companies.

# Maziva in hladno preoblikovanje jekel

## Lubricants and Cold Forming of Steels

B. Arzenšek, D. Kmetič, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije v Ljubljani,  
A. Lagoja, Železarna Jesenice

Opisani so rezultati meritev koeficientov trenja različnih maziv, ki jih pri nas najpogosteje uporabljamo pri masivnem preoblikovanju jekel in vlečenju žice. Ugotavljali smo jih po metodi stiskanja obročastih preizkušancev.

*Ključne besede:* hladno preoblikovanje jekel, maziva, trenje

*The results of friction coefficients of some lubricants were described in this paper, used at cold forming of steels and wire drawing process. They were established by ring compression tests.*

*Key words:* cold forming of steels, lubricants, friction

### 1 Uvod

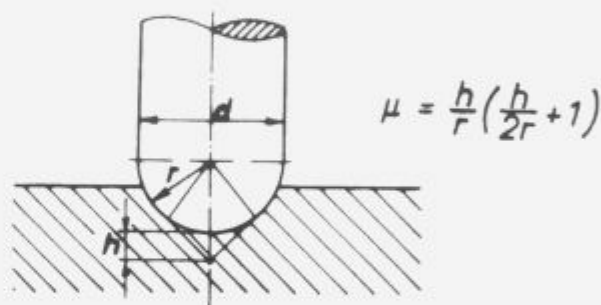
Uspešnost nekega preoblikovalnega procesa je v veliki meri odvisna od kontaktnega trenja, ki nastane na stičnih površinah med preoblikovalnim orodjem in preoblikovancem in od maziv, ki trenje zmanjšujejo. Z mazivi lahko precej povečamo deformacije, ki jih preoblikovano jeklo prenese, preprečimo trganje površin preoblikovanca in lokalno zvarjanje preoblikovanca na preoblikovalno orodje, zmanjšamo obrabo in povečamo življenjsko dobo orodja, ali pa celo preprečimo lom orodja. Z mazivi lahko torej precej vplivamo na uspešnost preoblikovalnega procesa, vendar le v primeru, če za določen preoblikovalni proces izberemo ustrezno mazivo, za katerega pa moramo poznati njegove mazivne sposobnosti.

Resničen vpliv trenja in maziv na preoblikovalni proces lahko ugotavljamo iz obrabe orodij in kvalitete izdelkov, ali pa z meritvami čim večjega števila vplivnih veličin na preoblikovalnem stroju v proizvodnji. Ker je cena takšnih preizkušanj precej visoka, ocenjujemo kvaliteto maziv navadno v laboratorijih, z deformacijsko podobnimi preoblikovalnimi postopki.

Kvaliteto maziv največkrat ocenjujemo s koeficienti trenja, ki jih lahko ugotavljamo z metodami brez merjenja preoblikovalnih sil in z metodami, pri katerih merimo preoblikovalne sile. Za metode ocenjevanja kvalitete maziv brez merjenja preoblikovalnih sil je značilno, da ugotavljamo koeficiente trenja iz geometrije preoblikovancev, na katere pred preoblikovanjem nanesimo preizkušana maziva. Obstaja veliko število metod za ocenjevanje mazivnih sposobnosti maziv, zato smo se v tem prispevku odločili, da opišemo le nekatere. Merilo pri izbiri opisanih metod je bila nizka cena in njihova preprosta izvedba ter dovolj velika ločljivost in primerljivost rezultatov preizkušanih maziv. Vse metode so, brez večjih stroškov in posebne opreme, izvedljive tudi na trgalnih strojih v mehanskih preizkuševalnicah tovarn.

### 2 Opis metod za ugotavljanje koeficientov trenja maziv

Metode brez merjenja preoblikovalnih sil so precej enostavnejše kot metode z merjenjem preoblikovalnih sil. Najenostavnejše so metode, pri katerih želimo dobiti le relativno primerjavo koeficientov trenja preizkušanih maziv. Tako lahko npr. pri valjanju pločevine enake vrste in dimenzije ugotavljamo



Slika 1. Merjenje kontaktnega trenja z vtiskavanjem polokroglega žiga  
Figure 1. Measuring of contact friction by halfround stamp

kvaliteto maziv iz izmerjenih debelin pločevine po valjanju. Pri slabših mazivih sta preoblikovalna sila in debelina pločevine večji. Vpliv mazanja in trenja preko deformacije, pa tudi spremembe preoblikovalnih napetosti, je poznan tudi pri utopnem kovanju, hladnem kalibriranju in gravurnem kovanju.

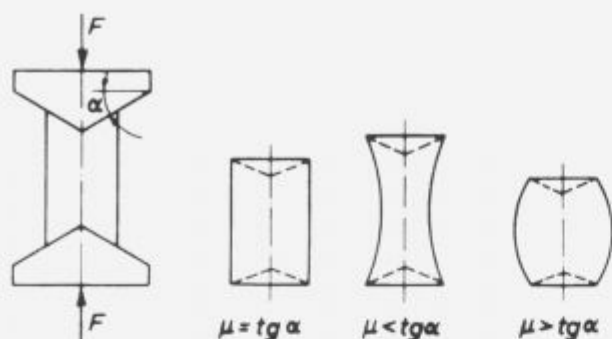
Tomlenov<sup>1</sup> in Ivanov<sup>2</sup> sta razvila metodo merjenja kontaktnega trenja z vtiskavanjem polokroglega žiga v kovino (slika 1). Pri tej metodi vzorec po vtiskavanju prerežemo po vzdolžni osi in z meritvami trdot po osi ugotovimo mesto z največjo trdoto. Če razdaljo med največjo trdoto in najnižjo točko odtiska označimo s "h" lahko, iz na sliki podanega matematičnega izraza, izračunamo koeficient trenja.

Ena od najstarejših metod za ugotavljanje koeficientov trenja maziv je stiskanje cilindričnih teles med dvema stožčastima orodjema<sup>1</sup>. Pri tej metodi orodje s svojim konusnim delom vtiskujemo v čelno površino valja (slika 2). Če dobi valj po preizkusu konveksno ali konkavno obliko, preizkus ponovimo z drugim parom orodij, z drugačnim kotom stožca, toliko časa, da valj po preizkusu ostane cilindričen. Tedaj je koeficient trenja enak  $\mu = \tan \alpha$ .

### 3 Ugotavljanje koeficientov trenja maziv s stiskanjem obročastih preizkušancev

#### 3.1 Opis metode

Zelo zanimiva metoda za ugotavljanje koeficientov trenja maziv je metoda stiskanja obročastih preizkušancev, ki jo je



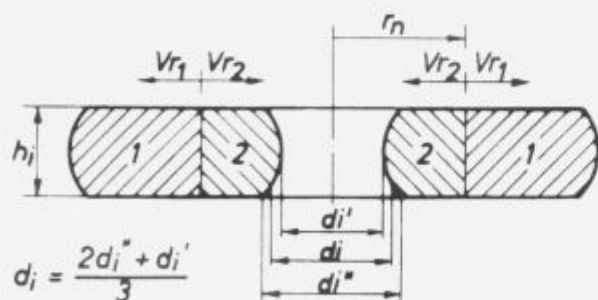
Slika 2. Merjenje kontaktnega trenja z nakrčevanjem cilindričnih teles med dvema stožčastima orodjema

Figure 2. Measuring of contact friction by compression test of cylindrical specimens between two cone tools

razvil Burgdorf<sup>1</sup>. Metoda se zadnje čase precej uporablja, zato smo z njo ugotavljali koeficiente trenja cele vrste maziv, ki jih pri nas najpogosteje uporabljamo pri masivnem preoblikovanju jekel in vlečenju žice. Metodo, kakor tudi rezultate koeficientov trenja preizkušanih maziv, bomo v nadaljevanju prispevka zato podrobneje opisali.

Pri tej metodi, pri kateri prav tako ni potrebno meriti preoblikovalnih sil, ugotavljamo koeficiente trenja maziv iz dimenzij obročkov po stiskanju, na površino katerih pred stiskanjem nanesemo preizkušano mazivo. Preizkušanci so obročki enakih dimenzij: z zunanjim premerom 20, notranjim 10 in višino 7 mm. Po stiskanju izmerimo višine in notranje premere obročkov, ki se pri enakem materialu spreminjajo glede na mazivne sposobnosti preizkušanih maziv. Pri slabših mazivih so notranji premeri manjši, pri boljših pa večji. Na premere obročkov vpliva tečenje materiala med stiskanjem. Problem tečenja materiala v obročku je avtor metode pojasnil s smerjo tečenja jekla v obročku, ki je odvisna od kvalitete maziva.

Med stiskanjem obročka lahko material namreč teče v dve smeri, proti sredini preizkušanca, ali pa radialno navzven (slika 3). Na meji med obema smerema je nevtralni radij  $r_n$ , kjer tečenja ni. Za vsakega od obeh delov obročka, ki ju ločuje nevtralni radij (na sliki sta označena s številčkama 1 in 2), lahko nastavimo ravnotežno enačbo, iz katere izpade napetost tečenja  $k_i$ , oziroma vpliv preoblikovalnih sil.



Slika 3. Prikaz toka materiala pri merjenju kontaktnega trenja z nakrčevanjem obročastega preizkušanca

Figure 3. Review of material flow at measuring of contact friction by ring compression test

Tako v izrazu ostanejo le geometrijske veličine preizkušanca in koeficient trenja maziva. Na ta način dobljena enačba je zelo komplicirana, zato je rešljiva le z numeričnimi metodami in računalnikom. Zaradi poenostavitve metode je Burgdorf izbral standardni preizkušavec že omenjenih dimenzij  $\phi$  20/10 X 7 mm, ki ga tudi v primeru najtrših preizkušancev lahko stisnemo do deformacije  $\varphi = 0,7$  s silo, ki je manjša od 1 MN. Za tak standardni preizkušavec je nato izračunal in v obliki krivulj podal

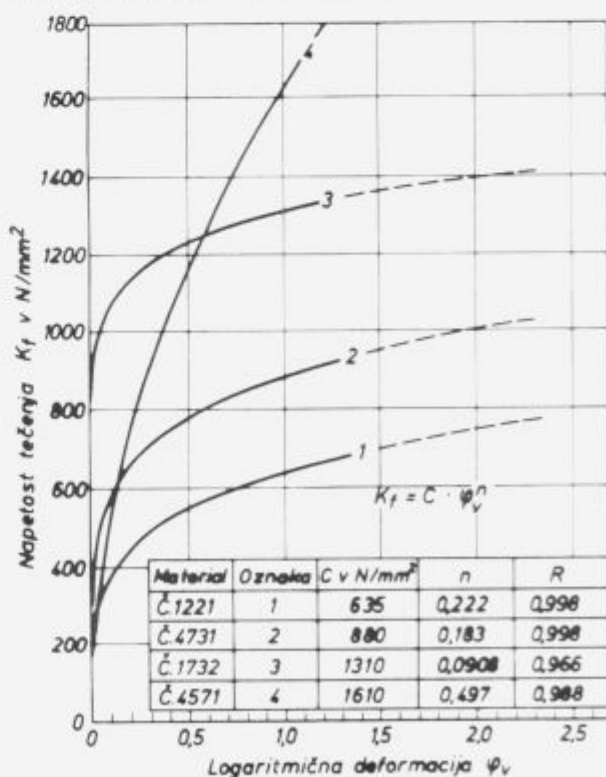
odvisnosti koeficientov trenja od višin in notranjih premerov preizkušancev po stiskanju. Premere takih diagramov smo, z vrisanimi koeficienti trenja preizkušanih maziv, prikazali na slikah 6 in 7.

### 3.2 Preizkušana maziva, preizkusi stiskanja in rezultati

Po metodi Burgdorfa smo ugotavljali koeficiente trenja različnih maziv, nosilcev maziv in kombinacij nosilcev maziv z mazivi, ki jih bomo imenovali kar mazivne prevleke. Nosilce maziv smo preizkušali zato, da bi ugotovili, če imajo poleg lastnosti nosilcev maziv (preprečevanja kovinskega stika med preoblikovancem in preoblikovalnim orodjem ter povečanja oprijemljivosti maziva na površini preoblikovancea) tudi kaj mazivnih sposobnosti. Preizkušali smo naslednje nosilce maziv: apno, boraks, fosfat, oksalat in prevleko bakra; in maziva: strojno olje, natrijevo milo, molikot in vlečni prašek (kalcijev stearat). Vse našete nosilce maziv in maziva uporabljamo pri vlečenju žice in masivnem preoblikovanju jekel. Zaradi boljše primerjave koeficientov trenja smo ugotavljali tudi koeficiente trenja nemazanih površin, ki ga imenujemo tudi suho trenje.

Maziva lahko klasificiramo tudi po višini preoblikovalnih napetostih, ki jih med preoblikovalnim procesom prenesejo. Da bi ugotovili vpliv preoblikovalnih napetosti na koeficiente trenja preizkušanih maziv, smo obročke izdelali iz štirih vrst jekel: iz cementacijskega jekla vrste Č.1221, jekla za poboljšanje Č.4731, visokoočljivega jekla Č.1732, ki ga uporabljamo za izdelavo patentirane žice in iz austenitnega nerjavnega jekla Č.4571, ki se med preoblikovanjem zelo utrjuje, zato ga lahko preoblikujemo le pri zelo visokih preoblikovalnih napetostih. Izbrana jekla se med seboj precej razlikujejo tako po višini preoblikovalnih napetosti-napetostih tečenja  $k_i$ , kakor tudi po stopnji utrjevanja-n. Višina preoblikovalnih napetosti in utrjevanje omenjenih jekel smo, v odvisnosti od deformacije, v obliki krivulj tečenja, prikazali na sliki 4.

Na kvaliteto mazanja vpliva tudi stanje površin, na katere nanesemo maziva, zato smo površine obročkov brusili ali peskali



Slika 4. Krivulje tečenja preizkušanih jekel

Figure 4. Flow curves of tested steels



ter tako ugotavljali tudi vpliv hrapavosti površine preoblikovanca na koeficiente trenja maziv. Na kvaliteto maziv vpliva tudi temperatura preoblikovalnega procesa, kar pa v tem delu nismo ugotavljali, ker so vsa preizkušana maziva namenjena le za delo v hladnem.

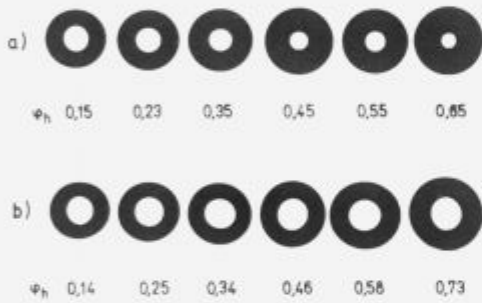
Po nanosu mazivnih prevlek smo obročke pri sobni temperaturi kontinuirno stiskali do različnih višin na 500 KN preizkuševalnem stroju Instron. Zaradi možnosti merjenja preoblikovalnih sil smo med stiskanjem merili tudi preoblikovalne sile, iz katerih smo izračunali preoblikovalne napetosti in koeficiente trenja nekaterih maziv in rezultate podali tudi v odvisnosti od preoblikovalnih napetosti.

Oblike obročkov po preizkušanju različnih mazivnih prevlek so bile precej različne. Kot primer smo na sliki 5 prikazali obročke, na katere smo pred stiskanjem nanesli sam fosfat in fosfat z milom. Stiskali smo jih do različnih deformacij, ki smo jih izrazili z logaritmičnimi deformacijami  $\varphi_h$ , izračunanimi na sledeč način:

$$\varphi_h = \ln \frac{h_c}{h_i}$$

kjer pomeni:

$h_c$  - višino obročka pred stiskanjem (7 mm) in  
 $h_i$  - višino obročka po stiskanju.



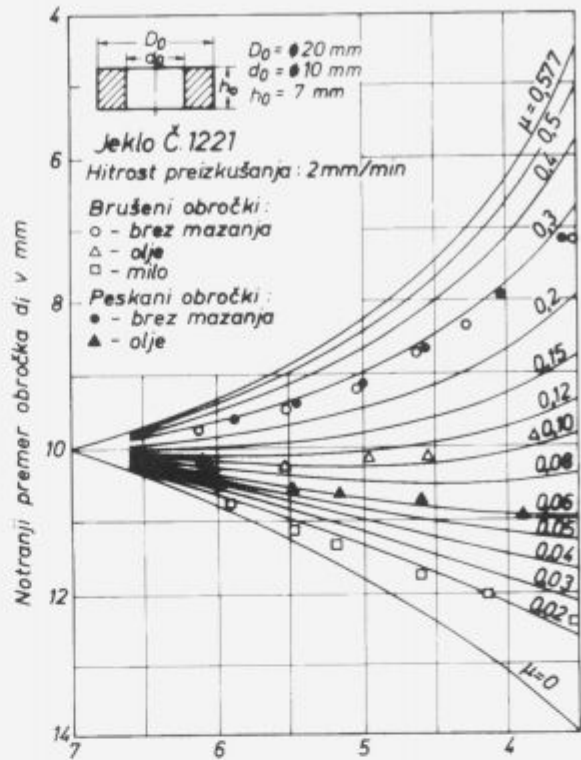
Slika 5. Obročki iz jekla Č.1221 po stiskanju, a)fosfatirani, b)fosfatirani in namiljeni

Figure 5. Rings of 1.1121 steel after compression test, a)phosphated, b)phosphated and soaped

Iz majhnih notranjih premerov fosfatiranih obročkov lahko sklepamo na slabe mazivne sposobnosti fosfata, iz velikih pa na dobre pri prevleki fosfata in mila. Posledica slabega mazanja pri fosfatu je tudi konveksna oblika sten stisnjenih obročkov, zato je Burgdorf za vrednotenje notranjih premerov obročkov-d, podal izraz, ki smo ga zapisali ob shemi obročka na sliki 3.

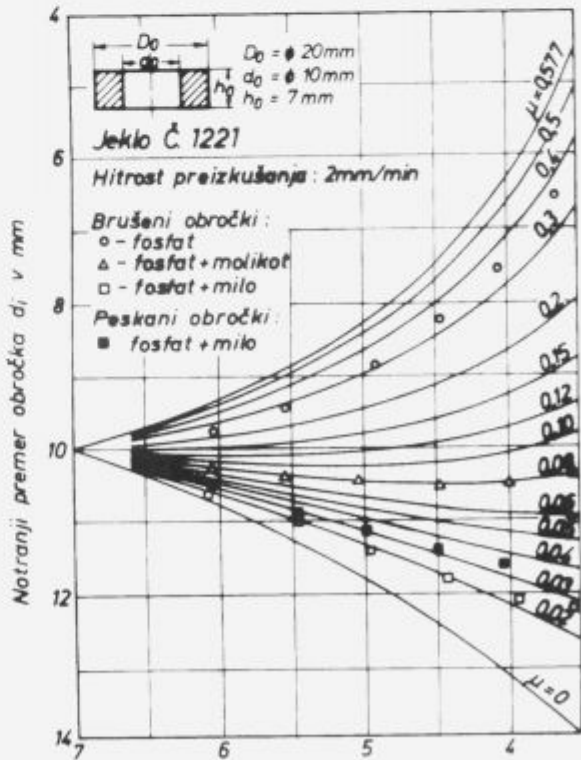
Poleg notranjih premerov obročkov smo izmerili tudi njihove natančne višine in nato vsak notranji premer v odvisnosti od višine vnesli v Burgdorfove diagrame krivulj koeficientov trenja. Koeficiente trenja ocenimo vizuelno glede na položaj točk med krivuljami. Zaradi velikega števila diagramov smo v prispevku na slikah 6 in 7 prikazali le dva diagrama, v katerih smo podali vrednosti koeficientov trenja za nemazane površine in fosfat ter za olje, milo in prevleke fosfata z milom in mlikomotom, na brušenih in peskanih površinah jekla. Zaradi boljše preglednosti smo vse koeficiente trenja maziv za vsako jeklo posebej prikazali v diagramih na slikah 8 do 11, ko smo deformacije podali v obliki že omenjene logaritmične deformacije  $\varphi_h$  in specifične deformacije  $\epsilon_s$ , ki jo uporabljamo predvsem pri vlečenju žice. Na sliki 12 smo prikazali tudi koeficiente trenja dveh mazivnih prevlek v odvisnosti od preoblikovalnih napetosti  $q_m$ , ki smo jih izračunali na sledeč način :

$$q_m = \frac{F_j}{A_j} \left( N / mm^2 \right),$$



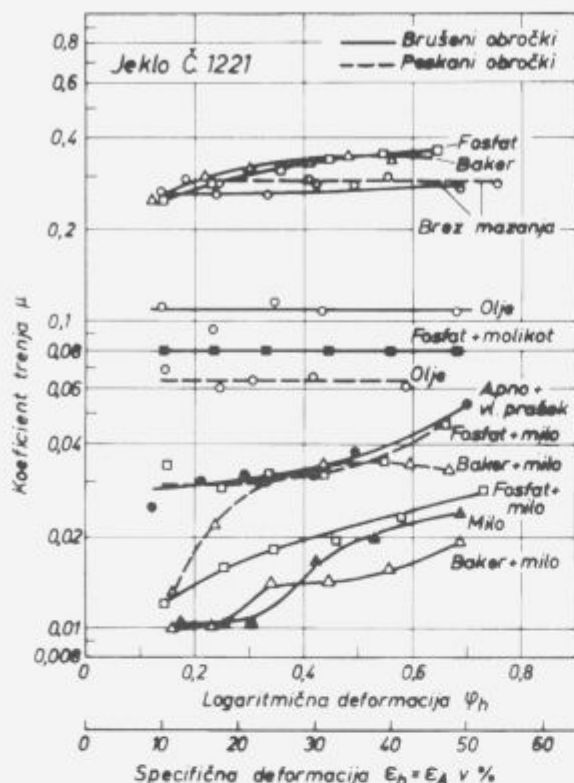
Slika 6. Koeficienti trenja pri nemazanih in mazanih luženih in peskanih površinah jekla Č.1221

Figure 6. Friction coefficients of nonlubricated and lubricated pickled and sand blasted surfaces of 1.1121 steel



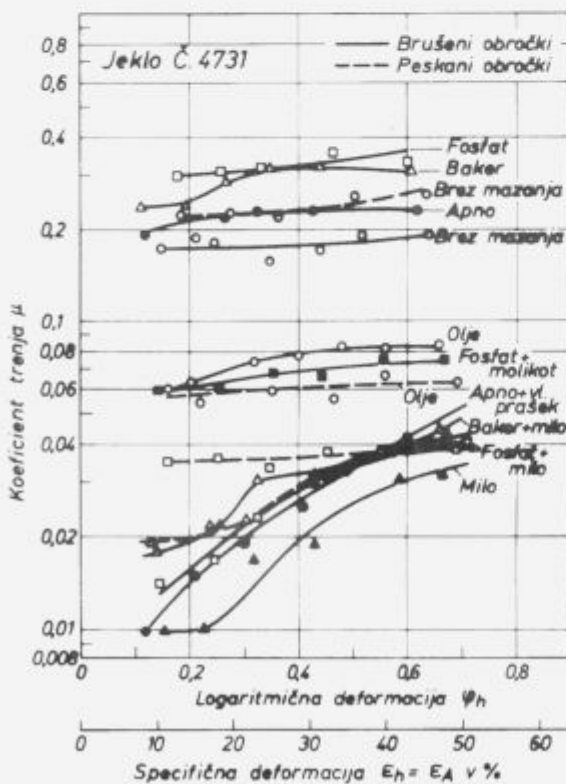
Slika 7. Koeficienti trenja preizkušanih mazivnih prevlek pri luženih in peskanih površinah jekla Č.1221

Figure 7. Friction coefficients of different lubricant coats at pickled and sand blasted surfaces of 1.1121 steel



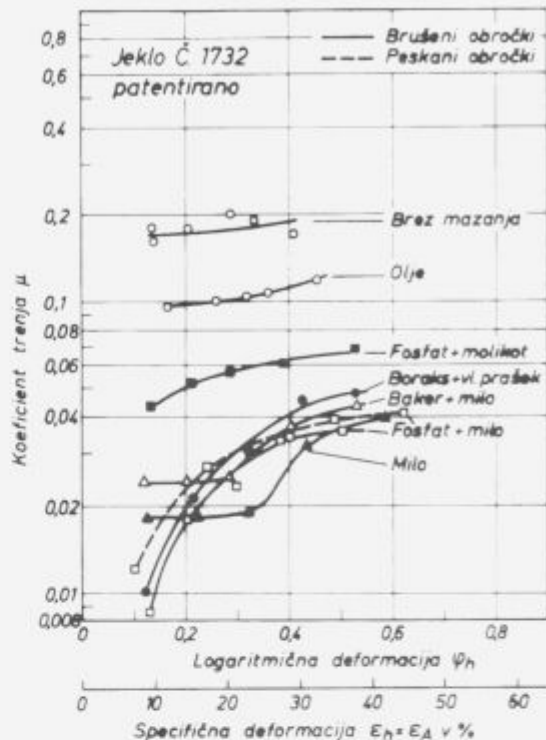
Slika 8. Koefficienti trenja preizkušanih mazivnih prevlek pri različnih stopnjah deformacije, pri jeklu Č.1221

Figure 8. Friction coefficients of tested lubricant coats at different deformations of 1.121 steel



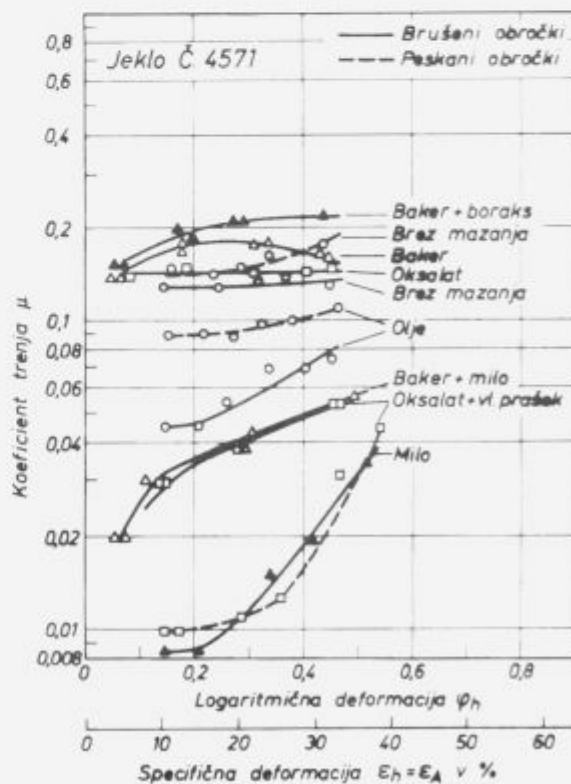
Slika 9. Koefficienti trenja preizkušanih mazivnih prevlek pri različnih stopnjah deformacije, pri jeklu Č.4731

Figure 9. Friction coefficients of tested lubricant coats at different deformations of 1.7220 steel



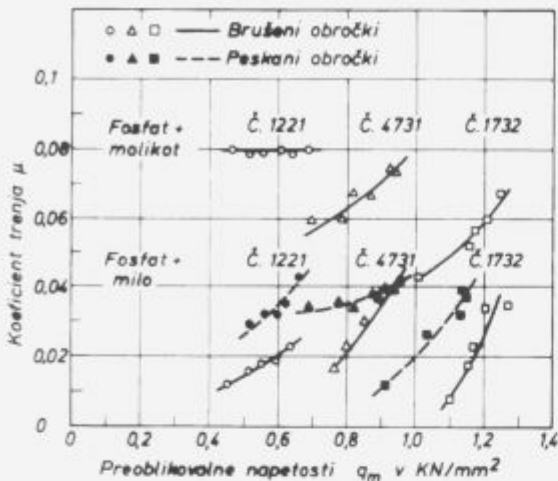
Slika 10. Koefficienti trenja preizkušanih mazivnih prevlek pri različnih stopnjah deformacije, pri jeklu Č.1732

Figure 10. Friction coefficients of tested lubricant coats at different deformations of 1.221 steel



Slika 11. Koefficienti trenja preizkušanih mazivnih prevlek pri različnih stopnjah deformacije, pri jeklu Č.4571

Figure 11. Friction coefficients of tested lubricant coats at different deformations of austenitic stainless steel



Slika 12. Koeficienti trenja prevlek fosfata z molikotom in fosfata z milom pri različnih preoblikovalnih napetostih

Figure 12. Friction coefficients of phosphat with molykot and phosphat with soap coat at different deformation strains

kjer pomeni:

$F_1$  - silo stiskanja (N) in

$A_1$  - presek obročka po stiskanju ( $\text{mm}^2$ ).

Omenjeni prevleki sta fosfat z milom in fosfat z molikotom, ki ju uporabljamo pri deformacijsko zahtevnejših preoblikovalnih postopkih in visokih preoblikovalnih napetostih.

### 3.3 Analiza rezultatov

V zgornjem delu diagramov koeficientov trenja, prikazanih na slikah od 8 do 11, se v vrednostih od 0,15 do 0,30, nahajajo koeficienti trenja nemazanih površin in nosilcev maziv. Ker so koeficienti trenja nosilcev maziv višji od koeficientov trenja nemazanih površin lahko zaključimo, da preizkušani nosilci maziv nimajo nobenih mazivnih sposobnosti. Nekoliko nižje koeficiente trenja, od 0,05 do 0,1, ima olje, precej nižje, od 0,01 do 0,05, pa trde mazivne prevleke. Koeficienti trenja mazivnih prevlek se precej spreminjajo glede na trdnost maziv, hrapavost površine preoblikovancev in višino preoblikovalnih napetosti, zato smo v nadaljevanju prispevka posamezne mazivne prevleke in njihove lastnosti podrobneje opisali.

#### Nemazane površine in nosilci maziv

Preizkušani nosilci maziv: apno, boraks, fosfat in oksalat, nimajo mazivnih sposobnosti. So le nosilci maziv, katerih naloga je povečati oprijemljivost maziv na površini kovin in preprečiti kovinski stik preoblikovanca s preoblikovalnim orodjem. Apno je najcenejši nosilec maziva. Prevleka apna je tanka, na površino kovine pa se slabo oprime, zato ga uporabljamo predvsem pri manjših deformacijah kovine. Na površino kovine ga nanašamo tudi za nevtralizacijo površine kovine po luženju. Prevleka boraksa je debelejša od prevleke apna. Tudi boraks se površino kovine oprime, izloči pa se v obliki kristalov. Uporabljamo ga pri večjih deformacijah in preoblikovalnih napetostih. Fosfat je na površini kovine kemijsko vezan v obliki kristalov. Debelino fosfatne prevleke spreminjamo s spreminjanjem pogojev fosfatiranja. Prevleke fosfata uporabljamo pri zelo zahtevnih preoblikovalnih postopkih. Oksalat je tudi kemijsko vezan na površino kovine, uporabljamo pa ga kot nosilec maziva pri austenitnih nerjavnih jeklih.

Vse prevleke nosilcev maziv morajo biti dobro oprijemljive na površini preoblikovanca, prenesti morajo čim višje preoblikovalne napetosti, med preoblikovanjem pa se morajo dobro preoblikovati. Prevleke naj bodo tanke, vendar dovolj debele, da se med preoblikovanjem tudi pri največjih deformacijah ne prekinjejo. Debele prevleke so slabše oprijemljive na površini pre-

oblikovancev, zato se rade luščijo. Pri vlečenju žice rade mašijo vlečne voltice, zato lahko pride do poškodbe površine in celo do trganja žice.

#### Olje

Iz primerjave koeficientov trenja preizkušanih maziv vidimo, da so koeficienti trenja čistega strojnega olja precej višji kot pri trdih mazivih, precej pa se spreminjajo tudi glede na stanje površine. Pri brušenih površinah znašajo koeficienti trenja olja približno 0,1, pri peskanih pa so nekoliko nižji. Olje je tekoče mazivo kar pomeni, da je mazivni film pri preoblikovanju zelo tanek. Med preoblikovanjem se mazivni film mestoma prekine, zato so koeficienti trenja olja višji kot pri trdih mazivih. Mazivne sposobnosti olj lahko izboljšamo z dodatki različnih dodatkov, npr. molikota. Zaradi omenjenih mazivnih sposobnosti uporabljamo olja predvsem pri deformacijsko manj zahtevnih preoblikovalnih procesih in v primerih, kjer mazanje z drugimi mazivi ni mogoče, npr. pri izdelavi vijakov iz žic, kjer lahko prečno odrezan (nemazan) del žice, pred oblikovanjem glave vijaka, mažemo le z brizganjem tekočega maziva. Olja uporabljamo tudi pri dimenzijskem vlečenju žice in palic, ko želimo dobiti gladke in svetle površine.

#### Mila

Preizkušano natrijevo milo ima zelo dobre mazivne sposobnosti predvsem pri nizkih stopnjah deformacije, ko koeficienti trenja znašajo le 0,01, kar je kar desetkrat manj kot pri olju. Dobro mazanje z mili dobimo le, če ga na površine kovin nanesemo dovolj in enakomerno, kar pa dosežemo le pri potapljanju preoblikovancev v vodni raztopini mila. Milo je nizkoviskozno mazivo, zato njegovi koeficienti trenja hitro naraščajo z naraščajočo stopnjo deformacije. Ima tudi nizko tališče, zato ga samega pri hladnem preoblikovanju, pri katerem dosežemo večje stopnje deformacije in večje preoblikovalne napetosti, navadno ne uporabljamo. Zaradi njegovih dobrih mazivnih sposobnosti ga velikokrat dodajamo suhim mazivom, npr. vlečnim praškom, ali pa ga nanašamo na nosilce maziv.

Prevleka fosfata z milom ima pri nizkih stopnjah deformacije nekoliko višje koeficiente trenja kot samo milo, pri višjih pa nižje. Iz tega lahko zaključimo, da je milo, naneseno na fosfat, primerno mazivno sredstvo predvsem za hladno preoblikovanje kovin pri višjih stopnjah deformacije in višjih preoblikovalnih napetostih.

#### Molibdenov disulfid

Namesto mila nanesemo na fosfatne prevleke velikokrat tudi molikot. Iz primerjave koeficientov trenja prevlek fosfata z milom in molikotom je razvidno, da so koeficienti trenja pri prevleki fosfata z molikotom, pri nižjih preoblikovalnih napetostih, pri jeklu Č. 1221, precej višji kot pri prevleki fosfata z milom, pri višjih, npr. pri jeklu Č. 1732, pa se razlika precej zmanjša. Značilno za prevleko fosfata z molikotom je tudi, da se koeficienti trenja prevleke z naraščanjem deformacije manj spreminjajo kot pri ostalih mazivnih prevlekah, zato lahko zaključimo, da je prevleka fosfata z molikotom uporabna predvsem pri visokih preoblikovalnih napetostih.

#### Vlečni prašek

Preizkušani vlečni prašek kalcijev stearat, smo nanesli na prevleke nosilcev maziv oksalata, boraksa in apna s posipanjem. Iz primerjave koeficientov trenja omenjenih prevlek in prevleke fosfata z milom vidimo, da se le ti skoraj ne razlikujejo pri nizkih stopnjah deformacije, pri višjih pa pričnejo koeficienti trenja pri prevleki apna z vlečnim praškom naraščati. Vzrok je v slabši oprijemljivosti in manjši debelini prevleke apna, zato so prevleke z apnom in vlečnim praškom primerne predvsem za vlečenje žice pri manjših deformacijah in nižjih preoblikovalnih napetostih. Prevleko boraksa z vlečnim praškom lahko po mazivnosti uvrstimo med prevleki apna z vlečnim praškom in

fosfata z milom. Ker je apno cenen nosilec maziva, uporabljamo apnene prevleke predvsem pri enkratnem ali dvakratnem vlečenju žice in nizkih preoblikovalnih napetostih, prevleke boraksa z vlečnim praškom pri večjih preoblikovalnih napetostih in deformacijah, prevleke oksalata z vlečnim praškom pa pri vlečenju austenitnih nerjavnih žic. Oksalatna prevleka prenese, podobno kot prevleka fosfata in mila, velike deformacije in visoke preoblikovalne napetosti.

#### Baker

Prevleka bakra ima, podobno kot ostali preizkušani nosilci maziv, visoke koeficiente trenja. Od ostalih nosilcev maziv se razlikuje po tem, da pričene koeficienti trenja bakra pri večjih deformacijah nekoliko padati, kar pa bistveno ne spremeni njegove mazivne sposobnosti. Prevleka bakra z milom ima dobre mazivne sposobnosti zaradi mila, podobno kot prevleka fosfata z milom. Baker nanašamo na kovine predvsem zaradi zaščite kovine proti koroziji in delno tudi kot nosilec maziva.

#### Vpliv preoblikovalnih napetosti na koeficiente trenja mazivnih prevlek

Višine preoblikovalnih napetosti jekel precej vplivajo na koeficiente trenja preizkušanih maziv. Ta vpliv je dobro viden iz višin koeficientov trenja za prevleki fosfata z milom ali molikotom, ki smo jih podali v odvisnosti od preoblikovalnih napetosti v diagramu na sliki 12. Iz poteka krivulj koeficientov trenja za prevleko fosfata z molikotom je razvidno, da ima prevleka najboljše mazivne sposobnosti pri jeklu Č.1732, torej pri jeklu, ki ga lahko preoblikujemo le pri višjih preoblikovalnih napetostih. Koeficienti trenja so skoraj za polovico nižji kot pri nizkih preoblikovalnih napetostih, pri katerih dosežejo vrednosti kar 0,08. To pomeni, da je mazivno prevleko z molikotom smiselno uporabljati le pri zahtevnih preoblikovalnih postopkih, zaradi dobre temperature obstojnosti molikota pa tudi pri povišanih temperaturah, do temperature 500°C. Povsem drugače je pri prevleki fosfata z milom, ki ima pri nizkih preoblikovalnih napetostih veliko boljše mazivne sposobnosti kot prevleka fosfata z molikotom, pri višjih napetostih pa se nekoliko poslabša. Prevleka z milom je temperaturno slabo obstojna.

#### Hrapavost površine

Vpliv hrapavosti površine na koeficiente koeficiente trenja maziv smo ugotavljali z brušenimi in peskanimi površinami. Ugotovili smo, da dobimo pri nemazanih površinah in vseh trdih mazivnih prevlekah na peskanih površinah slabše pogoje mazanja ter s tem tudi višje koeficiente trenja. Drugače je pri olju, ko dobimo pri peskanih površinah manjše koeficiente trenja. Vpliv hrapavosti lahko zmanjšamo z nanosom debelejših količin nosilca maziva ali maziva na površino kovine, kar je pri jeklu Č.45571 razvidno iz višin koeficientov trenja za oksalatno prevleko. Vpliv hrapavosti površine se nekoliko zmanjša pri večjih preoblikovalnih napetostih in višjih deformacijah.

#### 4 Zaključki

Z mazivi zmanjšamo trenje na stičnih površinah preoblikovanca in preoblikovalnega orodja, zmanjšamo preoblikovalne sile, povečamo deformacije preoblikovanca, izboljšamo kvaliteto površine izdelka in zmanjšamo obrabo preoblikovalnega orodja.

V tem delu smo opisali več preprostih metod za ugotavljanje koeficientov trenja maziv, podrobneje pa metodo stiskanja obročastih preizkušancev, po kateri smo ugotavljali koeficiente trenja velikega števila nosilcev maziv in maziv, ki jih uporabljamo pri masivnem preoblikovanju jekel in vlečenju žice. Mazivne sposobnosti prevlek smo ugotavljali v odvisnosti od stopnje deformacije in višine preoblikovalnih napetosti.

Kratke ugotovitve so naslednje:

1. Metoda ugotavljanja koeficientov trenja mazivnih prevlek s stiskanjem obročastih preizkušancev je dovolj selektivna in

preprosta. Pri ugotavljanju koeficientov trenja ni potrebno meriti preoblikovalnih sil, zato je metoda izvedljiva tudi marsikje na stiskalnicah v predelovalnih obratih.

2. Preizkušani nosilci maziv-apno, boraksa, fosfat in oksalat, nimajo mazivnih sposobnosti. Njihovi koeficienti trenja so večji kot koeficienti trenja nemazanih površin, zato jih na površine kovin nanašamo le zato, da povečamo oprijemljivost maziv na površino kovin in preprečimo kovinski stik med preoblikovanjem in preoblikovalnim orodjem.

3. Strojno olje ima slabe mazivne sposobnosti, zato ga kot mazivo uporabljamo predvsem pri preoblikovalnih postopkih z majhnimi deformacijami in v primerih, kjer trdih maziv ne moremo uporabljati.

4. Od vseh preizkušanih maziv ima natrijevo milo, pri nizkih preoblikovalnih napetostih in majhnih deformacijah, najboljše mazivne sposobnosti. Z naraščajočo stopnjo deformacije se njegove mazivne sposobnosti precej poslabšajo, zato je njegova uporaba priporočljiva le pri manj zahtevnih preoblikovalnih postopkih. Prevleka fosfata z milom ima dobre mazivne sposobnosti tudi pri visokih preoblikovalnih napetostih, prevleke z molikotom pa pri visokih preoblikovalnih napetostih, velikih deformacijah in tudi nekoliko povišanih temperaturah. Vlečni praški imajo dobre mazivne sposobnosti pri uporabi z nosilci maziv.

5. Hrapavost površine preoblikovanca poslabša mazivnost preizkušanih mazivnih prevlek razen pri olju, pri katerem se nekoliko izboljša.

#### 5 Literatura

- 1 Tomlenov A.D.: Vnedrenie zakruglennogo puansona v metalle pri naličiji trenija, Vestnik mašinstrojenja, 1(1961).
- 2 Ivanov P.A.: Opredelenie koeficienta trenija po raspredeleniju tverdsti i plastičeskoj zone, Kuznečno-štamповооное производство, 5(1961).
- 3 Burgdorf M.: Über die Ermittlung des Reibwertes für Verfahren der Massivumformung durch den Ringstauversuch, Industrie-Anzeiger, 39(1967) 15-20.
- 4 Arzenšek B., Kveder A., Kuzman K., Šimnic M., Lagoja A., Pogačnik V.: Vpliv mazivnih snovi na hladno preoblikovanje jekel, Poročilo MI, 1979.
- 5 Yang-Tai Lin, Jang-Ping Wang: An investigation into the constant friction factor with the upper-bound flow function elemental technique, Journal of Materials Processing Technology, 36(1992) 57-68.
- 6 Yhu-Jen Hwu, Chwan-Tzong Hsu and Fengyin Wang: Measurement of friction and the flow stress of steels at room and elevated temperatures by ring-compression tests, Journal of Materials Processing Technology, 37(1993) 319-335.
- 7 K.P.Rao: A review of ring-compression testing and applicability of the calibration curves, Journal of Materials Processing Technology, 37(1993) 295-318.
- 8 Liu J.Y.: An analysis of deformation characteristics and interfacial friction condition in simple upsetting of rings, ASME J. Eng. Ind., 94(1972) 1149. Schey J.A.: Metal deformation processes: Friction and Lubrication, Marcel Dekker INC, New York, 1970.
- 9 Male A.T., DePierre V.: The validity of mathematical solutions for determining friction from the ring compression test, Lubr. Technol., 92(1970) 389.
- 10 Avitzur B.: Metal forming: Processes and analysis, McGraw-Hill, New York, 1968.
- 11 Y.T.Lin and J.P.Wang: A thermal analysis of cold upsetting with the upper-bound flow function elemental technique, Journal of Materials Processing Technology, 37(1993) 283-294.

## Izbira dodatnega materiala in tehnologije navarjanja tekalnega kolesa žerjava

R. Kejzar, M. Hrženjak, V. Živkovič, ZRMK Ljubljana  
 J. Vižintin, Fakulteta za strojništvo Ljubljana  
 L. Kosec, FNT Odsek za metalurgijo Ljubljana  
 J. Cankar, P. Žmitek, Železarna Jesenice

### 1. Tema

Napetosti po površini in po prerezu tekalnega kolesa in tirnice so glavni vzrok za elastične in plastične deformacije ter poškodbe stičnih površin. Ker segajo napetosti pri obremenitvah z zdrsom do globine 2 mm in več, smo se odločili, da tekalna kolesa površinsko zaščitimo proti obrabi z navarjanjem.

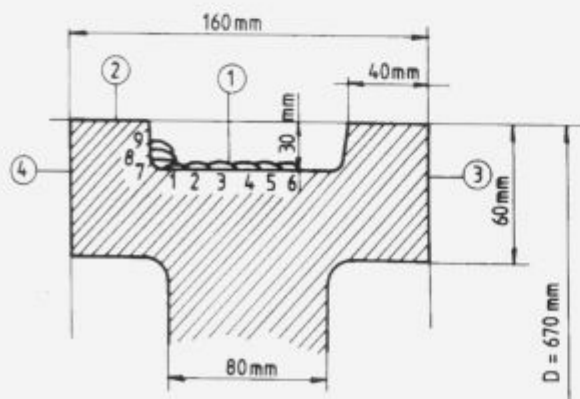
### 2. Opis dela in rezultati

V Železarni Jesenice izrabljena tekalna kolesa obnavljajo z navarjanjem. Večslojno navarjanje z žico "EPP Cr6" pod taljenim praškom daje povsem sprejemljivo kvaliteto obnovljenih tekalnih koles. Problemi so nastopili zaradi ukinjanja proizvodnje legirane varilne žice "EPP Cr6".

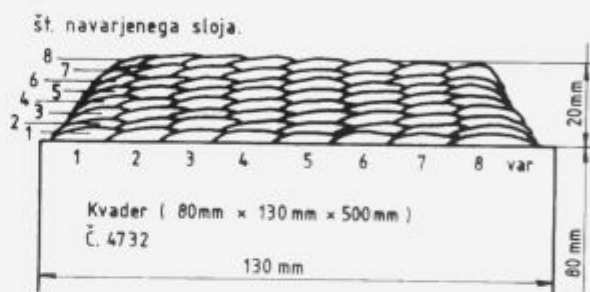
Navarjanje obrabljenih tekalnih koles z legirano žico "EPP Cr6" pod taljenim praškom bomo nadomestili z navarjanjem z nelegirano žico "EPP2" pod legiranim aglomeriranim praškom. Navar bomo legirali s kromom in drugimi izbranimi legirnimi elementi preko legiranega aglomeriranega praška.

Navarjanje tekalnih koles (slika 1) smo simulirali z laboratorijskim navarjanjem z žico "EPP2" pod legiranim praškom "0-7SM" pri praktično povsem enakih varilnih parametrih (700 A, 34 V, 90 cm/min) kot tekalna kolesa, le da smo navarjali kvader (80 mm x 130 mm x 500 mm) iz jekla Č.4732 (slika 2), kar zagotavlja zelo podobno odvajanje toplote kot pri tekalnem kolesu med navarjanjem.

Segrevanje kvadra se dobro ujema s segrevanjem tekalnega kolesa. Sestave enoslojnega, dvoslojnega in večslojnega navara oz. čistega vara pa tudi ustrezajo navarom, ki smo jih dobili pri navarjanju z žico "EPP Cr6" pod taljenim praškom (tabela 1). Struktura navarov je martenzitna s trdoto okoli 400 HV.



Slika 1. Presek obrabljenega tekalnega kolesa z označenim redosledom navarjanja



Slika 2. Skica navarjanja kvadra (Č. 4732)

Tabela 1. Kemične analize enoslojnega in večslojnega navara (čistega vara) z žico: -EPP Cr6 pod taljenim praškom in EPP2 pod legiranim aglomeriranim praškom "0-7 SM"

Navar	C(%)	Si(%)	Mn(%)	Cr(%)	Mo(%)
EPP Cr6/talj. prašek					
enoslojno	0,20	0,24	0,65	4,53	-
večslojno	0,10	0,25	0,70	7,00	-
EPP2/leg.agl.pr. "0-7SM"					
enoslojno	0,32	0,35	0,87	3,56	0,31
večslojno	0,11	0,55	1,21	9,12	0,58

### 3. Zaključek

Z legiranjem preko legiranega aglomeriranega praška lahko skoraj poljubno vplivamo na sestavo navara in s tem tudi na obrabno odpornost navarjene prevleke.

Rezultati raziskave dajejo osnovo za zamenjavo navarjanja z žico "EPP Cr6" pod taljenim praškom z ekonomičnejšim navarjanjem tekalnih koles z žico "EPP2" pod legiranim aglomeriranim praškom "0-7 SM".

Nadaljevanje raziskave bo usmerjeno v izpopolnjevanje obrabne odpornosti navarjene prevleke tekalnega kolesa, kar bomo dosegli z bolj legiranimi navari na martenzitni osnovi z vključki karbidov (legirani aglomerirani praški: U-Mo1, BM 2, ...). Večja obrabna obstojnost tekalnih koles pa ne sme povzročiti povečanja obrabe tirnice.

# K - sintetični minerali (osvajanje in študij uporabnosti sintetičnih mineralov)

R. Kežzar, A. Zajc, B. Kežzar, M. Hrženjak, ZRMK Ljubljana  
K. Nekrep, Nekovine, TD Ruše  
J. Cankar, Železarna Jesenice

## 1. Tema

Pri izdelavi aglomeriranih varilnih praškov iz standardnih surovin moramo uporabljati mešanice kalijevega in natrijevega vodnega stekla. Varilni praški izdelani samo s cenanim Na-vodnim steklom so varilno tehnično slabši, ker gori oblok preveč ostro ter pogosto povzroči zapekanje žlindre na var. Z uporabo K sintetičnega volastonita želimo že s sintetičnim mineralom vnesti v aglomerirani prašek zadosti kalijevega oksida, kar bo omogočilo, da pri izdelavi varilnih praškov uporabljamo samo Na-vodno steklo.

## 2. Opis dela in rezultati

V TD Ruše (Nekovine) smo pripravili že vrsto zelo zanimivih sintetičnih repromaterialov za proizvodnjo dodatnih materialov. Posebno zanimivi pa so sintetični repromateriali z dodatkom alkaljskih oksidov (glej članek: Prednosti uporabe novih sintetičnih repromaterialov, KZT, 27, 1993, 1-2, s 213-216).

Uporaba sintetičnih mineralov z dodatkom alkaljskih oksidov pri izdelavi dodatnih materialov vpliva na izboljšanje ionizacije in večjo stabilnost obloka med varjenjem. Že z izbiro alkaljskih ionov v obloku, to je razmerjem med kalijevega in natrijevimi ioni, pa lahko zelo ugodno vplivamo na varilno tehnične lastnosti dodatnega materiala. Več K-ionov v obloku povzroči, da oblok gori manj ostro in je zato tudi verjetnost zapekanja žlindre na zvar manjša (tabela 1 in 2).

**Tabela 1.** Vpliv alkalij v legiranem aglomeriranem prašku "0-7 SM" na potek varjenja in zapekanje žlindre

Žica: EPP 2, Ø3 mm Varilni prašek: 0-7SM	Varilni parametri				Opombe
	I (A)	U (V)	η (%)	V <sub>1</sub> (g/s)	
- osnovni	470	32	127	2,57	vari lepo žlindra dobro odstopa
- z več Na <sub>2</sub> O in dodatkom CaF <sub>2</sub>	470	34	119	2,40	vari ostreje pojavi se zapekanje žlindre
- z več K <sub>2</sub> O in dodatkom CaF <sub>2</sub>	500	33	121	2,39	vari zelo lepo in mehko žlindra zelo lepo odstopa

**Tabela 2.** Teoretične sestave varilne žlindre brez upoštevanja odgorevanja legiranih elementov med navarjanjem

Žica: EPP2, Ø3mm Varilni prašek: 0-7SM	SiO <sub>2</sub> (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	CaO (%)	MgO (%)	Na <sub>2</sub> O (%)	K <sub>2</sub> O (%)	CaF <sub>2</sub> (%)
- osnovni	37,6	27,5	24,7	6,3	2,4	-	-
- z več Na <sub>2</sub> O in dod. CaF <sub>2</sub>	29,3	27,2	20,6	11,9	4,6	-	5,5
- z več K <sub>2</sub> O in dod. CaF <sub>2</sub>	24,4	28,1	25,8	9,8	2,4	3,1	5,5

Poskuse uporabe K-volastonita ter izpuščanja dragega in uvoznega K-vodnega stekla pri proizvodnji aglomeriranih praškov delamo tudi na praških OP 100, OP 122 in OP 121TT

(proizvodi Železame Jesenice). Prvi rezultati so naslednji:

*OP 100 (delež K-volastonita je 28%)*

- Izdelan z mešanico K- in Na-vodnega stekla (1:1)  
Opis: Vari dobro, od običajnega OP 100 se skoraj ne razlikuje, le površina vara je še bolj gladka.

- Izdelan samo z Na-vodnim steklom  
Opis: Vari malo slabše od običajnega OP 100. Na varih se pojavljajo manjši odtisi, žlindra se dobro odstranjuje z vara, vendar pa ima na robovih tendenco zapekanja.

*OP 122 (delež K-volastonita je 11%)*

- Izdelan z mešanico K- in Na-vodnega stekla (1:1)  
Opis: Vari dobro, od običajnega OP 122 se ne razlikuje.

- Izdelan samo z Na-vodnim steklom  
Opis: Varilnotehnični poizkus na ravni podlagi je bil v redu, pri varjenju čistega vara (v žleb) pa je pri prvih varkih prišlo do razmeroma močnega zapekanja žlindre, ki je na robovih ostajala na varu.

*OP 121 TT (delež K-volastonita je 11%)*

- Izdelan z mešanico K- in Na-vodnega stekla (1:1)  
Opis: Vari zelo dobro, zapekanja ni. Tudi pri varjenju v žleb se žlindra zelo lepo odstranjuje - bolje kot pri običajnem prašku OP 121 TT.

- Izdelan samo z Na-vodnim steklom  
Opis: Vari zelo dobro. Varilno tehnično se od običajnega OP 121 TT praktično ne razlikuje tako pri varjenju na ravno podlago, kot tudi pri varjenju v žleb. Zapekanja žlindre na var tudi pri varjenju v kot pri omenjenem prašku ni. Tudi ostanki žlindre na robovih vara so izredno majhni - celo manjši kot pri prašku OP 122.

## 3. Zaključek

Prvi varilnotehnični preiskusi kažejo, da je uvedba K volastonita perspektivna predvsem s stališča zmanjšanja uporabe K vodnega stekla, ki je precej dražje od Na-vodnega stekla, in ga je na tržišču težje dobiti.

# Vpliv vlage in sestave elektrodne obloge na stabilnost varjenja (izpopolnjevanje dodatnih materialov za varjenje)

R. Kežar, A. Zajc, U. Kežar, B. Kežar, M. Hrženjak, ZRMK Ljubljana  
J. Begeš, Zelezarna Jesenice

## 1. Tema

Razvoj dodatnih materialov je brez poglobljenega študija dogajan v varilnem obloku, ki ga omogoča "Analizator Hannover AH7", drag, dolgotrajen in vedno bolj neperspektiven. Nihanja jakosti in napetosti v odvisnosti od prehoda materiala od elektrodne žice v varilno kopel ter vplivi sestave in oblike dodatnih in pomožnih materialov in njihovih sestavin na stabilnost varjenja so osnovnega pomena za vrednotenje kvalitete dodatnih materialov.

Kvaliteta elektrod je močno odvisna tudi od navlaževanja elektrodne obloge. Najpogosteje je ravno vlaga vzrok za vnos vodika v zvar, posledice pa so napetosti in mikrorazpoke v zvaru, krhkost zvarov in znatno slabše mehanske lastnosti zvarnih spojev.

## 2. Opis dela in rezultati

S prvimi raziskavami smo želeli pojasniti vpliv sestave in vlage elektrodne obloge na stabilnost varjenja - nihanja jakosti in varilne napetosti ter prenosa kapljic kovine dodatnega materiala od elektrode v kopel vara. Za prva testiranja smo izbrali elektrodo Finkord (proizvajalec Železarna Jesenice) kot tipičnega predstavnika varilno oplaščenih elektrod ter elektrodi EVB 50 (proizvajalec Železarna Jesenice) in EZ 50 B (proizvajalec Elektroda Zagreb) kot tipična predstavnika bazično oplaščenih elektrod. Osnovne sestavine elektrodnega plašča elektrode Finkord so: rutil, kaolin kalcit. Pomembnejše sestavine bazičnih plaščev elektrod EVB 50 in EZ 50 B pa so: jedavec, kalcit, rutil in magnezit. Kot vezivo pa je pri vseh opisanih oblogah oplaščenih elektrod bilo uporabljeno K- in Na-vodno steklo.

Bazično oplaščeni elektrodi se mineraloško bistveno ne razlikujeta (to smo potrdili tudi z rentgensko mineraloško analizo). Pri navlaževanju pa smo opazili manjše razlike. Elektroda Finkord pa se tako mineraloško, kot tudi glede navlaževanja bistveno razlikuje od obeh bazično oplaščenih elektrod (glej **tabela 1**).

**Tabela 1.** Navlaževanje elektrodne obloge

Elektrodna obloga	% vlage (vsebnost H <sub>2</sub> O)		
	Finkord	EVB 50	EZ 50 B
- iz zaprtega kartona			
- sušenje pri 105°C	0,28	0,10	-
- vezana voda (105-300°C)	1,75	0,03	-
- po sušenju na 300°C (2 <sup>h</sup> )			
in navlaževanju v laboratoriju			
- sušenje pri 105°C	0,25	0,14	0,16
- vezana voda (105-300°C)	0,41	0,01	0,20

Na analizatorju "AH 7" smo testirali:

- elektrode sušene na 300°C (2<sup>h</sup>),
- elektrode, ki smo jih po sušenju na 300°C (2<sup>h</sup>) pustili, da so se nezaščitene 7 dni navlaževale v varilnem laboratoriju.

Za sušenje pred testiranjem na analizatorju "AH 7" smo se odločili zato, ker se elektrode navlažujejo tudi pakirane v kartonih (glej **tabela 1**).

Iz opravljenih preiskav - statistične analize varjenja na analizatorju "AH 7" - je razvidno, da se bazično oplaščeni elektrodi odtaljujejo povsem podobno v večjih kapljicah kot rutilno oplaščena elektroda Finkord. Zvišana vlaga v elektrodni oblogi

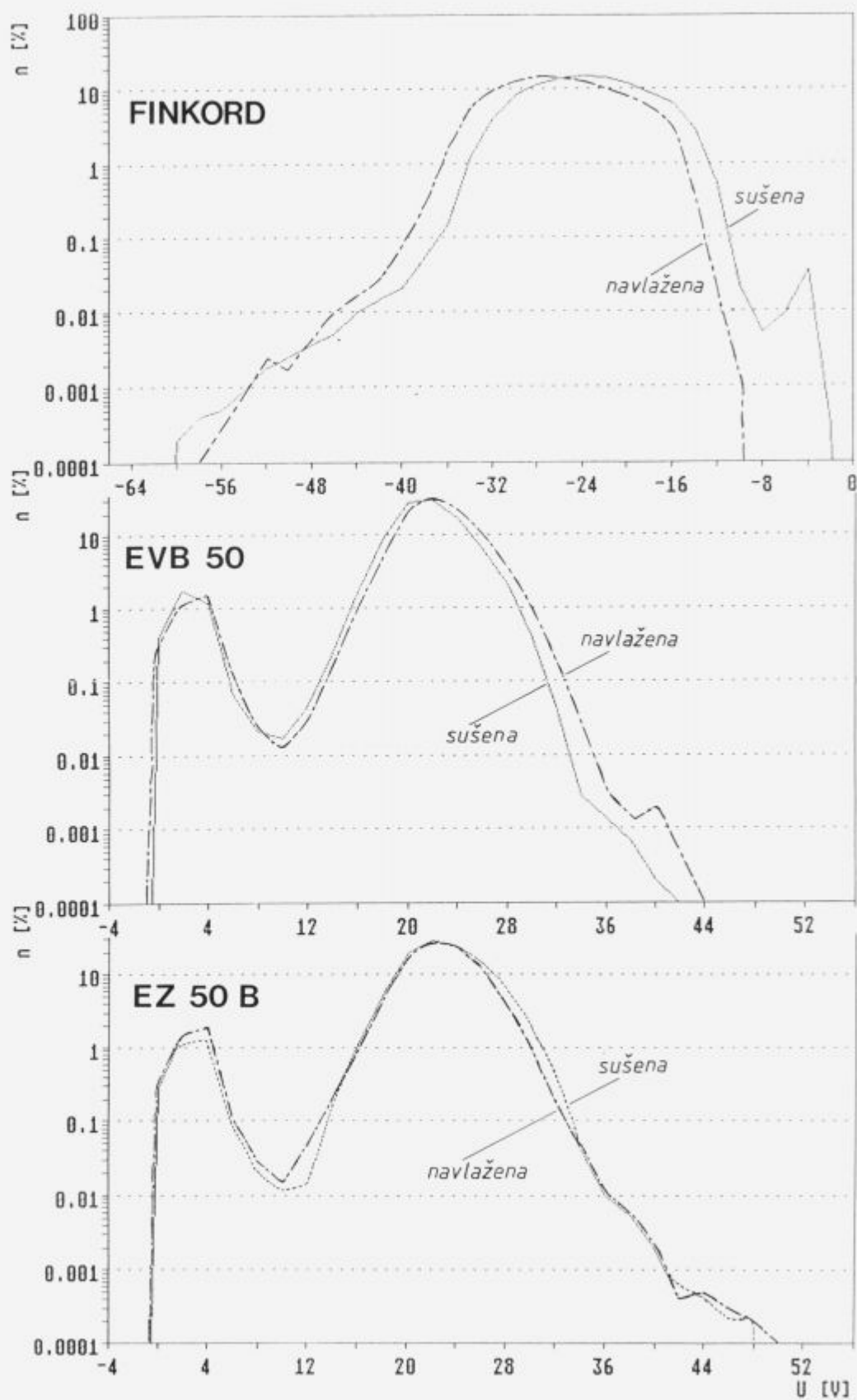
pa povzroči, da postane odtaljevanje bolj fino kapljičasto - delež kratkih stikov se zmanjša (glej **tabela 2**). Pri varjenju z bazično oplaščenimi elektrodami pokaže vpliv vlage le statistična analiza varilne napetosti (**tabela 2**), pri rutilno oplaščeni elektrodi Finkord pa tudi diagram napetostne analize (glej **slika 1**). Diagram, ki je bil posnet z delno navlaženo elektrodo (0,25% vlage) je zaradi finokapljičastega odtaljevanja brez registriranih kratkih stikov.

**Tabela 2.** Odtaljevanje na osnovi statistične analize varilne napetosti

Elektroda	Finkord	EVB 50	EZ 50 B
po sušenju na 300°C (2 <sup>h</sup> )			
delež kratkih stikov (%)	0,05	3,48	3,84
delež varjenja (%)	99,68	96,51	96,14
delež vžiganja obloka (%)	0,27	0,01	0,02
po 7 dneh v varilnici			
delež kratkih stikov (%)	-	2,85	2,93
delež varjenja (%)	99,99	97,14	97,05
delež vžiganja obloka (%)	0,01	0,01	0,02

## 3. Zaključek

Namen raziskav je izpopolnjevanje kvalitete dodatnih materialov na osnovi študija mehanizmov odtaljevanja. Pri testiranju elektrod pa je zelo pomembno, da varimo s suhimi elektrodami. Varjenje z elektrodami, ki so bile 1 teden izpostavljene navlaževanju v varilnici, znatno vpliva na stabilnost varjenja (manj kratkih stikov) in poslabša kvaliteto zvarov.



Slika 1. Verjetnostne funkcije gostote varilne napetosti



# Navarjanje pod legiranim aglomeriranim praškom

R. Kejžar, M. Hrženjak, ZRMK Ljubljana  
 V. Kralj, Fakulteta za strojništvo Ljubljana  
 L. Kosec, FNT Odsek za metalurgijo Ljubljana  
 J. Žlof, Železarna Ravne

## 1. Tema

Postopki navarjanja omogočajo, da izdelamo iz posebnih korozijsko ali obrabno odpornih jekel in zlitin le tiste obremenjene ploskve in robove, ki se med obratovanjem obrabljajo zaradi kemičnih, mehanskih in toplotnih obremenitev.

## 2. Opis dela in rezultati

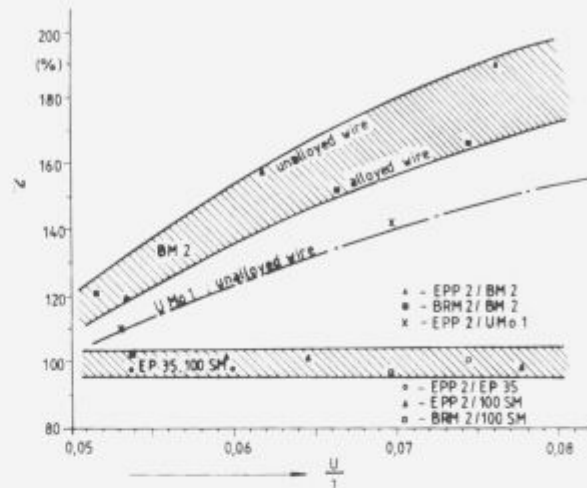
Pri navarjanju pod legiranimi aglomeriranimi praški pogosto uporabljamo nelegirane varilne žice - navar legiramo preko varilnega praška, ki vsebuje vse legirne elemente za legiranje navara. Legiranih aglomeriranih praškov pa ni priporočljivo izdelovati z dodajanjem težko taljivih kovin v prahu. Tudi večje količine ferowolframa niso priporočljive. Pri navarjanju močno legiranih slojev na konstrukcijsko jeklo bomo dobili kvalitetne in homogene navare brez kovinskih vključkov, če bomo del legiranih elementov (predvsem volfram) legirali v navar tudi preko varilne žice.

Pri navarjanju pod legiranimi aglomeriranimi praški se sestava navara odvisna tako od intenzivnosti taljenja varilnega praška (kovin v prašku) in osnovnega materiala (uvar), kot tudi od hitrosti odtaljevanja varilne žice. Razmerje med odtaljeno varilno žico in kovinami, ki pridejo v navar iz legiranega varilnega praška, določa (ob upoštevanju odgorevanja dezoksidantov in legiranih elementov) sestavo čistega vara. Razmerje med navarom (odtaljena žica + kovine iz legiranega aglomeriranega praška) in odtaljeno žico imenujemo izkoristek varjenja " $\eta$ ". Ta je močno odvisen od vsebnosti kovin v varilnem prašku in izbire varilnih parametrov (glej **tabelo 1** in **sliko 1**).

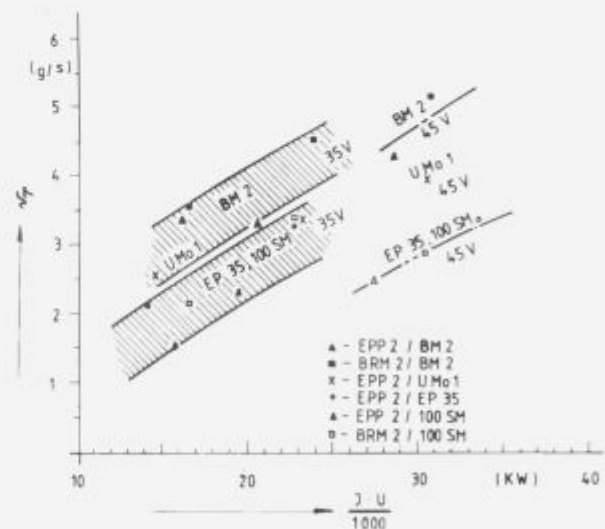
**Tabela 1.** Vpliv varilnega praška, varilne žice in varilnih parametrov na izkoristek in produktivnost varjenja

Varilna žica	Varilni prašek	I (A)	U (V)	U/I (V/A)	I·U/1000 (kW)	$\eta$ (%)	$v_f$ (g/s)
EPP2 $\varnothing$ 3	EP 35	400	35	0,088	14,0	98	2,12
		650	35	0,054	22,8	98	3,35
		750	45	0,060	33,8	98	3,37
EPP2 $\varnothing$ 3	100 SM	450	35	0,078	15,8	98	1,59
		570	34	0,060	19,4	101	2,40
		650	42	0,065	27,3	101	2,52
BRM2 $\varnothing$ 3	100 SM	470	35	0,075	16,5	100	2,21
		650	35	0,054	22,8	103	3,41
		660	46	0,070	30,4	97	2,81
EPP2 $\varnothing$ 3	UMo1	420	35	0,083	14,7	155	2,60
		660	35	0,053	23,1	110	3,33
		660	46	0,070	30,4	142	3,94
EPP2 $\varnothing$ 3	BM 2	460	35	0,076	16,1	189	3,42
		620	33	0,053	20,5	120	3,33
		680	42	0,062	28,6	158	4,33
BRM2 $\varnothing$ 3	BM 2	470	35	0,075	16,5	166	3,58
		680	35	0,052	23,8	120	4,55
		680	45	0,066	30,6	151	5,22

Vnešena energija, ki jo opišemo z izrazom  $(I \cdot U / 1000)$  pa pomembno vpliva na produktivnost varjenja (**slika 2**).



**Slika 1.** Vpliv razmerja med varilno napetostjo in jakostjo na izkoristek varjenja pri varjenju z legirano in nelegirano žico pod taljenimi ter nelegiranimi in legiranimi aglomeriranimi praški



**Slika 2.** Vpliv vnešene energije in varilne napetosti na produktivnost varjenja pod nelegiranimi in legiranimi aglomeriranimi praški

Iz diagrama na **sliki 2** je razvidno, da je pri nizki varilni napetosti vpliv legiranja preko praška na produktivnost manjši, kot pri visoki varilni napetosti. Razlog je v taljenju večje količine varilnega praška pri varjenju z višjo varilno napetostjo. To pa povzroči tudi zvišanje izkoristka varjenja  $\eta$  in intenzivnejše legiranje navara preko legiranega aglomeriranega praška.

Sestava enoslojnih navarov je razen od izkoristka varjenja  $\eta$  odvisna tudi od taljenja osnovnega materiala, na kar odločilno vplivajo varilni parametri, pomembno pa vpliva tudi temperatura predgrevanja " $T_p$ " (glej **tabelo 2**).

**Tabela 2.** Vpliv jakosti varilnega toka ( $U = 35\text{ V}$ ) in temperature predgrevanja na taljenje osnovnega materiala in sestavo enoslojnih navarov

Varilna žica	Varilni prašek	I (A)	$T_p$ (°C)	$\eta$ (%)	uvar (%)	C (%)	Cr (%)	Mo (%)	V (%)	W (%)
EPP2 Ø3	100 SM	650	400	97	81	0,10	0,45	0,22	-	-
		570	150	101	68	0,09	0,43	0,20	-	-
		450	20	98	56	0,10	0,43	0,19	-	-
BRM2 Ø3	100SM	640	400	97	68	0,31	1,43	1,60	0,32	1,90
		650	150	103	56	0,34	1,66	1,85	0,44	2,28
		470	20	100	50	0,34	1,67	1,87	0,44	2,28
EPP2 Ø3	BM 2	640	400	136	63	0,36	1,72	1,84	0,59	1,93
		620	150	120	56	0,32	1,76	1,82	0,75	2,09
		460	20	189	47	0,78	4,61	5,44	2,27	6,04
BRM2 Ø3	BM 2	640	400	128	67	0,56	2,68	3,11	1,05	3,66
		680	150	120	66	0,52	2,64	3,15	1,02	3,80
		470	20	166	41	1,28	7,03	7,03	2,84	8,10

### 3. Zaključek

Iz **tabele 2** je razvidno, da s pravilno izbiro varilne žice in legiranega aglomeriranega praška ter varilnih parametrov glede na temperaturo predgrevanja osnovnega materiala lahko dobimo željeno sestavo in kvaliteto enoslojno navarjene močno legirane prevleke na izbranem konstrukcijskem ali cenemem malolegiranem orodnem jeklu. Vidimo pa tudi, kako pomembno je, da se pri navarjanju pod legiranimi aglomeriranimi praški strogo držimo predpisane tehnologije navarjanja.

# Popravilo z navarjanjem obrabljene transportne plošče

D. B. Novaković, Železarna Ravne

## 1. Uvod

Obraba delovnih kovinskih površin je velik problem svetovnega gospodarstva in je prisotna v vseh industrijskih panogah. Danes se v svetu ocenjuje, da obraba delovnih površin stane ekonomsko vsako nacionalno gospodarstvo okrog 2% bruto nacionalnega dohodka. Izkušnje razvitega sveta kažejo, da se z reparativnim navarjanjem lahko stroški zmanjšajo za 20%, kar predstavlja velik prihranek za vsako gospodarstvo.

Nekoč je bila reparatura last revnih dežel, danes pa se s tem ukvarja že več bogatih kot revnih.

Navarjanje se uporablja iz dveh razlogov:

- za ponovno dobivanje prvotne oblike kosa, ki se z obrabo nedovoljeno spremeni, kar velja za ta primer in
- navarjanje manjkajoče geometrije (krajših kosov, pokrivanje površine za izravnave itd).

Transportna plošča (disk), izdelana iz orodne jeklene pločevine, se uporablja za končno mehansko obdelavo in sicer za obojestransko čelno brušenje valjastih kosov (magnetov). V tem primeru gre za velikoserijsko proizvodnjo z avtomatskim doziranje. Zaradi dinamičnega procesa obdelave so se v kalibru diska stranski sedeži valjastega obdelovanca močno obrabili, kar je prikazano na **sliki 1**.

Z obrablenostjo v takšni stopnji je disk neuporaben za končno brušenje omenjenega izdelka. Neuporabni disk je povzročil enoletni zastoj stroja in proizvodnje edinega proizvajalca omenjenega izdelka v naši državi.

Proizvajalec magnetov je zamudil eno leto v iskanju ponudb za izdelavo novega diska v tujini in doma, kar kaže na neprofesionalno delo odgovorne nabavne službe. Uporabnik diska si je želel nadomestilo z novim diskom. Doma je obiskal tri domače renomirane firme in povsod so mu to zahtevo zavrnili kot nerešljiv problem. Na reparaturo z navarjanjem ni pomislil nihče.

## 2. Analiza razpoložljive tehnične dokumentacije

Pri pregledu priložene tehnične dokumentacije smo ugotovili, da z našo opremo ne moremo izdelati takega novega diska zaradi njegove velikosti. Disk zahodnonemške proizvodnje, izdelan iz valjane jeklene pločevine po DIN 17350 kvalitete 80CrV2 (W, Nr. 2235), kar najbolj ustreza domači jekleni valjani pločevini Železarne Jesenice kvalitete Č 4844. Disk je v celoti klasično kaljen v olju na trdoto 60 HRC<sup>2</sup>. Primerjava kemijske sestave osnovnega materiala diska z domačo jekleno pločevino Železarne Jesenice je podana v **tabeli 1**.

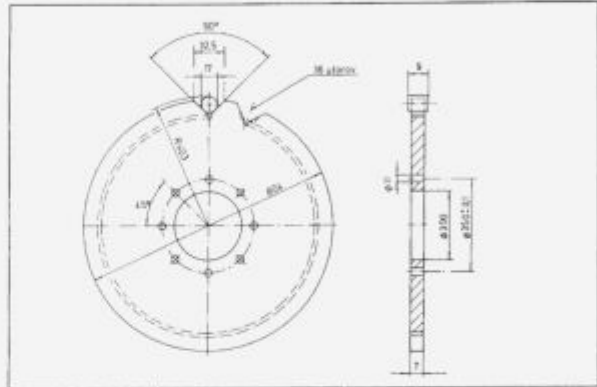
Kemični elementi			C	S	Si	Cr	Mn	V	P
Oznaka jekla	DIN 17350	80 CrV2	0,75	<	0,25	0,40	0,30	0,15	<
	Werkstoff	W1 2235	0,85	0,03	0,40	0,70	0,50	0,25	0,03
	AUS	—	Č 4844	0,75	<	0,25	0,50	0,50	0,15
			0,85	0,01	0,35	0,60	0,60	0,20	0,01

Tabela 1. Oznaka jekla in kemična sestava v mas. %

### Vizualni pregled dejanske stopnje poškodbe diska

Z vizualnim pregledom stopnje obrablenosti in eventualnih razpok na kalibrnih in ravnosti diska smo ugotovili, da je obrablenost zelo visoka. Ker nismo bili zmožni izdelati novega, kar si je uporabnik želel in da bi mu pomagali v brezizhodnih težavah, smo se odločili za poskus reparativnega navarjanja obrablenega diska z ročnim elektroobločnim postopkom navar-

janja z oplasčeno elektrodo. Tako smo se odločili kljub temu, da nam je znano, da je navarjanje orodnih jekel veliko tveganje, posebej kaljenih, uspeh pa je zelo vprašljivo. Pomislek je bil glede na kvaliteto jekla (ni priporočljivo varjenje, a hud problem nas je silil v poskus navarjanja), dimenzijsko nesorazmerje (premer, debelina) trdoto in vrsto toplotne obdelave ter neizogibno veliko krivljenje. Po vizualni kontroli diska na prisotnost razpok v kalibrnih smo ugotovili, da je bil disk brez razpok in s popolno ravnostjo.



Slika 1. Transportni disk z obrabljenimi kalibri

### Kontrola trdote obrablenega diska

Izmerili smo trdoto diska na nekaj mestih po premeru od zunanega roba proti središču. Pri teh meritvah smo namerili trdoto 48-50 HRC, kar je zelo odstopalo od zahtev, torej so bila odstopanja za celih 10 HRC. Za to sta lahko dva vzroka:

- brušenje z nezadostnim hlajenjem,
- brušenje na suho (kar je še slabše).

V prvem in drugem primeru so z diskom ravnali nestrokovno v eksploataciji, pri čemer je prišlo do popuščanega efekta, posledica pa je drastičen padec trdote.

## 3. Tehnologija popravila diska

### Izbira postopka navarjanja

Oblika diska, mesto obrablenosti, število kosov (en kos) diska in razpoložljiva aparatura so pogojevali primeren postopek ročnega elektroobločnega navarjanja z oplasčeno bazično elektrodo.

### Izbira dodatnega materiala

Dodatni material mora v tem primeru zadovoljiti zahteve glede trdote osnovnega materiala, ker ni možna kasnejša toplotna obdelava zato smo izbrali dodatni material, ki daje enako trdoto navarjenega dela, kot je zahtevano za osnovni material, brez dodatne toplotne obdelave.

### Navarjanje obrablenih kalibrov na disku

Ker gre za Cr-V-Mn nizkolegirano ogljično orodno jeklo z visokim odstotkom ogljika, ki ni primerno za ročno elektroobločno varjenje, pa tudi ne za drugi postopek, kjer se vrši taljenje osnovnega materiala. Teh jekel ne priporočamo, kjer je nujno varjenje.

Vendar so primeri, kjer se varjenju ni mogoče izogniti, kot je naš primer. Elektroobločno navarjanje je možno le pri določenih pogojih, pri katerih je vsekakor potrebno upoštevati naslednje tehnološke ukrepe:

- predgretje komada
- pravilno izbiro premera elektrode
- zaporedje navarjanja
- način ohlajanja po navarjanju itd.

Po končanem navarjanju se morajo navari toplotno obdelati in sicer napetostno žariti zaradi odprave notranjih napetosti. Varjenje orodnih jekel je veliko tveganje. Zato lahko rečemo, da je v praksi vsak zvar kompromis in vprašanje izvajanja minimalnega predgretja za preprečitev pojavov razpok v prehodni coni zvara in osnovnega materiala, krivljenja in deformacije kosov. Da bi zmanjšali vpliv teh negativnih pojavov, je koristno komade pred varjenjem predgreti vsaj malo nad premensko črto Ms. Šele takrat lahko pričakujemo s pravilno izbranim drugim vplivnim faktorjem uspešno varjenje.

#### Posredno predgretje diska s kondukcijo

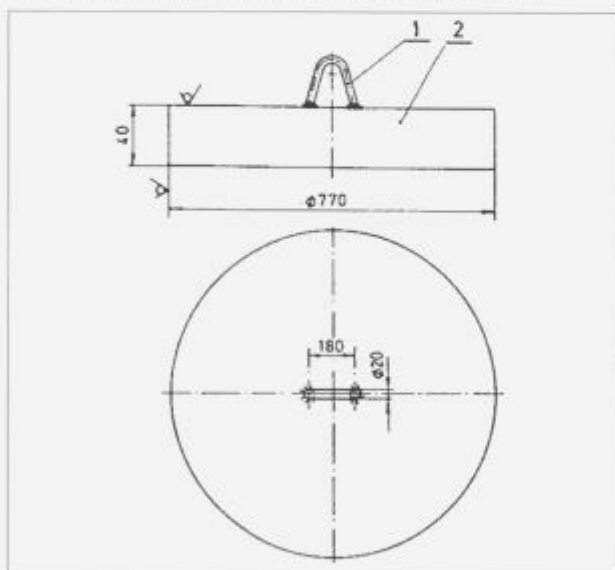
Ker diska ni bilo mogoče predgreti z nobenim neposrednim postopkom zaradi oblike in nesorazmerja dimenzij, smo se odločili za posredno predgretje, oziroma ogrevanje s prevajanjem toplote (kondukcijo). Za to ogrevanje smo morali izdelati podstavno ploščo (slika 2).

Ta plošča ima trojno nalogo:

- da omogoča popolnoma ravno ležanje diska med navarjanjem,
- da akumulira toplotno predgretje za disk s prevajanjem,
- da ohrani akumulirano toploto med navarjanjem diska.

#### Izdelava podstavne plošče za posredno predgretje diska

Za predgretje diska posredno s kondukcijo smo izdelali podstavno ploščo ("toplotni akumulator") iz valjane črne jeklene pločevine Č 0361 (slika 2 pozicija 2), iz trenutno razpoložljivih sekundarnih ostankov materiala za ravno ležanje diska.



Slika 2. Podstavna plošča diska v času navarjanja

#### Segretje podstavne plošče oziroma akumulatorja toplote

Podstavno ploščo smo segreli v globinski elektro peči na temperaturo 650°C (skupaj z drugim materialom, ki se je popuščal pri tej temperaturi). Nastavili smo ogreto ploščo na nosilec na delovni mizi, visoki 120 mm in jo zaščitili s toplotnim izolatorjem (azbestnim platnom), da bi preprečili velike izgube zaradi toplote radiacije v okolje. S tem smo omogočili ogrevanje vmesnega zraka med ploščo in mizo in ogrevanje delovne jeklene mize z radiacijo.

#### Predgretje diska za navarjanje

Ko je padla temperatura podstavne plošče na 350°C smo odstranili toplotni izolator, nastavili disk in vse prekrili s toplot-

nim izolatorjem. Počakali smo približno 10 min., da se je disk kondukcijsko predgrel od podstavne plošče in šele nato začeli z navarjanjem obrabljenih utorov (kalibrov).

#### Navarjanje obrabljenih kalibrov diska

Ko se je temperatura diska izenačila s temperaturo podstavne plošče, smo na disku, kjer smo hoteli navarjati, odstranili toplotno zaščito. Navarjali smo z izbrano elektrodo, predhodno sušeno 2 uri pri 250°C. Pri navarjanju je navarjeni del diska ležal čez rob podstavne plošče. Navarjali smo s presledkom v konstantnem ritmu brez odmora od začetka do konca navarjanja. Po vsakem navaru smo čistili žlindro z ročnim varilskim kladivom in jekleno krtačo, vizualno smo kontrolirali navar na eventualne razpoke. Navarjanje 36 kalibrov obrabljenega diska je bilo končano v 3 urah. Po končanem navarjanju obeh strani smo na disku kontrolirali temperaturo, ki je bila 145°C. Odstranili smo toplotni izolator in ohlajanje diska nadaljevali na mitem zraku do 100°C, potem pa na ravni podlagi. Praktično na disku ni bilo videti nobenih dimenzijskih sprememb (krivljenja).

#### 4. Mehanska obdelava navarov diska

Mehansko obdelavo so spremljale težave zaradi dimenzijske in profilne ("Y") izvedbe kalibrov diska.

Najprej smo ročno na grobo zbrusili s strani navarke, da bi disk lahko enakomerneje legel na strojno mizo za končno brušenje ploščin. Pri tem brušenju smo opazili minimalno deformacijo diska do 0,2 mm.

Brušenje kalibrov diska smo izvedli na drugem brusilnem stroju v horizontalnem položaju.

#### Vizualna kontrola navarjenega dela

Pri vizualnem pregledu končno zbrusena diska smo ugotovili, da so bili vsi navarki čisti, torej brez poroznih mest in razpok.

#### Kontrola trdote navara kalibrov

Na več mestih smo pomerili trdoto varov na kalibrih. Izmerjena trdota se je gibala v mejah 59-61 HRC in popolnoma ustreza zahtevi originalnega diska.

#### Obnašanje revitaliziranega diska

V eksploataciji je obnovljeni disk služil nekaj let. Bolj verjetno se je ukrivil zaradi zagozdenja obdelujočega komada, kot zaradi obrabe navarjenih kalibrov. Obnovljeni disk je bolj odporen proti obrabi kot novi disk. To je posledica kemične sestave elektrode, predvsem zaradi vsebnosti kroma, ki tvori karbide v mikrostrukturi navara. Le-ti dajejo visoko odpornost proti obrabi. V času uspešnega dela obnovljenega diska je uporabnik dobil že naročeni disk iz Frankfurta od iste firme kot prvotnega. V Železarni Ravne smo izdelali in poboljšali dva komada nosilnih diskov iz jeklene pločevine Č 1730 za vgrajevanje posebno izdelanih segmentov iz jekla Č 7680. V skromni delavnici dežurni ključavničar po potrebi zamenja enega ali več segmentov in če je potrebno tudi vse. Proizvodnja poteka brez zastoja. Tako nam ni več potreben zahodnoevropski dobavitelj tega vitalnega elementa v proizvodnem ciklu.

Nekoč nerešljiv problem je bil v celoti rešen doma v 4 dneh, lahko pa bi bil rešen celo v 2 dneh.

#### 5. Zaključek

Ročno elektroobložno navarjanje je močno orodje v rokah strokovnjaka za varjenje v intervencijah za podaljšanje življenjske dobe vitalnih strojnih elementov in orodja.

Ta primer je šolski primer opravičila reparature. Reparatura je opravljena v 4 dneh, zastoj stroja je bil leto dni. S tem primerom je odpravljen tudi laični sum v opravičilo reparature.

Problem krivljenja diska v času navarjanja smo preprečili s postopkom predgretja (kar je najpomembnejše v tem primeru), z izbiro elektrode, zaporedjem navarjanja, načinom ohlajanja po končanem navarjanju, itd. Ideja pri reparaturi je posebnega pomena zaradi različnih problemov, ki se tu pojavljajo. Problemi so zmeraj novi, ustrezno z njimi morajo biti nove tudi ideje.

Ekonomski efekti sanacije diska niso le v 12.000 DEM, kolikor je stal novi disk, cena kompletne reparature je bila približno 10% od cene novega diska. Pomen je viden v enoletnem zastoju proizvodnje in neizpolnjenimi obveznostmi do kupcev oziroma kooperantov. Tudi ekološki efekti so pomembni v tem času, saj je svet postal velika plinska komora. Ta primer naj nas opozori da, ko se znajdemo v stiski, je možnost rešitve problema z varjenjem. Variilske možnosti so še neizčrpane oziroma neznane, saj pogosto sam pojav problema rodi idejo za njegovo rešitev. Z nobeno drugo tehnologijo ne bi tako hitro usposobili proizvodnje kot z navarjanjem (ročni elektroobločni postopek z oplaščeno elektrodo). Zaradi vsakodnevne odmetavanja strojnih delov in orodja, ki bi jih lahko strokovnjaki reparirali, nastaja velika škoda. S tem izgubljammo čisti dohodek.

Za svoje vsakodnevne potrebe v reparaturi, bi morali bolj izkoriščati lastno znanje in možnosti v Železarni Ravne.

#### Literatura

1. Trifunović, B.: Standardni alatni čelici "Tehnopromet", Beograd, 1954
2. Manojlović, B.: Mašinski materijali II, Mašinski fakultet, Beograd, 1983
3. Stanković, V.: Mašinski materijali sa termičkom obradom VTMS, Novi Sad, 1969
4. Katalog, Toplo valjani limovi, Slovenske železarne, Železarna Jesenice, Jesenice, 1980
5. Katalog, Dodajni materiali za talilno varjenje, Slovenske železarne, Železarna Jesenice, Jesenice, 1982
6. Grešovnik, F.: Osnovni principi toplotne obdelave jekla, Slovenske železarne, Železarna Ravne, Ravne, 1985
7. Novaković, D.: Tehnološko-kontrolni predpisi za reparaturno navarjanje, Slovenske železarne, Železarna Ravne, Ravne, 1984



INŠTITUT ZA KOVINSKE MATERIALE  
IN TEHNOLOGIJE p.o.

INSTITUTE OF METALS  
AND TECHNOLOGIES p.o.

61000 LJUBLJANA, LEPI POT 11, POB 431,  
SLOVENIJA

Telefon: 061/1251-161, Telefax: 061 213-780

## VACUUM HEAT TREATMENT LABORATORY

### Vacuum Heat Treatment

Vacuum Heat Treatment is recognised as a high quality cost effective and ultra clean method for processing a wide range of components and materials currently in use in today's industry. The range of our equipment enables us to heat treat most sizes of load, from small batches to work up to 350 mm diameter, 910 mm high, and weight up to 380 kg.

### ADVANTAGES

- Clean, bright surface finish
- Minimal distortion
- Minimal post treatment operations, e.g., grinding or polishing

Five years of continual investment has ensured that **VHTL** maintains its position as market leader in the field of high quality sub-contract metal processing.

We operate the latest generation of IPSEN VTTC furnace capable of processing components up to 350 mm in diameter, which in addition to our high pressure, rapid quenching facilities increases the range of materials suitable for Vacuum Heat Treatment.

### TYPICAL APPLICATIONS

- Bright Annealing
- Bright Stress Relieving
- Hardening/Tempering
- Brazing/Hardening/Tempering
- Solution Treatment
- Demagnetisation
- Degassing
- Diffusion Treatments
- Sintering

### QUALITY ASSURANCE

Quality is fundamental to the **IMT** philosophy. The choice of process, all processing operations and process control are continuously monitored by IMT Quality Control Department.

The high level of quality resulting from this tightly organised activity has been acknowledged by government authorities, industry and International companies.

---

**NEHMEN SIE IHRE CHANCE ZUM FORTSCHRITT WAHR!**

**TAKE THE OPPORTUNITY TO MAKE GENUINE PROGRESS!**

# **RATH**

## **INNOVATIVE FEUERFESTTECHNIK BIS 1800 °C** **INNOVATIVE REFRACTORY PRODUCTS UP TO 1800 °C**

Kundenorientierung und Produktinnovation stehen im Mittelpunkt der weltweiten Aktivitäten der RATH AG. Langjährige Erfahrung in den Sektoren Keramikfaser, feuerfeste Steine und Massen ermöglichen es den Experten im RATH-Forschungs- und Entwicklungsteam, ständig neue Aufgaben im Bereich der Hochtemperatur-Technologie zu bewältigen.

Customer orientation and product innovation are the cornerstones of RATH activities all over the world. Longstanding experience in the fields of ceramic-fibres and refractorys bricks and masses as well as the expert back-up from the research team enable RATH to offer convincing solutions to the various problems in the area of high-temperature technology.

### **Hochtemperatur Feuerleichtsteine bis 1800 °C.**

High temperature light weight refractory bricks up to 1800 °C

### **Isoliersteine**

Insulating bricks

### **Schieberkeramik für die Stahlindustrie**

Slide gate refractories for the steel industry

### **Schaumkeramik**

Reticulated ceramic

### **Ungeformte Feuerfestprodukte bis 1800 °C**

Unshaped refractory products up to 1800 °C

### **Gebrannte Feuerfestprodukte bis 1700 °C**

Fired refractory products up to 1700 °C

### **Hochtemperaturfaser bis 1600 °C**

High performance fibre up to 1600 °C

### **ALTRA-Brennersteine in Ultraleichtbauweise**

ALTRA-Lightweight Burnerblocks

### **Keramikfaser Vakuumformprodukte bis 1800 °C**

Ceramicfibre vacuumformed products up to 1800 °C

### **Faserplast-Sanierungskonzept SANRA**

Fibreplast repair concept SANRA

**AUG. RATH JUN. AG**

Walfischgasse 14

A-1015 WIEN

Tel.: 0222/513 44 26

Fax: 0222/513 89 17

**RATH DEUTSCHLAND GMBH**

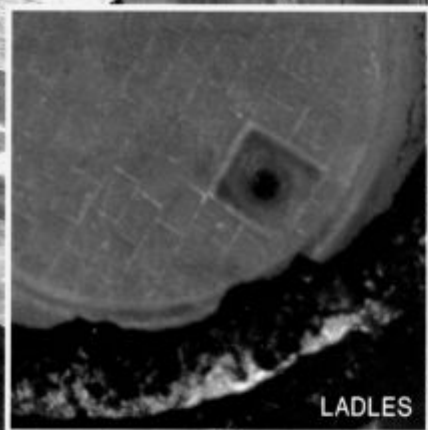
Erasmusstraße 14

D-4000 DÜSSELDORF

Tel.: 0211/31 0 85

Fax: 0211/31 84 23

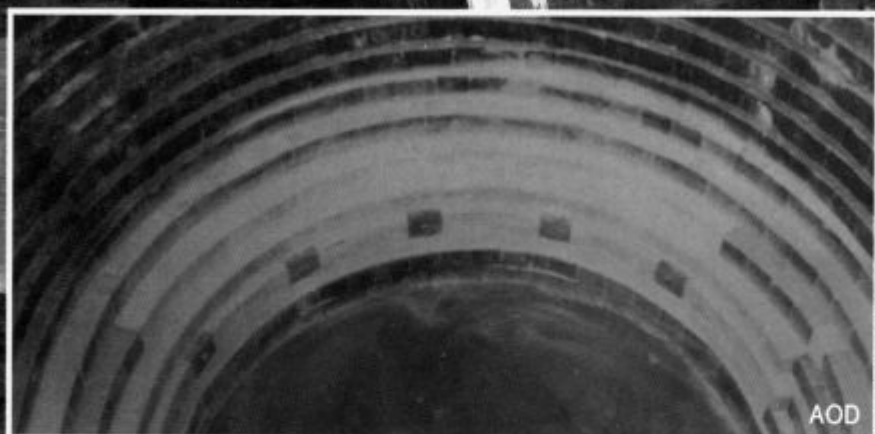
**RATH: ÖSTERREICH - DEUTSCHLAND - UNGARN - USA - GB -ITALIEN**



LADLES



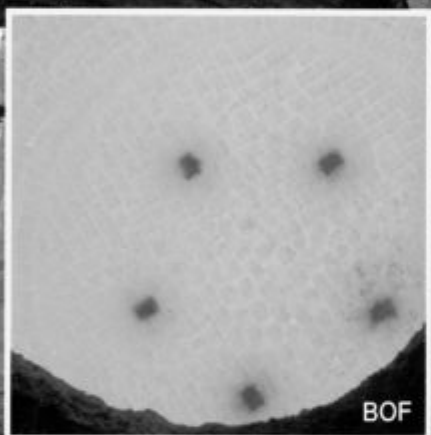
MIXES



AOD



DEGASSER

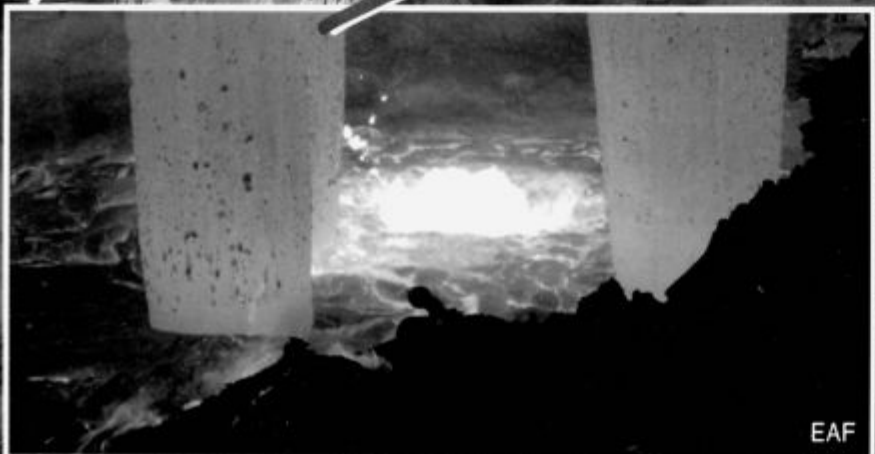


BOF



EHF

*The refractory specialist*



EHF

**RADEX Austria**  
Aktiengesellschaft  
für feuerfeste Erzeugnisse  
A-9545 Radenthein / Austria  
Phone 0 42 46/21 00-0  
Telex 45655 rad a  
Telefax 04246/2100/555 oder 556

**RADEX Deutschland**  
Aktiengesellschaft  
für feuerfeste Erzeugnisse  
D-5401 Urmitz / Germany  
Phone 0 26 30/89-0  
Telex 867715-0 ur d  
Telefax 02630/89360

**RADEX**