



UNIVERZITET U ZENICI  
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI

# SITNOZRNI KONSTRUKCIJSKI ČELICI

- SEMINARSKI RAD -

**Mentor:**  
*Doc. Dr. Nađija Haračić*

**Student:**  
*Mutapčić Almir*

Zenica, april 2006. godine

## 1. UVOD

### 1.1. Elementi koji se koriste za legiranje sitnozrnih konstrukcijskih čelika Al, Nb, V, Ti, Mo

Sitnozrni konstrukcijski čelici nazivaju se još i mikrolegiranim sa aluminijem, niobijem, vanadijem, titanijem (Al, Nb, V, Ti). Navedeni elementi stvaraju nitride, carbide ili karbonitride i sprječavaju rast kristalnih zrna u austenitnom području. To omogućava dobijanje zrna sa veličinom 6 ili manje u stanju isporuke ili poslije zavarivanja. Svojstva sitnozrnih konstrukcijskih čelika propisana su standardom JUS C.B0.502-79, po DIN 17102 i EN 10113 dio 1 do 3 (04.1993.).

Oni se obično proizvode u debljinama od 50 mm, imaju sposobnost za zavarivanjem po svim načinima. Isporučeni u normaliziranom stanju imaju garantirani minimalni napon tečenja od 250 do 500 N/mm<sup>2</sup> za debljine proizvoda do 16 mm (najčešće limovi i trake).

Upotreba sitnozrnih konstrukcijskih čelika sve je veća u svijetu, osobito zadnjih 20 godina za sva područja tehnike, gdje se traži visoka nosivost čelika i gdje ograničeni presjeci trebaju prenjeti velike sile (visoki stepen iskorišćenja zatezne čvrstoće, tj. što veći odnos  $R_e/R_m$ ). Ti čelici imaju nizak sadržaj ugljika, a praktično su legirani sa navedenim elementima u manjim količinama radi povećanja napona tečenja na cca 400 do 1000 N<sup>2</sup>/mm.

### 1.2. Veličina zrna

Kod čelika koji nisu dezoksidirani aluminijem dolazi pri cementaciji (naugljčavanje površine čelika) od manjeg ili većeg porasta austenitnih zrna, što je, između ostalog, nepoželjno jer se pri kasnijem kaljenju, javlja grub i krhak martenzit. Da bi se za dati čelik ispitala nasljedna veličina zrna koristi se metoda po Mc-Quaid Ehnu. Kod ove metode određivanja austenitnog zrna čelik se žari 8 sati na 930°C u sprášenoj smjesi drvenog uglja i barijum-karbonata i na kraju polahko hladi. Pri tome se na granicama austenitnih zrna izdvaja sekundarni cementit Fe<sub>3</sub>C. Nagrizanjem metalografskih uzoraka alkalnim natrijumpikratom, perlit, koji je nastao iz austenita, ostaje svijetao, dok se cementit na granicama zrna boji tamno. On obrazuje tamnu mrežu i na taj način obilježava prvobitnu granicu austenitnih zrna.

Pri mikroskopskom povećanju od 100 puta poredi se cementitna mreža sa nizom shematskih slika, koje imaju različite veličine zrna i koje nose brojeve od 1 do 8. Ako  $z$  označava broj zrna na kvadratnom inču, pri povećanju od 100 puta, a  $N$  broj slike za poređenje, tada definiciju ASTM (American Society for Testing Materials) skale za veličinu zrna važi odnos:

$$z = 2^{N-1}$$

Veličina zrna br. 1 pd ASTM-u predstavlja veličinu zrna čiji je poprečni presjek pri povećanju od 100 puta tačno 1 kvadratni inč. Preračunavanje u metrički sistem datoj u tabeli 1 i obavlja se po jednačini:

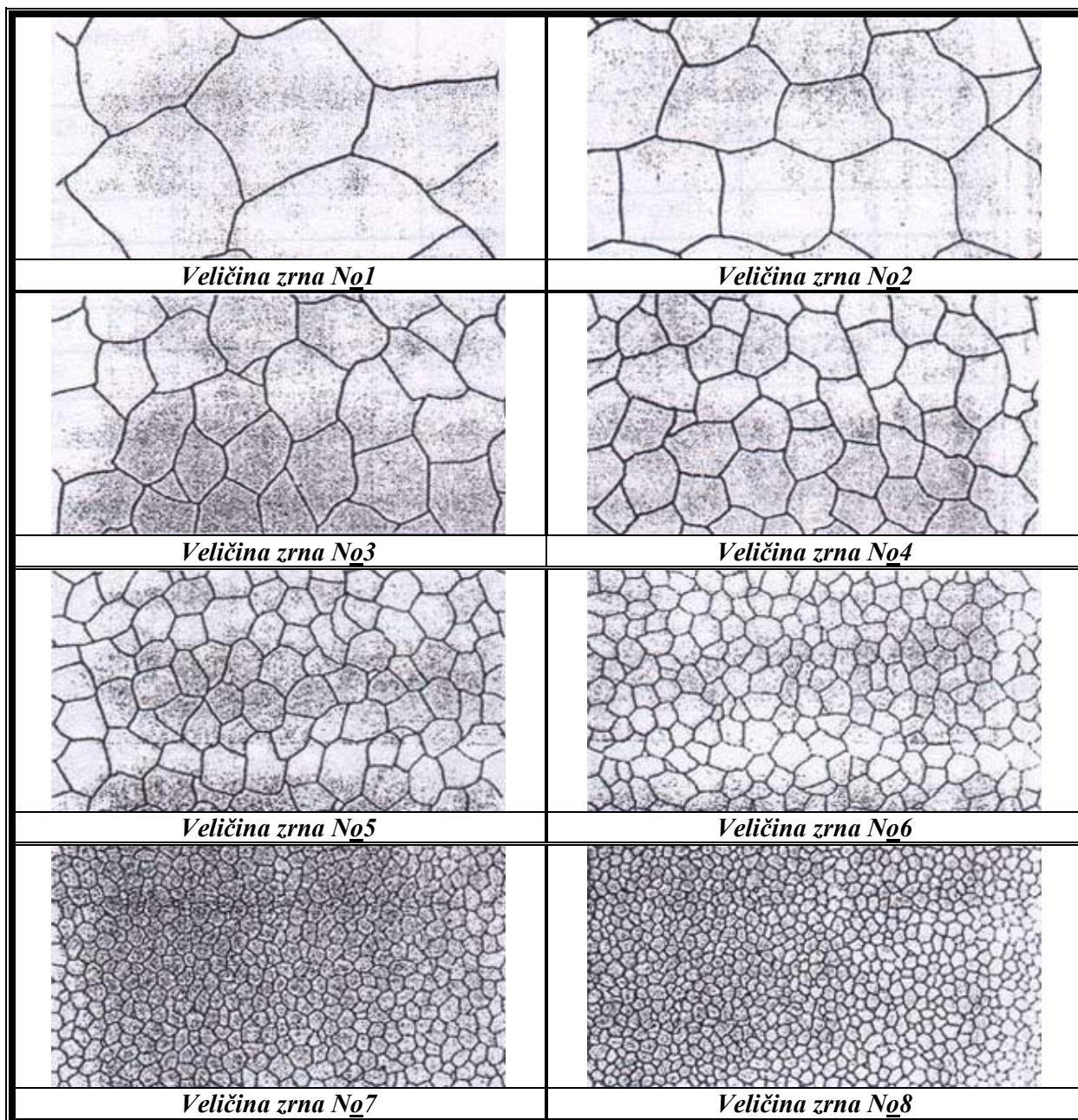
$$z = 16 * 2^{N-1}$$

Navedene veličine zrna po ASTM-u (slika 1) ne koriste se samo za određivanje veličine zrna cementiranih čelika (zbog kojih je ta metoda na početku i uvedena) već i uopšte za određivanje veličine zrna.

Ako umjesto povećanja od 100 puta uzmemo povećanje od 200 puta, tada veličina zrna postaje za dva broja veća; ako uzmemo povećanje od 50 puta tada je veličina dva broja manja nego što je prikazana u tabeli 1. Zbog toga se pomoću ovih 8 gradacija u slikama za poređenje mogu ubuhvatiti kako ekstremno velika zrna, tako ekstremno mala.

**Tabela 1. Proračunavanje ASTM-veličine zrna u metrički sistem**

Br. ASTM	Broj zrna po kvadratnom inchu povećanje 100 puta	Broj zrna po mm <sup>2</sup>	Površina zrna u p.m <sup>2</sup>
1	1	16	62000
2	2	32	31000
3	4	64	15600
4	8	128	7800
5	16	256	3900
6	32	512	1950
7	64	1024	980
8	128	2048	490



**Slika 1. Uporedni nizovi za određivanje veličine zrna po ASTM-u  
(Važe za mikroskopsko povećanje od 100 puta)**

## 2. Osobine sitnozrnih konstrukcijskih čelika

Sitnozrni konstrukcijski čelici se iznimno drukčije označavaju u odnosu na propisani način po JUS C.B0.002. Njihova oznaka sastoji se od slovnog simbola Č i osnovne oznake. Osnovnu oznaku čine dva slova i tri brojana simbola i to:

- ČRO – osnovni čelici (po DIN-u St E...),
- ČRV – čelici za upotrebu na povišenim temperaturama (po DIN-u W St E...),
- ČRN – čelici za upotrebu na sniženim temperaturama (po DIN-u T St E...).

Kod ovih oznaka simbol R ističe da je napon tečenja, odnosno granica plastičnosti glavno svojstvo za karakterizaciju ovih čelika, čija je minimalna vrijednost u  $\text{N/mm}^2$  i sadržana u osnovnoj oznaci.

Dok se neki osnovni konstrukcijski čelici (podgrupa D) mogu koristiti na sniženim temperaturama do  $-20\text{ }^\circ\text{C}$ , kod sitnozrnih konstrukcijskih čelika to je područje prošireno i do minus  $60\text{ }^\circ\text{C}$  (čelici sa oznakom ČRN250 i ČRN 280). Čelici za povišene temperature upotrebljavaju se do  $400\text{ }^\circ\text{C}$ , pri čemu im se postepeno smanjuje napon tečenja, npr. kod ČRV 250 na  $400\text{ }^\circ\text{C}$  iznosi  $R_{eH} = 110\text{ N/mm}^2$ , a kod ČRV 280 na  $400\text{ }^\circ\text{C}$  je  $R_{eH} = 190\text{ N/mm}^2$ .

Sitnozrni konstrukcijski čelici se upotrebljavaju za izradu čeličnih konstrukcija sa povećanim zahtjevima kao što su:

- Visokotlačni cjevovodi,
- Sudovi pod pritiskom (tlakom),
- Željeznički vagoni,
- Cisterne za prevoženje plina,
- Elementi drumskih vozila,
- Mostovi,
- Industrijske hale,
- Različite zavarene konstrukcije.

Osim limova i traka profili iz sitnozrnastih konstrukcijskih čelika mogu biti još: okrugli, kvadratni, pljostnati, šetougaoni, te nosači i kutnici.

Uobičajeno stanje isporuke je normalizirano, a može biti i valjano sa kontroliranom temperaturom (termomehanički obrađeno). Također može biti izvršeno i naponsko žarenje na temperaturama  $530\text{ }^\circ\text{C}$  od  $580\text{ }^\circ\text{C}$ , pri čemu se preporučuje minimalno vrijeme od 2 minute po 1 mm debljine od postizanja ravnomjerne temperature po presjeku ili najmanje 30 minuta. U debeli 1 date su propisane vrijednosti za hemijski sastav i osnovna mehanička svojstva (karakteristike zatezanja i savijanja) sitnozrnih konstrukcijskih čelika. Otpornost prema krtom lomu se provjerava ispitivanjem udarom sa određivanjem utrošene energije udara KU 300/03 ili rjeđe KV i to za: limove i trake u poprečnom smjeru, a za profile i šipkaste čelike u uzdužnom smjeru. Kod nekih čelika za snižene temperature traži se i provjera energije udara u normaliziranom i starenom stanju na sobnoj temperaturi. Starenje se vrši hladnom deformacijom za 10 % (ili rjeđe 5 %) i žarenjem na  $250\text{ }^\circ\text{C}$  / 30 minuta epruveta strojarski obrađenih na  $11 \times 9\text{ mm}$ .

To su čelici sa onakama: ČRN 310, ČRN 350, ČRN 380, ČRN 420, ČRN 460 i ČRN 500. Tako npr. čelik ČRN 500 mora imati slijedeće minimalne vrijednosti energije udara (srednja vrijednost od 3 epruvete):

- KU 300/3 uzdužno u normaliziranom stanju ..... min. 62 J /  $+20\text{ }^\circ\text{C}$
- KU 300/3 poprečno u normaliziranom stanju ..... min. 41 J /  $+20\text{ }^\circ\text{C}$
- KU 300/3 uzdužno u normaliziranom i starenom stanju ..... min. 47 J /  $+20\text{ }^\circ\text{C}$
- KU 300/3 poprečno u normaliziranom i starenom stanju ..... min. 35 J /  $+20\text{ }^\circ\text{C}$
- KU 300/3 uzdužno u normaliziranom i starenom stanju ..... min. 27 J /  $-60\text{ }^\circ\text{C}$
- KU 300/3 poprečno u normaliziranom i starenom stanju ..... min. 24 J /  $-60\text{ }^\circ\text{C}$

Problem zavarivanja čelika ove grupe postoji opasnost od nastanka hladnih pukotina. Najvažnije je odabrati konkretan termički ciklus zavarivanja koji neće imati izrazito negativan uticaj na osobine čelika dobijene usitnjavanjem zrna i procesima izlučivanja. Na termički ciklus pri zavarivanju utiče niz faktora kao što su:

- Unesena energija,
- Koeficijent iskorištenja izvora toplote,
- Debljina materijala,
- Temperatura osnovnog materijala,
- Oblik zavarenog spoja i dimenzije,
- Broj slojeva

Ograničenja vezana za relativno visoke vrijednosti CE često diktiraju izbor pogonske energije, odnosno energije koja smije da se unese u jednom prolazu, što oslovljava veći broj prolaza i traži veći brzinu zavarivanja, uz zabranu njihanja dodatnog materijala. Pri višeslojnom zavarivanju usljed efekta popuštanja i višestruke transformacije ZUT-u dobija se niža tvrdoća nego kod jednoslojnog zavarivanja. Sitnozrni čelici povišene čvrstoće mogu da se zavaruju svim konvencionalnim elektrolučnim postupcima.

Ako se želi dokazivanje zavarljivosti, mora se u narudžbi utvrditi način zavarivanja. Za čelike sa sniženim naponom tečenja od 350 N/mm<sup>2</sup> preporučuje se predgrijavanje za sve debljine, ako je temperatura zavarivanja niža od +5 °C. Predgrijavanje se mora obavezno vršiti za čelike sa naponom tečenja  $\geq 350$  N/mm<sup>2</sup>. Pri zavarivanju treba imati u vidu sljedeće:

**Tabela 2. Hemijski sastav sitnozrnih konstrukcijskih čelika:**

Vrsta čelika *	C	Si	Mn	P max.	S max.
ČRO 250 ČRV 250	$\leq 0,18$	$\leq 0,40$	0,40 / 1,30	0,040	0,040
ČRN 250	$\leq 0,16$		0,50 / 1,30	0,030	0,030
ČRO 280 ČRV 280	$\leq 0,18$	$\leq 0,40$	0,50 / 1,40	0,040	0,040
ČRN 280	$\leq 0,16$		0,60 / 1,40	0,030	0,030
ČRO 310 ČRV 310	$\leq 0,18$	$\leq 0,45$	0,60 / 1,50	0,040	0,040
ČRN 310	$\leq 0,16$		0,70 / 1,50	0,030	0,030
ČRO 350 ČRV 350	$\leq 0,20$	0,10 / 0,50	0,90 / 1,00	0,040	0,040
ČRN 350	$\leq 0,18$			0,030	0,030

\* Svi čelici sadrže najmanje 0,015 % aluminija ili 0,2 % niobija ili 0,05 % vanadija. Dopuštene su i kombinacije navedenih elemenata.

**Tabela 3. Plemeniti čelici:**

Elementi	Vrsta čelika	Najveći udio pri	
		Analizi šarže	Analizi komada
Ugljik	ČRO380, ČRV380, ČRN 380 ČRO420, ČRV420, ČRN 420 ČRO460, ČRV460, ČRN 460	0,20	0,22
	ČRO500, ČRV500, ČRN 500	0,21	0,23
Fosfor i sumpor	ČRO380, ČRO420, ČRO460, ČRO500 ČRV380, ČRV420, ČRV460, ČRV500	0,035	0,040
	ČRN380, ČRN420, ČRN460, ČRN500	0,030	0,035

Tabela 4. Mehanička svojstva:

Vrste čelika			Mehanička svojstva						
Osnovni	Za povišene temperature	Za niske temperature	Zatezna čvrstoća za debljine u mm $\leq 50$ N/mm <sup>2</sup>	Granica plastičnosti u mm			Relativno produljenje 1* A <sub>5</sub> min.	Savijanje 1* 2*	
				$\leq 16$	$>16$ $\leq 35$	$>35$ $\leq 50$		Uzdužno	Poprečno
				N/mm <sup>2</sup> min.					
<b>Kvalitetni čelici</b>									
ČRO250	ČRV250	ČRN250	360/480	250	240	25	1a	1a	
ČRO280	ČRV280	ČRN280	390/510	280	270	24	1,5a	2a	
ČRO310	ČRV310	ČRN310	440/560	310	300	23	2a	2,5a	
ČRO350	ČRV350	ČRN350	490/630	350	340	22	2a	3a	
<b>Plemeniti čelici</b>									
ČRO380	ČRV380	ČRN380	500/650	380	370	360	20	2,5a	3,5a
ČRO420	ČRV420	ČRN420	530/680	420	410	400	19	2,5a	3,5a
ČRO460	ČRV460	ČRN460	560/730	460	450	440	17	3a	4a
ČRO500	ČRV500	ČRN500	610/770	500	480	470	16	3a	4a

1\* - Za debljine do 50 mm

2\* - a – debljina epruvete, ugao savijanja 180°

$$a) C_{ekv.} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{5} + \frac{V}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cu}{15}$$

$$b) C_{ekv.} = \max. 0,48$$

c) Temperatura predgrijavanja se određuje po formuli:

$$T (°C) = 1440 \times P_C - 392, \text{ gdje je}$$

$$P_C = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Cr}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{N}{60} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B + \frac{t}{600}, \text{ uz}$$

t = debljina komada u mm

d) Dozvoljeni sadržaj difuzijskog vodika u varu može biti najviše 6 cm<sup>3</sup> / 100 grama vara.

Kod sitnozrnih konstrukcijskih čelika normalni su sljedeći sadržaji elemenata za mikrolegiranje:

- 0,020 do 0,050 % metalnog aluminija treba za vezivanje dušika u fino rasporedene nitride osobito iza normalizacije. To dovodi do usitnjavanja veličine zrna i povećanja napona tečenja, te do osiguranja otpornosti na krti lom. Dodatak metalnog aluminija ili drugih sličnih elemenata za dezoksidaciju čelika osigurava otpornost čelika na starenje i neosjetljivost na naponsku koroziju. Osim toga sadržaj preko 0,020 % metalnog aluminija (Al<sub>met.</sub>) moraju imati i čelici sa garantiranim vremenskim naponom tečenja (puzanja) trebaju imati ograničenje na Al<sub>met.</sub> = 0,010 %.
- Dobivanje veličine zrna iznad 6 po ASTM u stanju isporuke omogućava i dodatak niobija, vanadija ili titanija (Nb, V ili Ti) bilo pojedinačno ili u kombinacijama dva ili tri elementa. Neki proizvođači sitnozrnih konstrukcijskih čelika ograničavaju zbir Nb+V+Ti na maksimalno 0,20 %. Ti elementi vezuju dušik u nitride, a sa ugljikom grade karbide, te daju fino rasporedene nemetalne uključke.

- Niobij gradi karbonitride već pri sadržajima 0,005 do 0,010 % i znatno povećava napon tečenja, ali pogoršava žilavost, te se njegov efekat mora usaglasiti pravilnim izborom termomehaničke obrade i stupnja prerade.
- Vanadij se javlja kod sitnozrnih konstrukcijskih čelika u količini 0,05 do 0,15 %, a ima iste efekte i za valjanje kao i niobij. Dodatak vanadija jače usitnjavanja zrna jer se VN i VCN stvaraju brže i lakše nego AlN. Zajednički efekat dodatka V + Nb znatno povećava napon tečenja i uz pravilan izbor termomehaničke obrade se ne smanjuje žilavost, što takvim čelicima omogućava široku primjenu kod zavarenih naftnih i plinskih cjevovoda, čeličnih spremnika oblika kugle, cilindara itd. Tako npr. propis SEW 089 traži dodatke  $\geq 0,020$  % metalnog aluminija, te V i Nb do ukupno 0,15 % u zbiru za sitnozrne konstrukcijske čelike sa oznakom St E 360.7, St E 385.7 i St E 415.7 u termomehaničkom stanju do debljina od 15 mm. Za veće debljine od 15 mm ograničava se zbirni sadržaj V+Nb na max. 0,17 %. Slično tome kod čelika sa oznakama St E 290.7 termomehaničke obrade, te sa naponom tečenja od 320, 360, 385, 415 i 445 za debljine ispod 15 mm traži se (V+Nb) max. = 0,16 %, a debljine preko 15 mm zbir od max. = 0,18 %. Kod čelika St E 290.7 termomehaničke obrade za debljine ispod 15 mm treba biti taj zbir max = 0,18 %, a za preko 15 mm debljine – max. 0,20 %. Pri tim kombinacijama ograničava se sadržaj vanadija na max. = 0,12 %.
- Slične efekte daju i zajednički dodaci čeliku niobija i titanija. Napon tečenja znatno raste u normaliziranom stanju, a dodatno popuštanje slabi taj efekat zbog aglomeracije karbonitrida.
- Dodaci nikla (osobito preko 1,5 %) i mangana povećavaju znatno napon tečenja zbog pomjeranja transformacije  $\gamma$  u  $\alpha$  (pojačano pothlađivanje). Dodatak molibdena utiče laže na beinitnu transformaciju, osobito do 0,3 % u normaliziranom i popuštenom stanju\*, što povećava znatno napon tečenja uz povoljniju žilavost.  
(\* - Na 920 °C, 30 minuta / zrak i 600 °C, 2 sata / zrak)

Pri zavarivanju sitnozrnih čelika posebno treba da se vodi računa o unesenoj količini toplote, jer suviše velika količina toplote prouzrokuje sporo hlađenje komada što pogoduje stvaranju grubog zrna i padu žilavosti (niska tvrdoća i visoka tranzitna temperatura), a suviše mala količina toplote prouzrokuje brzo hlađenje i pojavu zakaljenih struktura (niska tranzitna temperatura i veoma visoka tvrdoća).

### 3. Podjela sitnozrnih konstrukcijskih čelika

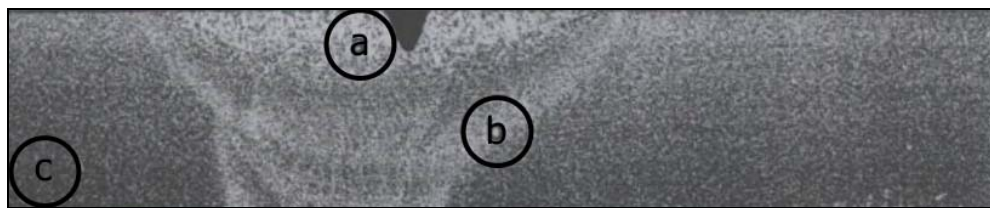
Sitnozrne mikrolegirane čelike proizvodi Željezarna Jesenice (Slovenija) pod komercijalnim nazivima kako slijedi:

1. Niobal 43 (minimalno  $R_{eH} = 430$  N/mm<sup>2</sup>, uz 1,45 % mangana i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),
2. Niobal 43 NR (minimalno  $R_{eH} = 420$  N/mm<sup>2</sup>, uz 1,70 % mangana i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),
3. Nioval 47 (minimalno  $R_{eH} = 470$  N/mm<sup>2</sup>, uz 1,45 % mangana i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),
4. Nioval 50 (minimalno  $R_{eH} = 490$  N/mm<sup>2</sup>, uz 1,45 % mangana, 0,5 % nikla i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),
5. Nionicral 60 A (minimalno  $R_{eH} = 590$  N/mm<sup>2</sup>, uz 1,5 % kroma, 2,5 % nikla i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),
6. Nionicral 60 B (minimalno  $R_{eH} = 590$  N/mm<sup>2</sup>, uz 0,9 % mangana, 1,4 % kroma, 2,4 % nikla i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),
7. Nionicral 70 A (minimalno  $R_{eH} = 690$  N/mm<sup>2</sup>, uz 0,6 % mangana, 1,2 % kroma, 2,8 % nikla i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),
8. Nionicral 70 B (minimalno  $R_{eH} = 690$  N/mm<sup>2</sup>, uz 0,7 % mangana, 1,2 % kroma, 2,8 % nikla i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),

9. Niomol 390 (minimalno  $R_{eH} = 390 \text{ N/mm}^2$ , uz 1,0 % mangana, 0,10 % ugljika i minimalno 0,02 % metalnog aluminija),
10. Niomol 490 (minimalno  $R_{eH} = 490 \text{ N/mm}^2$ , uz 1,2 % mangana, 0,10 % ugljika i minimalno 0,02 % metalnog aluminija).

Svi navedeni čelici su plemeniti (maksimalno po 0,020 % sumpora i fosfora), a mikrolegirani su još sa niobijem, vanadijem i molibdenom (Nb, V i Mo) pojedinačno ili u kombinaciji. Niobal osim aluminija, sadrži niobij (cca 0,04 %), Nioval 47 aluminij, niobij i vanadij (cca 0,06 %) a Nionicral 60 uz aluminij i molibden (cca 0,40 %). Sadržaj ugljika je maksimalan 0,20 % kod navedenih čelika redni broj 1, 3 i 4, max. 0,15 % čelika br. 5 do 8 a max. 0,10 % kod čelika br. 2, 9 i 10. Silicij je kod svih deset čelika u granicama 0,35 do 0,40 %.

Makro snimak zavarenog spoja je dat na slici 2.



**Slika 2. Makrostruktura zavarenog spoja**

Na slici 2. se razlikuju karakteristične zone zavarenog spoja:

- Osnovni materijal,
- Zona uticaja toplote, sa linijom stapanja,
- Metal zavara.

Osnovni materijal (Č.0563) pokazuje ravnomjernu strukturu, koja pored poligonalnih kristala ferita, sadrži perlita, koji izgleda kao kompaktan tamni mikrokonstituent, slika 3c. Zona uticaja toplote i metal zavara također imaju izraženu feritno – perlitnu strukturu, slika 3a i 3b.

Rezultati mjerenja tvrdoće po presjeku zavarenog spoja izvedeno po metodi Vickersa (HV) prema standardu ASTM E92-95 [60] su prikazani na slici 3d.

Na slici 4. dat je izgled struktura čelika Č.0462 i Nioval 47 pri povećanju od 200 puta radi poređenja mikrostruktura općih konstrukcijskih i sitnozrnastih konstrukcijskih čelika.

Vrlo slični ovim čelicima po hemiskom sastavu su i čelici otporni na atmosfersku koroziju, koje također proizvodi Željezara Jesenice Slovenija) po komercijalnim nazivima:

1. Je – Kor \* 35 (minimalno  $R_{eH} = 340 \text{ N/mm}^2$ , 0,80 % kroma, 0,50 % nikla i 0,40 % bakra),  
\* kratica za jeklo (slovenački = čelik)
2. Nionicral 40 ( minimalno  $R_{eH} = 390 \text{ N/mm}^2$ , 0,60 % kroma, 0,35 % nikla, 0,70 % mangana i 0,35 % bakra),

Nionicral 45 ( minimalno  $R_{eH} = 440 \text{ N/mm}^2$ , 0,60 % kroma, 0,65 % nikla, 0,90 % mangana i 0,35 % bakra).



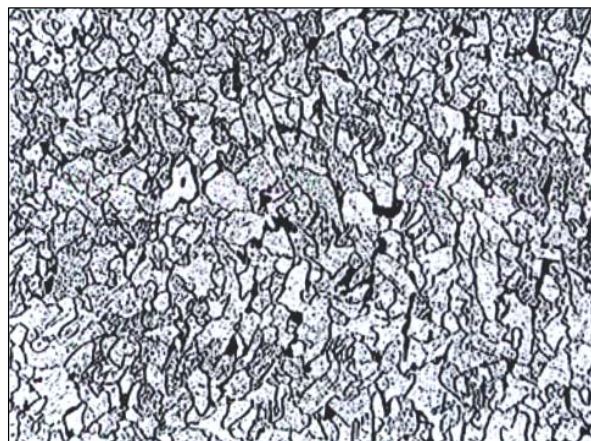
**Slika 3a**  
**Metal zavara (x 200)**



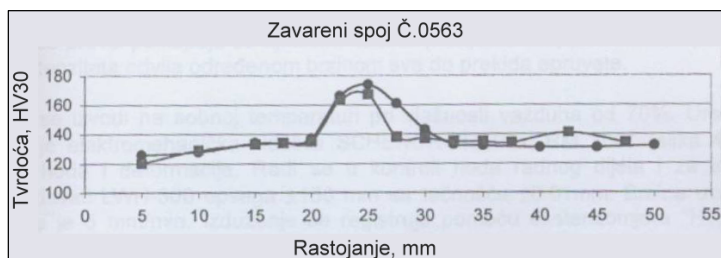
**Slika 3b**  
**Zona uticaja toplote (x 200)**



**Slika 3c**  
**Osnovni materijal (x 200)**



**Slika 3d**  
**Rezultati ispitivanja tvrdoće**  
**zavarenog spoja Č.0563**

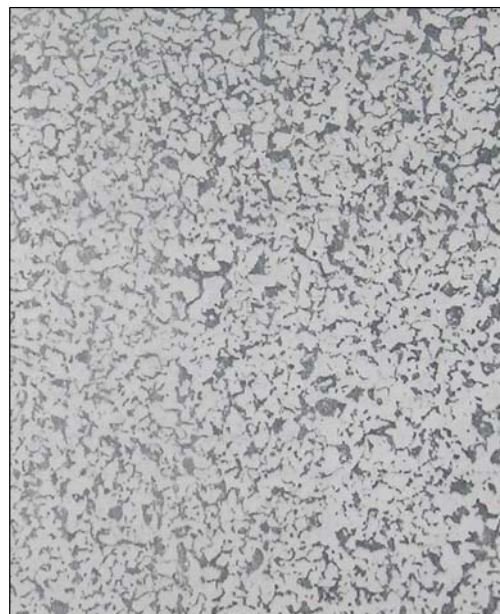




1 %  $HNO_3$

Č.0462

x 200



1 %  $HNO_3$

Nioval 47

x 200

**Slika 4. - Mikrostruktura čelika sa oznakama Č.0462 i Nioval 47 pri povećanju 200 puta**

Sva tri navedena čelika sadrže još minimalno 0,020 % metalnog aluminija i po 0,40 % silicija. Čelik Je – Kor 35 sadrži i maksimalno 0,10 % fosfora, a ostali maksimalno po 0,025 % fosfora. Sadržaj sumpora im je maksimalno 0,020 do 0,030 % a ugljika 0,14 do 0,19 %.

Za čelike otporne na atmosfersku koroziju je karakteristično da kod njih doduše započne proces atmosferske korozije, ali se najkasnije nakon tri godine sasvim zaustavi. Hemiski sastav navedenih čelika omogućava stvaranje gustog oksidnog sloja, koji sprječava daljnu difuziju kisika u metal nakon određenog vremena. U pasiviziranom stanju njihova površina dobiva šamotno – smeđu do ljubičaste boje, te se objekti izgrađeni od ovih čelika lijepo prilagođavaju prirodnim bojama što nudi niz arhitektonskih riješenja. Tipični primjeri namjene čelika prema atmosferskoj koroziji su:

- Zavarene čelične konstrukcije,
- Fasadni elementi zgrada,
- Dalekovodi,
- Televizijski stubovi,
- Odbojnici za ceste itd.

#### 4. Zaključak

Sitnozrni konstrukcijski čelici nazivaju se još i mikrolegiranim sa aluminijem, niobijem, vanadijem, titanijem (Al, Nb, V, Ti). Navedeni elementi stvaraju nitride, carbide ili karbonitride i sprječavaju rast kristalnih zrna u austenitnom području.

Sitnozrni konstrukcijski čelici se upotrebljavaju za izradu čeličnih konstrukcija sa povećanim zahtjevima kao što su: Visokotlačni cjevovodi, Sudovi pod pritiskom (tlakom), Željeznički vagoni, Cisterne za prevoženje plina, Elementi drumskih vozila, Mostovi, Industrijske hale, Različite zavarene konstrukcije. Osim limova i traka profili iz sitnozrnastih konstrukcijskih čelika mogu biti još: okrugli, kvadratni, pljosnati, šetougaoni, te nosači i kutnici.

Kod čelika koji nisu dezoksidirani aluminijem dolazi pri cementaciji (naugljčavanje površine čelika) od manjeg ili većeg porasta austenitnih zrna, što je, između ostalog, nepoželjno jer se pri kasnijem kaljenju, javlja grub i krhak martenzit. Da bi se za dati čelik ispitala nasljedna veličina zrna koristi se metoda po Mc-Quaid Ehnu.

Na termički ciklus pri zavarivanju utiče niz faktora kao što su: Unesena energija, Koeficijent iskorištenja izvora toplote, Debljina materijala, Temperatura osnovnog materijala, Oblik zavarenog spoja i dimenzije, Broj slojeva.

Ako se želi dokazivanje zavarljivosti, mora se u narudžbi utvrditi način zavarivanja. Za čelike sa sniženim naponom tečenja od  $350 \text{ N/mm}^2$  preporučuje se predgrijavanje za sve debljine, ako je temperatura zavarivanja niža od  $+5 \text{ }^\circ\text{C}$ .

Pri zavarivanju sitnozrnih čelika posebno treba da se vodi računa o unesenoj količini toplote, jer suviše velika količina toplote prouzrokuje sporo hlađenje komada što pogoduje stvaranju grubog zrna i padu žilavosti (niska tvrdoća i visoka tranzitna temperatura), a suviše mala količina toplote prouzrokuje brzo hlađenje i pojavu zakaljenih struktura (niska tranzitna temperatura i veoma visoka tvrdoća).

Sitnozrne mikrolegirane čelike proizvodi Željezarna Jesenice (Slovenija) pod komercijalnim nazivima kako slijedi: Niobal 43, Niobal 43, Nioval 47, Nioval 50, Nionicral 60 A, Nionicral 60 B, Nionicral 70 A, Nionicral 70 B, Niomol 390, Niomol 490.

Za čelike otporne na atmosfersku koroziju je karakteristično da kod njih doduše započne proces atmosferske korozije, ali se najkasnije nakon tri godine sasvim zaustavi. Hemiski sastav navedenih čelika omogućava stvaranje gustog oksidnog sloja, koji sprječava daljnu difuziju kisika u metal nakon određenog vremena. Tipični primjeri namjene čelika prema atmosferskoj koroziji su: Zavarene čelične konstrukcije, Fasadni elementi zgrada, Dalekovodi, Televizijski stubovi, Odbojnici za ceste itd.

#### 5. Literatura

- [1] Haračić N. - INŽINJERSKI METALNI I NEMETALNI MATERIJALI  
Mašinski fakultet u Zenici – Zenica 2005.
- [2] Vitez I. - MATERIJALI II – sistemi legiranja, vrste i namjena čelika  
Mašinski fakultet u Zenici – Zenica 1993
- [3] Vukojević N. - ISTRAŽIVANJE MOGUĆNOSTI PRIMJENE PARAMETARA  
PUKOTINE U OCJENI INTEGRITETA ZAVARENIH ČELIČNIH KONSTRUKCIJA  
(Magistarski rad)  
Mašinski fakultet u Zenici – Zenica 2002.
- [4] INTERNET – baze podataka