

**POBOLJŠANJE TRETMANA SEKUNDARNE METALURGIJE U  
PROIZVODNJI ČELIKA ZA OTKOVKE U ŽELJEZARI ZENICA**

**IMPROVEMENT OF SECONDARY METALLURGY TREATMENT  
DURING PRODUCTION OF STEEL FOR THE FORGINGS IN  
STEELWORK ZENICA**

Mr. sc. Omer Kablar<sup>1</sup>, prof. dr. sc. Aida Mahmutović<sup>2</sup>, vanredni profesor, mr. sc. Menzur  
Plaćo<sup>1</sup>, mr. sc. Šaban Žuna<sup>2</sup>, viši asistent

<sup>1</sup>ArcelorMittal Zenica

72 000 Zenica, Bosna i Hercegovina

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

72 000 Zenica, Bosna i Hercegovina

**Ključne riječi:** sekundarna metalurgija, konstrukcioni čelici, Magmasoft

**REZIME**

*Praktični zadatak ovog rad je baziran na poboljšanju čistoće i izvatka kovačkih ingota, a na primjeru ugljeničnih čelika proizvedenih u Željezari Zenica.*

*U tom smislu izvršena je izmjena postojeće tehnologije u segmentu tretmana sekundarne metalurgije u proizvodnji tečnog čelika. U radu su detaljno opisane mjere koje su poduzete u cilju poboljšanja postojeće tehnologije obrade tečnog čelika postupcima sekundarne metalurgije, a koje se prije svega odnose na spriječavanje izljeva oksidne troske, izmjenu načina rada na LF uređaju, na VD vakuum-uređaju, kao i izmjene u načinu dodavanja livnog praha i korištenje visokoegzotermnih prahova po završetku livenja i dr. Uvedenim mjerama unaprijeđeni su tretmani sekundarne metalurgije u postojećim pogonskim uslovima, te poboljšana čistoća ugljeničnih čelika kvaliteta C45E, a čeličanski škart smanjen.*

**Keywords:** secondary metallurgy, structural steels, Magmasoft

**ABSTRACT**

*The practical objective of this paper was based on improving the cleanliness of forging ingots, improving the ingots yield by the reduction of ingot head, taking the example carbon steels produced in Steelwork Zenica*

*In that sense, the modification of existing technologies has been done in the segment of secondary metallurgy during production of liquid steel. The paper describes in detail the measures taken to improve the existing technology of liquid steel production in the secondary metallurgy processes, which are primarily related to the prevention of spillage BOF oxide slag in the ladle during tapping, adopting*

*different operation practice at the LF device, VD vacuum device, as well as changes in the way of addition a casting powder and use of high exothermic covering powders at the end of casting, etc.*

*With introduced measures of secondary metallurgy treatments has been improved in existing working conditions, and improvement is done regarding cleanliness of carbon steels grade C45E and also rejects caused by steelmaking has been reduced.*

## 1. UVOD

Željezara Zenica raspolaže kovačkim kapacitetima za proizvodnju teških otkovaka koji imaju veoma široko područje primjene.

Cilj ovog rada je da se ukaže u kojoj mjeri poboljšanja tretmana sekundarne metalurgije mogu doprinijeti povećanju stepena čistoće čelika [1], te ispunjenju zahtjeva za isporuku otkovaka prema standardu ISO 4967, a na primjeru ugljeničnih čelika C45E koji su imali najveći procenat škarta (oko 4,20 %) među čelicima prerađivanim kovanjem [2].

Inače proizvedeni otkovci moraju u principu zadovoljiti zahtjeve u pogledu hemijskog sastava, mehaničkih osobina, strukture, nemetalnih uključaka po DIN standardu (DIN 50602-K4) i po standardu ISO 4967, pri čemu je ISO standard dosta strožiji u odnosu na DIN standard. Zapaženo je da čistoća čelika u pogledu nemetalnih i oksidnih uključaka nije zadovoljavajuća, što je ukazivalo da primjenjena postojeća tehnologija proizvodnje ne obezbjeđuje kvalitet otkovaka prema standardu ISO 4967 [3], te su uvedene mjere za poboljšanje i čistoće čelika i ukupnog izvatka u proizvodnji ingota.

Također su predstavljeni rezultati simulacija očvršćavanja ingota prije i poslije uvedenih mjera poboljšana tretmana sekundarne metalurgije.

## 2. TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE ČELIKA KVALITETA C45E

U praktičnom dijelu rada prikazan je kvalitet čelika C45E. Čelik ovog kvaliteta izrađuje se u kiseoničkom konvertoru, a dorađuje na LF-u, a namijenjen je za proizvodnju otkovaka. Hemijski sastav čelika kvaliteta C45E dat je u tabeli 1.

*Tabela 1. Hemijski sastav čelika kvaliteta C45E [3].*

Hemijski element	C	Si maks	Mn	P maks	S maks	Cr maks	Mo maks	Ni maks	Cr+Mo+Ni maks
Maseni procenat	0,42-0,50	0,40	0,50-0,80	0,045	0,045	0,40	0,10	0,40	0,63

### *Izrada talina u kiseoničkom konvertoru*

- uložak za proizvodnju navedenog kvaliteta čelika se priprema po tehnološkom propisu pri čemu sirovo gvožđe mora biti poznatog hemijskog sastava i temperature,
- masa metalnog uložka treba da iznosi 110 t za dobijanje tečnog čelika od 96,5 t,
- u zavisnosti od formata ingota, od livne postave za talinu, masa metalnog uložka se može povećati ili smanjiti,
- redosljed punjenja šarže i tehnološki proces izrade čelika u kiseoničkom konvertoru se vodi prema postojećim tehnološkim propisima,

- za kvalitet C45E pred izljev iz kiseoničkog konvertora tečni metal treba da ima sadržaj P < 0,020 %, a sadržaj S što niži,
- temperatura navedenog kvalitet čelika pred izljev iz kiseoničkog konvertora treba da iznosi  $1650 \pm 10^{\circ}\text{C}$ ,
- dezoksidacija se vrši sa FeSiMn i FeSi, a po potrebi i FeMn,
- livni kazan treba biti zagrijan na temperaturu od  $1000 - 1100^{\circ}\text{C}$ .

#### *Rafinacija talina na LF-u*

Redukcija troske se vrši dodatkom sitnog FeSi uz eventualni dodatak karburita; sekundarna troska formira se dodatkom kreča i fluorita i mora biti odgovarajućeg hemijskog sastava i fluidnosti.

Hemijski sastav čelika mora ležati u granicama propisa hemijske analize čelika, a za kvalitete čelika C45E sadržaj C i Mn treba da bude oko srednje vrijednosti propisane hemijske analize za čelik kvaliteta C45E (C 0,45-0,46% i Mn oko 0,65%), sadržaj Si treba biti oko 0,20-0,25 %, dok se nastoji se da sadržaj Cr bude 0,25-0,30 %, Ni 0,15 %, te Mo 0,7 % [4].

Homogenizacija hemijskog sastava taline i temperature vrši se za vrijeme obrade na LF-u uz produhavanje taline argonom. Za kvalitet čelika C45E temperatura završetka obrade na LF-u je oko  $1650^{\circ}\text{C}$ .

#### *Vakuumiranje talina*

- trajanje vakuumiranja je 20 min., a računa se od momenta nastanka dubokog vakuuma (ispod 3 mbar),
- temperatura na početku procesa vakuumiranja za kvalitet C45E je  $1640^{\circ}\text{C}$ , a na kraju procesa vakuumiranja  $1570^{\circ}\text{C}$ ,
- sadržaj vodika nakon vakuumiranja treba biti  $\leq 2$  ppm.

#### *Obrada taline nakon vakuumiranja*

- dolegiranje nakon vakuumiranja se vrši sa Al zvjezdicama nastojeći da sadržaj Al bude oko 0,030 %,
- ispiranje-homogenizacija taline se vrši laganim produhavanjem argonom, a za vrijeme homogenizacije ne smije se vidjeti "gola" uzburkana površina tečnog metala kako bi se izbjegla naknadna reoksidacija čelika,
- homogenizacija se vrši minimalno 10 min., odnosno do temperature  $1550^{\circ}\text{C}$ ,
- karakteristična temperatura livenja za ovaj kvalitet iznosi  $1545 \pm 5^{\circ}\text{C}$ .

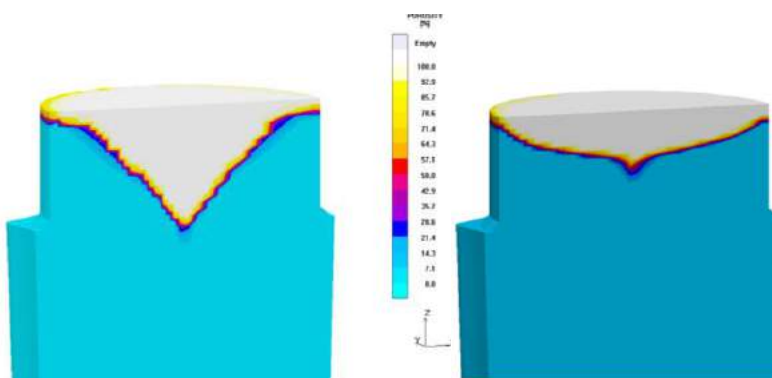
Pripremu kokila i kapa, priprema livne postave, livenje, stripovanje i otprema ingota se vrši prema odgovarajućim tehnološkim propisima.

### 3. KONCEPT IZMJENE STANDARDNE TEHNOLOGIJE

Kako bi se postiglo značajno poboljšanje stepena čistoće čelika za izradu otkovaka uvedena su poboljšanja u tretmanima sekundarne metalurgije u Željezari Zenica, te je:

- uveden veći stepen dezoksidacije pri izljevu iz konvertora povećanjem količine dodanog aluminija na najmanje 1 kg/t čelika uz dodatak ukupno potrebnog silicija,
- uvedeno je legiranje aluminijem poslije vakuumiranja, injektiranjem Al - žice,
- izmijenjen je kvalitet vatrostalnog materijala ulivnog sistema,
- promijenjen je dizajn egzo okvira i kvalitet pokrivnog praha za glave ingota,
- prilagođen je intenzitet produhavanja argonom tehnološkoj operaciji, obrade kalcijem u postojećim uslovima,
- kontinuirano je praćeno formiranje troske u kazanu, pri izljevu iz konvertora i u toku obrade na LF-uređaju preko praćenja hemijskog sastava konvertorske troske, kazanske troske i aktiviteta kisika,
- uvedeno je dodavanje CaSi - žica nakon vakuumiranja,
- uvedeno je preciznije vođenje temperaturnog režima taline,
- primijenjen je novi način dodavanja livnog praha.

Na slici 2. su predstavljeni rezultati simulacija očvršćavanja 25 tonskog ingota prije i poslije promjene dizajna egzo okvira, kvaliteta pokrivnog praha za glave ingota i primjene novog načina dodavanja livnog praha. Navedene mjere su značajno doprinijele smanjenju lunkera i neophodnog odrezivanja glave ingota, odnosno povećanju izvatka.



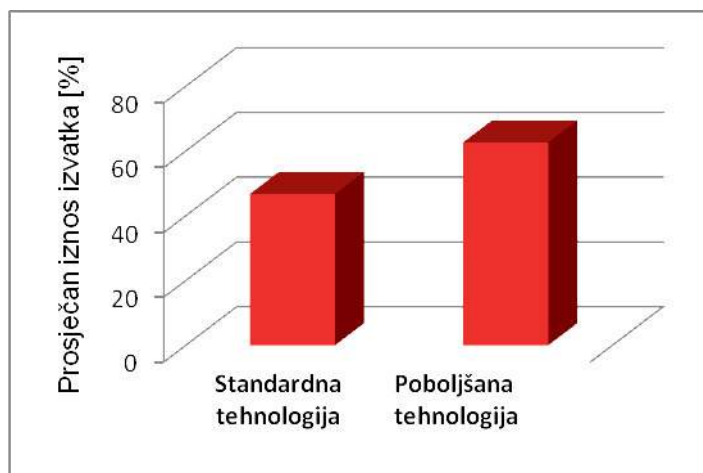
Slika 1. Rezultati Magmasoft simulacije očvršćavanja 25 t ingota prije (lijevo) i poslije (desno) uvedenih poboljšanja [2].

Većim dodatkom aluminija u kazan pred izjev taline iz kiseoničkog konvertora, dodatka aluminija tokom obrade na LF - uređaju, i posebno injektiranjem Al-žice tokom obrade nakon vakuumiranja dovelo je do većeg iskorištenja dezoksidacione sposobnosti aluminija. Na ovaj način postiglo se značajno poboljšanje dezoksidiranosti taline i kazanske troske što je rezultiralo i manjim sadržajem nemetalnih uključaka, kao i njihovom modifikacijom [2]. Također se značajno poboljšao kvalitet otkivaka pri kontroli ultrazvukom, a smanjen je i broj detektovanih grešaka, od kojih su neke vrste potpuno i eliminisane.

Posebno je smanjen udio čeličanskog škarta koji može predstavljati velike gubitke u procesu proizvodnje otkivaka. Također taline izrađene po poboljšanoj tehnologiji zadovoljavaju ISO 4967 standard u pogledu sadržaja oksidnih i sulfidnih uključaka.

Na osnovu pregleda masa ingota i otkivaka u odnosu na redovni i vanredni škart po standardnoj tehnologiji i po poboljšanoj tehnologiji konstantovano je da prosječan iznos izvataka iznosi 62,7% po poboljšanoj tehnologiji i 46,8% po standardnoj tehnologiji [5].

Na dijagramu, slika 2., predstavljeni su prosječni iznosi izvataka za taline rađene po standardnoj i po poboljšanoj tehnologiji.



Slika 2. Usporedba prosječnih procenata izvataka za taline izrađene po standardnoj i poboljšanoj tehnologiji [5].

Na osnovu dijagrama sa slike 2., kao i provedenih ispitivanja veličine i hemijskog sastava nemetalnih uključaka [2, 4] može se zaključiti da taline proizvedene po poboljšanoj tehnologiji, u pogledu mjera sekundarne metalurgije, imaju ne samo veći izvadak u odnosu na taline rađene po standardnoj tehnologiji, nego i značajno poboljšan stepen čistoće čelika.

#### 4. ZAKLJUČAK

Zbog konstantnog poboljšanja tehnologija za proizvodnju čelika pred proizvođačima čelika se danas postavljaju sve strožiji zahtjevi u pogledu kvaliteta.

Sa izmjenom postojeće tehnologije u proizvodnji čelika, a posebno u segmentu izmjene u provođenju tretmana sekundarne metalurgije moguće je poboljšati i unaprijediti stepen čistoće čelika. Taline izrađene po poboljšanoj tehnologiji zadovoljavaju ISO 4967 standard u pogledu sadržaja oksidnih i sulfidnih uključaka.

S obzirom da udio škarta zbog čeličanskih grešaka može predstavljati velike gubitke u procesu proizvodnje otkivaka, primjenom poboljšanih postupaka sekundarne metalurgije značajno se može smanjiti udio škarta zbog čeličanskih grešaka, i povećati ukupan izvadak u proizvodnji otkovaka.

## 5. LITERATURA

- [1] Ghosh, A.: Secondary Steelmaking: Principles and Applications, CRC Press 2000.,
- [2] Kablar, O.: „Poboljšanje tretmana sekundarne metalurgije u proizvodnji konstrukcionih čelika u Arcelormittal Zenica“, magistarski rad, Univerzitet u Zenici 2014.,
- [3] Mahmutović A., Kablar O., Žuna Š, Adilović A., Arnaut N., Balihodžić N: „Poboljšanje stepena čistoće otkovaka tretmanima sekundarne metalurgije u željezari zenica“ IX Naučno - stručni simpozij sa međunarodnim učešćem “METALNI I NEMETALNI MATERIJALI: proizvodnja-osobine-primjena“ Zenica, BiH, 23.-24. april 2012.,
- [4] EN 10083-2: Steels for quenching and tempering, European committee for standardization 2006.,
- [5] Bašić E.: „Poboljšanje tretmana sekundarne metalurgije u proizvodnji ugljeničnih čelika u željezari Zenica“, diplomski rad, Univerzitet u Zenici 2014.