

## Hladno preoblikovanje superferitnega jekla

Boris Arzenšek, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana  
 L. Vehovar, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Ljubljana  
 F. Perko, Železarna Jesenice  
 J. Mrak, Železarna Jesenice  
 N. Vojnovič, TOVIL Ljubljana  
 D. Lazar, Plamen Kropa  
 F. Legat, Veriga Lesce

*Superferitna nerjavna jekla lahko po ceni, preoblikovalnih sposobnostih in korozijski odpornosti primerjamo z austenitnimi nerjavnimi jekli. V raziskavi smo ugotavljali preoblikovalne sposobnosti superferitnega jekla z vsebnostjo 16,8% Cr in 0,0307% C+N, izdelanega v Železarni Jesenice. Ugotavljali smo jih z mehanskimi preizkusi, preizkusi vlečenja žice in izdelavo vijakov, matic in verige.*

### 1. UVOD

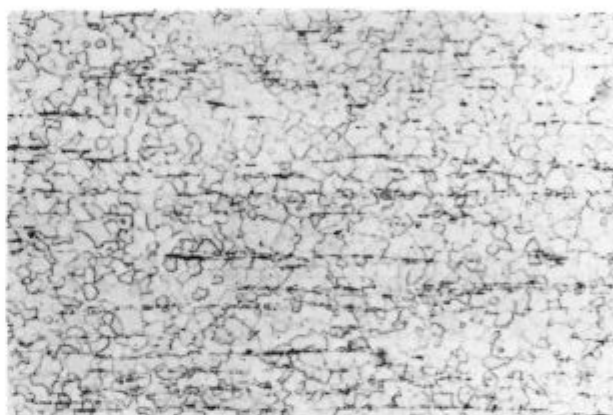
Z uvedbo novih modernih tehnologij izdelave nerjavnih jekel so se tudi v Železarni Jesenice odprle možnosti za izdelavo superferitnih nerjavnih jekel, ki predstavljajo tudi v svetu zahtevnejši jeklarski izdelek. Superferitna jekla ne vsebujejo niklja, zato so precej cenejša od austenitnih, zaradi svojih zelo dobrih preoblikovalnih sposobnosti in korozijske odpornosti pa jih na številnih področjih uporabe tudi uspešno nadomeščajo. Imajo 16 in več odstotkov Cr in nizko vsebnost C+N, ki naj ne bi bila večja od 250 ppm, pri korozijsko bolj obstojnih jeklih pa tudi 2% Mo. Superferitna nerjavna jekla izdeluje le nekaj proizvajalcev v najbolj razvitih državah. Zaradi različnih tehnologij izdelave se razlikujejo predvsem po vsebnosti C+N, zato je bil cilj te raziskave preizkusiti tudi jeklo, izdelano v Železarni Jesenice in ga primerjati z austenitnim nerjavnim jeklom in maloogljčnim jeklom, namenjenim za masivno preoblikovanje.

### 2. Mehanske in preoblikovalne lastnosti

V raziskavi smo preizkušali superferitno jeklo vrste Acrom 1ex, ki je bilo izdelano, izvaljano in žarjeno v Železarni Jesenice.

Kemična sestava jekla v odstotkih je bila naslednja:

0,021 C, 0,59 Si, 0,56 Mn, 16,90 Cr, 0,0097 N (C+N = 0,0307)



**Slika 1**

Mikrostruktura žice iz jekla Acrom 1ex pred vlečenjem s premerom 6 mm (pov. 100x)

**Figure 1**

Microstructure of wire made of Acrom 1ex steel, before drawing, diameter 6 mm (magn. 100x)

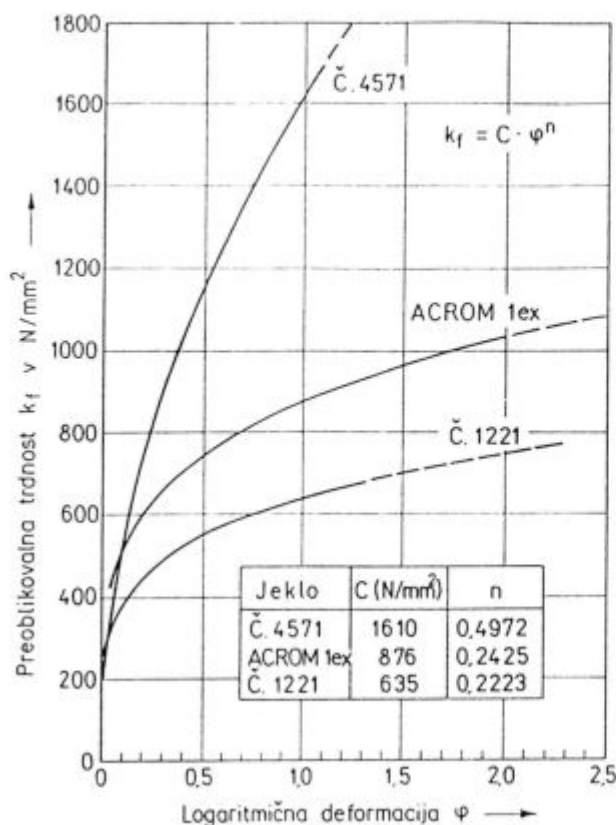
Mikrostruktura jekla je bila sestavljena iz feritnih zrn velikosti 6 do 7 po skali ASTM. Prikazali smo jo na sliki 1. Naredili smo tudi trgalne preizkuse žic. Rezultati so bili naslednji:

Nap. teč.	Trdnost	Raztezek	Kontrak.	Trdota
N/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	%	%	HV4
315	476	30	84	167

Če primerjamo rezultate mehanskih preizkusov preizkušane superferitnega jekla z austenitnim nerjavnim jeklom vrste 18/8 z nizko vsebnostjo ogljika, namenjenim za masivno preoblikovanje, bi ugotovili, da ima superferitno jeklo približno za 70 N/mm<sup>2</sup> višjo napetost tečenja in za prav toliko nižjo trdnost ter za 5 do 10% večjo kontrakcijo. Iz omenjenih razlik v kontrakcijah jekel bi lahko zaključili, da ima superferitno jeklo boljše preoblikovalne sposobnosti kot austenitno, iz razlik za napetosti tečenja in trdnosti pa, da se superferitno jeklo med preoblikovanjem manj utr-

\* Rokopis prejet: avgust 1991

\*\* Originalno objavljeno: ŽZB 1991/3



Slika 2

Preoblikovalne trdnosti jekla Acrom 1ex v primerjavi z jekloma Č.1221 in Č.4571

Figure 2

Yield strength of Acrom 1ex steel compared to those of Č.1221 and Č.4571 steel

juje. Do enakih sklepov smo prišli tudi po primerjavi rezultatov deformacijskih trdnosti - krivulj tečenja, ki smo jih za omenjena jekla tudi naredili in prikazali na diagramu na sliki 2. Zaradi boljše predstavitve preoblikovalnih sposobnosti superferitnega jekla smo v diagramu prikazali tudi krivuljo tečenja za maloogljčno jeklo vrste Č.1221 (JMP15), ki je tudi namenjeno za masivno preoblikovanje. Iz višin krivulj tečenja vidimo, da so vrednosti preoblikovalnih trdnosti za jeklo Acrom 1ex med vrednostmi za austenitno nerjavno jeklo in maloogljčno jeklo. Vrednosti za jeklo Acrom 1ex so nekoliko višje kot pri jeklu Č.1221, utrjujeta pa se podobno, kar nam dokazuje majhna razlika med vrednostima eksponentov utrjevanja -n. Povsem drugače je pri austenitnem nerjavnem jeklu, ki se še enkrat bolj utrjuje kot superferitno jeklo, njegove preoblikovalne trdnosti pa so mnogo višje.

Glavni namen narejenih mehanskih preizkusov in ugotavljanja preoblikovalnih sposobnosti superferitnega jekla je bil ugotoviti orientacijske preoblikovalne sposobnosti jekla za vlečenje in nadaljnjo izdelavo vijakov, matic in verig.

Tabela 1: Premeri in redukcije vlečenja žice ACROM 1ex

Vlek št.	Premer v mm	Deformacija		
		$\epsilon_p$ (%)	$\epsilon_{sk}$ (%)	$\phi_{sk}$
	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
4	3,65	21,5	63,0	0,99
5	3,21	22,6	71,4	1,25
6	2,85	21,1	77,4	1,49
7	2,51	22,4	82,5	1,74
8	2,20	23,2	86,5	2,01
9	2,01	16,5	88,8	2,19
10	1,78	21,6	91,2	2,43
11	1,65	14,1	92,4	2,58
12	1,50	17,3	93,7	2,77

Tabela 2: Premeri in redukcije vlečenih žic iz jekla ACROM 1ex za izdelavo vijakov, matic in verig

Premer v mm	Deformacija-skupna		Predelovalec
	$\epsilon_{sk}$ (%)	$\phi_{sk}$	
6,0			
5,80	6,5	0,07	Plamen
4,98	31,1	0,37	Veriga
4,35	47,4	0,64	Tovil
3,98	56,0	0,82	Veriga
3,93	57,1	0,85	Tovil
3,45	66,9	1,11	Tovil

### 3. Vlečenje jekla

Drugi preizkus ugotavljanja preoblikovalnih sposobnosti superferitnega jekla so bili preizkusi vlečenja, ki smo jih naredili z namenom, da bi ugotovili največje deformacije, ki jih jeklo prenese brez vmesnega žarjenja, in do kako velikih stopenj deformacije ga lahko vlečemo, da bi pri nadaljnji hladni predelavi še preneslo izdelavo vijakov in matic.

Žico premera 6 mm smo pred vlečenjem žarili, jo zlužili in nanjo nanesti nosilec maziva, ki ga uporabljamo pri vlečenju nerjavnih jekel. Kot mazivo smo pri vlečenju uporabljali stearatni prašek, ki ga prav tako uporabljamo pri vlečenju nerjavnih jekel. Vse preizkuse vlečenja smo naredili na enostopenjskem vlečenem stroju na Inštitutu za kovinske materiale in tehnologije pri hitrosti vlečenja približno 0,55 m/s. Delne redukcije pri vlečenju so bile velike približno

**Tabela 3:** Mehanske lastnosti vlečene žice iz jekla ACROM 1ex

Premer v mm	Nap. teč. $R_e$ v $N/mm^2$	Trdnost $R_m$ v $N/mm^2$	Raztezek A v %	Kontrak. Z v %	Trdota HV4
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
3,65	739	797	4	66	263
3,21	780	838	3	66	271
2,85	815	892	3	63	275
2,51	872	921	3	61	284
2,20	916	968	3	60	287
2,01	950	1000	3	60	290
1,78	1004	1049	3	59	290
1,65	1028	1070	3	59	298
1,50	1060	1107	3	58	304



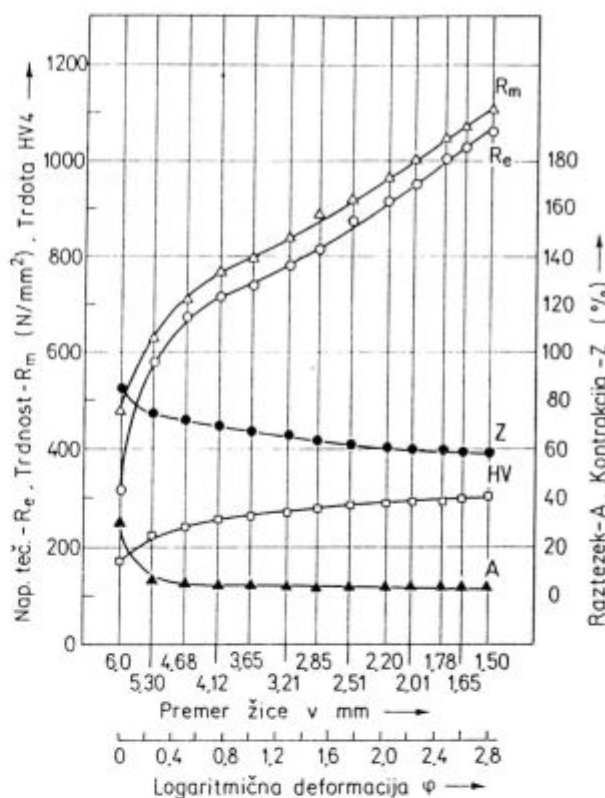
**Slika 3**

Mikroposnetek žice iz jekla Acrom 1ex po vlečenju do premera 3,21 mm,  $\epsilon = 71\%$  (pov. 100x)

**Figure 3**

Micropicture of wire made of Acrom 1ex steel, after drawing to 3,21 mm diameter,  $\epsilon = 71\%$  (magn. 100x)

22%, podobne kot jih lahko uporabljamo tudi pri vlečenju austenitnih nerjavnih jekel, pri tanjših dimenzijah pa, zaradi razpoložljivih vlečnih votlic, tudi nekaj manjše. Žico smo vlekli tudi do tistih zelenih dimenzij, iz katerih so v Tovarni vijakov Tovil Ljubljana, v Plamenu Kropa in Verigi Lesce izdelali vijake, matice in verige. Premere in delne ter skupne deformacije vlečenih žic smo zapisali v tabelah 1 in 2. Deformacij nismo izrazili le s specifičnimi deformacijami temveč, zaradi lažje primerjave deformacij in preoblikovalnih napetosti - trdnosti, prikazanih na sliki 2, tudi z logaritmičnimi deformacijami. V tabeli 1 vidimo, da smo žico uspeli brez vmesnega žarjenja potegniti celo do premera 1,5 mm do skupne specifične deformacije 93%, ne da bi se med vlečenjem trgala. Austenitno



**Slika 4**

Mehanske lastnosti jekla Acrom 1ex po vlečenju do različnih premerov

**Figure 4**

Mechanical properties of Acrom 1ex steel, after drawing to various diameters

nerjavno žico običajno vlečemo do skupne deformacije 70%, kar je več kot še enkrat manj kot prenese superferitna žica, zato lahko zaključimo, da ima preizkušano

superferitno jeklo odlične vlečne sposobnosti. Zaradi boljše predstavitve superferitnega jekla smo na sliki 3 prikazali tudi mikrostrukturo vlečene žice premera 3,21 mm.

Vse vlečene žice smo preizkusili s trgalnimi preizkusi in jim izmerili mikrotrdote. Rezultate smo zapisali v tabelah 3 in 4, v obliki diagrama pa prikazali na sliki 4. Trdote jekla smo, zaradi majhnih premerov vlečene žice in meritev trdot profilov izdelanih vijakov ter matic, merili po Vickersu pri obremenitvi 4 kp. Iz primerjave rezultatov trgalnih preizkusov vidimo, da se z deformacijo raztezek superferitnega jekla hitro manjša, saj že po prvem vleku pade na 6%. Če bi iz raztezkov sklepali na preoblikovalne sposobnosti jekel, bi lahko zaključili, da ima superferitno jeklo slabe preoblikovalne sposobnosti. Do podobnih zaključkov bi lahko prišli tudi na osnovi rezultatov trdnosti, ki so že pri drugem vleku na tisti splošno veljavni zgornji meji  $650 \text{ N/mm}^2$ , na osnovi katere lahko po industrijskih izkušnjah še sklepamo na dobro preoblikovalnost jekla pri masivnem preoblikovanju. Ker vemo, da lahko iz velikosti raztezka naredimo le relativno oceno o preoblikovalni sposobnosti jekla, ker je ta zelo odvisen od velikosti merilne dolžine, smo o preoblikovalnih sposobnostih vlečene žice sklepali iz izmerjenih kontrakcij, iz katerih lahko realno ocenjujemo preoblikovalne sposobnosti jekla.

#### 4. Masivno preoblikovanje jekla

Omenili smo že, da smo vijake, matic in verige izdelali iz žic v vlečenem stanju, katerih premere in mehanske lastnosti smo zapisali v tabeli 2. Vijake smo izdelali predvsem v Tovarni vijakov Tovil, matic v Plamenu Kropa, verige pa v Verigi Lesce. Da bi ugotovili preoblikovalne sposobnosti jekla pri masivnem preoblikovanju, ki se s stališča delovanja preoblikovalnih sil pa tudi mazanja zahtevnejši preoblikovalni postopek od vlečenja, smo izdelali le najzahtevnejše vijake. To so bili vijaki s širokimi in sploščenimi glavami in kniping utori in smo jih poleg matic in verige prikazali na sliki 5.



Slika 5

Vijaki, matic in verige, izdelani iz jekla Acrom 1ex

Figure 5

Screws, nuts, and chain, made of Acrom 1ex steel

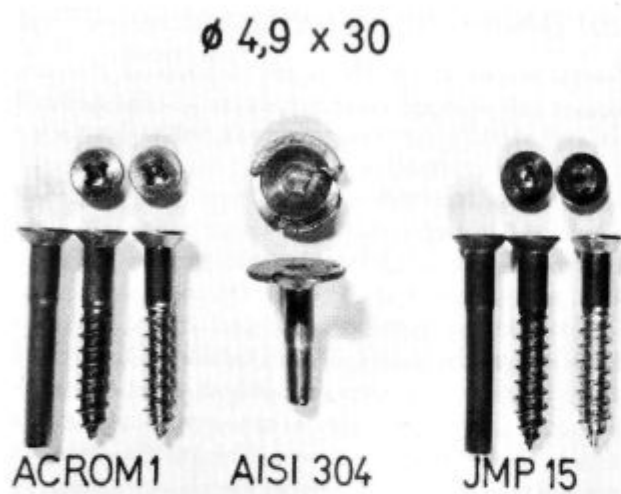
#### 4.1 Izdelava vijakov

Preoblikovalne sposobnosti jekla Acrom 1ex smo v primerjavi z drugimi jekli zelo ilustrativno prikazali na sliki 6, kjer so prikazani vijaki z oznako O4,9 x 30. Izdelali smo jih iz žice premera 4,35 mm, iz treh vrst jekel, poleg preizkušane jekla Acrom 1ex (na sliki je označen z Acrom 1) še iz austenitnega nerjavnega jekla vrste AISI 304 in jekla JMP 15. Žica iz jekla Acrom 1ex je bila v vlečenem stanju, s stopnjo deformacije 47%, žici AISI 304 in JMP 15 pa sta bili le dimenzijsko vlečeni z nekaj odstotno deformacijo. Na sliki 6 je prikazana oblika vijaka pred valjanjem navoja, po valjanju navoja in po finalizaciji pri jeklih Acrom 1ex in JMP 15, pri jeklu AISI 304 pa je prikazano jeklo le po preizkusu izdelave vijaka. Pri jeklu AISI 304 je dvakrat pri poizkusu izdelave stebila vijaka in vtisko-

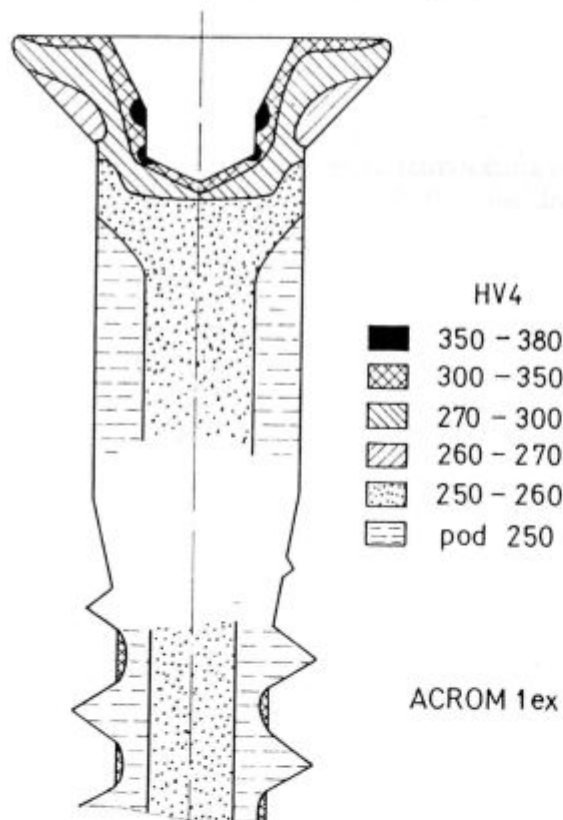
Tabela 4: Mehanske lastnosti vlečene žice iz jekla ACROM 1ex za izdelavo vijakov, matic in verig

Premer v mm	Nap. teč. $R_e$ v $\text{N/mm}^2$	Trdnost $R_m$ v $\text{N/mm}^2$	Raztezek A v %	Kontrak. Z v %	Trdota HV4
5,80	432	523	10	80	184
4,98	640	678	5	71	233
4,35	693	734	5	67	245
3,98	737	781	4	69	256
3,93	764	793	4	68	260
3,45	768	832	4	64	265

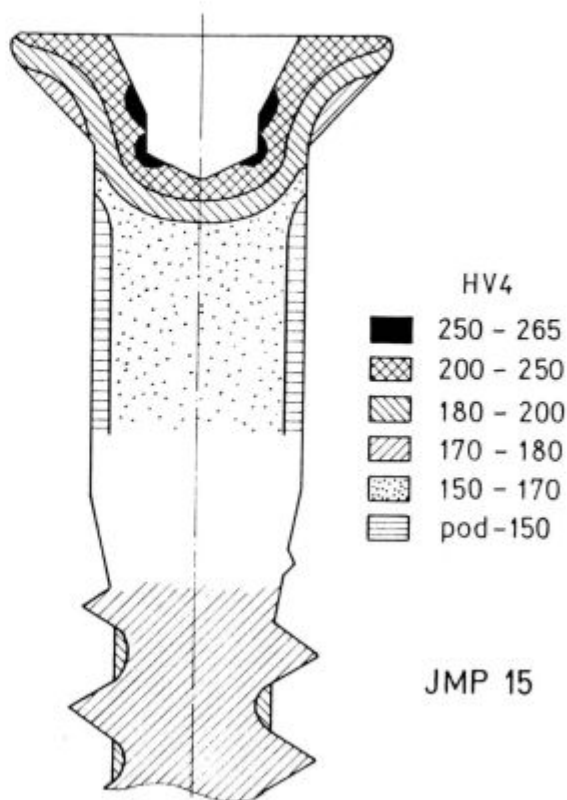




**Slika 6**  
Vijaki, izdelani iz različnih vrst jekel  
**Figure 6**  
Screws made of various steel types



**Slika 7**  
Mikrotrdote vijaka, izdelanega iz jekla Acrom 1ex  
**Figure 7**  
Microhardness values of the screw made of Acrom 1ex steel



**Slika 8**  
Mikrotrdote vijaka, izdelanega iz jekla JMP 15  
**Figure 8**  
Microhardness values of the screw made of JMP 15 steel

vanju križne glave žal prišlo do loma glav orodja, kar nam več kot zgovorno dokazuje preslabe preoblikovalne sposobnosti jekla AISI 304 za izdelavo omenjenih vijakov.

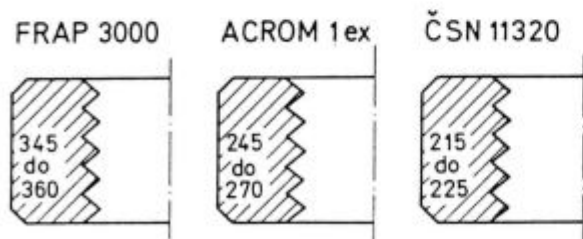
Omenjeni vijaki so deformacijsko zelo zahtevni izdelki, zato smo prav pri njih želeli ugotoviti razporeditev deformacij oziroma tečenje jekla. Ugotavljali smo jih z meritvami mikrotrdot na vzdolžnih presekih vijakov. Tako izmerjene mikrotrdote smo za vijake iz jekel Acrom 1ex in JMP 15 grafično prikazali na slikah 7 in 8. Iz primerjav trdot vidimo, da je tečenje jekla pri obeh jeklih približno enako in da so mikrotrdote vijaka, izdelanega iz jekla Acrom 1ex, približno za 100 HV višje kot pri jeklu JMP 15. Če primerjamo deformaciji žic obeh jekel pred izdelavo vijakov in pri jeklu Acrom 1ex od izmerjenih trdot vijaka odštejemo razliko trdot, ki smo jo dobili pri vlečenju žice, približno 60 HV, ugotovimo, da imata jekli podobne preoblikovalne sposobnosti, le s to razliko, da je jeklo Acrom 1ex nekoliko trše. Razporeditve trdot po preseku vijaka, s tem pa tudi deformacije jekla, so največje v glavi vijaka oziroma v korenu utora. Glede na narejene preizkuse izdelave vijakov iz različnih vrst jekel lahko sklepamo, da je jeklo Acrom 1ex zaradi svojih zelo dobrih preoblikovalnih sposobnosti zelo primerno za izdelavo deformacijsko zahtevanih vijakov, predvsem takih, ki jih iz austenitnih nerjavnih jekel ne moremo izdelati.

## 4.2 Izdelava matic

Deformacijsko zelo zahteven izdelek so tudi maticice, ki jih iz nepravilno pripravljenega jekla mnogokrat ne moremo izdelati. Da bi ugotovili primerjavo med superferitnim jeklom in drugimi jekli tudi pri izdelavi matic, smo jih izdelali iz jekla Acrom 1ex, iz austenitnega nerjavnega jekla vrste Frap 3000 in ogljičnega jekla ČSN 11320, iz katerih so v času preizkušanja superferitnega jekla v Plamenu Kropa v redni proizvodnji izdelovali maticice. Jeklo Frap 3000 je bilo izdelano v Italiji, vsebovalo pa je 0,022% C, 17,4% Cr, 9,4% Ni, 0,31% Mo in 3,11% Cu. To jeklo je namenjeno za masivno preoblikovanje. Jeklo ČSN 11320 je bilo češke izdelave, po kemični sestavi pa je podobno jeklu JMP 10. Mehanske lastnosti obeh jekel, ugotovljene v Plamenu Kropa, smo zapisali v tabeli 5. Pri obeh omenjenih jeklih smo maticice izdelovali iz premerov žic 7,8 mm, pri jeklu Acrom 1ex pa iz premera 5,8 mm. Tudi pri maticah smo merili mikrotrdote jekel. Merili smo jih na enak način kot pri vijakih, shematsko pa smo jih prikazali na sliki 9. Iz primerjav mehanskih lastnosti žic in izmerjenih mikrotrdot matic smo ugotovili, da imata jekli Acrom 1ex in jeklo ČSN 11320 podobne preoblikovalne sposobnosti. Drugače je pri jeklu Frap 3000, pri katerem ima podobne mehanske lastnosti le žica, trdote matic pa so kar za 100 HV višje kot pri maticah iz jekla Acrom 1ex. Vzrok je, kot smo že omenili, v mnogo večjem utrjevanju austenitnega jekla. Omeniti moramo tudi, da pomenijo višje trdote in večje utrjevanje jekla med preoblikovanjem tudi večjo obrabo preoblikovalnega orodja, ki je zato pri jeklu Acrom 1ex precej manjša kot pri jeklu Frap 3000, kar je tudi ena od zelo velikih prednosti superferitnega jekla pred austenitnim nerjavim jeklom.

Tabela 5: Mehanske lastnosti žic pred izdelavo matic

Vrsta jekla	Trdnost j. N/mm <sup>2</sup>	Raztezek %	Kontrak. %
Frap 3000	548	37,7	79,3
ČSN 11320	536	17,4	61,7



Slika 9

Mikrotrdote matic (HV4), izdelanih iz različnih vrst jekel

Figure 9

Microhardness values of nuts (HV4) made of various steel types

## 4.3 Izdelava verig

Verigo, prikazano na sliki 5, smo izdelali na industrijskem stroju v Verigi Lesce iz premera vlečene žice 4,98 mm. S stališča preoblikovalnosti predstavlja veriga manj zahteven izdelek, zato smo vse preizkuse osredotočili na kvaliteto zvara. Zvare smo pregledali metalografsko in jih tudi mehansko preizkusili s trgalnimi preizkusi. Pri mikrostrukturnem pregledu zvara smo ugotovili, da so bili zvari po celotnem preseku zapolnjeni, brez porznosti na sredini. V staljenem delu zvara smo opazili le nekoliko večje kristalno zrno. O kvaliteti zvarov pričajo tudi rezultati trgalnih preizkusov: členi verige se niso trgali na zvarjenih mestih, temveč v prehodni coni. Trdnost členov verige je bila v predpisanih vrednostih, zato lahko trdimo, da je jeklo Acrom 1ex uporabno tudi za izdelavo nerjavnih verig.

## 5. Korozijska odpornost jekla

Ena od zelo pomembnih lastnosti superferitnega jekla je tudi njegova korozijska odpornost, ki smo jo ugotavljali z odpornostjo tega jekla proti nastajanju pitting, interkristalne in napetostne korozije v primerjavi z nekaterimi austenitnimi nerjavimi jekli. Ugotovili smo, da je jeklo Acrom 1ex slabše odporno proti pitting koroziji kot austenitni nerjavni jekli vrst Acroni 11Ti in Acroni 11ex. Odpornost jekla proti pitting koroziji bi se izboljšala pri večji vsebnosti Cr in dodatku Mo v jeklu. Omenjeno superferitno jeklo ima visoko odpornost proti interkristalni koroziji in v primerjavi z austenitnimi celo boljšo odpornost proti napetostni koroziji. Vsi omenjeni rezultati veljajo za ugotavljanje korozijske odpornosti superferitnega jekla v močno agresivnih medijih: v raztopini FeCl<sub>3</sub>, NaCl in H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Drugače je s korozijsko odpornostjo jekla v manj agresivnih medijih, kjer ne prevladujejo visoke koncentracije kloridov in pri nizkih pH vrednostih. V takih medijih ima superferitno nerjavno jeklo vrste Acrom 1ex prav tako zadovoljivo korozijsko odpornost kot austenitna nerjavna jekla.

## 6. ZAKLJUČKI

Glavni namen raziskave je bil ugotoviti preoblikovalne sposobnosti superferitnega nerjavnega jekla vrste Acrom 1ex, ki je vsebovalo približno 17% Cr in 0,030% C+N, izdelanega v Železarni Jesenice. Njegove preoblikovalne sposobnosti smo ugotavljali s krivuljami tečenja, preizkusi vlečenja, različnimi mehanskimi preizkusi in masivnim preoblikovanjem. Ugotavljali smo tudi njegovo korozijsko odpornost. Zaradi boljše predstavitve jekla smo njegove preoblikovalne sposobnosti primerjali z dobro preoblikovalnimi jekli za masivno preoblikovanje, korozijsko odpornost pa

tudi z austenitnimi nerjavnimi jekli. Kratke ugotovitve so naslednje:

- Preizkušano superferitno nerjavno jeklo ima odlične preoblikovalne sposobnosti, zato je zelo primerno za izdelavo deformacijsko zelo zahtevnih izdelkov. Med preoblikovanjem se utrjuje podobno kot maloogljična jekla, preoblikujemo pa ga pri nekoliko večjih preoblikovalnih napetostih. Austenitno nerjavno jeklo se med preoblikovanjem utrjuje še enkrat bolj, še enkrat večje pa so tudi njegove preoblikovalne napetosti. Austenitno nerjavno jeklo prenese tudi precej manjše deformacije kot superferitno jeklo, zato je superferitno jeklo zelo uporabno predvsem pri izdelavi tistih izdelkov, npr. vijakov, ki jih iz austenitnih jekel zaradi preslabih preoblikovalnih sposobnosti ne moremo izdelati.
- Superferitno nerjavno jeklo ne vsebuje niklja, zato je cenejše od austenitnega nerjavnega jekla, kar je tudi ena od njegovih velikih prednosti pred austenitnim.
- Preizkušano superferitno nerjavno jeklo ima v korozijsko zelo agresivnih medijih v splošnem nekoliko slabšo korozijsko odpornost kot austenitno, v manj agresivnih pa prav tako zadovoljivo. Korozijsko odpornost jekla bi povečali z večjo vsebnostjo kroma in dodatkom molibdena v jeklu, kar pa že pomeni drugo vrsto superferitnega jekla.

## LITERATURA

1. Katsuhisa Miyakusu, Yoshihiro Uematsu, Kayuo Hoshino: Effect of Alloying Elements on Strain

Hardening Exponent of Ferritic Stainless Steel, Transactions ISIJ, Vol. 26, 1986, 228-235.

2. P. Richards, R. Sheppard: Constitutive relationship and structural characteristics of two stainless steels deformed in torsion and rolling, Materials Science and Technology, August 1986, Vol. 2, 841-846.
3. P. Čížek, R. Riman, V. Šafek, V. Černý: Vpliv deformace za tepla a žhání na strukturu feritické korozivzdorné oceli 015Cr17Ti, Hutnické listy, 1, 1989, 32-40.
4. J.D. Gates, R.A. Jago: Effect of nitrogen contamination on intergranular corrosion of stabilized ferritic stainless steels, Materials Science and Technology, June 1987, 3, 450-454.
5. S. Akiyama, S. Kiya, K. Goshokubo, K. Yokoyama, K. Hirahara, H. Hoshu: Development of an Improved Corrosion Resistant Ferritic Stainless Steel "NAR-FC-3", Nippon Stainless Report, 12(1986) p.31.
6. B. Arzenšek, F. Perko, J. Mrak, N. Vojnovič, D. Lazar, F. Legat, D. Kmetič, J. Žvokelj: Hladno preoblikovanje superferitnega jekla, Poročilo Metalurškega inštituta, Ljubljana, december 1990.
7. Akiyama, S. Kiya, K. Goshokubo, K. Yokoyama, K. Hirahara, H. Hoshi: Development of an Improved Corrosion Resistant Ferritic Stainless Steel NAR-FC-3, The Charles Hatchett Award Paper, 3, 1989.
8. L. Vehovar, D. Gregorič: Korozijska odpornost nerjavnega superferitnega jekla Acrom 1S, Poročilo MI, 1990.
9. P. Čížek, R. Riman, D. Kmetič, B. Arzenšek: Rekristalizacija feritnih nerjavnih jekel z zelo nizko vsebnostjo ogljika in dušika, ŽEZB24 (1990)3, 137-144.
10. P. Čížek, R. Riman, V. Šafek, V. Černý: Vpliv podmínek deformace za tepla a žhání na strukturní charakteristiky feritické korozivzdorné oceli 015Cr17Mo2Nb, Hutnické listy, 2, 1989, 99-106.

## ZUSAMMENFASSUNG

Superferritische nichtrostende Stähle zeichnen sich vor allem durch Hervorragende Verformungseigenschaften, niedrigeren Preis als die austenitischen Stähle und guter Korrosionsbeständigkeit. Die Verformungseigenschaft und die Korrosionsbeständigkeit des superferritischen Stahles ist abhängig von der chemischen Zusammensetzung von dem Gehalt an Cr, C + N, und Mo der die Korrosionsbeständigkeit ziemlich steigert. Zweck der Untersuchungen war die Verformungseigenschaften und die Korrosionseigenschaften eines superferritischen Stahles mit 17% Cr und 0,0307% C+N, erzeugt im Hüttenwerk Jesenice zu bestimmen. Die Verformungsfähigkeit ist mittels der Fließkurven, durch Ziehversuche durch mechanis-

che Untersuchungen und die Herstellung von Schrauben, Muttern und Ketten bestimmt worden. Dessen Eigenschaften sind mit der Verformungsfähigkeit und der Korrosionsbeständigkeit eines austenitischen nichtrostenden Stahles des Types 18/8 und der Verformungsfähigkeit eines Kohlenstoffarmen Stahles mit dem C gehalt von 0,1 und 0,15% C verglichen worden.

Es ist festgestellt worden, daß der untersuchte superferritische Stahl eine sehr gute Verformungsfähigkeit besitzt. Während der Kaltverformung verfestigt sich ähnlich wie der Kohlenstoffarme Stahl und um die Hälfte weniger als der austenitische nichtrostende Stahl. Die Verformung verläuft bei etwas höheren Verformungsspannungen wie

beim kohlenstoffarmen Stahl und erheblich niedrigeren als beim austenitischen Stahl. Beim Ziehen ist ein Verformungsgrad über 90% ohne Zwischenglühung möglich. Soeben ist die Herstellung anspruchsvoller Schrauben, die aus dem austenitischen Stahl wegen zu schlechter Verformungseigenschaften nicht hergestellt werden konnten, ohneweiters möglich. Der untersuchte superferritische Stahl besitzt hinsichtlich der Korrosion in sehr aggressiven Medien im allgemeinen etwas schlechtere Korrosionsbeständigkeit als der austenitische Stahl, in weniger ag-

gressiven wo hohe Konzentrationen an Chloriden nicht überwiegen und bei niedrigen pH Werten ist die Korrosionsbeständigkeit ausreichend, wie beim austenitischen nichtrostenden Stahl. Der untersuchte superferritische Stahl besitzt viel bessere Verformungseigenschaften als der austenitische nichtrostende Stahl, deswegen ist er für die Herstellung hinsichtlich der Verformung sehr anspruchsvollen und korrosionsbeständigen Erzeugnisse sehr geeignet.

### SUMMARY

Superferritic stainless steel is superior mainly due to good workability, lower price compared with austenitic stainless steel, and good corrosion resistance. Workability and corrosion resistance of superferritic steel depend on chemical composition, on contents of Cr, C+N, and alloyed Mo which rather increases the corrosion resistance. The purpose of the investigation was to determine the workability and corrosion properties of superferritic steel with 17% Cr and 0,0307% C+N, made in Jesenice Steelworks. Workability of steel was determined by mechanical tests, strain-stress curves, drawing tests, and by manufacturing screws, nuts and chains. Its properties were compared also with the workability and corrosion resistance of 18/8 austenitic stainless steel, and with the workability of low-carbon steel containing 0,1 and 0,15% C.

It was found that tested superferritic steel had very good workability. During cold working it is hardened like low-carbon steel but the degree of hardening is half of that

observed with austenitic stainless steel. It must be worked at slightly higher working stresses than it is the case with low-carbon steel, but these stresses are pretty lower than those needed for austenitic steel. In drawing it can stand deformation of over 90% without intermediate annealing, and also demanding screws can be made of it while they could not be made of austenitic stainless steel due to its low workability. The tested superferritic steel had in very aggressive corrosion media generally slightly lower corrosion resistance than austenitic steel, in less aggressive media where chlorine ions did not prevail and at low pH values its corrosion resistance was satisfactory just as that of austenitic stainless steel. The tested superferritic steel had much better workability than austenitic stainless steel and thus it is very suitable for manufacturing products where high deformations and good corrosion resistance are demanded.