

## POBOLJŠANJE REZLJIVOSTI NEHRĐAJUĆEG ČELIKA DODATKOM TELURA

### IMPROVING STAINLESS STEEL MACHINABILITY BY ADDING OF TELLURIUM

D. Mujagić<sup>1</sup>, A. Mahmutović<sup>2</sup>, M. Oruč<sup>2</sup>, S. Muhamedagić<sup>2</sup>, M. Hadžalić<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Univerzitet u Zenici, Metalurški institut „Kemal Kapetanović“

<sup>2</sup>Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale

#### REZIME

*Nehrđajući čelici imaju važnu ulogu u svim naprednim tehnologijama. Najčešće korišteni čelik iz grupe austenitnih nehrđajućih čelika u pogledu mašinske obradivosti je čelik X8CrNiS 18-9 koji se prvenstveno primjenjuje za izradu visokoserijskih konstrukcionih dijelova.*

*Mašinska obradivost čelika najviše zavisi od prisustva nemetalnih uključaka, kao i njihove veličine i oblika te hemijskog sastava.*

*Ovaj rad prezentuje poboljšanje rezljivosti nehrđajućeg čelika modifikacijom nemetalnih uključaka u čeliku dodatkom telura. Za prikaz rezultata istraživanja korišten je 3D model i MATLAB program.*

**Ključne riječi:** nehrđajući čelik, mašinska obradivost, MATLAB program

#### ABSTRACT

*Stainless steels are important in all advanced technologies. The most commonly used steel from the group of austenitic stainless steel in terms of machinability is steel X8CrNiS 18-9, which is primarily used in the making of high volumes of structural parts.*

*Machinability of steel depends on the presence of non-metallic inclusions, as well as their size and shape, and chemical composition.*

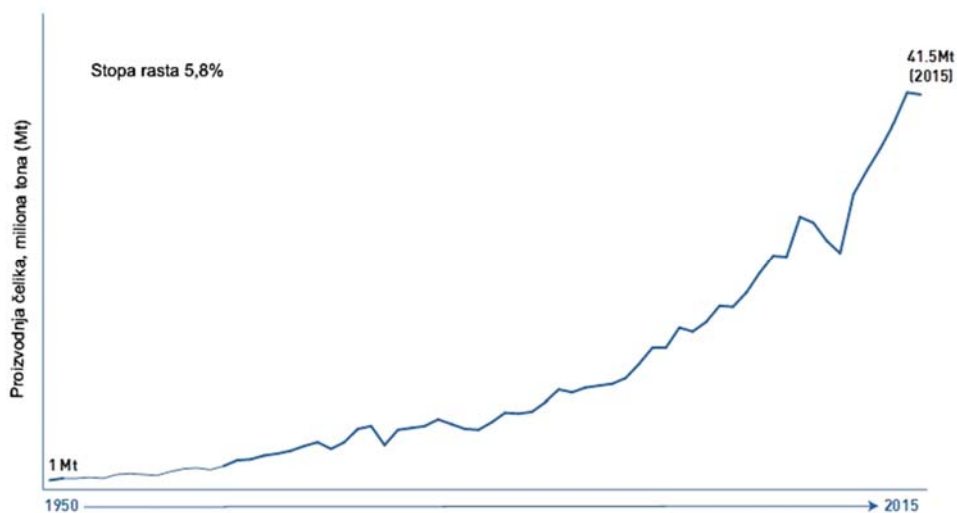
*This paper presents the improvement of stainless steel machinability by modification of nonmetallic inclusions in the steel by adding of tellurium. To view the results of the survey used the 3D model and the MATLAB program.*

**Keywords:** stainless steel, machinability, MATLAB program

#### 1. UVOD

Čelik je neupitno primarni industrijski konstrukcioni materijal, a pri čemu se posebno, po svojim svojstvima izdvajaju nehrđajući čelici. Korištenje nehrđajućih čelika pokazuje trend stalnog porasta. Od 1950. godine do danas proizvodnja nehrđajućih čelika u svijetu bilježi godišnji porast od 5,8% na godišnjem nivou, slika 1 [1].

S druge strane potražnja nehrđajućih čelika je još uvijek veća od njegove proizvodnje što govori o tome da postoji realna osnova za dalji rast proizvodnje nehrđajućih čelika kao i za razvoj novih vrsta sa boljim performansama [2].



*Slika 1. Proizvodnja nehrđajućeg čelika i indeks porasta proizvodnje u svijetu (1950. – 2015. godine) [1].*

Među nehrđajućim čelicima najzastupljeniji su austenitni nehrđajući čelici.

U ovom radu prikazano je istraživanje mogućnosti poboljšanja rezljivosti kroz modifikaciju nemetalnih uključaka austenitnog nehrđajućeg čelika oznake X8CrNiS18-9 legiranog sa telurom.

## 2. PROIZVODNJA AUSTENITNOG NEHRĐAJUĆEG ČELIKA X8CrNiS18-9

U Zavodu za topljenje i livenje metala Metalurškog instituta "Kemal Kapetanović" Univerziteta u Zenici izrađene su tri taline austenitnog nehrđajućeg čelika X8CrNiS18-9 od kojih je jedna bila bez dodataka telura, druga legirana sa telurom, a treća sa borom i telurom. Topljenje i livenje austenitnog nehrđajućeg čelika X8CrNiS18-9 obavljeno je u vakuumskoj indukcijskoj peći kapaciteta 20 kg, maksimalne snage 40 kW. Peć je namijenjena za proizvodnju tečnog metala visoke čistoće.

Nakon ljevanja svi ingoti su podvrgnuti termičkoj obradi: rastvornom žarenju – u zagrijevnoj elektro komornoj peći na temperaturi od 1050 °C, a nakon toga su brzo ohlađeni u vodi.

Hemijski sastav proizvedenih talina austenitnog nehrđajućeg čelika X8CrNiS18-9, kao i hemijski sastav ovog čelika prema standardu BAS EN 10088-3:2015 dat je u tabeli 1. [3].

**Tabela 1:** Hemijski sastav talina austenitnog nehrđajućeg čelika X8CrNiS18-9 [3].

Čelik	Hemijski sastav (%)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	B	Te
Proizvedena talina bez legiranja	0,03	0,42	0,61	0,021	0,18	18,3	9,4	–	–
Proizvedena talina legirana sa Te	0,05	0,40	0,80	0,010	0,16	18,9	9,3	–	0,033
Proizvedena talina legirana sa B i Te	0,04	0,35	0,78	0,011	0,18	18,8	9,3	0,004	0,039
Hemijski sastav čelika prema standardu BAS EN 10088-3:2015	max. 0,1	max. 1,0	max. 2,0	max. 0,045	0,15 0,35	17,0 10,0	8,0 10,0	–	–

Iz tabele 1. se vidi da je pored osnovnih elemenata koji odgovaraju ovom tipu čelika, dodavana određena količina Te, koji bi trebao prema literaturnim navodima da utiče na oblik i hemijski sastav uključaka, te određena količina B u cilju poboljšavanja mehaničkih osobina.

### 3. REZULTATI ISPITIVANJA MAŠINSKE OBRADIVOSTI AUSTENITNOG NEHRĐAJUĆEG ČELIKA X8CrNiS18-9

U Laboratoriju za obradu rezanjem i alatne mašine Mašinskog fakulteta u Zenici urađeno je ispitivanje mašinske obradivosti, a na osnovu procjene parametara sile rezanja (mjerjenje vršeno dinamometrom KISTLER 5070). Ispitivanje je, na svim uzorcima, provedeno pri istom režimu obrade sa slijedećim parametrima: broj obrtaja 600 o/min, posmak 0,1 mm/o i sa dubinom prodiranja alata 1,0 mm.

Rezultati ispitivanja sila rezanja (pojedinačne sile  $F_x$ ,  $F_y$  i  $F_z$  kao i rezultatna sila  $F_R$ ) dati su u tabeli 2. [3].

**Tabela 2: Rezultati ispitivanja sile rezanja [3].**

Čelik	Sila rezanja (N)			Rezultatna sila $F_R$ (N)
	Komponenta $F_x$	Komponenta $F_y$	Komponenta $F_z$	
Proizvedena talina bez legiranja	180	218	361	458,52
Proizvedena talina legirana sa Te	154	200	317	405,22
Proizvedena talina legirana sa B i Te	223	247	469	575,06

Element telur se dodao sa ciljem modifikacije sulfidnih uključaka, odnosno njihove globularizacije i proširivanja, što onda direktno utiče na poboljšanje mašinske obradivosti.

Iz tabele 2. se vidi da je manja sila rezanja kod taline s dodatkom telura, tj. bolja je obradivost. To upućuje da je tip nemetalnih uključaka koji je nastao dodatkom telura pogodniji s aspekta mašinske obrade.

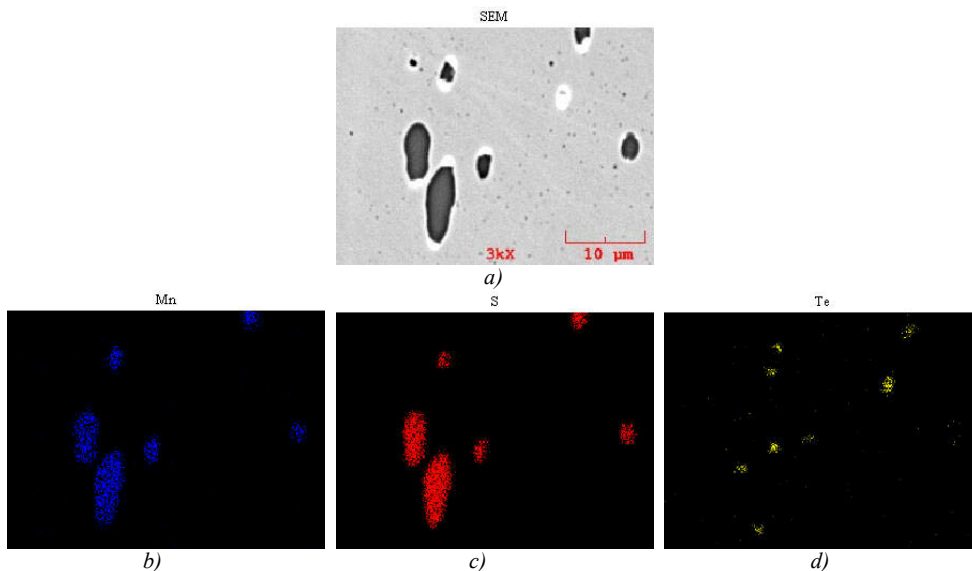
### 4. REZULTATI ISPITIVANJE UKLJUČAKA NA SEM-u I MATLAB MODEL

Ispitivanja nemetalnih uključaka su provedena na Naravoslovnotehničkom fakultetu Univerziteta u Ljubljani na Skenirajućem Elektronskom Mikroskopu (SEM) tipa JEOL JSM 5610 japanske proizvodnje. Na ovom mikroskopu su uz pomoć EDS detektora urađene semikvantitativna i kvalitativna analiza (tačkasta analiza, linijska analiza i mapping) [3].

Ispitivanja su provedena na uzorcima u valjanom stanju, kao završnom stepenu prerade.

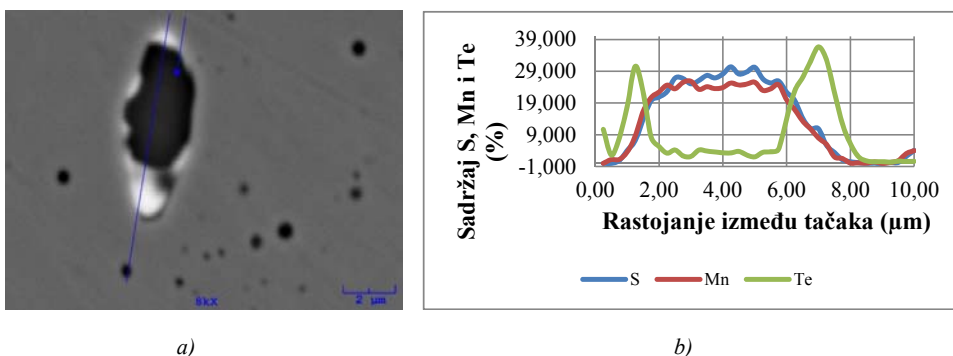
Karakteristični nemetalni uključci austenitnog nehrđajućeg čelika X8CrNiS18-9 su manganovi sulfidi. Legiranjem ovog tipa čelika sa telurom dolazi do modifikacije i do globulizacije manganovih uključaka.

Na slici 2. dat je mapping za elemente Mn, S i Te u odnosu na SEM sliku, na kojoj su prikazani tipični uključci uzorka sa dodatkom telura. Sa slika se jasno vidi da se radi o područjima obogaćenim manganom i sumporom što upućuje na manganove sulfide dok se na krajevima ovih uključaka uočava i obogaćenje sa telurom [3,4].



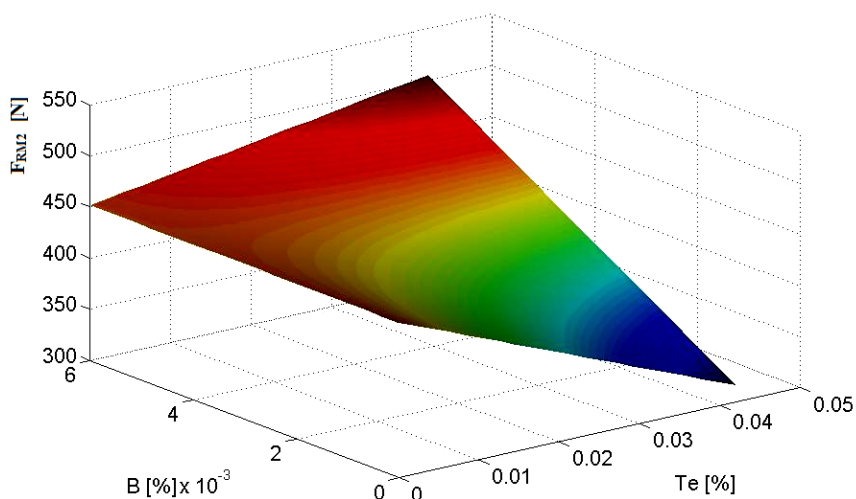
**Slika 2:** Mapping uzorka sa dodatkom telura: a) SEM slika; b) – d) elementi Mn, S i Te [3].

Na slici 3. [3] prikazana je linijska analiza tipičnog nemetalnog uključka za taline sa dodatkom telura. Slika 3b prikazuje dijagram raspodjele sadržaja S, Mn i Te a prema iscrtanoj liniji uključka na SEM slici (slika 3a). Ovaj uključak pored uobičajenog mangan sulfida, sadrži, u određenoj mjeri, i telur, koji okružuje uključak manganovog sulfida, odnosno nalazi se na njegovim krajevima.



**Slika 3:** Linijska analiza uzorka sa dodatkom telura: a) SEM slika; b) dijagram raspodjele sadržaja S, Mn i Te [3].

Analizom dobijenih rezultata pomoću MATLAB softvera dobijena je funkcionalna zavisnost sile rezanja sa parametrima sadržaja bora i telura, što je predstavljeno u 3D prikazu, slika 4, iz čega se može zaključiti da postoji jasna interakcija za različite vrijednosti promjenljivih varijabli [3].



*Slika 4. Prikaz funkcionalne zavisnosti sile rezanja od sadržaja bora i telura [3].*

## 5. ZAKLJUČAK

Priroda sulfida može se mijenjati promjenom hemijskog sastava, čime se utiče na formiranje kompleksnih nemetalnih uključaka. Kako bi se proizveo čelik s boljom rezljivosti kao što je nehrđajući čelik X8CrNiS18-9, istraživana je uticaj telura na modifikaciju nemetalnih uključaka. Tipični uključci koji se odnose na nehrđajući čelik X8CrNiS18-9 su uključci mangan sulfida. Rezultati pokazuju da je nakon legiranja s telurom morfologija uključaka mangan sulfida kod nehrđajućeg čelika X8CrNiS18-9 značajno promijenjena. Za vrijeme mašinske obrade uključci mangan sulfida djeluju kao izvor koncentracije unutarnjih naprezanja, ali legiranjem s telurom dolazi do formiranja kompleksnih uključaka globularnog oblika. Ovi uključci su učinkovitiji od čistog mangan sulfida pri mašinskoj obradi austenitnih nehrđajućih čelika, a učinkovito djeluju kao prekidači špene, smanjuju silu rezanja i poboljšavaju mašinsku obradivost.

## 6. LITERATURA

- [1] [http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF\\_Stainless\\_Steel\\_in\\_Figures\\_2016\\_English\\_Public.pdf](http://www.worldstainless.org/Files/issf/non-image-files/PDF/ISSF_Stainless_Steel_in_Figures_2016_English_Public.pdf) (mart 2017.);
- [2] M. Oruč, R. Sunulahpašić: Savremeni metalni materijali, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2005;
- [3] D. Mujagić – "Doprinos istraživanju uticaja mikrolegiranja sa borom, cirkonijem i telurom na osobine austenitnog nehrđajućeg čelika sa dodatkom sumpora X8CrNiS18-9", doktorska disertacija, Univerzitet u Zenici, Fakultet za metalurgiju i materijale, Zenica, 2017;
- [4] A. Mahmutović, M. Rimac: Modification of non-metallic inclusions by tellurium in austenitic stainless steel, Journal of Trends in the Development of Machinery and Associated Technology, Vol. 19, No. 1, 2015.

