

Poboljšanje kvaliteta kovačkih ingota izradom djelomično dezoksidiranog čelika u peći i dezoksidacijom u vakuumu

Improvement of Forging Ingot Quality by Partial Deoxidation of Steel in Furnace and Final Vacuum Deoxidation

M. Serdarević, F. Mujezinović, H. Babahmetović, Metalurški institut "Hasan Brkić", Zenica

Prva industrijska upotreba vakuumske metalurgije je bila prije svega namijenjena smanjenju sadržaja vodika radi sprečavanja nastajanja pahuljica u otkovcima. Kasnije se upotrebljava za vakuumsku dezoksidaciju čiji je cilj smanjenje sadržaja kisika, a danas je njeno težište u homogenizaciji taline, u mogućnosti korekcije hemijskog sastava čelika kao i dodavanje legirajućih elemenata i dezoksidacija metala.

U ovom radu je izvršena izrada čelika u SM pećima sa potpunom dezoksidacijom u kazanu i vakuumiranjem čelika (varijanta I) i izrada čelika u SM pećima sa djelomičnom dezoksidacijom čelika u kazanu i vakuumiranjem čelika sa argoniranjem (varijanta II).

Testings of carbon steels intended for processing by forging were carried out. The existing technology of steelmaking in open-hearth furnaces with full deoxidation before vacuum treatment of steel has not given satisfactory results with regard to steel purity. The steel of satisfactory purity has been provided by heats made in open-hearth furnaces by partial deoxidation of steel in ladle and then vacuum deoxidation with argon purging of steel. The analysis of non-metallic inclusions by optical microscopy has shown that the average slag number for heats made by full deoxidation of steel before vacuum treatment is 3.53 and for heats made by partially deoxidized steel in ladle and final vacuum deoxidation is 2.34.

1 Plan uzimanja uzoraka

1.1 Probe metala i troske

U toku izrade čelika u pećima, za vrijeme obrade čelika u kazanu i u toku vakuumiranja uzimane su probe za kontrolu hemijskog sastava metala. U toku vakuumiranja pored kontrole hemijskog sastava čelika mjereno je sadržaj aktivnog kisika u čeliku.

1.2 Probe iz otkovaka

Iz otkovaka su rezane probne ploče za slijedeća ispitivanja:

- makrouključaka po metodi plavog loma. Na pločama su urezani utori, a zatim je vršeno ispitivanje prema standardu PN 60;
- nemetalnih uključaka optičkim mikroskopom. Uzorci su uzimani iz ploče prema listu 1. Ispitivana površina je paralelna smjeru izduženja materijala prilikom kovanja;
- nemetalnih uključaka na REM-u.

2 Izrada opitnih talina

Ovdje je bio osnovni cilj da se izvrše industrijske probe pomoću dvije tehnološke varijante. Izrada opitnih talina pomoću varijante I nije imala većih izmjena od ustaljene tehnologije proizvodnje umirenih čelika u nagibnim SM

pećima. Ova tehnologija sastoji se od izrade čelika u SM peći, potpune dezoksidacije čelika u kazanu i vakuumiranja čelika. Tehnološka varijanta II: izrada čelika u SM pećima, djelomična dezoksidacija čelika u kazanu, vakuumiranje čelika u RH uređaju i argoniranje čelika u toku vakuumiranja.

Vakuumiranje djelomično dezoksidiranog čelika vršeno je 10–15 minuta, a zatim je izvršena konačna dezoksidacija u vakuumu sa ferosilicijem i aluminijem. Količina dodatog aluminija kod izrade čelika pomoću varijante II je smanjena za 0.5 kg/t čelika u odnosu na varijantu I radi smanjenja količine oksidnih uključaka.

Nakon toga vršeno je obavezno argoniranje u toku vakuumiranja čelika da bi se poboljšala cirkulacija i homogenizacija čelika po cijelom obimu kazana.

3 Vakuumiranje čelika

Proces vakuumiranja u RH uređaju odvijao se prema slijedećim uslovima koji su prikazani u tabeli 1. Kod vakuumiranja čelika izradjenog pomoću tehnološke varijante II vršeno je argoniranje čelika kako bi se izvršila homogenizacija taline i lakše isplivali nemetalni uključci.

4 Analiza rezultata

4.1 Metalografska ispitivanja

Probni uzorci eksperimentalnih talina podvrgnuti su metalografskoj makro i mikroanalizi sadržaja i raspodjele nemetalnih uključaka.

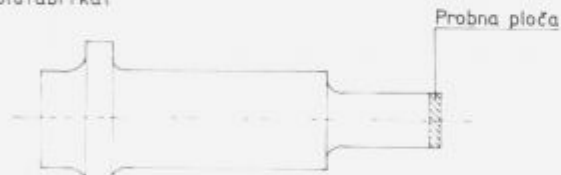
Tabela 1. Osnovni tehnološki parametri vanpečne obrade čelika.

Tehnološka varijanta I								Tehnološka varijanta II						
Redni broj	Dodaci u vakuum komori (kg/t)			Temperatura čelika (°C)				Dodaci u vakuum komori (kg/t)				Temperatura čelika (°C)		
	FeSi	C	Al	Pred izljev	U kazanu	Pred vak.	Poslije vak.	FeSi	FeMn	C	Al	Pred izljev	Pred vak.	Poslije vak.
1.	0,23	-	-	1695	1647	1607	1573	0,34	-	0,92	0,49	1672	1623	1571
2	-	-	0,22	1701	1655	1626	1574	1,14	-	-	0,23	1680	1633	1574
3.	-	0,33	-	1667	1615	1594	1568	0,35	-	-	0,49	1661	1628	1572
4	-	-	0,17	1671	-	1605	1572	0,58	1,17	-	0,48	1659	1642	1579
5	-	0,51	-	1675	1631	1611	1569	1,12	-	0,37	0,46	1669	1617	1559

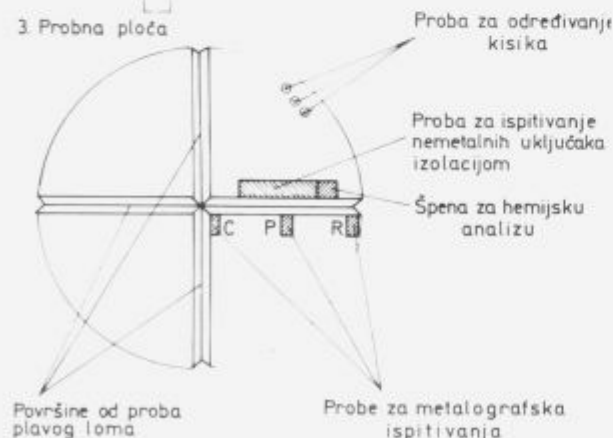
1. Ingot



2. Polufabrikat



3. Probna ploča



List 1. Način uzimanja uzoraka iz kovačkih ingota.

Figure 1. Method of sampling from forging ingots.

Makroskopska ispitivanja

Na odsječenim pločama iz otkovaka debljine oko 20 mm nakon ultrazvučne kontrole kvaliteta otkovaka, izvršena su makroispitivanja pomoću Baumanovog otiska, dubokog nagrizanja i proba plavog loma. Ocjena proba plavog loma opitnih talina data je u tabeli 2. Na listu 2 prikazan je izgled makrouključaka kod odbačenih otkovaka ϕ 500 mm i ϕ 1100 mm. Otkovci su odbačeni zbog grešaka koje su registrovane pri kontroli ultrazvukom. Na snimku makrouključci izgledaju kao svijetle linije. Na snimku A predstavljen je dio ploče iz centralne zone otkovka sa malim stepenom prerade (ϕ 1100 mm) gdje su makrouključci različite veličine i zaobljenog oblika. Na snimku B vide se izduženi makrouključci kod osovine ϕ 500 mm sa većim stepenom prerade. Ploča izrezana iz osovine ϕ 1100 mm dodatno je ispitana ultrazvukom u laboratoriju. Na osnovu tih ispitivanja šematski je prikazan oblik centralne zone ploče i položaj otkrivenih grešaka koje su označene znakom "x", list 2 4c.

Crtanom linijom na šemi označen je položaj ploče koja je ispitana metodom dubokog nagrizanja. Tamna mjesta na ovom snimku (D) označavaju položaj makrouključaka na ispitanoj ploči. Sa lista 2C i D uočljivo je da makrostruktura dobivena dubokim nagrizanjem potvrđuje loš nalaz ultrazvučnih ispitivanja. Uzorci iz ovih ploča dalje su ispitivani na raster elektronskom mikroskopu da bi se detaljno utvrdilo porijeklo makrouključaka.

4.2 Analiza nemetalnih uključaka

Metalografskoj mikroanalizi nemetalnih uključaka optičkom i kvantitativnom mikroskopijom pomoću kvantimetra (KTM) podvrgnuti su uzorci iz rubne (R), prelazne (P) i središnje (S) zone probnih otkovaka kako je prikazano na listu 1.

Metalografski izbrusci dimenzija 15×50 mm i njihove uzdužne površine paralelne pravcu kovanja su do-

Tabela 2. Ocjena stepena onečišćenosti čelika makro nemetalnih uključaka na probama plavog loma (PN-60/II-/05509).

Proces proizvodnje	Oznaka taline	Nemetalni uključci			
		Količina A	Dužina B	Debljina C	Raspodjela D
VARIJANTA I POTPUNA DEZOKSIDACIJA U KAZANU	079634	2	2	1	1
	079732	1	1	1	1
	085547	1	1	1	1
	085513	5	4	3	5
	085555	4	4	5	4
	Prosjek	2.6	2.4	2.2	2.4
VARIJANTA DJELOMIČNA DEZOKSIDACIJA U KAZANU	064585	2	2	2	2
	055879	2	2	2	1
	055888	2	2	2	2
	055942	2	1	1	2
	032064	2	1	2	2
	P	2.0	1.6	1.8	1.8

bivene rezanjem probnih ploča nakon makroanalize probom plavog loma. Rezultati ispitivanja mikrouključaka pod mikroskopom dobiveni poredjenjem sa ASTM standardom i skalom E45-86 (metod A) predstavljeni su u tabeli 3, a u grafičkoj formi na listu 3.

Rezultati analize optičkom mikroskopijom ukazuju na veće onečišćenje nemetalnih uključcima opitnih talina koje su radjene pomoću tehnološke varijante I u odnosu na veću čistoću talina koje su izradjene pomoću tehnološke varijante II, tabela 3.

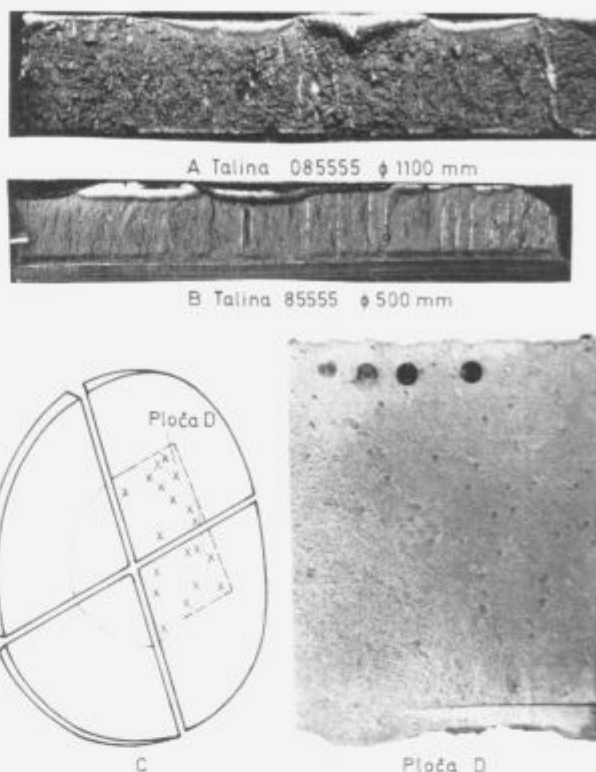
Ispitivanje uzoraka na raster elektronskom mikroskopu

Da bi se izvršila identifikacija oksidnih i sulfidnih uključaka u otkovcima koji su izradjeni iz talina pomoću obje tehnološke varijante uzeti su uzorci iz ploča paralelno sa uzorcima za metalografska ispitivanja (rub, prelaz i sredina).

Uzorci su ispitani na REM-u u sprezi sa energetske-disperzivnim analizatorom x-zraka (EDAX) dajući kvalitativnu analizu prisutnih hemijskih elemenata u analiziranom području. U cilju utvrđivanja morfologije oksidnih uključaka ispitivani su uzorci u nenagriženom stanju i nagriženi sa 2% HN_3 . Na prelomima izbrusaka nadjeni su kompleksni uključci tipa $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ sa različitim odnosom obje komponente.

5 Zaključak

Rezultati su pokazali da kvalitet čelika ne zadovoljava kod otkovaka koji su dobiveni iz opitnih talina izradjenih pomoću potpune dezoksidacije u kazanu i vakuumiranjem (tehnološka varijanta I). Na talinama koje su radjene



List 2. Izgled makrouključaka na probama loma poslije dubokog nagiženja odbačene taline 085555—Tehnološka varijanta I

Figure 2. Macro inclusion appearance on blue brittleness samples after deep etching of rejected heat 085555—Technological variant I.

pomoću vakuumiranja djelomično dezoksidiranog čelika sa argoniranjem (tehnološka varijanta II), kvalitet čelika zadovoljava.

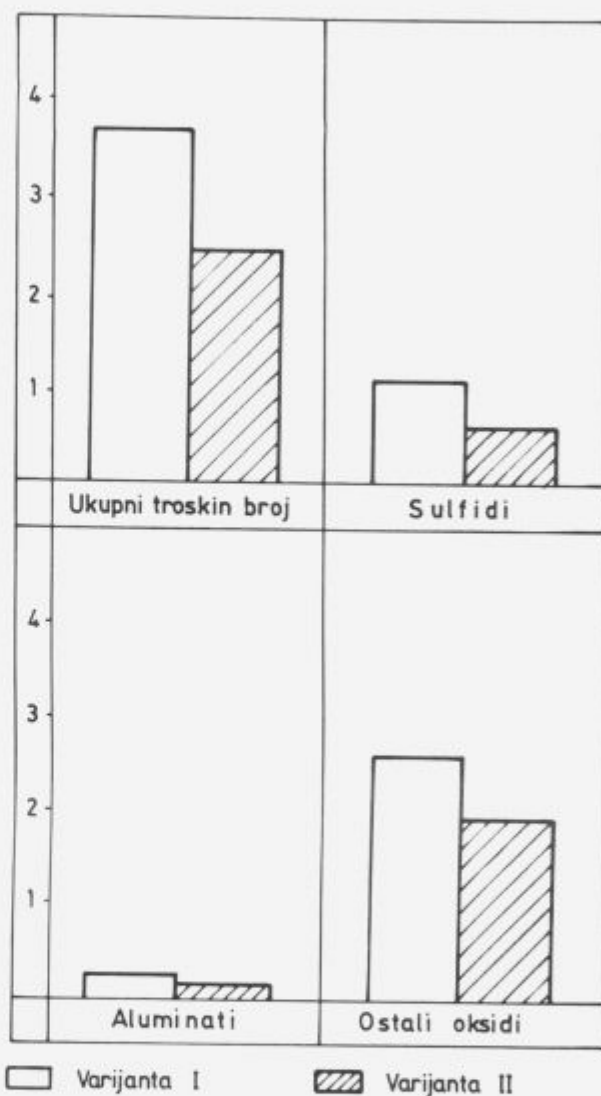
Do poboljšanja kvaliteta čelika je došlo zbog dezoksidacije čelika u vakuumu ugljikom, usljed smanjenja dodate količine aluminija u čeliku i intenzifikacije vakuumiranja pomoću argoniranja čelika, čime je obezbijedjeno vakuumiranje čitavog obima kazana i homogenizacija taline.

6 Literatura

- 1 H. Knuppel: Desoxidation und Vakuumbehandlung von Stahlschmelzen, Verlag Stahleisen MBH—Dusseldorf, 1983, s. 9–171
- 2 V.I. Javojski: Teorija procesa proizvodstva stali, Izdateljstvo, "Metallurgija", Moskva 1967, s. 622
- 3 Y. Suzuki and T. Kuwabara: Secondary Steelmaking, 1978, The Metals Society, s. 1–3
- 4 V.M. Breus: Kombinirovani procesi vanpečno obrabotki stali, Černaja metallurgija, Moskva 1987, br. 2, s. 11–25
- 5 M. Kepka: Metallurgy of large ingots and their heterogeneity, Treća međunarodna konferencija, 2–4. juna 1986, Balatonfired, s. 310–314

Tabela 3. Analiza nemetalnih uključaka prema ASTM-standardu E-45-86.

Oznaka taline	Proba	Ukupno troskin broj	Nemetalni uključci			
			Sulfidi A	Alumin B	Silikat C	Oksidi D
TEHNOLOŠKA VARIJANTA I						
079634	R	3,6	1,1	-	-	2,3
	P	4,0	1,4	-	-	2,6
	S	4,1	1,5	-	-	2,6
079732	R	3,7	0,7	0,5	-	2,5
	P	3,3	0,3	-	-	3,0
	S	4,0	1,0	-	-	3,0
085547	R	2,9	0,6	0,1	-	2,2
	P	2,9	0,6	0,6	-	1,7
	S	2,9	0,8	0,6	-	1,5
085513	R	3,6	1,1	-	-	2,5
	P	4,2	2,2	-	-	2,0
	S	3,5	1,2	-	-	2,3
085555	R	4,2	1,0	-	-	3,2
	P	3,6	1,0	-	-	2,6
	S	2,8	1,1	-	-	1,7
Prosjeak		3,53	1,04	0,12	0,0	2,39
TEHNOLOŠKA VARIJANTA II						
064585	R	1,93	0,21	-	-	1,72
	P	1,97	0,40	-	-	1,57
	S	1,91	0,41	-	-	1,50
055879	R	2,25	0,65	-	-	1,60
	P	2,14	0,65	-	-	1,49
	S	3,04	0,45	-	-	2,59
055888	R	2,20	0,24	-	-	1,96
	P	1,86	0,24	-	-	1,62
	S	2,24	0,62	-	-	1,62
055942	R	2,43	0,44	-	-	1,95
	P	2,43	0,56	-	-	1,87
	S	2,65	0,47	-	-	2,18
032064	R	2,43	0,90	-	-	1,53
	P	2,97	0,77	0,08	-	2,12
	S	2,69	0,42	0,16	-	2,11
Prosjeak		2,34	0,49	0,04	0,0	1,82



List 3. Grafički prikaz prosječnih vrijednosti analize uključaka optičkom mikroskopijom.

Figure 3. Graphic presentation of average values of inclusion analysis using optical microscopy.