

Plastična predelava nerjavnih jekel za verige

F. Legat, dipl. ing., Veriga Lesce

1 Uvod

Največji potrošnik nerjavnih jekel je kemična industrija. Dobra korozijska odpornost aparatov, armatur ali drugih sestavnih delov ne pomeni samo daljše življenske dobe naprav samih, ampak zagotavlja tudi pravilno potekanje proizvodnega procesa, ki bi ga korozijski produkti lahko bistveno motili.

Korozijska odpornost je pomembna tudi za estetski videz predmetov, pri čemer prav drobni detajli, kot npr. verige, vijaki in matice, posebno motijo, če so izdelani iz neustreznega, korozijsko neodpornega materiala. Nerjavna jekla se uporabljajo vedno več za predmete široke potrošnje, zato proizvodnja nerjavnih izdelkov v zadnjih letih še posebno močno narašča.

Težko je oceniti, kolikšen delež nerjavnih jekel porabimo za izdelavo verig in vijakov.

Domača proizvodnja nerjavnih verig in opreme je šele v razvoju. Po količini je nizka, nekoliko boljša je pri drugih izdelkih, saj izdelujemo že nekatere vrste vijakov, ki so glede na preoblikovanje zelo zahtevni, npr. nerjavni pločevinski vijaki.

Domača industrija je uporabljala za izdelavo nerjavnih vijakov in matic izključno uvožena jekla. V okviru slovenskih železarn so bili opravljeni že poskusi izdelave vijakov in matic iz nerjavnih jekel, ki jih sedaj izdelujejo naše železarnice. Izkazalo se je, da so domače vrste nerjavnih jekel, čeprav podobne kemične sestave kot inozemska jekla, manj primerna za izdelavo kvalitetnejših nerjavnih vijakov. To pomeni, da morajo imeti nerjavna jekla, ki so primerna za izdelavo vijakov in matic še nekatere specifične lastnosti. Tudi za verige smo večino jekla uvažali. Izbor nerjavnih jekel, ki so uporabna za izdelavo verig, vijakov in matic povzemamo iz literarnih podatkov, ki se v glavnem nanašajo na DIN 267, list 11, 1977. Gre za izbor Cr-Ni in Cr-Ni-Mo austenitnih jekel (karakteristična oznaka A) ter Cr in Cr-Mo feritnih in martenzitnih jekel (karakteristična oznaka C) ter za austenitna in martenzitna jekla z izločevalnim utrjanjem. Potrebno je pripomniti, da je največji del nerjavnih vijakov izdelan iz austenitnih jekel, zlasti iz vrste A 2 in A 4, to je jekel, ki sta podobni našim jeklom Č.4580 (Prokron 11 extra) in Č.4573 (Prokron 12). Znana firma Bauer izdeluje kar 98% svojega programa nerjavnih vijakov iz austenitnih jekel, iz feritnih oziroma martenzitnih jekel so izdelani le vijaki za specialne namene, predvsem za korozijske medije, za katere so Cr jekla s feritno strukturo odpronejša.

Osnovno lastnost nerjavnih jekel, to je korozijsko odpornost — pri vijakih še zlasti odpornost proti napetostni koroziji — zagotavljata sestava in struktura jekla. Za nerjavne vijake in matice morajo imeti jekla tudi dobre razteznostne lastnosti in sposobnost za hladno preoblikovanje, pri čemer z načinom izdelave vijakov zagotovimo zahtevane mehanske lastnosti. Pri verigah pa je hladno pre-

oblikovanje manjše, vendar je varjenje odprto vprašanje za varilne avtomate drobnejših verig.

Za verige smo uporabljali iste kvalitete. Težave so bile različne:

- jeklo je imelo pisane lastnosti, kar pomeni nesimetrično upogibanje,
- težave pri varjenju zaradi vzmetnih sil v hrbtnem delu, ki so bile tudi različne.

Ker nas je posebej zanimala samo tehnologija proizvodnje z vsemi posebnostmi smo zasledovali izdelavo verige iz austenitnega jekla.

Kot vzorčni primer smo vzeli verigo DIN 766 ϕ 13 mm kalibrirano in preizkušeno po upogibanju na stroju KER 7 in varjeno na stroju KEH 7.

Jeklo po kvaliteti: Wn. 1.4401, X5 CrNiMo 18 10, Č.4573.

Žica je imela kemično sestavo, podano v tabeli 1.

Tabela 1. Kemična sestava žice

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo
%	%	%	%	%	%	%	%
0.04	0.92	2.0	0.014	0.012	11.9	17.9	2.3

Valjani kolobarji so imeli premer kot običajni kolobarji pri valjčnih progah, žica pa je imela premer ϕ 15 mm z običajnimi tolerancami na premer in obliko.

Priprava žice je bila naslednja:

- peskanje valjane žice ϕ 15 mm in takoj vlečenje na ϕ 13.6 mm
- gašenje s temperature 1030–1050°C v vodi in
- ponovno vlečenje na ϕ 13.2 mm

V praksi uporabljamo tudi drugo tehnološko pot, ki ima kot osnovno dimenzijo valjano žico ϕ 14 mm, gašeno takoj in nato vlečeno na ϕ 13.2 mm. Ta postopek je bolj nesiguren, zato je pri nas v uporabi dvakratno vlečenje in vmesno gašenje.

Po pripravi smo imeli mehanske lastnosti, podane v tabeli 2.

Tabela 2. Mehanske lastnosti

Jeklo	R _e N/mm ²	R _m N/mm ²	A ₅ %
Č.4573	210	700	48

Upogibanje je teklo v hladnem stanju na upogibalnem stroju tipa KER. To je stroj firme WAFIOS, pri katerem je

sistem upogibanja izveden z rolnami tako, da se deformacija lepo porazdeli po celem radiusu člena. Priprava palice za člen je enaka kot za druge verige iz mikrolegiranega jekla. Zvarni spoj ima posebno "V" obliko, ki zagotavlja enakomeren in dober zvar.

Stroj je imel kapaciteto 33–35 čl/minuto in ni kazal povečane porabe upogibalnega orodja. Spojni deli so imeli ustrezen kot, vzmetnost pa se je gibala med 0,6–0,8 pri delitvi $t = 37 - 37,5$ mm.

Varjenje je potekalo na stroju KEH 7, to je stroj firme WAFIOS, ki ima že moderno elektroniko in automatiko. Zvari so enakomerni, zvarni venec pa se lepo obreže iz dveh strani: prečni odrez in nato še vzdolžni odrez po osi člena. Ta način nam daje popolnoma čist zvar in ga štejemo za 100% zvar. Vsi prelomi pri pravem postopku nastopijo v osnovnem materialu.

Razlika je, če primerjamo to jeklo z mikrolegiranimi, da morajo biti razdalje med elektrodami čim manjše. Pri varjenju in stiskanju moramo vzeti čim ožji del segretega člena. V nasprotnem slučaju je žmula prevelika, pritisk se ne koncentrira na pravem mestu, pa tudi zvarni venec je toliko širok, da je problematično obrezovanje. Seveda pa so pri teh jeklih elektrode bolj izpostavljene, ker hitreje pride do lokalnega pregretja in do okvare elektrod. V našem primeru smo uporabljali elektrode zlitine CuCrZr z oznako CRM 16 ali VARMAT 3 po oznaki Mariborske livarne s trdoto 120–135 HB.

Varilni stroj je varil s hitrostjo 20 čl/minuto.

Zaradi zanimivih rezultatov navajamo v slikah nekaj vrednosti o trdnosti in ostalih lastnostih, ki so za verige te vrste pomembne.

2 Rezultati preiskusov

Veriga ϕ 13 mm DIN 766 iz jekla Č.4573, varjena na stroju KEH 7, kalibrirana in preizkušena.

- Trgalne probe so dale prelome vse v osnovnem materialu z dobrim raztežkom. Trganje smo izvedli na automatiziranem trgalnem stroju firme PRÜFTECHNIK GRAZ tako, da smo posneli tudi diagram sila-raztežek. Ploskev v diagramu je dokaj velika, kar pomeni, da ima veriga veliko energijsko sposobnost in s tem tudi žilavost.
- Pri upogibnih probah preko zvara smo upoštevali upogibni faktor, ki je predpisan za visokoodporne verige. Veriga mora doseči poves "D" brez pojava razpok v zvaru. Ta poves znaša v našem primeru 13 mm in je bil dosežen v obeh stanjih verige.
- Za sam preiskus zvara se pogosto uporablja gnetilna proba tako, da se pri tlačenju zvar preseli na končno stran člena.
- Meritve trdot so prikazane v tabeli 3.
- Obe toplotni stanji zvarov na naši verigi smo posneli tudi z mikroskopom.

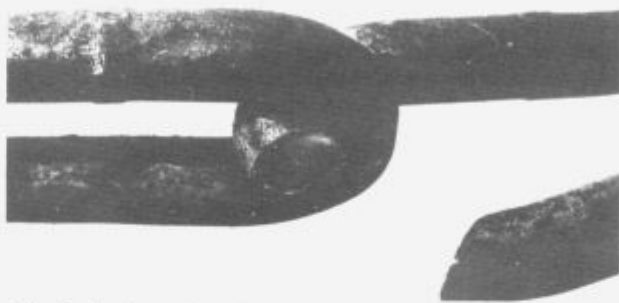
Vse te verige redno kontroliramo in preiskujemo po normah in zahtevah kupca.

Če pogledamo samo delo in kvaliteto verige lahko ugotovimo, da so važnejše postavke pri tehnologiji naslednje:

- nastavljanje in delovanje elektrod
- oblika in kvaliteta zvarnega spoja
- enakomernost upogibanja
- lastnosti osnovnega materiala



Slika 1. Sila trganja in kontrakcije sta presegle predpisano vrednost. Veriga je bila gašena s 1050°C v vodi.



Slika 2. Trgalna proba verige še v surovem stanju (negašena). Veriga ϕ 13 mm.



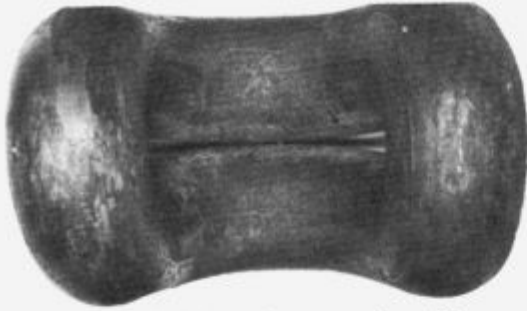
Slika 3. Upogibna proba gašene verige ϕ 13 mm. Včasih na členih napravimo rastersko razdelitev in ugotovljamo lokalni raztežek na natezni strani upogibnega člena.

- nekoliko povečana poraba orodja

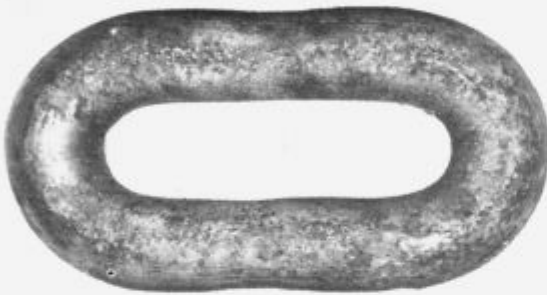
Jeklo se lepo preoblikuje, vendar so deformacijske sile večje, tako, da v praksi velikosti spojev za posamezne dimenzije za 1 stopnjo po moči premaknemo navzgor. Podobno kot pri vijačnih stiskalkah lahko stroj, ki vari ali upogiba ϕ 10 mm pri navadnem jeklu, proizvaja verige iz nerjavnega austenitnega jekla le do ϕ 8 mm.

Druga delna ovira pa je dokaj visoka cena, ki jo povzročajo legirni elementi in proizvodnja osnovnega jekla.

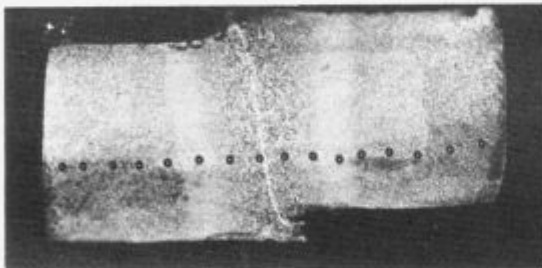
Prav zato so metalurgi naših železarn iskali druge rešitve in na ta način izdelali feritno Cr jeklo z zelo nizkim C in



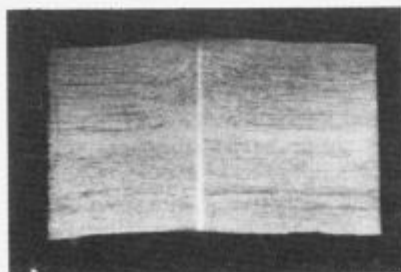
Slika 4. Upogibna proba surove verige ϕ 13 mm.



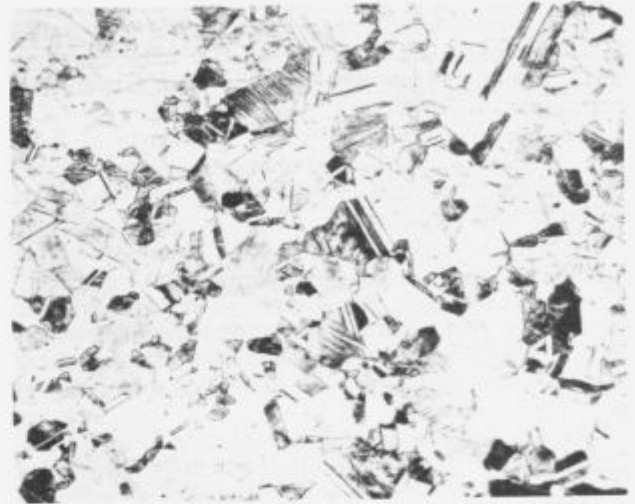
Slika 5. Gnetilna proba verige ϕ 13 mm v gašenem stanju.



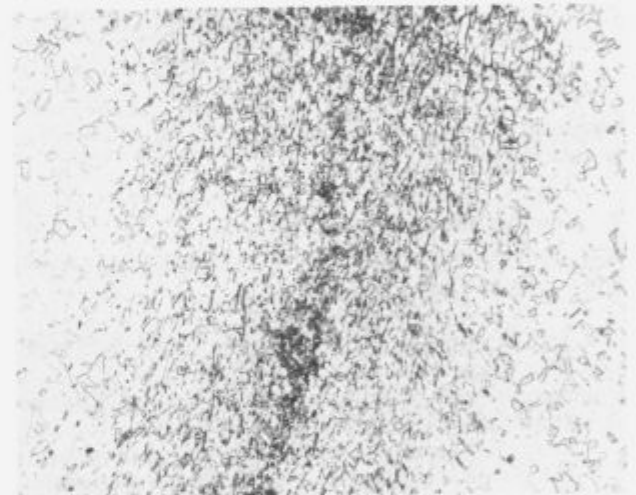
Slika 6. Makroposnetek s trdotnimi odtisi in slabo obrezanim zvarom.



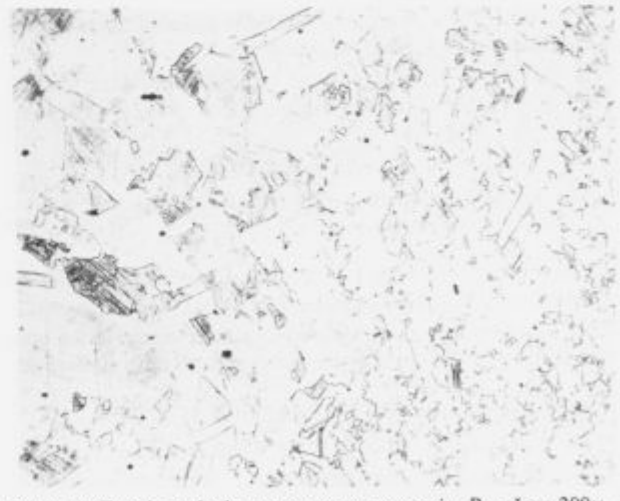
Slika 7. Dobro obrezan člen kot nam kaže slika.



Slika 8. Toplotno vplivana prehodna cona v gašenem stanju. Povečava 200x. Toplotno vplivana cona v gašenem stanju se skoraj popolnoma izenači z osnovnim materialom. Temperatura je bila 1040°C, ohlajanje pa v vodi.



Slika 9. Sredina zvara v gašenem stanju. Povečava 200x.



Slika 10. Zvar in prehodna cona v surovem stanju. Povečava 200x.

Tabela 3. Prikaz meritev trdot

Veriga, surovo stanje HV 10/10			
Hrbtina stran	Zvarna stran	Notranji radius	Zunanji radius
HV 213–222	198–222	263–308	233–300
Veriga, gašeno stanje			
185–191	185–191	170–183	179–188
Mere po opravljenem preizkušanju in kalibriranju			
Premer mm	Delitev člena mm	Širina člena mm	Kaliber 11 × t mm
φ 13 (+0.2)	36 ± 0.2	b–16, B–43.8	396.5–397

ga danes poznamo kot "superferitno jeklo".

Superferitna nerjavna jekla sodijo med novejša jekla, ki predstavljajo zahtevnejše jeklarske izdelke. Po mehanskih in korozijskih lastnostih jih lahko primerjamo z austenitnimi nerjavnimi jekli. Po kemijski sestavi se od austenitnih razlikujejo po tem, da ne vsebujejo niklja, da vsebujejo 16 in več odstotkov kroma in pod 250 ppm ogljika in dušika. Korozijska obstojnost superferitnih jekel se povečuje z vsebnostjo kroma in dodatkom molibdena. Delimo jih v več skupin, z največjo vsebnostjo kroma do 29% in molibdena do 4%. Omenimo naj, da se superferitno jeklo vrste 29Cr-4Mo po svoji izredni korozijski obstojnosti lahko primerja z bistveno dražjim titanom in superzlitinami. Ker superferitna jekla ne vsebujejo niklja, so cenejša od austenitnih. Tako superferitno jeklo ima zelo dobre preoblikovalne sposobnosti in podobno korozijsko odpornost kot austenitno.

Raziskave so bile usmerjene predvsem v ugotavljanje njegovih vlečnih sposobnosti in tistih mehanskih lastnosti jekla, iz katerih bi lahko sklepali na uporabnost jekla pri izdelavi vijakov, matic in verig.

Preoblikovalne sposobnosti superferitnega jekla smo ugotavljali s preiskusi vlečenja, trgalnimi preiskusi, krivuljami tečenja, meritvami mikrotvdot, izdelavo vijakov, matic in verig in metalografskimi preiskavami. Ugotavljali smo tudi rekristalizacijske lastnosti jekla. Zaradi boljše predstavitve preoblikovalnih lastnosti superferitnega jekla ga nismo primerjali le z austenitnim nerjavnim jeklom, ki se pri preoblikovanju bolj utrjuje, temveč tudi z jekli za masivno preoblikovanje, jekloma JMP 10 in JMP 15, ki ju preoblikujemo pri nižjih preoblikovalnih napetostih. Za proizvodnjo verig smo vzeli jeklo z naslednjo kemijsko sestavo:

Acrom 1ex, chg 111840

0.021% C; 0.59% Si; 0.56% Mn; 16.90% Cr; 0.0097% N

$$(C + N = 0,0307)$$

Žica je bila po valjanju žarjena pri temperaturi 880°C.

O preoblikovalnih sposobnostih superferitnega jekla pred preiskavami nismo imeli podatkov, zato smo najprej ugotavljali njegove preoblikovalne trdnosti in jih primerjali tudi s trdnostmi jekla Č.1221, za katerega vemo, da ima dobre preoblikovalne lastnosti in austenitnim nerjavnim jeklom vrste Č.4571, ki se med preoblikovanjem močno utrjuje. Iz primerjave med trdnostmi in eksponenti utrjevanja jekla Acrom 1ex in jeklom Č.1221 vidimo, da se jeklo Acrom 1ex med preoblikovanjem le nekoliko bolj utrjuje od jekla Č.1221, njegove preoblikovalne napetosti pa so nekaj višje kar nam dokazuje, da ima jeklo Acrom 1ex zelo dobre preoblikovalne sposobnosti. Še zanimivejša je primerjava z jeklom Č.4571. Jeklo Č.4571 se še enkrat

bolj utrjuje kot superferitno jeklo, njegove preoblikovalne trdnosti so mnogo višje, prenese pa manjše deformacije.

Za pripravo naše žice za verige smo žico valjano seveda prevlekli na željeno dimenzijo.

Žico premera 6 mm smo pred vlečenjem žarili, jo zlužili ter nanjo nanесли nosilec maziva steelfor, ki ga uporabljamo za vlečenje nerjavnih jekel. Kot mazivo pri vlečenju smo uporabili stearatni prašek, ki ga prav tako uporabljamo za vlečenje nerjavnih jekel.

Delne redukcije pri vlečenju so bile velike od 20 do 25%, podobne kot jih uporabljajo pri vlečenju austenitnih nerjavnih jekel; pri tanjših dimenzijah pa tudi manjše. Vlekli smo jo tudi do tistih željenih dimenzij, iz katerih lahko izdelujemo vijake, matic in verige. Poudariti moramo, da žico med vlečenjem nismo vmesno žarili, kar nam dokazuje, da ima preizkušano superferitno jeklo izredne preoblikovalne sposobnosti. Vlek je izgledal tako kot nam kaže tabela 4.

Tabela 4. Premeri in redukcije vlečene žice ACROM 1ex za verigo φ 4 mm iz valjane žice φ 6 mm

Vlek št.	Premer žice v mm	Deformacija		
		ϵ_p (%)	ϵ_{sk} (%)	φ_{sk}
Valjana žica	6.0			
1	5.30	22.0	22.0	0.25
2	4.68	22.0	39.1	0.50
3	4.12	22.5	52.8	0.75

Pri tem vlečenju smo dobili mehanske lastnosti, prikazane v tabeli 5.

Tabela 5. Mehanske lastnosti vlečene žice iz jekla ACROM 1ex

Premer žice v mm	R_e N/mm ²	R_m N/mm ²	A %	Z %	Trdota HV 4
6.0	315	476	30	84	167
5.30	582	631	6	74	220
4.68	678	710	5	71	237
4.12	714	768	4	70	255

Da bi ugotovili preoblikovalne sposobnosti jekla pri masivnem preoblikovanju in upogibanju, ki sta s stališča delovanja preoblikovalnih sil in mazanja zahtevnejša preoblikovalna procesa od vlečenja, smo izdelali verige φ 5 mm.

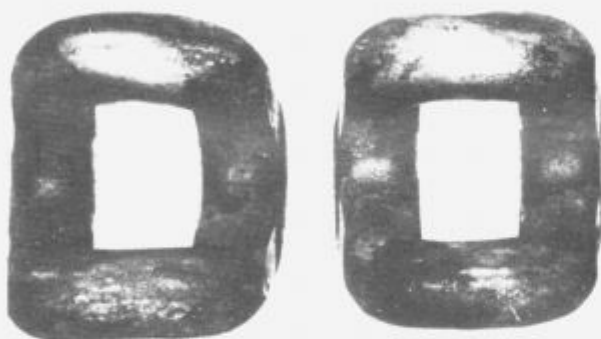
Verigo smo izdelali na industrijskem stroju KEH 3 iz premera vlečene žice 4,98 mm. S stališča preoblikovalnosti predstavlja veriga manj zahteven izdelek, zato smo

Tabela 6. Rezultati trgalnih preizkusov

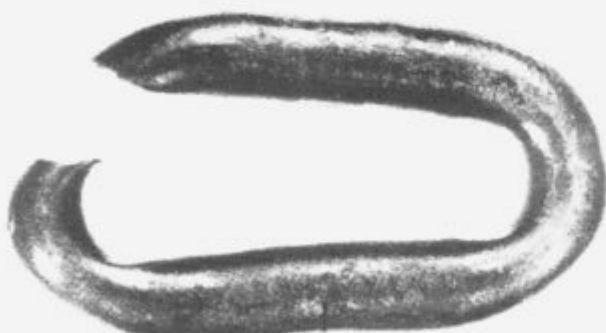
Vzorec	Sila preloma KN	Mesto preloma
1	17.50 KN	Osnovni material
2	17.60 KN	na prehodu
3	17.70 KN	člena v
4	17.80 KN	radius pri
5	17.70 KN	vseh probah.



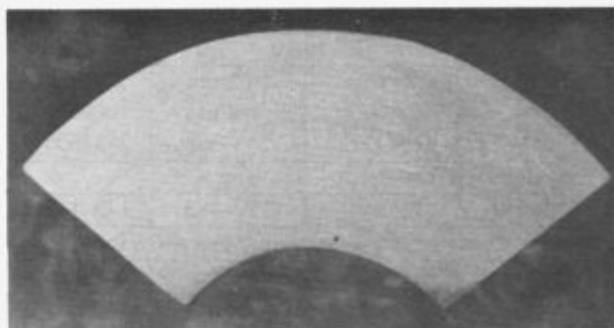
Slika 11. Osnovni material. Povečava 100x.



Slika 12. Upogibalne probe na tmu $D = 4$ mm. Povečava 2x



Slika 13. Prelom člena pri trgalnem preiskusu. Povečava 1,5x.



Slika 14. Makroposnetek zvara po delnem upogibalnem preiskusu. Povečava 5x.



Slika 15. Ravni del člena. Povečava 100x.

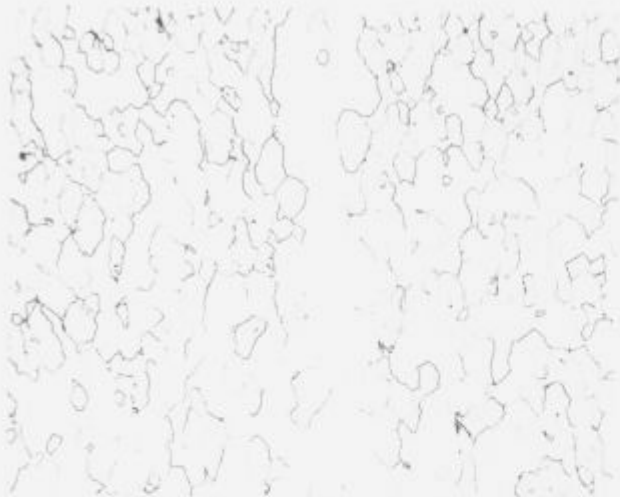


Slika 16. Radius člena. Povečava 100x.

vse preiskuse osredotočili v kaliteto zvara. Zvare smo pregledali metalografsko in jih mehansko preiskusili s trgalnimi preiskusi.

Pri mikrostrukturnem pregledu zvara smo ugotovili, da so bili zvari po celotnem preseku zapoljeni, brez poroznosti na sredini v staljenem delu zvara smo opazili nekaj večje kristalno zrno. O kvaliteti zvarov pričajo tudi rezultati trgalnih preiskusov, pri katerih se členi verige niso

trgali na zvarjenih mestih, temveč na nezvarjenih. Do trganja je prišlo pri obremenitvah 17,6 KN. Trdnost R_m znaša 444 N/mm², kar je za tretjino manj kot znaša trdnost žice, iz katere je bila veriga narejena. Iz omenjenih preiskusov lahko zaključimo, da je jeklo Acrom 1ex uporabno tudi za izdelavo nerjavnih verig.



Slika 17. Sredina zvara na členu. Povečava 100×.

Rezultati so naslednji:

- S hitrostjo 70 čl/minuto upogibanja in varjenjem na varilnem stroju KEH 3 smo verige takoj preiskusili in kalibrirali. Mere na 11 t so bile v predpisanih tolerancah.
- Rezultati trgalnih preizkusov so bili zadovoljivi, prikazani so v tabeli 6.
- Pet upogibnih prob s trnom $D = 4$ mm, kot 180° ; vsi rezultati so bili dobri.
- Zoženje prelomnega mesta na členu $5\times$ preko 66%.
- Nekaj značilnih struktur nam podajajo slike 11 do 17.

3 Zaključek

Po prvih izkušnjah pri proizvodnji in preizkusu verig lahko zaključimo:

- Superferitno jeklo ima zelo dobre preoblikovalne lastnosti in je za samo upogibanje potrebno cca 35% manj energije kot pri austenitnem jeklu.
- Stroji tečejo z neznatno povečano porabo orodja, pri austenitnem jeklu je poraba nožev za obrez zvara 40% večja.
- Pri varjenju so pogoji isti kot pri mikrolegiranem jeklu, za austenitno jeklo pa je razdalja med elektrodami manjša. Sile stiskanja se morajo povečati tako, da se dimenzijska območja na strojih za jekla tipa 18/8 za eno stopnjo znižajo.
- Superferitno jeklo nima niklja, zato je tudi dokaj cenejše.
- Vlečenje pri pripravi žice ne predstavlja posebnih težav, če določimo pravo čiščenje in pravilna mazilna sredstva za vlečenje.
- Pomembna za nas je nevarnost interkristalne korozije, ki pri superferitnem jeklu ne nastopa.
- Korozijska odpornost je pri austenitnem jeklu boljša, vendar se pri superferitnem jeklu z dodatkom Mo tej odpornosti austenitnega jekla približuje.

Zaradi omenjenih prednosti jeklo dobiva na vrednosti in ima pri predelovalcih žice v prihodnosti pomembno mesto.

4 Literatura

- ¹ B. Arzenšek, F. Perko, J. Mrak, N. Vojnovič, D. Lazar, F. Legat, D. Kmetič, J. Žvokelj: Hladno preoblikovanje superferitnega jekla, Naloga MI 90-038, Ljubljana
- ² Wafios: Navodila za upogibanje in varjenje jekel z novo elektroniko in automatiko.

Popravek

Pri stavljenju članka *Faktor mejne intenzitete napetosti pri počasnem natezanju navodičenega jekla z visoko trdnostjo* avtorjev B. Uleta, F. Vodopivec, L. Vehovarja in L. Kosca, ki je izšel v 4. številki Železarskega zbornika leta 1991, je prišlo do nekaj neljubih tiskarskih napak. V tej številki objavljamo popravke nastalih napak. V levem stolpcu je napačno besedilo oziroma formule, v desnem pa pravilno. Uredništvo se avtorjem opravičuje za nastale napake.

Popravki v slovenskem besedilu

Stran 139, 2. odstavek, vrstica 8

kla, peč pa imajo za posledico pojavljanje faktorja mejh-

Stran 141, enačba 1

$$\mu - \mu_0 = \sigma_{ij} E_{ij} dV \quad (1)$$

3. odstavek, vrstici 1 in 2

Deformacijski tenzor E_{ij} opisuje deformacijsko polje okrog intersticijskega atoma vodika, $\mu\sigma_{ij}$ je napetostni

Enačba 2

$$[H] = [H]_0 \exp \frac{\sigma_{ij} E_{ij} dV}{RT} \quad (2)$$

5. odstavek, vrstica 5

tošnega tenzorja $[\sigma_m = 1/3(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)]$, \bar{V}_H pa je parci-

Enačba 4

$$K_{TH} = \frac{RT}{\alpha V_H} \ln \frac{[H]_{cr}}{[H]_0} - \frac{\sigma_{ys}}{2\alpha} \quad (4)$$

Stran 142, 1. odstavek, vrstica 3

sta zapisala kot $[H]_{cr} \propto 1/\sigma_{ys}$. Kim in Loginow¹¹ pa sta

1. odstavek, vrstica 5

več vodika, torej $[H]_0 \propto \sigma_{ys}$. Z upoštevanjem obeh nave-

Enačba 5

$$\frac{[H]_{cr}}{[H]_0} \simeq \frac{\beta}{\rho_{ys}} \quad (5)$$

Enačba 7

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{0,05 E_f n^2 E \sigma_{ys}}{3}} \quad (\text{MPa m}^{1/2}) \quad (7)$$

4. odstavek, vrstica 1

Pri tem je E_f lomna duktilnost, ki jo izračunamo iz

Enačba 8

$$E_f = \ln[1/(1 - Z)] \quad (8)$$

kla, pač pa imajo za posledico pojavljanje faktorja mejn-

$$\mu - \mu_0 = \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} dV \quad (1)$$

Deformacijski tenzor ε_{ij} opisuje deformacijsko polje okrog intersticijskega atoma vodika, σ_{ij} je napetostni

$$[H] = [H]_0 \exp \frac{\sigma_{ij} \varepsilon_{ij} dV}{RT} \quad (2)$$

tošnega tenzorja $[\sigma_m = 1/3(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)]$, \bar{V}_H pa je parci-

$$K_{TH} = \frac{RT}{\alpha V_H} \ln \frac{[H]_{cr}}{[H]_0} - \frac{\sigma_{ys}}{2\alpha} \quad (4)$$

sta zapisala kot $[H]_{cr} \propto 1/\sigma_{ys}$. Kim in Loginow¹¹ pa sta

več vodika, torej $[H]_0 \propto \sigma_{ys}$. Z upoštevanjem obeh nave-

$$\frac{[H]_{cr}}{[H]_0} \simeq \frac{\beta}{\sigma_{ys}} \quad (5)$$

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{0,05 \varepsilon_f n^2 E \sigma_{ys}}{3}} \quad (\text{MPa m}^{1/2}) \quad (7)$$

Pri tem je ε_f lomna duktilnost, ki jo izračunamo iz

$$\varepsilon_f = \ln[1/(1 - Z)] \quad (8)$$

Enačba 10

$$\beta = \sigma_{ys} \exp \frac{\alpha \tilde{V}_H}{RT} \left\{ \sqrt{\frac{0,05 E_f n^2 E \sigma_{ys}}{3}} + \frac{\sigma_{ys}}{2\alpha} \right\} \quad (10)$$

7. odstavek, vrstica 1

V izrazu (10) so veljavne vrednosti za σ_{ys} , E_f ter n , kot

Stran 143, 2. odstavek, vrstica 4

Eksperimentalni sklop s katodnim polariziranjem preiz-

5. odstavek, vrstica 1

Lomno duktilnost E_f in eksponent deformacijskega

Stran 145, 3. odstavek, vrstici 4, 5

\dot{E}_c , upošteva hitrost natezanja $v = 1,6 \times 10^{-3} \text{ mm s}^{-1}$ (0,1 mm/min), vrednost $\dot{E}_c = v/l = 5,3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

4. odstavek, vrstica 2

koliko višje vrednosti \dot{E}_c , približno 10^{-1} s^{-1} . Raziskave Na-

4. odstavek, vrstica 7

že pri kritični hitrosti deformacije $\dot{E}_c = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, to pa je že

Stran 146, 2. odstavek, vrstica 3

čejo, da je prelom lokalno še vedno tudi duktilne vrste.

Popravki v angleškem besedilu

Stran 140, enačba 1

$$\mu - \mu_0 = \sigma_{ij} E_{ij} dV \quad (1)$$

Zadnji odstavek, vrstica 2

scribed by the deformation tensor E_{ij} ; ρ_{ij} is the stress

Stran 141, enačba 2

$$[H] = [H]_0 \exp \frac{\sigma_{ij} E_{ij} dV}{RT} \quad (2)$$

Enačba 3

$$[H] = [H]_0 \exp \frac{\sigma_m d\tilde{V}_H}{RT} \quad (3)$$

3. odstavek, vrstici 5, 6

where σ_m is the hydrostatic component of stress tensor $\sigma_m = 1/3(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)$ and \tilde{V}_H is the partial molal volume

6. odstavek, vrstica 10

$[H]_{cr} \propto 1/\sigma_{ys}$.

7. odstavek, vrstica 3

strength, thus $[H]_0 \propto \sigma_{ys}$. If both statements are taken in-

$$\beta = \sigma_{ys} \exp \frac{\alpha \tilde{V}_H}{RT} \left\{ \sqrt{\frac{0,05 \varepsilon_f n^2 E \sigma_{ys}}{3}} + \frac{\sigma_{ys}}{2\alpha} \right\} \quad (10)$$

V izrazu (10) so veljavne vrednosti za σ_{ys} , ε_f ter n , kot

Eksperimentalni sklop za katodno polariziranje preiz-

Lomno duktilnost ε_f in eksponent deformacijskega

$\dot{\varepsilon}_c$, upošteva hitrost natezanja $v = 1,6 \times 10^{-3} \text{ mm s}^{-1}$ (0,1 mm/min), vrednost $\dot{\varepsilon}_c = v/l = 5,3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$

koliko višje vrednosti $\dot{\varepsilon}_c$, približno 10^{-1} s^{-1} . Raziskave Na-

že pri kritični hitrosti deformacije $\dot{\varepsilon}_c = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, to pa je že

žejo, da je prelom lokalno še vedno tudi duktilne vrste.

$$\mu - \mu_0 = \sigma_{ij} \varepsilon_{ij} dV \quad (1)$$

scribed by the deformation tensor ε_{ij} ; σ_{ij} is the stress

$$[H] = [H]_0 \exp \frac{\sigma_{ij} \varepsilon_{ij} dV}{RT} \quad (2)$$

$$[H] = [H]_0 \exp \frac{\sigma_m \tilde{V}_H}{RT} \quad (3)$$

where σ_m is the hydrostatic component of stress tensor $[\sigma_m = 1/3(\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z)]$ and \tilde{V}_H is the partial molal volume

$[H]_{cr} \propto 1/\sigma_{ys}$.

strength, thus $[H]_0 \propto \sigma_{ys}$. If both statements are taken in-

Popravek

Enačba 5

$$\frac{[H]_{cr}}{[H]_0} \simeq \frac{\beta}{\rho_{ys}} \quad (5) \qquad \frac{[H]_{cr}}{[H]_0} \simeq \frac{\beta}{\sigma_{ys}} \quad (5)$$

Enačba 6

$$K_{TH} = \frac{RT}{\alpha \bar{V}_H} \ln \frac{\beta}{\sigma_{ys}} - \frac{\sigma_{ys}}{2\alpha} \quad (6) \qquad K_{TH} = \frac{RT}{\alpha \bar{V}_H} \ln \frac{\beta}{\sigma_{ys}} - \frac{\sigma_{ys}}{2\alpha} \quad (6)$$

Stran 142, enačba 7

$$K_{IC} = \sqrt{\frac{0,05 E_f n^2 E \sigma_{ys}}{3}} \quad (\text{MPam}^{1/2}) \quad (7) \qquad K_{IC} = \sqrt{\frac{0,05 \varepsilon_f n^2 E \sigma_{ys}}{3}} \quad (\text{MPam}^{1/2}) \quad (7)$$

1. odstavek, vrstica 8

where E_f is the fracture ductility, calculated from the ac-

where ε_f is the fracture ductility, calculated from the ac-

Enačba 8

$$E_f = \ln[1/(1 - Z)] \quad (8) \qquad \varepsilon_f = \ln[1/(1 - Z)] \quad (8)$$

Enačba 10

$$\beta = \sigma_{ys} \exp \frac{\alpha \bar{V}_H}{RT} \left\{ \sqrt{\frac{0,05 E_f n^2 E \sigma_{ys}}{3}} + \frac{\sigma_{ys}}{2\alpha} \right\} \quad (10) \qquad \beta = \sigma_{ys} \exp \frac{\alpha \bar{V}_H}{RT} \left\{ \sqrt{\frac{0,05 \varepsilon_f n^2 E \sigma_{ys}}{3}} + \frac{\sigma_{ys}}{2\alpha} \right\} \quad (10)$$

4. odstavek, vrstica 1

As already mentioned, the relevant values of σ_{ys} , E_f

As already mentioned, the relevant values of σ_{ys} , ε_f

Stran 143, 2. odstavek, vrstica 7

fracture ductility E_f and the strain hardening exponent n

fracture ductility ε_f and the strain hardening exponent n

Stran 145, zadnji odstavek, zadnja vrstica

of $\dot{\varepsilon}_c = v/l = 5,3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ is obtained.

of $\dot{\varepsilon}_c = v/l = 5,3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$ is obtained.

Stran 146, 1. odstavek, 1. vrstica

Professional literature¹⁵ quotes somewhat higher $\dot{\varepsilon}_c$ -

Professional literature¹⁵ quotes somewhat higher $\dot{\varepsilon}_c$ -

1. odstavek, vrstica 9

$\dot{\varepsilon}_c = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, whose magnitude is of the same order as

$\dot{\varepsilon}_c = 10^{-4} \text{ s}^{-1}$, whose magnitude is of the same order as

zadnji odstavek, II. vrstica

of hydrogen-charged high-strength steel weaknes the

of hydrogen-charged high-strength steel weaknes the

Stran 147, 1. odstavek, 3. vrstica

(7), into Gerberich's equation (6). We thus obtained a

(7), into Gerberich's equation (6). We thus obtained a

1. odstavek, vrstica 5

yield strength of steel, as requested by Gerberich's

yield strength of steel, as requested by Gerberich's

2. odstavek, vrstica 2

faces of highstrength hydrogen-charged steel tested at

faces of high strength hydrogen-charged steel tested at

2. odstavek, vrstica 3

slow-strain indicate that, locally, the fracture is still

slow-strain indicate that, locally, the fracture is still

Doktorska in magistrska dela na Odseku za Metalurgijo in Materiale —FNT, Univerze v Ljubljani v šolskem letu 1990/91

Doktorski deli

Miroslav Jakovljević (26.11.1990 – mentor A. Paulin)
Magnetno-hidrodinamična stanja elektrolizne celice kot element za optimizacijo procesa pridobivanja aluminija

Potreba po zmanjšanju specifične porabe energije ter iskanje postopkov za skrajšanje časa konstruiranja nove celice od zamisli do industrijske uporabe sta povzročila, da je študij magnetno-hidrodinamičnih pojavov postal pomemben. Ti pojavi povzročajo statično deformacijo mejne površine kovina-elektrolit, vrtnčenje kovine in elektrolita ter električno nestabilnost celice, kar moti elektrolizni proces ter vpliva na tokovni izkoristek. Avtor je s tega stališča obdelal magnetno optimizacijo elektrolizne celice, kot primer je vzel 140 kA celico firme Pechiney, ter na osnovi izdelanega matematičnega modela pripravil lastni programski paket za osebni računalnik.

179 strani

42 cit.

Boris Ule (11.4.1991 – mentor L. Kosec)
Faktor mejne intenzitete napetosti pri upočasnjem natezanju navodičenega jekla

Zelo trdna konstrukcijska jekla z veliko napetostjo tečenja se vse več uporabljajo. Zaradi razmeroma majhne žilavosti in slabo izraženega prehoda v krhko stanje so toliko pomembnejše njihove lomne značilnosti. Lomna žilavost je močno odvisna od vodika v jeklu. Napetostno inducirani izločeni vodik vodi do zapoznelega loma obremenjenega jekla. Faktor mejne intenzitete napetosti je merilo, kakšno napetost material vzdrži, da ne pride do zapoznelega loma. Avtor je ugotavljal ta faktor z nateznimi preskusi, kar v literaturi še ni bilo ustrezno obdelano. Upočasneni natezni preskus (0,1 mm/min) za razliko od standardnega omogoča ugotavljanje vpliva vodika na lomno žilavost. Obenem je analiziral tudi vpliv toplotne obdelave na lomno žilavost navodičenega jekla.

85 strani

119 cit.

Magistrska dela

Vladimir Cvetkovski (10.10.1990 – mentor A. Paulin)
Projekt elektrolizne rafinacije bakra

Avtor daje najprej pregled sodobnih elektroliznih postopkov v svetu z vidika investicijskih in obratovnih stroškov za kapacitete 100 000 t Cu/leto ter izdela primerjavo s klasično elektrolizo za 50 000 t/leto. Nato razčleni idejni tehnološki in investicijski projekt za moderno standardno elektrolizo z modulno kapaciteto 50 000 t/leto, skupaj s pomožnimi obrati. Ugotavlja, da se z uporabo reverziranega toka lahko poveča proizvodnost za 40%. Z dograditvijo dodatnega modula se lahko kapaciteta elektrolize brez težav poveča na 100 000 t/leto. Obenem je nakazal enostavno možnost rekonstrukcije standardne elektrolize na polno avtomatizirano stanje.

112 strani

25 cit.

Ph.D. and MSc. theses at the Department of Metallurgy and Materials, University of Ljubljana in academic year 1990/91

Ph.D. theses

Miroslav Jakovljević (26.11.1990 – supervisor A. Paulin)
Magneto-hydrodynamic states of electrolytic cell as parameter for optimization of aluminium electrowinning process

Need to reduce specific consumption of energy and to find ways for time reduction in designing new cell from idea to industrial application made analysis of magneto-hydrodynamic phenomena essential. These phenomena cause static deformation of melt/electrolyte interface, circulation of melt and electrolyte and electric instability of cell which all disturb the electrolytic process and influence current efficiency. Thus the author analyzed the magnetic optimization of electrolytic cell, taking 140 kA Pechiney cell, and based on prepared mathematical model he had composed own software for PC.

179 pages

42 ref.

Boris Ule (11.4.1991 – supervisor L. Kosec)
Threshold stress intensity factor in slow tensile test of steel with picked-up hydrogen

High-strength structural steels with high yield stress are widely used. Due to relatively low toughness and undistinctive transition into brittleness, their fracture characteristics are essential. Fracture toughness is highly dependant on hydrogen in steel. Stress-induced precipitated hydrogen causes delayed fracture of loaded steel. Threshold stress intensity factor is a measure of stress which material can endure without danger of a delayed failure. Author determined this factor by tensile tests which in references was not yet adequately treated. Slow tensile test (0.1 mm/min) in comparison with the standard one enables determination of hydrogen influence on fracture toughness. Next, also influence of heat treatment on fracture toughness of hydrogen containing steel was analyzed.

85 pages

119 ref.

MSc. theses

Vladimir Cvetkovski (10.10.1990 – supervisor A. Paulin)
Designing copper electrolytic refining plant

At first a review of modern electrolytic processes in the world is given from the viewpoint of investments and operational costs for a capacity of 100 000 t Cu/year, and a comparison with a common electrolytic plant of 50 000 tpy is made. Then a design of technology with necessary equipment and investment costs for a modern standard electrolytic plant as modulus capacity of 50 000 tpy was prepared, including auxiliary departments. Author cites that application of reversing current can increase output for about 40%. Erection of additional 50 000 tpy modulus is the simplest way to increase plant output to 100 000 tpy. Simultaneously the possibility to reconstruct standard plant in a simple way to a fully automatic one is also indicated.

112 pages

25 ref.

Matjaž Pristavec

(15.11.1990 – mentor V. Marinković)

Mikrostrukturne raziskave donorsko dopirane keramike PZT

Keramika PZT sloni na trdni raztopini $Pb(Zr, Ti)O_3$ in predstavlja najpomembnejšo skupino trgovskih piezoelektričnih materialov. Uporabne lastnosti zavisi od razmerja Zr/Ti, koncentracije vgrajenih kationov z drugačno valenco ter seveda od mikrostrukture keramike. Avtor se je omejil v svojem delu na vpliv vgradnje nekaterih višjevalentnih kationov donorjev (Sb^{5+}, Nb^{5+}) na mikrostrukturne značilnosti te keramike. Za analizo je uporabil elektronski mikroskop. Do koncentracije 2.5 at. % Nb ali Sb v keramiki nastajajo ploskovni defekti zaradi pojavljanja koherentno vgrajenih izločkov $P - Nb_2O_5$. Pri deležih nad 2.5% pa v zrnih nastajajo "podzrna". Podmeje, ki se pojavljajo, so tudi posledica vgradnje prebitnega $P - Nb_2O_5$. Predlagani model ni dokončen, ker so potrebne dodatne preiskave z zahtevnejšimi aparaturami. Sb se obnaša enako kot Nb.

77 strani

43 cit.

Mustafa Serdarević (20.12.1990 – mentor J. Lamut)**Izboljšanje kvalitete kovaških ingotov z obdelavo tekočega jekla v ponovci**

Delo prispeva k naporom Železarne Zenica za prestrukturiranje proizvodnje, da bi se kakovost martinskega jekla izboljšala z lončno metalurgijo. Avtor je pripravil dve varianti izvenpečne obdelave ogljikovih jekel za ladjedelniške izkivke: popolna dezoksidacija v loncu, obdelava s sintetično žlindro, vakuumska obdelava ter obdelava s kalcijem; izdelava polpomirjenega jekla, obdelava s sintetično žlindro, vakuumska obdelava, vakuumska dezoksidacija z FeSi in Al, prepričevanje z argonom ter obdelava s kalcijem. Le druga varianta je dala ustrezne rezultate, zahteva pa dovolj visoke temperature — izlita talina mora imeti vsaj $1660^{\circ}C$, lonci pa morajo biti predgreti na 900 do $1100^{\circ}C$. Analizirana je bila tudi oblika in sestava nekovinskih vključkov.

99 strani

35 cit.

Darja Oblak (27.12.1990 – mentor L. Kosec)**Tvorba izločkov aluminijevega nitrida in rast avstenitnih zrn v krom-nikljevem jeklu za cementacijo**

Ta jekla se uporabljajo za izdelavo delov motorjev in sklopov za prenos moči. Problem pri njih pa predstavlja doseganje drobnih in enakomernih avstenitnih zrn. Avtorica je obdelala vpliv deleža aluminija v jeklu na velikost zrn. V laboratorijskih poskusih je talinam dodajala tudi niobij za zmanjševanje zrna ter napravila primerjavo s krom-manganovim jeklom Č.4320, za katerega so znane koncentracije Al in N, ki omogočajo drobno zmo. Ugotovila je, da pri Cr-Ni cementiranih jeklih zrna rastejo tako zaradi anizotropije energije kristalnih mej kot zaradi anizotropije mobilnosti kristalnih mej. Nekoliko prevladuje drugi mehanizem, verjetno pa je mehanizem rasti povezan s predhodno toplotno in deformacijsko zgodovino materiala. Velikost normalnih zrn pada z deležem aluminija in nad 0.025% Al so zrna manjša od 5 po ASTM še pri temperaturi žarjenja $1050^{\circ}C$. Ker je topnost AlN v jeklu z nikljem večja, je treba več Al za stabilizacijo neke začetne velikosti zrn. Izračunani so bili tudi topnostni produkti za niobijev karbonitrid.

72 strani

34 cit.

300

Matjaž Pristavec

(15.11.1990 – supervisor V. Marinković)

Microstructural investigations of donor doped PZT ceramics

PZT ceramics is based on $Pb(Zr, Ti)O_3$ solid solution, and it is the most important group of commercial piezoelectric materials. Its useful properties depend on Zr/Ti ration, concentration of incorporated cations of different valency, and essentially on the microstructure of ceramics. Author treated in his thesis the influence of incorporation of some higher-valency cations (Sb^{5+}, Nb^{5+}) on the microstructural characteristics of that ceramics. In his analysis he applied electron microscope. Up to 2.5 at. % Nb or Sb in ceramics, surface defects are formed due to appearance of coherently incorporated $P - Nb_2O_5$ precipitates. Above 2.5% "subgrains" are formed in the grains. Subboundaries being formed are also the consequence of incorporation of excess $P - Nb_2O_5$. Proposed model is not a final one since additional investigations with more sophisticated equipment are necessary. Sb behaves like Nb.

77 pages

43 ref.

Mustafa Serdarević (20.12.1990 – supervisor J. Lamut)**Improvement of the quality of forge ingots by treating steel melt in ladle**

Research is a part of Zenica Iron and Steelworks trends to improve its production program by improving the quality of open-hearth steel by ladle metallurgy. Author prepared two possibilities of out-of-furnace treatment of carbon steel for shipmaking forgings: complete deoxidation in ladle, treatment with synthetic slag, vacuum treatment, and treatment with calcium; making of semikilled steel, treatment with synthetic slag, vacuum treatment, vacuum deoxidation with FeSi and Al, blowing with argon, and treatment with calcium. Only the second technology gave adequate results, but it demands sufficiently high temperatures — initial melt from furnace must have at least $1660^{\circ}C$ while ladle must be preheated to $900-1100^{\circ}C$. Also shapes and composition of non-metallic inclusions were analyzed.

99 pages

35 ref.

Darja Oblak (27.12.1990 – supervisor L. Kosec)**Formation of precipitates of aluminium nitride and growth of austenite grains in chromium-nickel casehardening steel**

These steels are used in making motor parts and power-transmission joints. The problem with them is how to obtain fine and uniform austenite grains. The authoress analysed the influence of aluminium content in steel on the grain size. In laboratory tests also niobium was added to melts are grain refiner. Comparison with Č.4320 chromium-manganese steel was made since Al and N concentrations giving fine grain are known for it. It was found that grains in Cr-Ni case-hardening steel grow due to anisotropy of grain-boundary energy and due to anisotropy of grain-boundary mobility. The second mechanism is slightly prevailing. The mechanism of growth is probably connected with the thermal and deformation history of material. Size of normal grains is reduced with higher aluminium content and above 0.025% Al the grains are smaller than 5 according to ASTM scale even at annealing temperature of $1050^{\circ}C$. Since AlN solubility in steel with nickel is higher, more Al is needed to stabilize some initial grain size. Also solubility products for niobium carbonitride were calculated.

72 pages

34 ref.

Zlatko Lajtinger (16.4.1991 – mentor A. Smolej)
**Izdelava in raziskava superplastičnih zlitin vrste
 Al-Cu-Zr in Al-Zn-Mg-Cu**

Superplastičnost je sposobnost posebnih polikristalnih kovinskih materialov, da dosežejo pri natezni obremenitvi pri povišanih temperaturah izjemno velike raztezke brez makroskopsko vidnega zožka ali zloma. Napetosti tečenja pri superplastičnem preoblikovanju so manjše kot pri običajnem vročem preoblikovanju. Avtor je izdelal in preiskal drobnozrnati zlitini AlCu6Zr0,4 in AlCu6Zn5,7Mg2,3Zr0,4. Dobil je največje vrednosti raztezka 975% za prvo zlitino pri preoblikovalni hitrosti $1.2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ in temperaturi 450 do 475°C, pri drugi pa 305% za $1.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ in 450°C. Indeks občutljivosti za preoblikovalno hitrost je bil pri obeh zlitinah med 0.5 in 0.7. Med superplastičnim preoblikovanjem nastane zelo drobnozrnata mikrostruktura kot posledica dinamične rekristalizacije. Nastanek in rast por med preoblikovanjem pa omejuje največje raztezke. Prva zlitina je bila bolj odporna pred tem pojavom.

60 strani

32 cit.

Ratko Marojević

(9.5.1991 – mentorja B. Dobovišek, A. Rosina)

**Vpliv mase vzorca in hitrosti segrevanja na
 karakteristike DTA pika**

Namen dela je bil ugotoviti vpliv hitrosti segrevanja v mejah 2 do 50°/min in mase vzorca v mejah 5 do 30 mg na osnovne značilnosti DTA konic. Preiskovane snovi so bili magnezit, dolomit in magnezijev hidroksid karbonat. Eksperimentalno ugotovljene vplive je avtor z regresijsko analizo pretvoril v matematično obliko kot polinom druge oz. četrte stopnje. Hitrost segrevanja bolj vpliva na kvalitativne, masa pa na kvantitativne značilnosti DTA konic. Obdelal je točke na krivulji, ki predstavljajo začetni odklon od ničelne črte, temperaturo in velikost konice ter točke, ko se DTA odklon vrne k ničelni črti, obenem pa tudi nastalo površino med DTA krivuljo in ničelno črto. Posredno je ugotovil zanesljivo natančnost uporabljene DTA naprave Linseis L62.

141 strani

48 cit.

Izidor Derganc (11.6.1991 – mentor C. Pelhan)

**Preiskava nodulatorja FeSiMg(Ca) in njegov vpliv na
 proizvodnjo nodularne litine**

Kroglasto obliko grafita pri tehničnih zlitinah dosežemo z dodatkom ustreznih nodulatorjev. Vloga kalcija v kompleksnem nodulatorju še ni v literaturi povsem pojasnjena. Smatrajo, da majhni dodatki kalcija zmanjšujejo burnost reakcije pri obdelavi taline z magnezijem in obenem povečujejo izkoristek magnezija. Avtor je v svojem delu analiziral faze, ki se tvorijo v FeSiMg(Ca) nodulatorju ter vpliv deleža kalcija v nodulatorju na mehanske lastnosti obdelane taline. Najpogostejši fazi sta po pričakovanju FeSi₂ in FeSi. Magnezij tvori Mg₂Si, tudi v kombinaciji Mg₂Si + Si in Mg₂Si + MgSi, ob prisotnosti kalcija in aluminija pa še Mg₂Si + CaSi₂ + Si, Mg + Mg₂Si + Al₂Mg₃, Al + Mg₂Si in Al + Mg₂Si + Si. Kalcij tvori predvsem CaSi₂, deloma tudi Mg₂Ca ter še CaSi₂Al₂. Prisotnost cerija in barija pa daje še Si + CeMg₂Si₂ in Al + BaMg₂Si₂ med zni osnovne. DTA analiza je pokazala, da Ca prispeva k nižji začetni temperaturi taljenja nodulatorja. Večji deleži Ca, kot se običajno uporabljajo, izboljšujejo mehanske lastnosti taline, posebno če je delež žvepla v talini večji, saj Ca talino razžvepla in dezoksidira, magnezij pa je prost za nodulacijo grafita. Ni pa nodulator z večjim deležem Ca primeren za Inmold postopek.

82 strani

24 cit.

Zlatko Lajtinger (16.4.1991 – supervisor A. Smolej)
**Making and testing Al-Cu-Zr and Al-Zn-Mg-Cu
 superplastic alloys**

Superplasticity is the property of special polycrystalline metallic materials to exhibit extraordinary elongations without macroscopic contraction or failure at tensile loading at elevated temperatures. Yield stresses in superplastic working are lower than in normal hot working. Author prepared and tested fine-grained AlCu6Zr0,4 and AlCu6Zn5,7Mg2,3Zr0,4 alloys. The highest elongation of 975% for the first alloy was obtained at working rate of $1.2 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ in temperature range 450 to 475°C, while for the second alloy it was 305% at $1.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ and 450°C. Index of sensitivity to working rate was 0.5 to 0.7 for both alloys. In superplastic working the fine-grained microstructure is formed due to dynamic recrystallization. Formation and growth of pores during working is limiting factor for elongations. The first alloy is more resistant to these phenomena.

60 pages

32 ref.

Ratko Marojević

(9.5.1991 – supervisors B. Dobovišek, A. Rosina)

**Influence of sample mass and heating rate on
 characteristics of DTA peak**

Research had intention to investigate the influence of heating rate in range 2 to 50°/min and sample mass in range 5 to 30 mg on the basic characteristics of DTA peaks. Tested materials were magnesite, dolomite and magnesium hydroxide carbonate. Experimentally determined influences were transformed into mathematical form by regression analysis giving polynomials of second or fourth order. Heating rate has greater influence on qualitative while sample mass has greater influence on quantitative characteristics DTA peaks. Author analyzed points on DTA curve representing the beginning of the peaks, temperatures and heights of peaks, and points on DTA curves representing the end of the peaks, next to surfaces between DTA curves and zero lines. Thus he had determined the reliable accuracy of the used DTA equipment Linseis L62.

141 pages

48 ref.

Izidor Derganc (11.6.1991 – supervisor C. Pelhan)

**Investigation of FeSiMg(Ca) nodularising agent and its
 influence in making spheroidal graphite cast iron**

Spheroidal shape of graphite in technical alloys can be achieved by additions of suitable nodularising agents. Role of calcium in the complex nodularising agent is in references not adequately explained yet. Some are of opinion that additions of calcium reduce vigorousness of reactions in treatment of melt with magnesium and simultaneously increase its yield. Author analyzed phases being formed in FeSiMg(Ca) nodularising agent and the influence of calcium in the agent on the mechanical properties of treated melt. As expected, the most frequent phases were FeSi₂ and FeSi. Magnesium forms Mg₂Si, also in combinations as Mg₂Si + Si and Mg₂Si + MgSi. If calcium and aluminium are present, there are also Mg₂Si + CaSi₂ + Si, Mg + Mg₂Si + Al₂Mg₃, Al + Mg₂Si and Al + Mg₂Si + Si. Calcium forms mainly CaSi₂, partially also Mg₂Ca and CaSi₂Al₂. Presence of cerium and barium gives also Si + CeMg₂Si₂ and Al + BaMg₂Si₂ in spaces between matrix grains. DTA showed that Ca reduces initial melting temperatures of nodularising agent. Higher amounts of Ca than usual improve mechanical properties of cast iron especially at higher sulphur contents in melt since Ca desulphurizes and deoxidizes, while magnesium is available for spheroidization of graphite. But the agent with increased content of calcium is not suitable for the Inmold process.

82 pages

24 ref.

Tatjana Večko (21.6.1991 – mentor R. Turk)
Topla preoblikovalnost duplex avstenitno-feritnega jekla

Pri dupleksnih avstenitno-feritnih zlitinah ostaja, kljub množici raziskav v zadnjih letih, še vrsta nerešenih vprašanj o deformacijskih mehanizmi in možnosti krmiljenja termomehanskih procesov. Namen dela je bilo zasledovati mikrostrukturo dupleksnega nerjavnega jekla PJ325 z 0.1% C, 29% Cr in 9% Ni v prvi fazi od litja do končnega izdelka — predelava lite strukture. V litem stanju je jeklo dobro preoblikovalno med 1250 in 1200°C. Pod to temperaturo plastičnost močno zmanjšujejo izceje, neugodno razmerje avstenit/ferit ter karbidni izločki. Pri 1200–1250°C se jeklo deformira superplastično, prevladuje mehanizem mehčanja zaradi intenzivne dinamične poprave ferita. Pod 1150°C poteka deformacija z drsenjem dislokacij, mehanizem mehčanja pa je verjetno kombinacija dinamične poprave ferita in dinamične rekristalizacije avstenita. Homogenizacijsko žarjenje pri 1250°C omogoči superplastičnost pri določenih preoblikovalnih hitrostih do 950°C, poslabša pa mejno plastičnost. Ugotovljeni so bili termomehanski parametri za dobro preoblikovalnost lite strukture.

116 strani

63 cit.

Tatjana Večko (21.6.1991 – supervisor R. Turk)
Hot workability of duplex austenitic-ferritic steel

In duplex austenitic-ferritic steel, there are still many questions on deformation mechanisms and the possibility of controlling thermomechanical processes open though many investigations were made in recent years. The research had intention to follow the microstructure of duplex stainless steel PJ325 with 0.1% C, 29% Cr and 9% Ni in the first stage from pouring to final product, i.e. working of cast microstructure. Steel as cast has good workability between 1250 and 1200°C. Below this temperature the plasticity is highly reduced due to segregations, unsuitable austenite/ferrite ration, and carbide precipitates. In 1200–1250°C range steel is deformed superplastically, the mechanism of softening due to intensive dynamic recovery of ferrite is prevailing. Below 1150°C deformation takes place by gliding of dislocations, while mechanism of softening is probably a combination of dynamic recovery of ferrite and dynamic recrystallization of austenite. Homogenizing at 1250°C enables superplasticity at certain working rates down to 950°C, but limiting plasticity is reduced. Thermomechanical parameters for good workability of cast microstructure were determined.

116 pages

63 ref.

Jurij Bavdaž (21.6.1991 – mentor R. Turk)
Nestacionarnost testnih pogojev pri simulaciji termomehanskih stanj na raziskovalni opremi Gleeble 1500

Laboratorijske raziskave na simulatorjih procesov, povezanih z računalnikom, izpodrivajo drage in nepraktične raziskave pri industrijskih pogojih. Na simuliranje plastomehanskih dogajanj vplivajo lastnosti simulatorja ter pravilne izbire oblike in velikosti vzorca. Ugotovljeno je bilo, da se nastavljeni pogoji preskušanja med poskusom spreminjajo, česar računalniški program ne upošteva dovolj ali pa sploh ne. Z definiranjem pogojev preskušanja, zasledovanjem njihovega izvajanja in analizo dobljenih rezultatov naj bi dosegli večjo zanesljivost meritev. Naprava Gleeble ne upošteva nestacionarnega toka materiala med plastično deformacijo. Zato bo potrebno izpopolnjevanje merilne in procesne tehnike ter imeti numerično podprte analize opravljenih preskusov.

176 strani

90 cit.

Jurij Bavdaž (21.6.1991 – supervisor R. Turk)
Unsteady testing conditions in simulation of thermomechanical states on research equipment Gleeble 1500

Laboratory investigations on process simulation by computerized equipment substitute expensive and unpractical industrial tests. Simulation of plastomechanical phenomena is influenced by properties of simulator and correct choice of sample shape and size. It was found that set conditions of testing are changed during the experiment which computer program does not take in account enough or even not at all. Thus defining testing conditions, following their execution and analysis of obtained results should improve the reliability of measurements. Gleeble equipment does not take in account unsteady slow of material during plastic deformation. Therefore measuring and process techniques must be improved, and the numerically aided analysis of made experiments is essential.

176 pages

90 ref.

Radonja Minić (21.6.1991 – mentor J. Lamut)
Jeklo za cementacijo Č.4321 mikrolegirano z niobom in borom

Avtor je skušal z analizo toplo valjanih gredic in palic iz mikrolegiranega Cr-Mn konstrukcijskega jekla pokazati ugoden vpliv mikrolegiranja teh jekel. Analiziral je mikrostrukturo, nekovinske vključke, zrno, prekaljivost in mehanske lastnosti. Pokazal se je različen vpliv mikrolegiranja z niobijem, borom ali obema na posamezne značilnosti jekel. Namen dela je izboljšava kakovostnega programa Železarne Nikšić.

209 strani

85 cit.

Radonja Minić (21.6.1991 – supervisor J. Lamut)
Case-hardening Č.4321 steel microalloyed with niobium and boron

Author tried with the analysis of hot rolled billets and rods made of microalloyed Cr-Mn structural steel to show the favourable influence of microalloying those steels. Microstructure, non-metallic inclusions, grains, through hardenability and mechanical properties were analyzed. It was found that there is various influence of microalloying with niobium, boron, or both on various steel characteristics. Research had intention to give contribution to improve quality program of Nikšić Ironworks.

209 pages

85 ref.

Zvonko Erbus

(2.7.1991 – mentorja F. Pavlin, T. Kolenko)

Prenos toplote v kovinskih talinah

Namen dela je spoznati mehanizme prenosa toplote v metalurških reaktorjih (npr. v loncu pri lončni metalurgiji), ki se vse več uporabljajo za obdelavo talin izven peči. Avtor se je osredotočil na prenos toplote v homogenih mirujočih talinah, kjer potekajo reakcije in postavil za ta problem matematični model. Pri tem je upošteval eksotermnost reakcij. Obdelal je prenos toplote v vodi, jeklu, bakru in aluminiju. Ker ni bilo na razpolago posebne opreme za merjenje temperaturnih razlik na relativno majhnih razdaljah in v kratkih časovnih presledkih, matematičnega modela ni mogel preveriti s poskusi.

81 strani

19 cit.

Zvonko Erbus

(2.7.1991 – supervisors F. Pavlin, T. Kolenko)

Heat transfer in metallic melts

Research had intention to learn heat transfer mechanisms in metallurgical reactors (e.g. ladle) which are widely used in the out-of-furnace treatment of melts. Author focused the heat transfer in homogeneous steady melts in which reactions take place. He developed a mathematical model, taking in account exothermal reactions. Heat transfer in hot water, steel, copper and aluminium was analyzed. Since equipment for measuring temperature differences on small distances and in short intervals was not available the mathematical model could not be tested.

81 pages

19 ref.