

## OČVRŠĆAVANJE ČELIKA NITRONIC 60 KOD HLADNOG VUČENJA

### STRENGTHENING OF NITRONIC 60 GRADE OF STEEL BY COLD DRAWING

Prof. Dr. Faik Uzunović, FMM-UNZE  
V. Asist. M Sc Omer Beganović, MIZ-UNZE  
Dr. Sead Spužić, University of South Australia

**Kategorizacija rada:** Stručni rad

#### SAŽETAK

*U okviru ovog rada izvršena je ocjena djelovanja mehanizma deformacionog ojačavanja kod prerade austenitnog nehrđajućeg čelika NITRONIC 60 hladnim vučenjem na čvrstoćna i duktilna svojstva (s izuzetkom žilavosti, koja nije ispitivana).*

*Eksperimentalno dobijeni rezultati pokazali su značajan utjecaj hladne plastične prerade primjenom tehnološkog procesa hladnog vučenja na čvrstoćna i duktilna svojstva čelika NITRONIC 60 kao i utjecaj parametara tehnološkog procesa na intenzitet promjene čvrstoćnih i duktilnih svojstava (s izuzetkom žilavosti, koja nije ispitivana).*

**Ključne riječi:** očvršćavanje, hladno vučenje, čelik NITRONIC 60

#### ABSTRACT

*In this paper the effects of the deformation strengthening mechanism on mechanical attributes are evaluated (toughness is not treated) during cold drawing of a corrosion-resistant austenitic steel NITRONIC 60. Experimental evidence indicates that the technological factors of cold working by drawing significantly affect both the intensity of, and the rate of change in the parameters describing strength and ductility (toughness is not treated) of the steel material NITRONIC 60.*

**Keywords:** strengthening, cold drawing, NITRONIC 60 grade of steel

#### 1. UVOD

Mehanizmi očvršćavanja kod austenitnih nehrđajućih čelika [1-7] su:

Postupak	Kočenje dislokacija
Stvaranje supstitucijskih i intersticijskih kristala mješanaca i/ili faznom transformacijom	Tačkastim zaprekama
Umnožavanje dislokacija hladnom deformacijom i faznom transformacijom	Linijskim zaprekama
Usitnjenje kristalnog zrna	Površinskim zaprekama
Precipitacija izlučivanjem koherentnih ili nekoherentnih čestica (karbidi, nitridi, intermetalni spojevi) u metalnoj matrici	Prostornim zaprekama

ili skraćeno:

- Očvršćavanje čvrstim rastvorom i/ili faznom transformacijom
- Deformaciono očvršćavanje
- Očvršćavanje usitnjavanjem zrna
- Precipitacijsko očvršćavanje

Ovaj rad tretira utjecaj hladne plastične prerade primjenom tehnološkog procesa hladnog vučenja na čvrstoćna i duktilna svojstva (ne tretira žilavost) čelika NITRONIC 60 kao i utjecaj parametara tehnološkog procesa na intenzitet promjene čvrstoćnih i duktilnih svojstava.

## 2. PRIPREMNE AKTIVNOSTI ZA HLADNO VUČENJE

Za provođenje praktičnog dijela rada korištena je vruće valjana žica od austenitnog nehrđajućeg čelika NITRONIC 60, nominalnog promjera 8 mm, koja je sječena u šipke dužine 700 mm, a te šipke su dobivene valjanjem malih ingota iz taline V1 666 na valjaonici prečnika 280 mm. Hemijski sastav tih valjanih pa vučenih šipki dat je u tabeli 1.

Tabela 1. Hemijski sastav vrućevaljanih šipki (mas., %)

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N	Fe
0,05	8,6	3,6	0,008	0,007	17,1	8,9	0,168	ostatak

Napomena: šipke su proizvedene na Metalurškom institutu „Kemal Kapetanović“ iz taline V1666

Praktične aktivnosti su obuhvatile tri faze:

1. Priprema vruće valjanih šipki za vučenje
2. Vučenje na vučnoj klupi
3. Ispitivanje vučenih šipki zatezanjem na sobnoj temperaturi.

Mehanička priprema je obavljena brušenjem nekih 170 - 200 mm ulaznog dijela šipke, kako je predstavljeno na sl. 1.



Sl. 1. Izgled obrušenih šipki na njihovom ulaznom dijelu u matricu

Prvi dijelovi šipki treba da imaju promjer manji od promjera matrice koja se koristi za vučenje kako bi se slobodno provukle kroz matricu u dovoljnoj dužini da se osigura hvatanje šipki kliještima vučne klupe. Navedeno smanjenje presjeka (špicanje) obavljeno je brušenjem u slučaju šipki većih promjera, a u slučaju šipki manjih promjera od 6 mm, špicanje je obavljeno na mašini za špicanje.

Hemijska priprema šipki sastojala se iz potapanja šipki u 20% HCl (vodeni rastvor) na sobnoj temperaturi u trajanju od 15 minuta uz male dodatke 50% HNO<sub>3</sub> (vodeni rastvor) kiseline radi ubrzanja reakcije. Cilj potapanja polaznih vruće valjanih šipki nominalnog promjera 8 mm u navedenoj kiselini je odstranjenje površinskog oksidnog filma. Na sl. 1 prikazane su polazne vruće valjane šipke sa prisutnim oksidnim filmom.

### 3. HLADNO VUČENJE

Hladno vučenje je obavljeno na odgovarajućoj mašini za to, proizvođača Schumag Metallwerke Aachen – Germany, type KZP, koja je predstavljena na sl. 2.



Sl. 2. Mašina za hladno vučenje Schumag Metallwerke Aachen – Germany, type KZP

Tabela 2. Pojedinačne i ukupne deformacije po matricama

Promjer (mm)	Pojedinačna deformacija (%)	Ukupna deformacija (%)
šipka 7,8	0	0
matrica 7,2	14,8	14,8
matrica 6,5	18,5	30,6
matrica 5,8	20,4	44,7
matrica 5,2	19,6	55,6
matrica 4,8	14,8	62,1

Vučenje je provedeno na ukupno 5 matrica (7,2 – 6,5 – 6,0 – 5,8 – 5,2 – 4,6). Pri tome, nakon svake provlake (matrice) ostavljena je po jedna šipka ili dio šipke kako bi se mogla provesti ispitivanja zatezanjem za svaki iznos ostvarene hladne plastične deformacije. U tabeli 2. dat je pregled korištenih matrica, iznosi pojedinačnih i ukupnih ostvarenih deformacija odgovarajućih šipki koje su naknadno bile podvrgnute ispitivanju zatezanjem, kako bi se utvrdio utjecaj iznosa hladne plastične deformacije vučenjem na čvrstoćna i duktilna svojstva čelika Nitronic 60.

Pojedinačne i ukupne deformacije izražene su preko relativne redukcije presjeka. Pojedinačne deformacije predstavljaju relativnu redukciju presjeka ostvarenu na određenoj matrici u odnosu na presjek koji je šipka imala prije vučenja na istoj matrici, dok ukupne deformacije predstavljaju relativnu redukciju presjeka vučene šipke kumulativno u odnosu na presjek vruće valjane šipke.

Ispitivanje zatezanjem je izvršeno na tehnološkim epruvetama koje su isječene iz vruće valjane šipke promjera 7,8 mm i vučenih šipki promjera koji odgovaraju promjerima korištenih matrica.

Početna mjerna dužina je iznosila  $5,65 \times \sqrt{S_0}$ , gdje je  $S_0$  početna površina poprečnog presjeka ispitivane šipke. Na slici 3. su prikazane tehnološke epruvete isječene iz vruće valjane šipke promjera 7,8 mm i vučenih šipki promjera datih u tabeli 2.



*Slika 3 Tehnološke epruvete za ispitivanje zatezanjem*

#### **4. ISPITIVANJE ZATEZANJEM**

Ispitivanje zatezanjem obavljeno je na sobnoj temperaturi za vruće valjane šipke promjera 7,8 mm, kao i ispitivanje vučenih šipki koje su hladno deformisane različitim iznosima deformacije, a u cilju utvrđivanja utjecaja iznosa hladne plastične deformacije vučenjem na čvrstoćna i duktilna svojstva čelika Nitronic 60. Zbog visoke čvrstoće vučene šipke promjera 4,8 mm (ukupna deformacija 62,1%) i njenog izvlačenja iz steznih čeljusti ispitne mašine nije bilo moguće provesti njeno ispitivanje zatezanjem, ali je to obavljeno za sve ostale šipke predstavljene u tabeli 2.

Na slici 4 prikazan je položaj epruvete u uređaju za ispitivanje zatezanjem sa postavljenim preciznim ekstenzometrom za određivanje konvencionalnog napona tečenja ( $R_{p0,2}$ ), a na slici 5 izgled epruveta nakon loma.

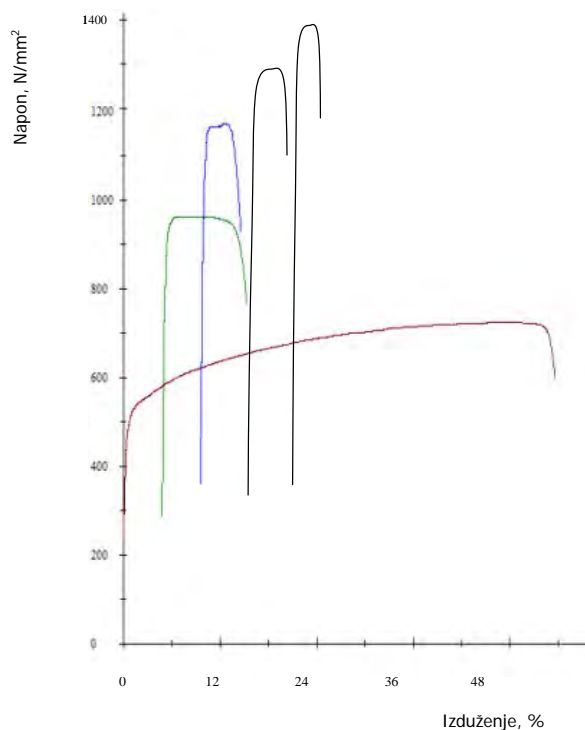


*Slika 4. Položaj epruvete u kidalici*



*Slika 5. Epruvete nakon ispitivanja*

Na slici 6. prikazani su dijagrami zavisnosti napona od izduženja svih 5 ispitanih tehnoloških epruveta, dok su postignute vrijednosti zatezne čvrstoće ( $R_m$ ), napona tečenja ( $R_{p0,2}$ ), izduženja (A) i suženja (Z) navedene u tabeli 3.



Slika 6. Dijagrami napon – izduženje za 5 tehnoloških epruveta

Tabela 3:

Oznaka uzorka	$R_{p0,2}$ (MPa)	$R_m$ (MPa)	A (%)	Z (%)
Valjana šipka 7,8	421	723	53,0	63
Vučena šipka $\phi$ 7,2	715	962	20,5	54
Vučena šipka $\phi$ 6,5	1017	1173	12,5	45
Vučena šipka $\phi$ 5,8	1070	1290	8,0	37
Vučena šipka $\phi$ 5,2	1180	1390	5,5	28

## 5. ANALIZA REZULTATA

Vrijednosti zateznih svojstava vruće valjane šipke zadovoljavaju zahtjeve za čelik Nitronic 60, odnosno za čelik UNS21800 prema standardu ASTM A 276-96. Vruće valjane šipke se karakterišu visokim vrijednostima izduženja ( $A = 53\%$ ) i suženja ( $Z = 63\%$ ), što ih čini pogodnim za hladnu plastičnu preradu vučenjem. Rezultati ispitivanja zatezanjem na sobnoj temperaturi epruveta isječenih iz vruće valjane šipke i hladno vučenih šipki ukazuju da sa povećanjem iznosa hladne plastične deformacije dolazi do porasta vrijednosti čvrstoćnih svojstava čelika Nitronic 60, s jedne strane, i pada vrijednosti duktilnih svojstava sa druge strane. U tabeli 4. predstavljene su vrijednosti koje ukazuju na porast vrijednosti čvrstoćnih svojstava, odnosno zatezne čvrstoće ( $R_m$ ) i napona tečenja ( $R_{p0,2}$ ) sa porastom iznosa hladne plastične deformacije. Vrijednosti čvrstoćnih svojstava generalno rastu sa porastom iznosa hladne plastične deformacije. Pri manjem iznosu hladne plastične deformacije ovaj prirast je

intenzivniji, dok se sa daljim povećanjem iznosa deformacije ovaj prirast je manje intenzivan. Obrnuto je u slučaju vrijednosti duktilnih svojstava (izduženje A i suženje Z) koje se generalno smanjuju sa povećanjem iznosa hladne plastične deformacije. Izduženje se intenzivnije smanjuje pri malim iznosima deformacije dok se pri višim iznosima deformacije pad izduženja sve više smanjuje. Suženje se ujednačeno smanjuje i pri malim i pri velikim iznosima hladne plastične deformacije, što je uočljivo iz vrijednosti iz tabele 5.

*Tabela 4. Zavisnost zatezne čvrstoće i napona tečenja od iznosa hladne plastične deformacije*

Iznos hlad. deformacije (%)	R <sub>m</sub> (MPa)	R <sub>p0,2</sub> (MPa)
0	723	421
14,8	962	715
30,6	1173	1017
44,7	1290	1070
55,6	1390	1180

*Tabela 5. Zavisnost izduženja i suženja od iznosa hladne plastične deformacije*

Iznos hlad. deformacije (%)	A (%)	Z (%)
0	53,0	63
14,8	20,5	54
30,6	12,5	45
44,7	8,0	37
55,6	5,5	28

## LITERATURA

- [1] Gigović – Gekić, KVANTIFIKACIJA UTICAJA ALFA-GAMA OBRAZUJUĆIH ELEMENATA NA MEHANIČKE OSOBINE I POJAVU DELTA KOD NEHRĐAJUĆEG ČELIKA NITRONIC 60, Doktorska disertacija, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2010.
- [2] R.A.Lula, Stainles Steel, ASM American Society for Metals, Ohio, 1986.
- [3] S. Bjelopoljak, Diplomski rad, UTICAJ HL. VUČENJA NA ČVRSTOČNE I DUKTILNE OSOBINE AUSTENITNOG NEHRĐAJUĆEG ČELIKA NITRONIC 60, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2013.
- [4] M. Rimac, UTICAJ LEGIRANJA AZOTOM NA TEHNOLOŠKE I EKSPLOATACIONE OSOBINE AUSTENITNOG NEHRĐAJUĆEG ČELIKA TIPA AISI 316, Magistarski rad, Zenica, 1996.
- [5] F. Uzunović, D. Ćubela, TEORIJA PLASTIČNE DEFORMACIJE, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2004.
- [6] O. Beganović i ostali, OSVAJANJE PROTOTIPA PROIZVODA OD MATERIJALA NITRONIC 60 I NIMONIC 8A, Metalurški institut Kemal Kapetanović, Magistarski rad, Zenica, 2007.
- [7] T. Đurić, Dislokacije, Prirodno matematički fakultet, Novi Sad, 2010.