

Joža Arh, dipl. inž.
Zelezarna Jesenice*

DK: 669.141.241.4 : 669.187.2
ASM/SLA: St-d; D-5

Informacija o možnosti izdelave nepomirjenega jekla v električnih obločnih pečeh

V jeseniški železarni pravkar načrtujejo novo jeklarno. SM peči so dotrajane in proizvodnja na skrajni meji rentabilnosti. Bodoči jeklarski agregati bodo po vsej verjetnosti električne peči. Ker v našem sedanjem proizvodnem programu precejšen del zavzema tudi nepomirjeno jeklo, se moramo vprašati, če bomo iz bodoče jeklarnе, ki naj bi imela le električne peči, lahko dobivali tudi nepomirjeno jeklo. Poskusi, ki jih obravnavamo v tem poročilu, naj dajo odgovor na to vprašanje.

UVOD

Največji del v svetovni proizvodnji jekla zavzema nepomirjeno jeklo, in to predvsem zaradi visokega izkoristka in dobre površine. Najustreznejše peči za izdelavo nepomirjenega jekla so martinovke in konvertorji. Električne peči so primerne predvsem za izdelavo pomirjenega jekla. V preteklem desetletju, ko je začela proizvodnja SM jekla hitro upadati, predvsem zaradi hitre ekspanzije LD jekla, pa so del te proizvodnje prevzele električne peči, ki se ponekod zelo hitro širijo in iz kvalitetne proizvodnje prehajajo vedno bolj v proizvodnjo masovnega jekla kot n. pr. konstrukcijska jekla, jekla za elektro pločevino, betonsko železo in podobno. O proizvodnji nepomirjenega jekla na električnih pečeh v strokovni literaturi ni mogoče najti nobenih poročil, čeprav so znani posamezni primeri take proizvodnje.

Izdelava poizkusnih šarž

Vse šarže smo izdelali na 60-tonski Lectromelt peči. Potem ko je bila šarža raztaljena in je bila znana sestava jekla, smo šaržo ogreli na 1600°C in jo z enim ali dvema presledkoma spihali s kisikom na 0,10 do 0,07 % C. Vmes smo dodajali apno zaradi tvorjenja primerno bazične žlindre in odžveplanja, ker je v nasprotju z dvožlindrnim

procesom, kjer je oksidacija hitra in intenzivna, žveplo treba odstraniti že med oksidacijo. Ker je odžveplanje poleg zadostne koncentracije prostega CaO in temperature tudi funkcija časa, je običajno takšna oksidacija daljša, odvisno pač od vsebnosti žvepla ob raztalitvi in zahtevanega končnega žvepla. Ko smo dosegli predpisano sestavo, v našem primeru od 0,07 do 0,10 % C in pod 0,040 % S in potrebno temperaturo jekla 1640°C, smo šaržo odlili v ponev. V ponev smo dodali tudi potrebni FeMn za korekturo mangana. Izdelava nepomirjenega jekla je torej povsem preprosta. Važno pri tem je le, da je prebodna odprtina primerno majhna, tako da se jeklo in žlindra pri prebodu ne moreta mešati. Proizvodnja nepomirjenega jekla je lahko, ob dobrem vložku in pri ugodni prvi analizi — ob raztalitvi, zelo hitra. Izdelavo jekla v fazi oksidacije kaže slika 1. Slika 2 pa prikazuje vlivanje nepomirjenega jekla z značilnim iskrenjem pri kuhanju.

Pregled izdelanih šarž kaže naslednja tabela:

Iz tabele je razvidno, da so bile šarže izdelane pri različnih pogojih t. j. od mehke raztalitve z 0,09 % C pri šarži 14 4852 in 14 5015 do trde pri šarži 14 4909 z 1,08 % C.

Tudi končne analize kažejo, da je bila sestava jekla po livnih ploščah različna, in sicer se je ogljik gibal od 0,06 do 0,11 %. FeO je bilo v žlindri pri osem šaržah okrog 10 %, pri dveh pa okrog 22 %. Odgovarjajoče sestavi jekla in žlindre je bilo tudi kuhanje jekla v kokilah. Pri večini šarž je bilo kuhanje razmeroma slabo. Vendar se je dalo vse šarže zelo lepo viliti. Vsebnost kisika v jeklu je bila ravno zadostna, da se je vsaka šarža praktično vlila sama in ni bilo treba dodajati niti aluminija za vezanje kisika niti pospeševalcev kuhanja za boljše kuhanje v kokili. Šarži 14 4909 in 14 4931 pa sta zaradi načina izdelave pihanja na nižji ogljik, višji FeO v žlindri, ker žlindre nismo posnemali, vsebovali znatno več kisika (glej tabelo 1) in sta se pri vlivanju obnašali tako kakor

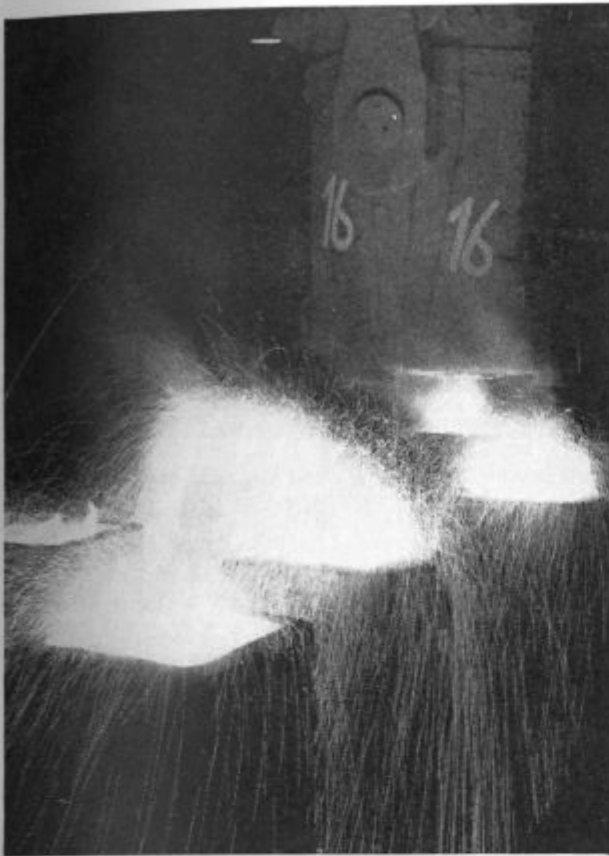
* Predavanje na metalurškem srečanju v Portorožu od 12. do 13. oktobra 1972.

Tabela 1:

St. šarže	Sestava jekla v %																		
	ob raztalitvi				pred prebodom				ppm temp.		iz curka pri vlivanju						(ppm)		
	C	Mn	P	S	C	Mn	S	FeO	O ₂	°C	C	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	N ₂	O ₂
14 4829	0.36	0.19	0.016	0.054	0.10	0.21	0.030	10.45	423	1640	0.07 0.08	0.35	0.010	0.032	0.08	0.22	0.09	—	325
14 4852	0.09	0.15	0.009	0.070	0.10	0.28	0.027	10.6	344	1635	0.09 0.10	0.40	0.014	0.037	0.11	0.20	—	55	276
14 4909	1.08	0.23	0.029	0.043	0.06	0.13	0.030	21.8	536	1645	0.07 0.06	0.35	0.005	0.029	0.11	0.17	0.15	48	434
14 4931	0.32	0.29	0.006	0.026	0.06	0.23	0.018	22.0	520	1640	0.07	0.27	0.005	0.017	0.05	0.15	0.06	37	452
14 4937	0.61	0.37	0.020	0.050	0.09	0.40	0.025	9.05	352	1640	0.11 0.10	0.36	0.013	0.033	0.17	0.20	0.07	49	265 274
14 5011	0.63	0.14	0.023	0.048	0.07	0.19	0.042	10.17	595	1650	0.06 0.05	0.37	0.010	0.037	0.08	0.22	0.07	54	438
14 5013	0.33	0.30	0.006	0.037	0.08	0.28	0.023	9.16	453	1640	0.08	0.34	0.007	0.025	0.06	0.22	0.06	56	298 311
14 5015	0.05	0.05	0.008	0.042	0.12	0.27	0.032	14.4	495	1650	0.06	0.27	0.006	0.025	0.04	0.22	0.08	63	432
14 5017	0.60	0.47	0.022	0.037	0.08	0.31	0.029	10.7	492	1645	0.08	0.32	0.006	0.023	0.11	0.20	0.09	47	374
14 5021	0.42	0.19	0.014	0.042	0.06	0.18	0.038	11.3	—	1645	0.06 0.07	0.35	0.009	0.032	0.14	0.20	0.08	49	—
14 5027	0.50	0.20	0.019	0.039	0.10	0.19	0.035	9.5	—	1650	0.06	0.30	0.006	0.031	0.09	0.28	0.09	46	—

Pregled izdelanih šarž nepomirjenega jekla kvalitete Č 0146 in Č 0147


 Slika 1
 Izdelava jekla — oksidacija



Slika 2
Vlivanje nepomirjenega jekla z značilnim iskrenjem pri kuhanju

običajne martinarske šarže. Kuhanje je bilo ves čas vlivanja izredno močno in je v zgornji polovici prešlo v penjenje, tako da je bilo treba kisika v jeklu znižati z dodajanjem aluminija v curek jekla (do penjenja pride takrat, kadar je kisika v jeklu toliko, da kuha po celem preseku bloka in ne le v coni strjevanja ob stenah kokile.)

Vse šarže smo vlili od spodaj — sifonsko, z razmeroma majhno hitrostjo dviganja jekla, ki je bilo v mejah od 14 do 20 cm/min, le na treh livnih ploščah je bila hitrost večja od 20 cm/min. Teža enega bloka znaša 4800 kg, format kokile 650 mm kvadrat, na eni livni plošči pa vlivamo po štiri bloke naenkrat. Razen štirih blokov pri šarži 14 4909, ki smo jih po izkuhanju pokrili, smo vse druge po 5 do 10-minutnem kuhanju blokirali z aluminijem.

PREISKAVE IN REZULTATI

Gibanje kisika v peči, v ponvi in v gredicah pri elektro in SM jeklu

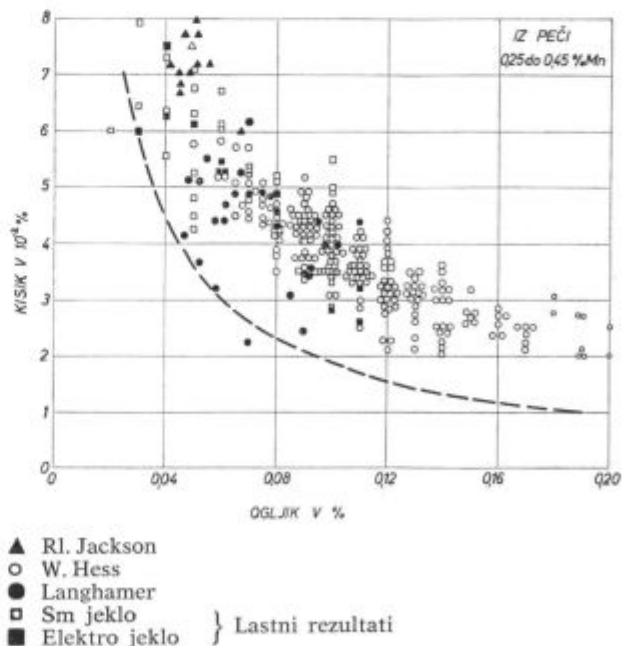
O vlivanju nepomirjenega jekla je bilo v strokovni literaturi objavljenih že mnogo fundamentalnih raziskav. Kljub temu predstavlja vlivanje in strjevanje nepomirjenega jekla še danes neke vrste neobvladano umetnost, od katere sta odvisni

tako čistoča jekla kakor tudi kvaliteta površine. Kakovost nepomirjeno vlitega jekla je v veliki meri odvisna od fizikalno kemijskih procesov med strjevanjem v kokili. Najbolj važno pri tem je »kuhanje« taline, ki je posledica medsebojnega delovanja ogljika in kisika v jeklu. Zato da lahko izdelamo kvalitetno neoporečno jeklo, mora biti pri danem ogljiku toliko kisika v jeklu, da je zagotovljeno dobro kuhanje.

Vsebnost kisika v jeklu v kokili pa je odvisna od fizikalno kemijskih reakcij v celotnem procesu izdelave jekla, to je od reakcij v peči, med odlitjem v ponev in med vlivanjem in je zaradi različnih pogojev med izdelavo od šarže do šarže različna.

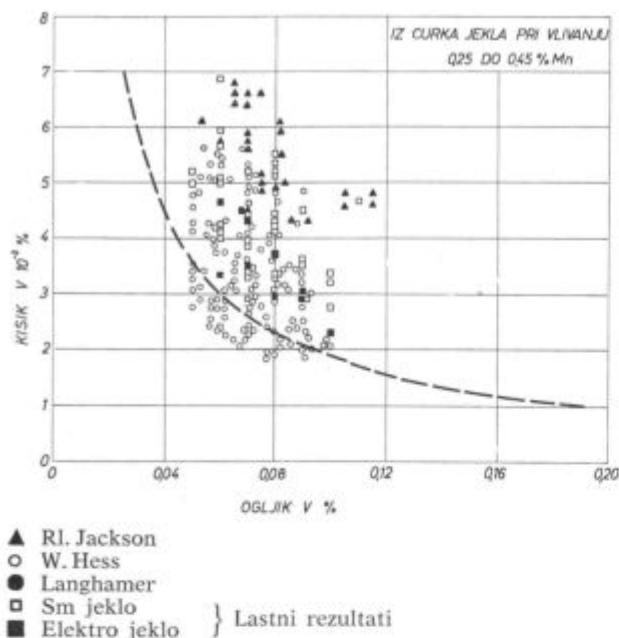
Ko smo se odločali za poskuse izdelave nepomirjenega jekla na električni peči, je bila prav do tedaj ne dovolj poznana vsebnost kisika v jeklu v peči in v curku pri vlivanju tista zavora, ki nam je jemala pogum za prvi poskus. Z namenom dobiti potrebne podatke o vsebnosti kisika, smo pri izdelavi nizkoogljičnih jekel najprej določali kisik pri približno enaki sestavi kot jo ima jeklo Č 0147. Ze ti podatki so pokazali in rezultati poskusnih šarž so potrdili, da je proizvodnja nepomirjenega jekla možna tudi v električnih pečeh.

Slike 3, 4 in 5 prikazujejo vsebnost kisika, kako je odvisen od ogljika v jeklu v peči, v curku jekla med vlivanjem in v bloku, oziroma v gredici, za SM in elektro jeklo v primerjavi z rezultati nekaterih tujih avtorjev. Iz slike je razvidno, da se naši rezultati dovolj dobro ujema z rezultati tujih avtorjev (1, 2, 3) in da je vsebnost kisika v jeklu, ki je izdelano v električni peči, približno enaka, oz. nekoliko nižja kakor pa vsebnost kisika v jeklu, ki je izdelano v SM peči. To velja pred-



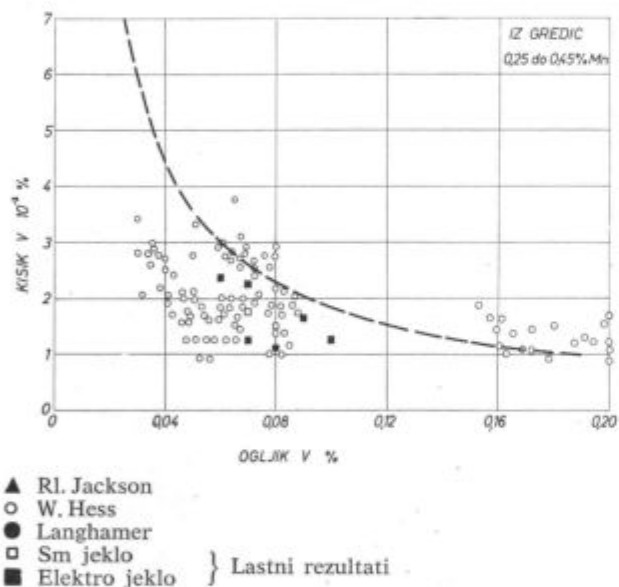
Slika 3

Vpliv ogljika na vsebnost kisika v jeklu v peči



Slika 4

Vpliv ogljika na vsebnost kisika v curku jekla pri vliwanju



Slika 5

Vpliv ogljika na vsebnost kisika v bloku oziroma gredici

vsem za kisik v jeklu v peči in v curku jekla iz ponve pri vliwanju. Analize kisika v gredicah kažejo, da v končnem izdelku ni bistvene razlike med SM in elektro jeklom.

Globina plinskih mehurjev v jeklu

Od vsake šarže smo vzeli po en ali dva vzorca iz robu bloka za določevanje globine plinskih mehurjev v zunanjem spodnjem vencu mehurjev. Za vse šarže je značilno, da so bili plinski mehurji zelo globoko pod površino, in to od 25 mm pri šarži 14 4937 z najmanj ugodno sestavo in najslabšim kuhanjem do 50 mm pri šarži 14 4852. Preiska-

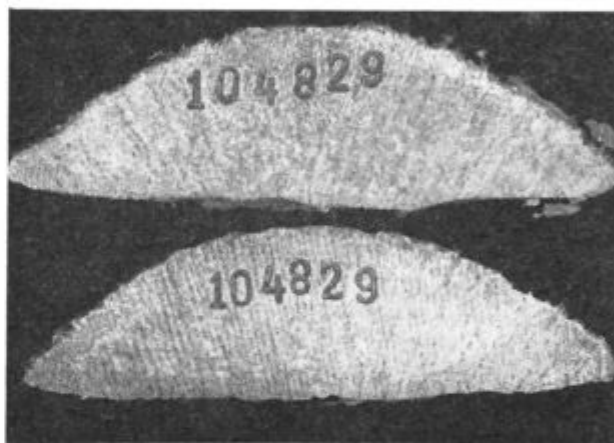
ve globine mehurjev kažejo, da le-ta ni toliko odvisna od intenzivnosti kuhanja, pač pa predvsem od hitrosti vliwanja, kar je razvidno iz tabele 2. (dia 939).

Tabela 2

Šarža	Sestava			ppm O ₂	hitrost globine mehurjev cm/min. v mm	
	C	Mn	S			
14 4829	0,07	0,35	0,032	354	19	30
	0,08			299	17	40
14 4852	0,09	0,40	0,037	293	14	50
	0,10			305	23	25
14 4909	0,07	0,35	0,029	434	21	25
14 4937	0,11	0,36	0,033	265	16	25

Vpliv hitrosti vliwanja na globino zunanjega venca plinskih mehurjev

Pri majhni hitrosti vliwanja, oziroma pri počasi rastočem ferostatičnem pritisku se plinski mehurji lahko hitreje izločajo tudi pri slabem kuhanju



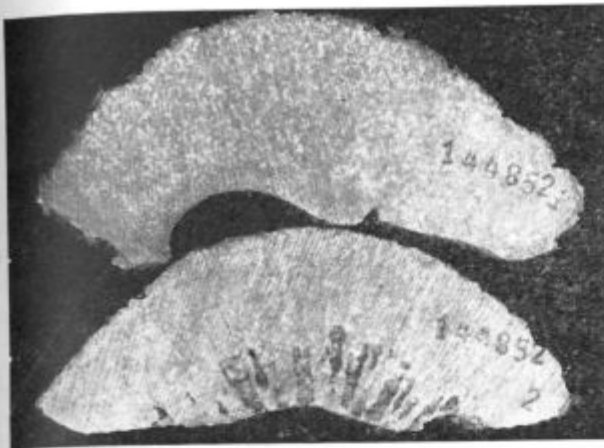
Globina mehurjev 30 do 40 mm
hitrost vliwanja 19,17,15 cm/min



Sestava: C Mn P S
0,07 0,35 0,010 0,032 v %

Slika 6

Prerez vogelnih prob vzeti na nogi ingota in izgled površine gredic pri šarži 14 4829



1. Globina mehurjev 50mm
hitrost vliivanja 14 cm/min
2. Globina mehurjev 25mm
hitrost vliivanja 23 cm/min



Sestava: C 0,09 Mn 0,40 P 0,014 S 0,037 v %

Slika 7

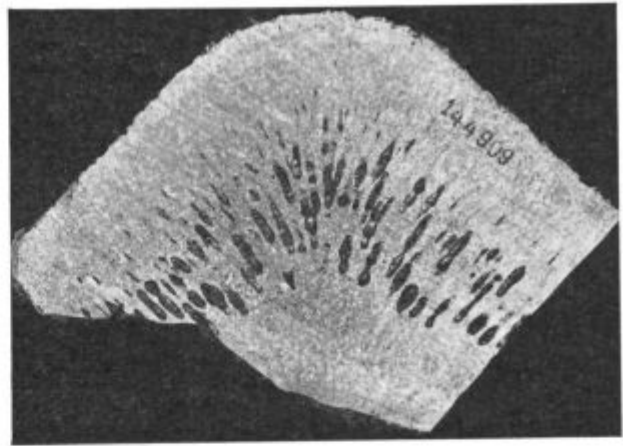
Prez vogelnih prob vzetih na nogi ingota in izgled površine gredic pri šarži 14 4852

jekla, tako da z zmanjšanjem hitrosti vliivanja lahko kompenziramo negativni vpliv slabega kuhanja na globino plinskih mehurjev v bloku.

Površinski izgled valjancev

Čim globlje ležijo plinski mehurji pod površino bloka, tem manjša je možnost, da bi le-ti prišli med valjanjem na površje in povzročali površinske napake. Vse, kar je nad 20 mm, lahko ocenimo kot odlično in take so bile tudi vse naše šarže. Po dva bloka od prvih pet šarž smo izvaljali v trak, ostale pa vse v gredice 135 mm kvadrat. Zadnjih šest šarž iz tabele 1 pa smo izdelali že za redno proizvodnjo.

Tako robovi pri trakovih kakor tudi površina gredic je bila pri vseh šaržah brez površinskih napak.



Globina mehurjev 25mm
hitrost vliivanja 21 cm/min



Sestava: C 0,06 Mn 0,35 P 0,05 S 0,029 v %

Slika 8

Prez vogelne probe in izgled površine gredic pri šarži 14 4909

Slike 6, 7 in 8 kažejo videz vogalnih preizkušancev in gredic za tri različne šarže.

Mehanske lastnosti toplo valjane žice

Vse šarže so bile pretežno izvaljane v toplo valjano žico, premera 6 mm. Primerjava vrednosti

Tabela 3

		meja plastičnosti	kp/mm ² trdnost	% raztezek	kontrakcija
elektro jeklo N = 40	X	24,57	36,65	41,43	75,27
	S	1,1	1,16	2,74	2,33
SM jeklo N = 40	X	24,46	35,70	43,2	72,9
	S	1,0	1,53	2,36	2,02

Primerjava mehanskih lastnosti toplovaljane žice iz elektro in SM jekla

mehanskih lastnosti s toplo valjano žico enake kvalitete, ki je izdelana v martinarni, je podana v tabeli 3.

V toplo valjanem stanju se mehanske vrednosti SM in elektro jekla zelo dobro ujemajo. Trdnost jekla, ki je izdelano v električni peči, je nekoliko višja, raztezek manjši, kontrakcija pa večja.

Ocena sposobnosti vlečenja toplo valjane žice, izdelane na električni peči, v primerjavi z žico, ki je izdelana v SM pečeh.

Zasledovali smo vlečenje žice dveh elektro in ene SM šarže. Vse šarže smo preizkusili glede na sposobnost vlečenja do maksimalne možne stop-

Tabela 4

Šarža	dimenz. mm	trdnost kp/mm ²	kontrakcija %	skupni odvzemi %	vlečeno iz
14 4829	6	39,4	71,3	—	
	1,40	95,3	36,2	94,5	2,5 mm Ø
		99,3	24,2		
	1,00	105,8	43,8	97,2	1,4 mm Ø
		105,8	43,8	97,2	
14 4852	6	37,2	78	—	
	1	125	19	97,95	1,4 mm Ø
	1	123	48	97,95	
	1	137	22	97,95	
04 8916 SM jeklo	6	33,4	68,6	—	
	2,5	72,5	58,3	82,6	6 mm Ø
	1,0	101,2	—	97,2	1,4 mm Ø
	1,0	98,2	—	97,2	

Primerjava mehanskih lastnosti vlečene žice iz elektro in SM jekla

Tabela 5

		srednja vrednost x		standardni odklon S		N	
		žarj. v obratu	žarj. v labor.	žarj. v obratu	žarj. v labor.	žarj. v obratu	žarj. v labor.
elektro jeklo	σv	26,0	23,9	2,72	1,38	14	8
	σm	37,1	34,6	2,18	1,41	14	8
	$\sigma 10$	33,5	39,6	5,11	1,69	14	8
	$\sigma 5$	49,0	47,9	5,26	1,36	14	8
	E	10,29	10,29	0,09	0,08	28	4
SM jeklo	σv^3	24,8	21,7	2,20	1,45	24	20
	σm	34,9	31,8	1,70	1,05	24	20
	$\sigma 10$	44,5	43,3	3,80	3,85	24	20
	$\sigma 5$	56,8	55,9	3,45	5,90	24	20
	E	10,29		0,20		16	20

Primerjava mehanskih lastnosti hladno valjanih trakov iz elektro in SM jekla

nje predelave brez vmesnega žarjenja. Izhodni premer toplo valjane žice je bil 6 mm. V tabeli 4 so prikazani doseženi rezultati mehanskih lastnosti, dimenzije in odvzemi.

Žice se je dalo vleči brez težav do 1 mm Ø brez vmesnega žarjenja. Iz podatkov v tabeli se vidi, da je trdnost pri elektro šarži 14 4829 pri enaki stopnji redukcije kot SM šarži 04 8916 za 5 do 7 kp/mm² večja. Poskusi vlečenja kažejo, da sedanje nepomirjeno martinarsko jeklo lahko nadomestimo z nepomirjenim elektro jeklom.

Mehanske lastnosti hladno valjanih trakov v žarjenem stanju

Od vsake šarže smo po dva ingota izvaljali v trak 3 mm debeline na šteklu in dalje v hladni valjarni na 0,8 mm debeline. Vzorce hladno valjanih trakov smo žarili tudi v laboratoriju, zato so te vrednosti nižje kot za vzorce, ki so žarjeni v obratu. V tabeli 5 prikazujemo mehanske lastnosti trakov za kvaliteto jekla Č 0147 primerjalno za elektro in SM jeklo.

Iz podatkov v tabeli 5 se vidi, da sta trdnost in meja raztezanja za približno 2 kp/mm² večja pri jeklu, ki je izdelano v električni peči, raztezek 5 in 10 je nekoliko manjši.

Globitev po Erichsensu odgovarja predpisani kvaliteti in dimenziji. Pri hladnem valjanju ni bilo opaziti nobenih razlik v pogledu vlečnih lastnosti med SM in elektro jeklom.

Višje vrednosti za mejo raztezanja in trdnost pri elektro jeklu v žarjenem in še bolj v vlečenem stanju (pri žici) si lahko razložimo z drugačno naravo elektro jekla. Elektro jeklo se od SM jekla razlikuje predvsem po višji vsebnosti spremljajočih elementov Cr, Cu in Ni, medtem ko je dušik pri nepomirjenem elektro jeklu razmeroma nizek.

Za deset šarž nepomirjenega jekla kvalitete Č 0147, ki je bilo izdelano na električni peči, dobimo naslednje vrednosti.

Tabela 6

Nepomirjeno jeklo	Sestava jekla										
	N (ppm)			Cr %		Cu %		Ni %		Sn %	
	N	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S	\bar{X}	S
elektro	10	50	6,8	0,094	0,05	0,20	0,05	0,08	0,004	0,0013	0,0005
SM	3064	59	6,4	0,048	0,028	0,147	0,045	0,05	0,016	0,0010	0,0005

Razlike v vsebnosti dušika in drugih spremljajočih elementov med SM in elektro jeklom

Največja razlika v sestavi je pri kromu, ki ga je v elektro jeklu dvakrat toliko kot v SM jeklu, pri bakru in niklu. Razmeroma ugodna sestava elektro jekla je dosežena s 15 do 20 % surovega železa v vložku.

Čistoča jekla

Na vseh valjancih, t. j. na gredicah in trakovih smo določali tudi množino nekovinskih vključkov po JK skali. Določevanje čistoče na gredicah pri

Tabela 7

		A + C	B + D	skupaj
14 4829	N	1,24	2,52	3,76
	S	1,12	5,56	6,68
	G	1,36	4,24	5,60
14 4852	N	3,44	2,68	6,12
	S	1,48	4,24	5,75
	G	1,08	4,48	5,56
14 4909	N	1,88	3,08	4,96
	S	2,14	3,98	5,12
	G	2,34	3,20	5,54
14 4931	N	0,64	3,76	4,40
	S	0,72	5,08	5,80
	S	1,48	4,24	5,72
07 0783	N	1,22	3,32	4,54
	S	0,84	3,44	4,28
	G	0,98	3,66	4,64
SM jeklo	N	1,34	3,18	4,52
	S	0,92	3,74	4,66
	G	0,80	3,86	4,66
07 0806	N	2,28	2,20	4,48
	S	0,80	3,04	3,84
	G	0,24	4,40	4,64
SM jeklo	N	0,28	6,52	6,80
	S	0,48	3,16	3,44
	G	0,20	4,88	5,08

N = noga
S = sredina
G = glava

Primerjava čistoče gredic 135 mm kv. med nepomirjenim SM in elektro jeklom

nepomirjenem jeklu sicer ni običajno, vendar smo zaradi primerjave napravili nekaj določitev na izdelanih elektro šaržah in dveh SM šaržah. Rezultate prikazuje tabela 7.

Iz tabele je razvidno, da je elektro jeklo bolj nečisto. Več je plastičnih in oksidnih vključkov. Vse šarže smo po vlivanju v glavi blokiralni z aluminijem, zato opazimo močan prodor aluminatnih vključkov od glave do sredine v sredini bloka.

Čistoče trakov (debelina 3 mm) prikazuje tabela 8. Nekovinske vključke smo določali pri glavi (G), sredini (S) in nogi (N) na robu in sredini traku.

Primerjava vrednosti z SM šaržama 07 0809 ... 06 1509 daje bolj ugodno sliko, kot je pri gredicah. V pogledu čistoče ni več bistvenih razlik med elektro in SM jeklom. Ker so elektro šarže v glavah blokirane z aluminijem — SM šarže so pokrite s težkimi litimi pokrovi, opazimo pri trakovih v sredini traku od glave pa vse do sredine bloka večje koncentracije Al_2O_3 vključkov. Blokiranje nepomirjenega jekla z aluminijem zato ni primerno, če se bloki valjajo v trakove.

Opazen je tudi vpliv kisika v jeklu, oziroma vpliv intenzivnosti kuhanja v kokili na čistočo jekla. Naši rezultati samo potrjujejo že znane ugotovitve tujih avtorjev (Langhammer 3), da premočno kuhanje v kokili poslabša čistočo jekla. Šarže 14 4829, 14 4852 in 14 4937 z razmeroma nizko vsebnostjo kisika so le zmerno kuhale v kokili in so mnogo bolj čiste od šarže 14 4909, ki je imela za polovico višji kisik pred prebodom in v curku pri vlivanju in je izredno močno kuhala. Višji ogljik v jeklu šarže 14 4852 in 14 4937 ščiti mangan pred oksidacijo, zato sta ti dve šarži čistejši od drugih mehkejših šarž.

Ocena doseženih rezultatov

Dosedanje poizkusno proizvodnjo izdelave nepomirjenega jekla na električni peči lahko ocenimo zelo ugodno. Medtem že teče redna proizvodnja nepomirjenega jekla za hladno valjane trakove kvalitete C 0147 s strožjimi zahtevami do 0,07 % C in do 0,030 % S. Izdelava jekla je enostavna in ne povzroča nobenih težav. FeO v žilindri se v glavnem giblje od 8 do 12 %, tako da je tudi vlivanje takšnega jekla enostavno, ker tudi pri 0,06 % C ne potrebuje večjih dodatkov aluminija za uravnavanje kuhanja.

Tabela 8

		A + C	B + D	skupaj	A + C	B + D	skupaj
14 4829	GR	0,80	2,08	2,88			
	GS	1,04	3,00	4,04			
	SR	0,56	2,24	2,80			
	SS	aluminati nad 5					
	NR	1,04	2,32	3,36			
	NS	1,24	1,83	3,08			
14 4852	GR	1,28	2,12	3,40	2,20	2,36	4,56
	GS	1,56	2,76	4,32	aluminati nad 5,0		
	SR	1,36	2,72	4,08	1,46	2,24	4,20
	SS	1,52	2,68	4,20	aluminati nad 5		
	NR	1,44	2,68	4,12	1,92	2,24	4,16
	NS	2,00	2,36	4,36	1,28	2,20	3,48
14 4909	GR	0,56	3,76	4,32	1,00	4,92	5,92
	GS	2,92	3,52	6,44	2,52	3,60	6,12
	SR	1,84	5,16	7,00	0,76	4,84	5,60
	SS	2,88	3,76	6,64	2,32	3,60	5,92
	NR	0,56	3,80	4,36	0,80	4,92	5,72
	NS	1,60	4,88	6,48	1,68	3,92	5,60
14 4937	GR	1,40	2,76	4,16	1,08	3,00	4,08
	GS	1,32	2,92	4,24	1,20	4,40	5,60
	SR	1,64	2,84	4,48	1,40	2,88	4,28
	SS	1,08	4,12	5,20	1,24	4,28	5,52
	NR	1,44	2,72	4,16	1,20	2,84	4,04
	NS	1,68	2,72	4,40	1,64	2,72	4,36
07 0809	GR	0,40	4,40	4,90	0,76	3,36	4,12
SM jeklo	GS	2,32	2,64	4,96	2,24	2,44	4,68
	SR	0,88	4,28	5,16	0,76	3,36	4,12
	SS	1,40	2,56	3,96	1,24	3,20	4,44
	NR	0,36	4,32	4,68	0,80	4,00	4,80
	NS	1,28	2,92	4,20	0,84	3,56	4,40
06 1509	GR	0,76	3,52	4,28			
SM jeklo	GS	1,80	2,44	4,24			
	SR	0,56	4,20	4,76			
	SS	1,40	2,88	4,28			
	NR	0,72	3,96	4,68			
	NS	1,00	3,52	4,52			

GR = glava rob
GS = glava sredina
SR = sredina rob

SS = sredina sredina
NR = noga rob
NS = noga sredina

Primerjava čistoče trakov 3 mm debeln med nepomirjenim SM in elektro jeklom

Odžveplanje v električni peči je slabše kot v SM peči. Povprečje za zadnjih deset šarž znaša 34 %, pri čemer je najnižja stopnja 19 in najvišja 47 %, medtem ko je povprečna stopnja odžveplanja v martinarni 45 % za nizko ogljična jekla. Vzrok za slabše odžveplanje je predvsem v pomanjkanju stalnega kuhanja (mešanje jekla in žindre) in v krajši rafinaciji.

Iz teh razlogov mora biti kovinski vložek za izdelavo nepomirjenega jekla sestavljen le iz kakovostnih surovin. Kvaliteto Č 0147 z maks. 0,030 % S pa naj bi delali le, če ob raztalitvi ni več kot 0,040 % S in 0,055 % S, če je v izdelanem jeklu dovoljeno maks. 0,040 % S.

Površina izvaljanih gredic in trakov je brez površinskih napak.

Plastične lastnosti jekla pri vlečenju žice in hladnem valjanju trakov so zelo dobre in ne zastajajo za SM jeklom.

Trdnost in meja raztezanja sta v žarjenem stanju višji za približno 2 kp/mm, v vlečenem pa za 5 do 7 kp/mm².

Preiskave prvih šarž kažejo, da je nepomirjeno elektro jeklo nekoliko manj čisto kot SM jeklo, kar se vidi predvsem na gredicah, medtem ko pri trakovih skoraj ni razlike med elektro in SM jeklom. Čistoča jekla je seveda odvisna od kemične sestave in od jakosti kuhanja v kokili. Čim nižji je ogljik, tem manj je jeklo čisto. Šarže, ki zmerno kuhajo, so čistejše od šarž, ki v kokili močno kuhajo. Blokiranje jekla z aluminijem neugodno vpliva predvsem na čistočo sredine, in to od glave pa vse do sredine bloka.

Ce resumiramo vse dosedanje izkušnje pri izdelavi in rezultate preiskav, lahko z zadovoljstvom ugotovimo, da lahko tudi v električni obločni peči izdelujemo nepomirjeno jeklo, ki ustreza tako JUS kakor tudi internim predpisom za jeklo kvalitete C 0147, bodisi za žico ali hladno valjane trakove. Zaradi strogih zahtev po nizkem Cr, Cu, Ni bo edina težava v tem, kako zagotoviti dovolj čist vložek za to kvaliteto jekla.

Literatura

1. Jackson, PL: J. Metals 18 (1966) str. 725/30
2. Hess, W. Stahl und Eisen 81 (1961) str. 103/10
3. Langhammer H. I. Stahl u. Eisen 87 (1967) str. 718/728
4. Ende, H. Stahl und Eisen 85 (1965) str. 1025/32
5. Scheirman Stahl und Eisen 85 (1965) str. 61/71

ZUSAMMENFASSUNG

Grossraumlichtbogenöfen dienen nicht mehr ausschliesslich der Produktion der Qualitätsstähle, sondern werden mehr und mehr als Massenstahlerzeuger angewendet.

Unsere Betriebsversuche hatten zum Ziel die Möglichkeit einer Erzeugung der unberuhigten Stähle im Lichtbogenofen zu überprüfen, da die veralteten SM Öfen höchstwahrscheinlich mit Grossraumlichtbogenöfen ersetzt werden.

Die bis zu derzeit durchgeführten Versuche zeigen, dass die Erzeugung von unberuhigten Stählen im Lichtbogenofen mit einem Kohlenstoffgehalt von 0.06 bis 0.10 % einfach und schnell verläuft, wenn die Anfangsanalyse (beim Einschmelzen) günstig, vor allem wenn das Schwefelgehalt niedrig ist. Der Entschwefelungsgrad ist nämlich im Lichtbogenofen niedriger, im Durchschnitt 34 %, entgegen 45 % in SM Öfen. Für die Erzeugung eines unberuhigten Stahles mit max. 0.030 % Schwefel in der Endzusammensetzung soll beim Einschmelzen höchstens 0.040 % S im Stahl enthalten sein.

Die Schlacke enthält bei normalen Erzeugungsbedingungen von 8 bis 12 % FeO und rund 300 bis 400 ppm Sauerstoff im Stahl vor dem Abstich. Das Vergiessen solchen Stahles ist dennoch sehr einfach und es ist

praktisch keine Korrektur des Sauerstoffgehaltes bzw. des Auskochverhaltens mit Aluminium nötig.

Der äussere Blasenkrans liegt beim Giessen von unten am Fuss tiefer als 25 mm, weshalb auch die Oberflächenbeschaffenheit der Walzerzeugnisse einwandfrei ist.

Die plastischen bzw. die Verformungseigenschaften des Stahles beim Walzen der Bänder und beim Drahtziehen sind den SM Stählen gleich.

Die Streckgrenze und Zugfestigkeit sind im geglühten Zustand um rund 2 kp/mm², und im gezogenen um 5 bis 7 kp/mm², höher, als beim SM Stahl, was einem höheren Stickstoffgehalt Cr, Cu und Ni Gehalt zu zuschreiben ist.

Das unberuhigte Elektrostahl ist unreiner als SM Stahl, was besonders bei den Knüppeln zu beobachten ist. Bei den Bändern sind wegen eines grösseren Verformungsgrades fast keine beträchtliche Unterschiede mehr festzustellen.

Das chemische Blockieren mit Aluminium hat eine starke Verunreinigung des Stahles der oberen Blockhälfte zur Folge. Schmelzen mit höherem Endkohlenstoffgehalt sind reiner als die sehr weichen Schmelzen. Auch ein zu starkes Kochen in der Kokile beeinflusst ungünstig die Reinheit des Stahles.

SUMMARY

Big electric arc furnaces are not used only for production of quality alloy steels but also in production of mass steels.

Our experiments had intention to find possibility of manufacturing rimming steel in electric furnaces because old open-hearth furnaces will probably be substituted by electric arc furnaces.

The experimental production shows that manufacturing rimming steel with 0.06 to 0.10 % C in electric furnace is simple and fast if the first analysis is satisfactory, and if sulphur content is low. Desulphuration rate is lower in electric furnace than in open-hearth furnace, the values are 34 % and 45 % respectively. For manufacturing steel with 0.030 % S the charge after melting can contain at most 0.040 % S.

In slag during normal operation there is 8 to 12 % FeO before tapping while oxygen content in steel is 300 to 400 ppm so that casting such steel is simple and demands practically no additions of aluminium for oxygen correction or for deoxidation in the mould.

Outer rim of blow-holes lies in the base deeper than 25 mm when bottom cast therefore rolled products are smooth without surface defects.

Plastic properties of steel for drawing wires and rolling strips are very good, equal to the open-hearth steels.

Strength and yield point are higher for about 2 kp/mm² in annealed and 5 to 7 kp/mm² in drawn state as consequence of higher nitrogen, chromium, copper, and nickel content.

Rimming electric arc steel is slightly less pure than the open-hearth steel which becomes evident in billets while in strips no essential difference is found because of greater degree of working.

Adding aluminium has unsatisfactory influence mainly on the purity of the interior from the base up to the ingot centre. Batches with higher carbon are in final composition purer than batches of very soft steel. Also too intense deoxidation of steel in the mould reduces steel purity.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Электродуговые печи больших ёмкостей не употребляют только в производстве качественных легированных сталей но также для массовых сортов.

Цель опытных выплавки стали в металл-ом заводе Есенице была установить возможность выплавки кипящей стали в электродуговой печи, так как вероятно, что использованные СМ-печи будут постепенно заменены с электродуговыми. Выполнено, пока опытное производство кипящей стали с содержанием углерода в пределах 0.06—0.10 % С оказалось несложным и длилось довольно быстро. Степень десульфурации в электродуговой печи несколько ниже в сравнении с этим процессом в СМ-печи, представляет в среднем 34 %, а в СМ-печи 45 %. Поэтому преимущество, что касается качества, имеют плавки которых первые пробы имеют низкое содержание серы. Чтобы получить конечный продукт с содержанием на выше 0.030 % серы, необходимо чтобы расплавленная плавка показала не свыше 0.040 % S.

Так как шлак при нормальном режиме работы содержит 8—12 % FeO, а сталь 300—400 ppm O₂, то добавления Al не требуется. Таким образом разливка стали весьма простая.

Внешнее кольцо пузырьков находится при литье снизу вверх глубже 25 мм, поэтому поверхность прокатного изделия гладкая, без пороков.

Пластичность этой стали при волочении проволоки и прокатки полос очень хорошая и не уступает в этом отношении СМ-стали.

По обжиге вязкость и предел текучести увеличены прибл. до 2 кг/мм², а после волочения 5—7 кг/мм². Причина этому увеличеное содержание N, Cr, Cu и Ni. Кипящая сталь менее чиста в сравнении с СМ-сталью. Это можно наблюдать на поверхности заготовок, но на полосах, вследствие высшей степени переработки, существенных различий не обнаружено.

Блокирование стали с Al имеет отрицательное влияние на чистоту средней части начиная от головы до середины слятка.

Плавки с более высоким содержанием углерода более чисты. Самшом интенсивное кипение стали в изложницах также ухудшает чистоту конечного продукта.