

**X Naučno/stručni simpozij sa međunarodnim učešćem  
”METALNI I NEMETALNI MATERIJALI“ Bugojno, BiH, 24-25.april 2014.**

## **TERMIČKI TRETMAN VIJAKA OD NISKOUGLJENIČNOG ČELIKA U PROTOČNOJ PEĆI**

### **HEAT TREATMENT OF LOW CARBON STEEL SCREWS IN THE STRAIGHT FLOW FURNACE**

**Prof. dr. Jusuf Duraković, dipl.inž.**

**Doc. dr. Raza Sunulahpašić, dipl.inž.**

**Prof. dr. Mirsada Oruč, dipl.inž.**

**Doc. dr. Almaida Gigović-Gekić, dipl.inž.**

**Prof. dr. Sulejman Muhamedagić, dipl.inž.**

**Univerzitet u Zenici,  
Fakultet za metalurgiju i materijale,  
Travnička cesta 1, 72000 Zenica, BiH**

**Kategorizacija rada:** Stručni rad

#### **SAŽETAK**

*Čelici za izradu vijaka, matica i zakovica najčešće su niskougljenični, ugljenični ili niskolegirani čelici za poboljšanje. Od njih se zahtijevaju tačno definisana čvrstoćna svojstva, tvrdoća i žilavost, što određuje, tzv. klasu čvrstoće vijaka.*

*U ovome radu dat je prikaz termičkog tretmana šetougaonih vijaka klase čvrstoće saglasno DIN 931/8.8 odnosno ISO 14014.*

*Pored toga dati su podaci o zagrijevnom agregatu, tj. protočnoj peći sa zaštitnom atmosferom u kojoj je vršen zagrijev vijaka, poslije čega je u tehnološkoj liniji, automatski urađeno kaljenje u ulju.*

**Ključne riječi:** čelik za vijke, termički tretman, protočna peć

#### **ABSTRACT**

*Steels for screws, nuts and rivets are usually low carbon steels, carbon steels or quenched and tempered low alloy steels. From these are required precisely defined strength properties, hardness and toughness, which determine the so called class strength of screws.*

*This paper describes the thermal treatment of hexagonal screws with strength class according to DIN ISO931/8.8 or 14014.*

*In addition, this paper also provides information about heating aggregate, ie flow furnace with protective atmosphere in which screws were heated, followed after what in technological line, was automatically done quenching in oil.*

**Keywords:** steels for screw, heat treatment, straight flow furnace

#### **1. UVOD**

Vijci su važni i jednostavni konstrukcioni elementi. Početkom 15. stoljeća proizvedeni su prvi metalni vijci u Evropi ali su bili veoma skupi. Početkom 18. stoljeća proizvodnja vijaka je postala jeftinija i do danas su se našli kao roba široke potrošnje u cijelom svijetu [1].

Vijci se obično dijele prema namjeni u dvije osnovne skupine i to u vijke za pričvršćivanje i vijke za prijenos gibanja (kretanja).

Najčešći materijali za izradu vijaka su čelici kod kojih nema opasnosti od krtog loma. Čelični vijci se dijele u razrede čvrstoće koji vrijede do temperature 350°C. Iznad te temperature treba koristiti posebne vrste materijala. Oznaka razreda čvrstoće se dobija prema vrijednostima koje se dobiju proračunom [1].

Vijci razreda čvrstoće 6.8 i čvršći moraju imati oznaku vidljivo otisnutu na glavi vijka [1].

U ovom radu ispitivani su vijci oznake M16 x 165 saglasno DIN 931/8.8 odnosno ISO 4014, od čelika oznake 19MnB4. Navedeni čelik je niskouglenični čelik mikrolegiran borom. Prema EU 10020:2000 niskouglenični čelik je onaj koji ima do 0,20 % C [2].

## 2. EKSPERIMENTALNI RAD

Vijci navedene oznake podvrgnuti su termičkom tretmanu zagrijeva u protočnoj peći sa zaštitnom atmosferom. Poslije zagrijeva na temperaturi 890 °C automatski se vršilo kaljenje u ulju zagrijanom na 70 °C. Ispitivanjem zatezanjem jedan broj vijaka nije zadovoljio tražene karakteristike, tj. nivo tražene zatezne čvrstoće koji se propisuje standardom.

Radi utvrđivanja uzroka navedenog, provedena su istraživanja toka termičke obrade, hemijske analize, zatezne čvrstoće i tvrdoće i metalografska ispitivanja.

### 2.1. Termička obrada vijaka

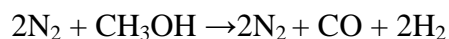
Termički tretman vijaka je obavljen u protočnoj peći sa zaštitnom atmosferom na bazi metanola i dušika. Metanol i dušik su u peći ubacuju u odnosu 60 : 40 %. Peć je temperaturno podijeljena na 7 neovisnih zona sa zasebnom regulacijom temperature. Zadana temperatura u svim zonama je bila 890 °C. Kontrola C potencijala se vrši sa savremenom opremom njemačke proizvodnje. Zadati C potencijal za čelik 19MnB4 je bio 0,19. Doziranje zaštitnog plina se vrši u svodu u pet različitih tačaka po dužini peći. Za povećanje C potencijala se koristi propan a za smanjenje zrak.

Metanol se raspada prema reakciji:  $\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow \text{CO} + 2\text{H}_2$

Iz jednog litra metanola nastaje 1,7 m<sup>3</sup> reduktivnog plina i to odgovara sastavu atmosfere:

$$\text{CO} = 33,3 \% + \text{H}_2 = 66,7 \%$$

Hemijska reakcija raspada metanola sa dodatkom dušika je:



Teoretski sastav atmosfere u peći na bazi metanola i dušika je:

$$\text{H}_2 = 38-40 \%, \text{CO} = 18 - 20 \%, \text{CO}_2 = 0,1 - 0,7 \%, \text{N}_2 = 40 \%$$

Za provjeru atmosfere u peći korišten je analizator reduktivnih atmosfera proizvođača Mesa, Njemačka, tip G 4.9. Uređaj analizira slijedeće komponente: CO, H<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, CO<sub>2</sub>, računa C potencijal i mjeri temperaturu.

Mjerenjem su dobijeni rezultati dati u tabeli 1.

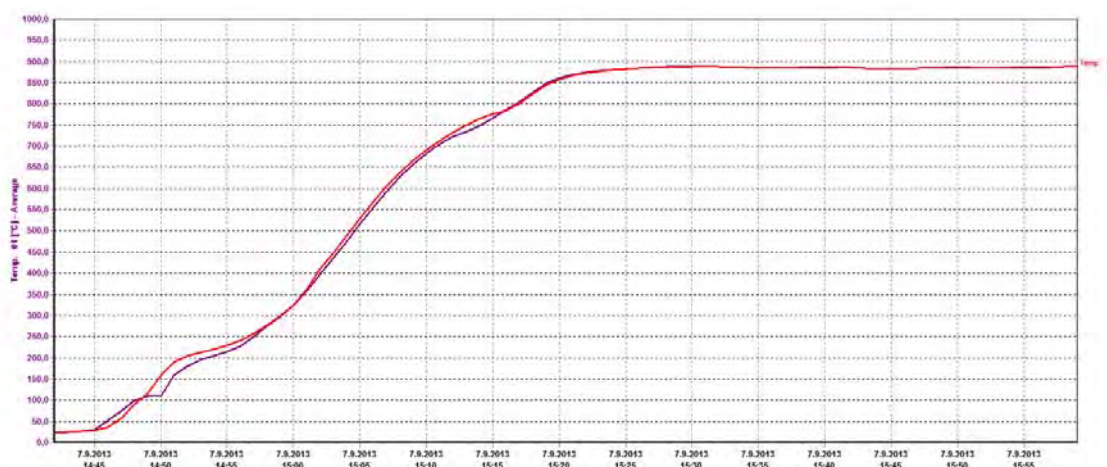
Tabela 1. Rezultati analize sa potrošnjom metanola od 9 l/h

Komponenta %	I mjerenje	II mjerenje	III mjerenje
CO <sub>2</sub>	0,446	0,411	0,391
CH <sub>4</sub>	1,7	2,0	2,0

CO	13,3	13,6	14,1
H <sub>2</sub>	20,4	21,3	22,0
Cp potencijal	0,19	0,21	0,24

Doziranjem 9 l/h metanola i 12 Nm<sup>3</sup>/h dušika u peć se ubacuje ukupno oko 28 Nm<sup>3</sup>/h zaštitnog plina što je oko 2,5 izmjena po satu volumena peći.

Iz dobijenih rezultata analize se zaključuje da postoji odstupanje u sastavu atmosfere u peći u odnosu na teorijski potrebnu atmosferu jer se u peć dozira veća količina dušika od potrebne. Pored navedenog prilikom zagrijeva vršeno je i snimanje temperature u atmosferi i na vijku kroz čitavu protočnu peć. Rezultati su predstavljeni u dijagramu, slika 1. Analizom dobijenog dijagrama nameće se zaključak da je centar vijka dobro progrijan i da ima jednaku temperaturu kao i atmosfera u peći.



Slika 1. Dijagram temperature peći i komada

## 2.2. Hemijska analiza

Hemijska analiza je urađena na dva uzorka, tj. uzorku 1. koji je imao rezultate zatezne čvrstoće ispod propisane i uzorku 2. sa zadovoljavajućom vrijednošću zatezne čvrstoće, tabela 2.

Tabela 2. Hemijska analiza

Čelik	mas, %						
	C	Si	Mn	P max	S max	Al min	B
Uzorak 1	0,22	0,08	0,99	0,010	0,012	0,027	0,0001
Uzorak 2	0,20	0,08	0,99	0,010	0,013	0,32	0,0001
Čelik 19Mn B4 (EN 10269)	0,17-0,24 ± 0,01	0,40 ± 0,3	0,80-1,15 ± 0,04	0,030 + 0,05	0,35 + 0,05	0,020 ± 0,05	0,0008- 0,0050 ± 0,0005

Hemijska analiza ukazuje na zadovoljavajuće rezultate u poređenju sa propisanim vrijednostima, osim bora. Navedena količina bora je ispod propisane što ukazuje da mikrolegiranje borom nije ostvareno a time ni njegov uticaj [3], pa prema tome ni oznaka ovog čelika nije u skladu s navedenom.

### 2.3. Mehaničke osobine

Pošto je ispitivanje zatezanjem bilo eliminatorno za prijem vijaka osim vrijednosti zatezne čvrstoće provedeno je i ispitivanje tvrdoće koje je provedeno samo radi poređenja vijka uzetog iz grupe loših (uzorak 1) i vijka uzetog iz grupe dobrih (uzorak 2).

Rezultati ispitivanja dati su u tabeli 3.

Tabela 3. Rezultati ispitivanja tvrdoće i zatezne čvrstoće

Oznaka	Tvrdoća vijaka (glava i tijelo vijka), HRC				Zatezna čvrstoća, MPa
	Glava-površina	Glava-obod	Tijelo-površina	Tijelo-presjek	
Uzorak 1	36	36	25	29	859,8
Uzorak 2	37	37	30	36	1267,5
Standard [4], popuštanje na 100°C poslije kaljenja sa 890°C u vodi	presjek 41				1300
Standard [4], popuštanje na 200°C poslije kaljenja sa 890°C u vodi	presjek 40				1250

Napomena: uzorci 1 i 2 su kaljeni u zagrijanom ulju (70 °C) poslije zagrijeva na 900 °C. Ispitivanja tvrdoće urađena su na univerzalnom aparatu za ispitivanje tvrdoće Metalurškog instituta „Kemal Kapetanović“ Univerziteta u Zenici, a zatezne čvrstoće na kidalici 400 kN u preduzeću Graewe Tadv Konjic.

Analizom rezultata u tabeli 3. iako nisu primijenjeni isti uslovi u poređenju sa standardom može se zaključiti da uzorak 2. ima zadovoljavajuće karakteristike.

Kod oba uzorka je primijećena manja tvrdoća na površini u odnosu na presjek tijela vijka. To se može tumačiti odugljičenjem koje je mjestimično iznosilo i do 0,15 mm (mjerjenja urađena na Metalurškog instituta „Kemal Kapetanović“ Univerziteta u Zenici).

### 2.4. Metalografska ispitivanja

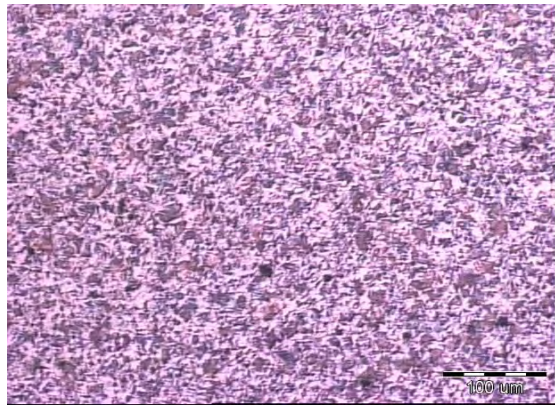
Metalografskim ispitivanjima je utvrđena slijedeća mikrostruktura (slika 2.):

Uzorak 1: ferit, finolamelarni perlit, beinit, martenzit,

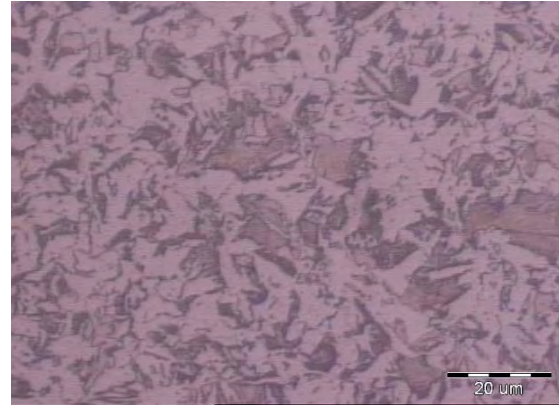
Uzorak 2: beinit, martenzit.

Analizirajući mikrostrukturu može se uočiti kod uzorka 1. koji nije imao zadovoljavajuće vrijednosti tvrdoće i zatezne čvrstoće, prisustvo ferita i perlita osim beinita i martenzita što ukazuje da termički tretman nije proveden u potpunosti ili na zadovoljavajući način [5].

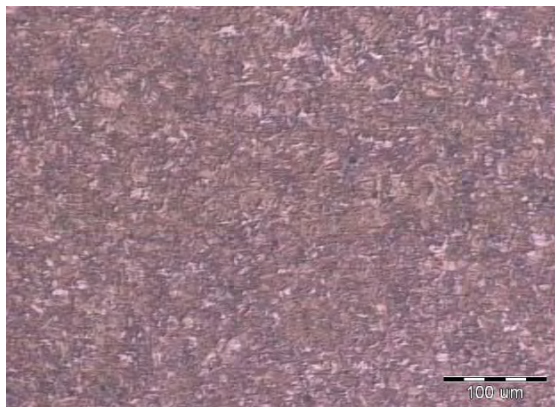
Analizom nemetalnih uključaka poslije termičkog tretmana, utvrđeno je prisustvo sulfida, tankih aluminatnih uključaka (ocjena 1,0) i tankih globularnih oksida (ocjena 2,5) prema standardu ASTM E 45 metod A za najlošije polje.



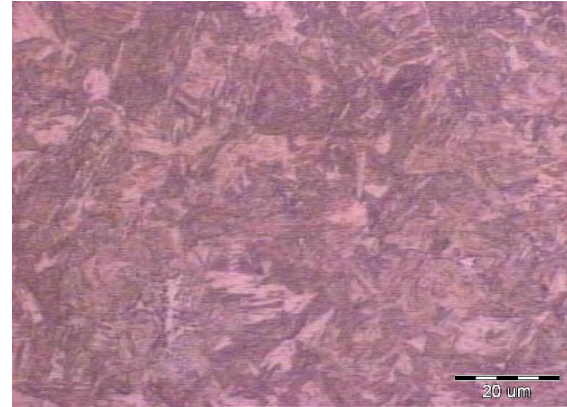
2 %  $HNO_3$  x 150  
a) Mikrostruktura



2 %  $HNO_3$  x 750  
b) Detalj mikrostrukture



2 %  $HNO_3$  x 150  
c) Mikrostruktura



2 %  $HNO_3$  x 750  
d) Detalj mikrostrukture

Slika 2. Mikrostruktura uzorka 1 (a, b) i uzorka 2 (c, d).

### 3. ANALIZA REZULTATA

Analizom zagrijeva vijaka u protočnoj peći utvrđeno je da su dovoljno progriyani i da zahtijevana temperatura sa koje se vrši kaljenje u predgrijanom ulju je ujednačena u peći. Takođe je utvrđeno da u peći postoje odstupanja u sastavu atmosfere peći u odnosu na teorijski predviđenu.

Atmosfera u peći treba biti takvog sastava da ne bi trebala uticati na razugljeničenje površine vijaka.

Hemijskom analizom je utvrđeno da čelik za vijke nije mikrolegiran borom te uticaj bora nije ni mogao doći do izražaja, iako je taj čelik imao certifikat za materijal 19MnB4.

Ispitivanjem zatezne čvrstoće, vijak 1., uzet iz skupine loših nije imao vrijednost zatezne čvrstoće na traženom nivou u odnosu na vijak 2., uzet iz skupine dobrih. Saglasno tome i vrijednosti tvrdoće su niže kod vijka 1 u odnosu na vijak 2.

Kod oba vijka primijećeno je da su vrijednosti tvrdoće niže na površini tijela vijka u odnosu na presjek. Metalografskim ispitivanjem je utvrđeno da je uzrok navedenog odugljičenje površine, mjestimično i do 0,15 mm.

Takođe, metalografskim ispitivanjima utvrđena je mikrostruktura kod vijka koji je obilježen kao „dobar“ beinitno-martenzitna dok je kod vijka 1. ta mikrostruktura neujednačena, tj. uz beinit i martenzit pojavljuje se perlit i ferit koji su doprinjeli padu mehaničkih karakteristika.

Pored ostalog prisustvo nemetalnih uključaka pogotovo oksidnih utiče na otpornost vijaka prema krtom lomu i njihove mehaničke osobine.

#### **4. ZAKLJUČCI**

- Zagrijev vijaka u protočnoj peći je zadovoljavajući. Pošto je tehnološki postupak takav da se ne može uticati na brzinu hlađenja vijaka možda bi trebalo vijke hladiti u ulju sobne temperature ili barem nešto nižoj od 70 °C.
- Atmosfera u peći nije u potpunosti u skladu s teorijski predviđenom što se direktno odražava na C potencijal, te je potrebno uraditi promjenu odnosa doziranja metanola i dušika.
- Takođe, iako čelik ima oznaku 19MnB4, prema rezultatima hemijske analize mikrolegiranje borom nije ostvareno što utiče na prokaljivost i druge osobine kod ovog čelika.
- Ispitivani uzorci sadrže i dosta nemetalnih uključaka, najviše tipa oksida, djelimično aluminata i sulfida što doprinosi pogoršanju zateznih karakteristika i vjerovatno i rezultate udarne radnje loma koja u ovim istraživanjima nije provedena.

#### **5. LITERATURA**

- [1] B. Križan i S.Zelenika: Konstrukcijski elementi I, Tehnički fakultet Rijeka, 2011.
- [2] M.Oruč, F.Begovac, I.Vitez, R.Sunulahpašić: Čelik i čelični liv, FMM, Univerzitet u Zenici, 2008, str.15.
- [3] N.Haračić: Bor i niskolegirani čelici za cementaciju i direktno kaljenje, Mašinstvo 4(6), 2002, str. 215-226.
- [4] EN 10269 : AC 2008.
- [5] Metals Handbook, vol.7., Atlas of Microstructures of Industrial Alloys, 8<sup>th</sup> edition, 1972.