

Preizkušanje nove sintetične žlindre za rafinacijo v električni obločni peči

DK: 669.187.28
ASM/SLA: D 5 d

Vasilij Prešeren
Alenka Rodič

Majhno stopnjo razžveplanja pri modificirani tehnologiji izdelave jekla po enožilindrnem postopku v električnih obločnih pečeh skušamo povečati z uporabo sintetičnih rafinacijskih žlinder. Opisana je določitev optimalne sestave žlindre za rafinacijo v peči in izdelava večje količine predlagane žlindre. Poskusne taline z uporabo nove žlindre smo naredili na 10-tonski električni obločni peči v železarni Ravne. Analiziran je potek in stopnja razžveplanja jekla po dodatku sintetične žlindre in opisane so metalografske preiskave poskusnih talin.

V primerjavi z normalno tehnologijo dosežemo večjo stopnjo razžveplanja, zmanjša se količina sulfidnih vključkov ter skupna vsota vseh nekovinskih vključkov v poskusnih talinah.

UVOD

Stremljenja metalurgov pri izdelavi kvalitetnih jekel v električnih obločnih pečeh so v zadnjem času usmerjena predvsem v skrajšanje tehnološkega postopka izdelave jekla. Standardni dvožilindrni postopek naj bi zamenjali s krajšim enožilindrnim postopkom. Pri tem pa sta nastopila predvsem dva tehnološka problema:

1. povečanje preddezoksidacijskega potenciala, kar smo brez večjih težav dosegli s pojačano obarjalno preddezoksidacijo z Al in SiMn

2. povečanje stopnje razžveplanja, ki je pri dvožilindrnem postopku okrog 10 do 15 % večje kot pri modificiranem enožilindrnem postopku s sedanji rafinacijskimi žlindrami.

Da bi povečali obseg razžveplanja pri nespremenjeni tehnologiji, smo na podlagi vrste laboratorijskih poskusov določili optimalno sestavo sintetične žlindre, s katero naj bi v primerjavi s sedanjo rafinacijsko žlindro v železarni Ravne dosegli boljše in učinkovitejše razžveplanje ter večjo čistost jekla v pogledu nekovinskih vključkov sulfidnega tipa.

Izdelali smo večje količine predlagane sintetične žlindre in jo preizkusili na 10-tonski električni

ni obločni peči v železarni Ravne. Pri izdelavi poskusnih šarž smo zasledovali potek in pogoje razžveplanja, naredili pa smo tudi obsežne metalografske preiskave jekel, izdelanih z novo sintetično rafinacijsko žlindro.

Laboratorijski poskusi

Na Metalurškem inštitutu v Ljubljani smo naredili več laboratorijskih poskusov za ugotavljanje sposobnosti razžveplanja sintetičnih žlinder z različnimi sestavinami. Dobljene rezultate smo primerjali s stopnjo razžveplanja sedanjih rafinacijskih žlinder v Železarni Ravne.

Regresijska analiza odvisnosti med kemičnimi sestavami žlinder in med dobljenimi stopnjami razžveplanja je dala odvisnost¹, ki velja za vsebnost 10 % MgO v žlindri:

$$\Delta S = 64,5 + 0,0088.(\% \text{CaO})^2 - 0,71.(\% \text{Al}_2\text{O}_3) - 0,88.(\% \text{SiO}_2)^2$$
 To odvisnost prikazuje slika 1.

Ob upoštevanju nekaterih zakonitosti in tehnoloških pogojev, da se v žlindri ne moremo izogniti določenih vsebnosti SiO₂, Al₂O₃ in MgO, je iz rezultatov laboratorijskih poskusov, oziroma slike 1 razvidno, da je najprimernejša naslednja sestava žlindre:

MgO = 10 %
CaO = 45 do 55 %
Al₂O₃ = 5 do 10 %
SiO₂ = maksimalno 15 %
CaF₂ = minimalno 15 %
FeO = maksimalno 1 do 2 %.

Ker se koncentraciji nekaterih sestavin v žlindri, kot smo že povedali, ne moremo izogniti, smo za sintetično rafinacijsko žlindro, ki jo dodamo v peč po končanem žilavenju in vleku oksidne žlindre ter preddezoksidaciji na golo, izbrali naslednjo sestavo:

CaO = 55 do 65 %
CaF₂ = 20 do 30 %
Al₂O₃ = 5 do 15 %.

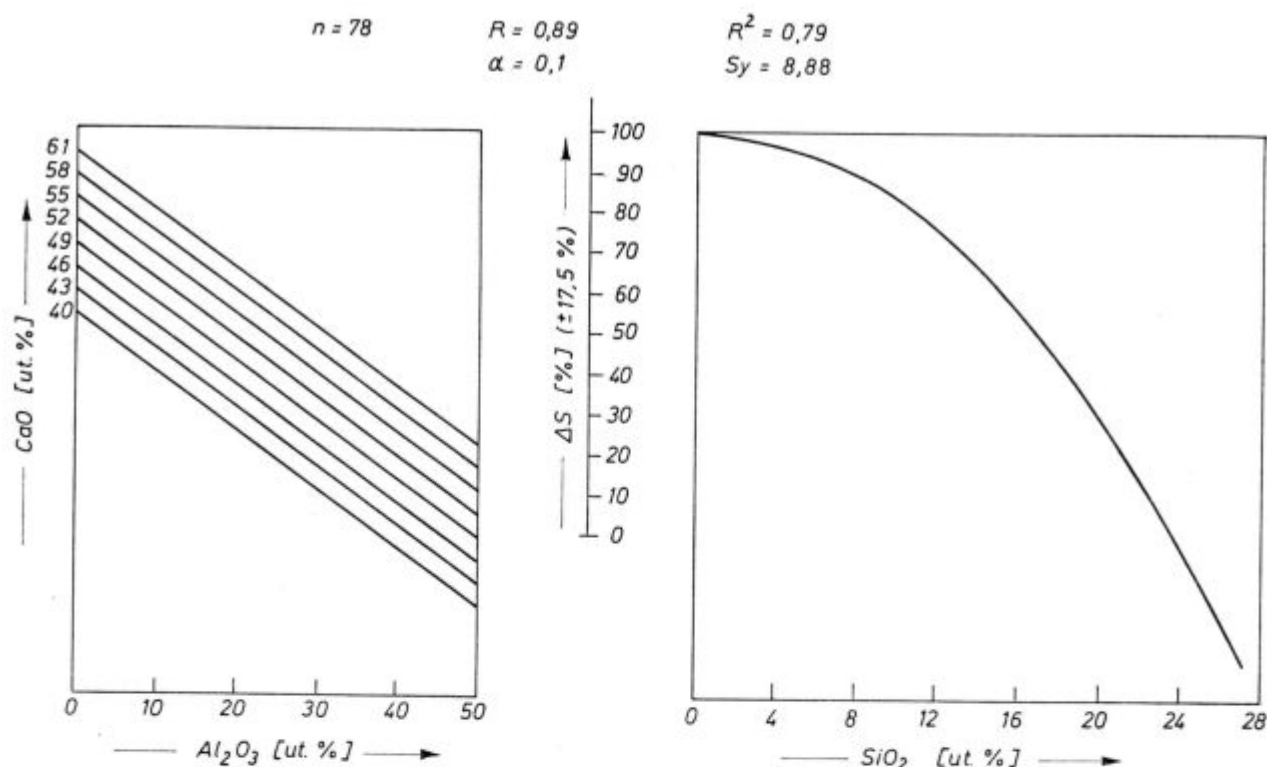
Dobre rafinacijske sposobnosti z žlindrami podobnih sestav navajajo tudi drugi avtorji^{2, 3, 4}.

Izdelava žlindre

Na podlagi ugotovitev laboratorijskih poskusov smo v električni uporovni peči za izdelovanje varilnih praškov v Železarni Jesenice izdelali večje

Vasilij Prešeren je diplomirani inženir in magister metalurgije ter raziskovalec na Metalurškem inštitutu v Ljubljani.

Alenka Rodič je diplomirani inženir metalurgije in vodja metalografskih laboratorijev v Železarni Ravne.



Slika 1

Odvisnost stopnje razžveplanja jekla od kemične sestave žlindre

količine predlagane sintetične žlindre⁵. Kot surovine smo uporabili kalcit, jedavec in glinico. Mešanico surovin smo v peči stalili in tekočo žlindro

granulirali v curku vode. Žlindro smo nato v rotacijski peči sušili na ca. 600° C. Povprečna sestava izdelane žlindre je podana v tabeli 1:

Tabela 1 — Kemična sestava sintetične žlindre

CaO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	SiO ₂	MnO	S _{tot}	% vlage	žar- izgube
54,10	20,20	13,27	0,93	4,78	0,59	0,16	0,45	4,32

Temperaturo tališča povprečnega vzorca sintetične žlindre smo določili s talilnim mikroskopom in je 1320° C, kar je za uporabo v obločni peči zelo ugodno.

Poskusi na 10-tonski električni obločni peči

Količina narejene žlindre je zadoščala za izdelavo petih talin cementacijskega jekla. Vse taline smo izdelali po enaki tehnologiji »K«. Sintetično žlindro smo dodali po delnem vleku oksidacijske žlindre in predžoksidaciji na golo z Al in SiMn. Po 10 do 20 minutah delovanja žlindre smo jeklo izpustili iz peči v ponovco skupno z žlindro.

Pri vseh talinah smo jemali vzorce jekla ter žlindre, in sicer po dodatku aluminija na golo (vzorci A-1, B-1...), po raztalitvi sintetične žlindre (—2) tik pred prebodom (—3) in po končanem litju v kokile (—4). Analiza vzorcev jekla je podana v tabeli 2, analiza žlindre pa v tabeli 3.

Sintetično žlindro smo dodali takoj po vzetju vzorcev z oznako —1. Kot je razvidno iz tabele 2,

se je vsebnost žvepla nato precej zmanjšala. Časovni potek spreminjanja koncentracije žvepla pri poskusnih talinah prikazuje slika 2.

Podatki o stopnjah razžveplanja, času rafinacije in količini uporabljene žlindre so prikazani v tabeli 4.

S količino sintetične žlindre 1,4 do 1,7 % od teže vložka smo dosegli razžveplanje med rafinacijo in prebodom med 30 do 50 %. Statistična analiza podatkov o razžveplanju pri normalni tehnologiji (slika 3 — področje A) je pokazala, da je povprečno razžveplanje med rafinacijo in prebodom ca. 15 %. Razvidno je torej, da smo z novo sintetično žlindro močno povečali stopnjo razžveplanja.

Dodajanje sintetične žlindre je trajalo ca. 1 minuto in v manj kot petih minutah se je vsa žlindra popolnoma stalila. Po delnem vleku oksidacijske žlindre ostane nekaj te žlindre v peči. Izračun za količino in sestavo tega ostanka iz analize CaF₂ v trdni sintetični žlindri in v raztaljeni rafinacij-

Tabela 2: Kemična analiza vzorcev jekla

Talina	Vzorec*	S %	C %	Si %	Mn %	Al _k %	Al _k %	O %
41206-A	A—a	0,028	0,45	0,02	0,26			
	A—b	0,028	0,14	0,01	0,25			
	A—1	0,024	0,10	0,01	0,28			0,0107
	A—2	0,022	0,10	0,15	0,58			0,0091
	A—3	0,017	0,14	0,11	1,01	0,034	0,027	0,0113
	A—4	0,016	0,16	0,20	1,05			0,0094
41210-B	B—a	0,030	0,69	0,01	0,40			
	B—b	0,028	0,15	0,01	0,22			
	B—1	0,029	0,09	0,02	0,21			0,0081
	B—2	0,024	0,11	0,25	0,70			0,0070
	B—3	0,019	0,15	0,17	1,02	0,038	0,032	0,0059
	B—4	0,014	0,15	0,31	1,00			0,0087
41215-C	C—a	0,033	0,63	0,03	0,29			
	C—b	0,027	0,12	0,02				
	C—1	0,027	0,07	0,01	0,15			0,0228
	C—2	0,020	0,09	0,40	0,96			0,0083
	C—3	0,018	0,14	0,12	1,11	0,038	0,031	0,0103
	C—4	0,015	0,15	0,23	1,06			0,0086
41217-D	D—a	0,030	0,49	0,02	0,21			
	D—b	0,027	0,21	0,01	0,27			
	D—1	0,029	0,17	0,01	0,30			
	D—2	0,024	0,18	0,15	0,72			0,0075
	D—3	0,020	0,19	0,13	1,15	0,042	0,037	0,0051
	D—4	0,016	0,19	0,24	1,16			0,0071
41221-E	E—a	0,034	0,95	0,02	0,27			
	E—b	0,026	0,21	0,02	0,18			
	E—1	0,024	0,11	0,26	0,64			0,0205
	E—2	0,022	0,08	0,18	0,58			0,0130
	E—3	0,018	0,12	0,11	1,15	0,033	0,027	0,0117
	E—4	0,014	0,19	0,19	1,09			0,0097

* Vzorci z oznako — a so vzeti po raztalitvi jekla
 Vzorci z oznako — b so vzeti po končanem žilavenju

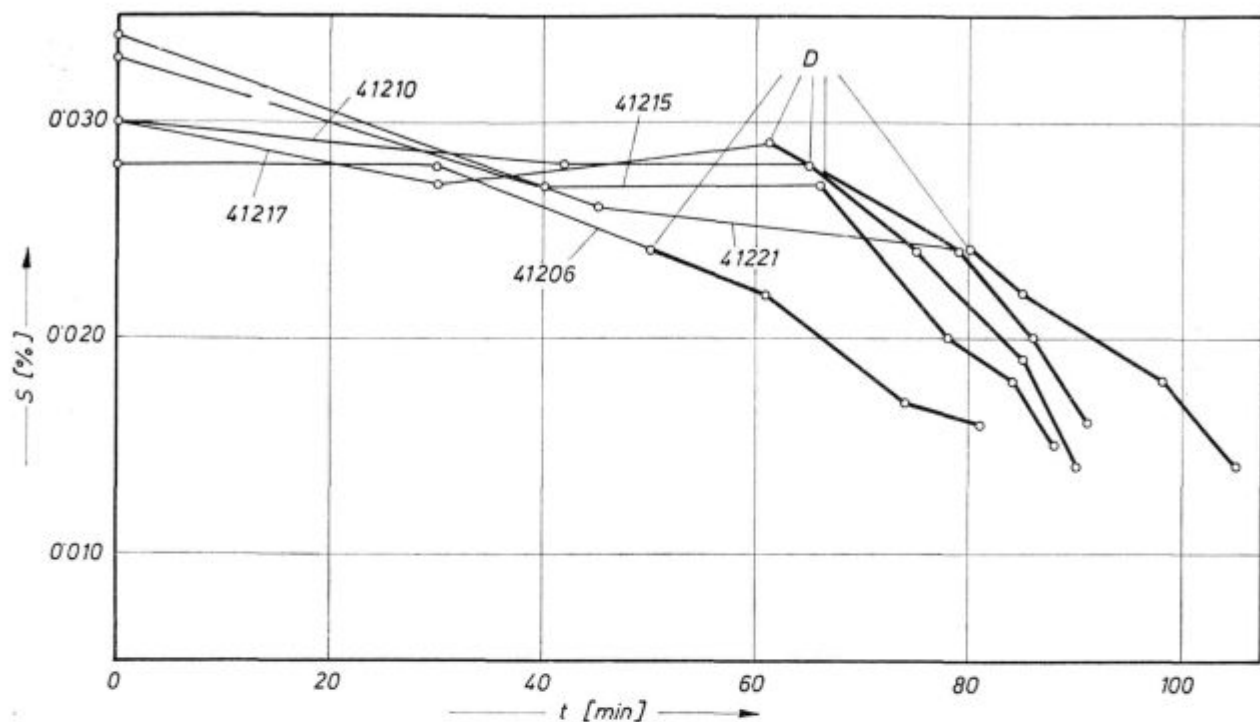
Tabela 3: Kemična analiza vzorcev žilindre

Vzorec	SiO ₂	FeO	MnO	CaO	CaF ₂	Al ₂ O ₃	MgO	S	vsota	B
A—1	11,99	23,88	10,06	33,65	—	5,89	10,09	0,08	95,64	
A—2	15,05	1,20	2,86	47,53	8,32	16,87	7,70	0,11	99,64	3,05
A—3	17,55	2,12	3,90	40,12	6,21	17,22	10,25	0,14	97,51	2,41
A—4	22,99	0,74	2,83	42,03	4,40	16,13	10,43	0,25	99,80	2,05
B—1	13,12	17,91	6,84	37,85	—	5,12	14,52	0,11	95,47	
B—2	14,90	0,70	1,03	47,78	8,41	13,30	13,03	0,13	99,28	3,47
B—3	17,10	0,82	1,80	46,41	6,68	12,95	14,10	0,15	100,01	3,08
B—4	23,14	0,70	1,16	43,93	2,72	12,15	15,54	0,25	99,59	2,29
C—1	11,66	24,89	6,12	34,06	—	5,87	14,37	0,11	97,03	
C—2	16,01	0,98	2,11	46,48	10,43	14,64	9,62	0,15	100,37	3,02
C—3	17,47	1,79	2,81	46,20	7,24	13,58	10,81	0,16	100,06	2,86
C—4	20,67	0,71	1,67	45,07	5,56	14,77	10,00	0,28	98,73	2,32
D—1	14,86	11,49	6,61	39,97	—	9,19	14,45	0,09	96,66	
D—2	15,46	1,44	1,90	46,19	12,20	11,85	9,02	0,13	98,19	3,15
D—3	18,22	1,07	1,56	47,25	8,00	11,37	10,77	0,18	98,42	2,84
D—4	23,79	1,07	1,38	45,28	2,35	12,35	10,60	0,27	97,09	2,15
E—1	9,54	23,43	4,72	32,38	—	10,51	14,53	0,10	95,21	
E—2	16,15	1,88	1,75	46,26	7,22	17,63	9,33	0,19	100,41	2,88
E—3	17,60	1,79	4,03	44,40	7,07	13,92	11,21	0,31	100,33	2,77
E—4	21,31	1,88	1,80	45,77	2,61	13,41	11,40	0,31	98,49	2,40

D - dodatek sintetične žindre

— oksidacija in izkuhavanje

— rafinacija in prebod



Slika 2

Casovni prikaz spreminjanja koncentracije žvepla pri poskusnih talinah

Tabela 4

Talina talina	$\Delta S_{raf} = \frac{S_1 - S_2}{S_a}$ [%]	$\Delta S_{preb} = \frac{S_2 - S_4}{S_a}$ [%]	$\Delta S_R = \Delta S_{raf} + \Delta S_{preb}$	CaO [kg/t]	t_{raf} [min]	količina žindre (% od teže vložka)
41206	25,0	3,6	28,6	7,6	22	1,4
41210	33,3	16,7	50,6	8,7	18	1,6
41215	27,3	9,1	36,4	8,1	16	1,5
41217	30,0	13,3	43,3	9,3	19	1,7
41221	17,7	11,8	29,5	8,4	18	1,6

ski žindri (vzorci —2), je pokazal, da tvorijo sestavine dodane sintetične žindre le ca. 50 % celotne žindre. Ostale komponente žindre so iz ostanka oksidacijske žindre, iz vložka in dolomitnih sten peči ter iz reakcijskih produktov dodanega Al, SiMn in FeSi.

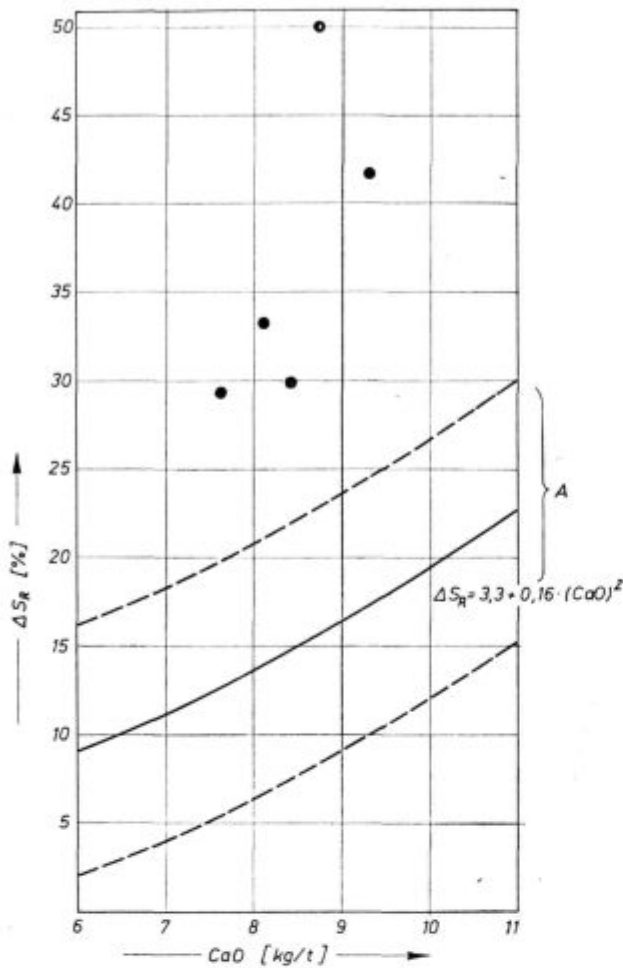
Ugotovimo lahko, da dejanska sestava rafinacijske žindre ne ustreza popolnoma predlagani optimalni sestavi. Predvsem je premajhna vsebnost Ca F₂, vsebnost SiO₂ pa je prevelika. SiO₂ pride iz oksidacijske žindre, iz oboka in zaradi preddezoksidacije s SiMn in FeSi. Te zadnje tehnološke zahteve ne smemo spreminjati in zato je potrebno čimbolj odstraniti oksidno žindro ter dodati več sintetične žindre, s čimer se bo povečala tudi vsebnost CaF₂ v rafinacijski žindri. Pov-

prečna količina dodane sintetične žindre naj bo zato vsaj 2 % od teže vložka.

V primerjavi s povprečno analizo sedanje normalne rafinacijske žindre¹ (CaO — 45 %, Mg — 10 %, CaF₂ — 8 %, Al₂O₃ — 10 %, SiO₂ — 25 %) pa je sestava nove rafinacijske žindre precej boljša. Predvsem smo s sestavo nove žindre močno povečali aktivnost CaO v žindri. To je razvidno iz slike 3, kajti s količino 7—10 kg CaO/t v novi žindri smo dosegli 30 do 50 % razžveplanje, pri enaki količini CaO v normalni žindri pa le 5 do 25 %.

Metalografska analiza poskusnih talin

V laboratorijih Železarne Ravne smo za poskusne taline določili vsebnost nekovinskih vključ-



Slika 3

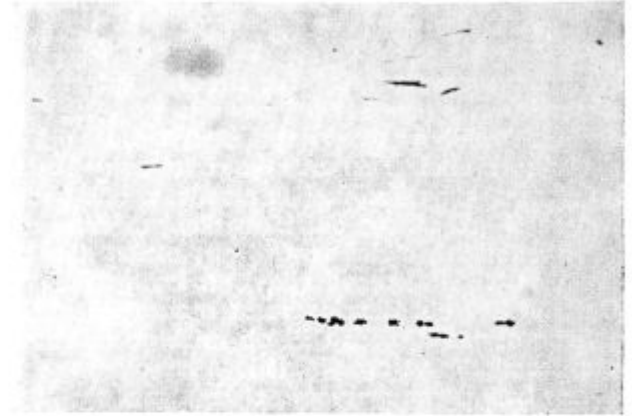
Primerjava učinkovitosti razžveplanja z navadno in sintetično rafinacijsko žilindro (A — navadna žilindra)

kov, jominy krivulje za preizkušanje kaljivosti, velikost zrna in trakavost. Jeklo smo odlili v 2-tonske ingote V-20 in po litju valjali v gredice kvadrat 130 mm.

Nekovinske vključke smo ocenili po J. K. skali. Pri vsaki talini smo pregledali po en vzorec, ki je pripadal glavi ingota, in en vzorec, ki je pripadal

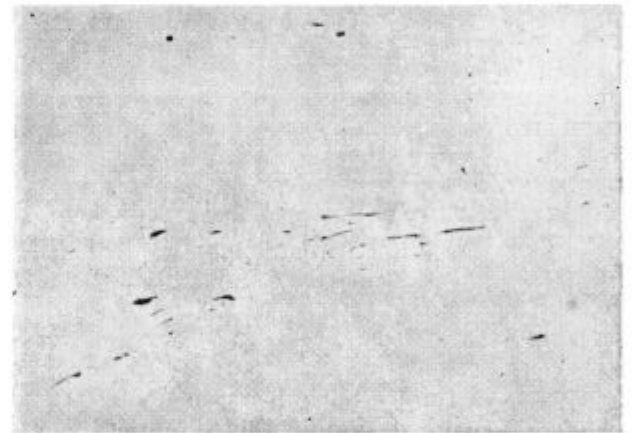
nogi ingota. Na vsakem vzorcu smo ocenili 30 vidnih polj ter najslabše mesto.

Aritmetične srednje vrednosti 30 pregledanih mest glede na količino posameznih vrst vključkov so podane v tabeli 5. Smatramo, da za oceno jeklarskih postopkov ni dovolj, da podamo nekovinske vključke le kot aritmetično srednjo vrednost



Slika 4

Vključki sulfidnega, oksidnega in aluminatnega tipa v talini 41206

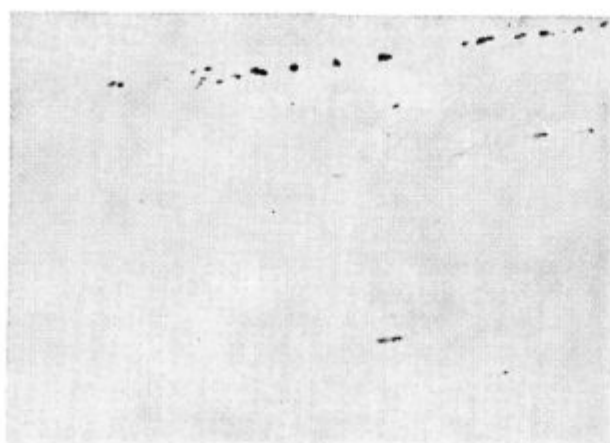


Slika 5

Vključki sulfidnega in oksidnega tipa v talini 41206

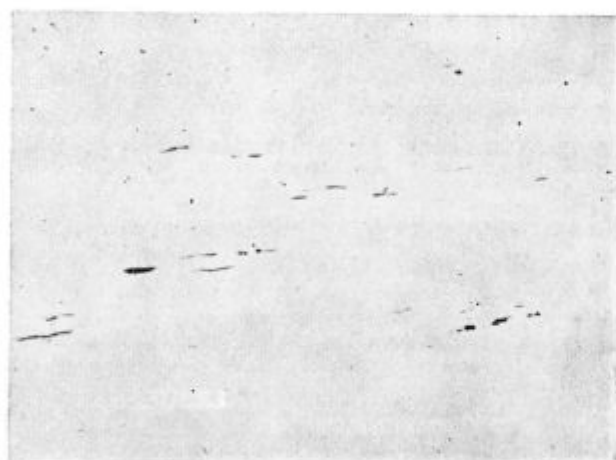
Tabela 5: Nekovinski vključki v poskusnih talinah

Talina	Oznaka	Nekovinski vključki po J. K. skali								
		Aritmetična srednja vrednost					Najslabše mesto			
		A	B	C	D	Σ	A	B	C	D
41206	G	1,70	1,20	0,10	1,33	4,33	3	2	1	2
41206	N	1,53	0,93	0,10	1,43	3,99	2	3	1	2
41221	G	1,85	0,87	0,13	1,43	4,28	3	4	1	2
41221	N	1,80	0,97	0,17	1,33	4,27	3	3	1	2
41217	G	1,80	0,43	0,13	1,47	3,83	3	2	1	2
41217	N	1,85	0,50	0,17	1,40	3,92	3	3	1	2
41210	G	1,56	0,60	0,16	1,43	3,75	2	2	1	2
41210	N	1,60	0,70	0,10	1,26	3,66	2	2	1	2
41215	G	1,50	0,80	0,10	1,33	3,73	2	2	1	2
41215	N	1,63	0,70	0,10	1,36	3,79	3	2	1	2



Slika 6

Vključki sulfidnega, aluminatnega in oksidnega tipa v talini 41215



Slika 7

Vključki sulfidnega in oksidnega tipa v talini 41215

30 pregledanih mest. Jasno je tudi, da je jeklar-ska tehnologija glede vključkov uspešnejša, če nimamo vključkov koncentriranih na enem mestu, temveč da so vključki majhni in enakomerno porazdeljeni. Zato so v tabeli 6 zbrane ocene ne-

kovinskih vključkov kot pogostost ponavljanja nastopanja vključkov stopnje 1, 2 ali več po J. K. skali.

Razvidno je, da so vključki sulfidnega tipa relativno največji in da smo v vsakem vidnem polju imeli vključke tipa A vsaj za stopnjo 1. Enako tudi nismo našli vidnega polja brez globularnih vključkov (tip D). Aluminatni vključki (tip B) se pojavljajo pretežno od 1/4 do 1/2 preseka gredice.

Videz, izoblikovanje in kombinacije dveh ali treh tipov vključkov pri 100-kratni povečavi za šaržo 41206 prikazujeta sliki 4 in 5, za šaržo 41215 pa sliki 6 in 7. Sklepamo, da je bila večina sulfidnih vključkov v litem stanju v eutektski obliki, ali kakor često navajajo v literaturi⁶, v obliki II.

Podatki o trakavosti in velikosti avstenitnega zrna poskusnih talin so podani v tabeli 7.

Trakavost so ocenili po tabeli Železarne Ravne na istih vzorcih kot nekovinske vključke. Iz rezultatov v tabeli 7 je razvidno da so bile vse taline precej trakave.

Velikost avstenitnega zrna smo pri vseh talinah določevali po dveh metodah: po Mc Quaid Ehn in po metodi kaljenja. Ocene velikosti zrna so v tabeli 7. Metalografski posnetki avstenitnega zrna dobljenega po obeh metodah pa so prikazani na slikah 8 in 9 za talino 41206 (povečava 100 ×) in na slikah 10 in 11 za talino 41215. Pripomniti moramo, da so bili vzorci za določitev avstenitnega zrna po metodi Mc Quaid Ehn vzeti od gredice, ki je pripadala glavi ingota, vzorci za določitev avstenitnega zrna po metodi kaljenja pa so pripadali nogi ingota.

Kaljivost vseh poskusnih talin smo določili z jominy poskusom. Jominy krivulje pregledovanih talin so v predpisanih mejah in ležijo v sredini pasov garantirane kaljivosti.

Ocena poskusnih talin

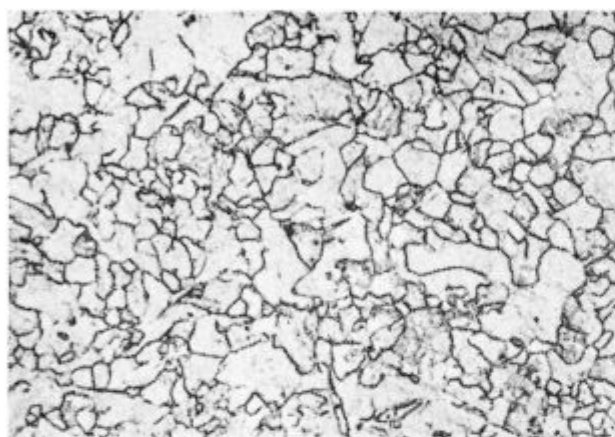
Težko je dati oceno uporabnosti, oziroma uspešnosti preizkušane sintetične žlindre na podlagi 5 poskusnih talin. Rezultati teh poskusov pa vseeno kažejo, da smo v primerjavi z navadno rafinacijsko žlindro dosegli precej večjo stopnjo

Tabela 6: Pogostost nastopanja vključkov v poskusnih talinah

Talina	Oznaka	Pogostost ocen po J. K. skali																			
		A					B					C					D				
		0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4	0	1	2	3	4
41206	G	—	10	19	1	—	6	12	12	—	—	27	3	—	—	—	—	20	10	—	—
41206	N	—	14	16	—	—	11	11	7	1	—	27	3	—	—	—	—	17	13	—	—
41221	G	—	6	22	2	—	11	14	4	—	1	26	4	—	—	—	—	17	13	—	—
41221	N	—	4	25	1	—	11	11	6	2	—	25	5	—	—	—	—	20	10	—	—
41217	G	—	8	20	2	—	18	11	1	—	—	26	4	—	—	—	—	16	14	—	—
41217	N	—	6	22	2	—	18	10	1	1	—	25	5	—	—	—	—	18	12	—	—
41210	G	—	13	17	—	—	14	14	2	—	—	25	5	—	—	—	—	17	13	—	—
41210	N	—	12	18	—	—	11	17	2	—	—	27	3	—	—	—	—	22	8	—	—
41215	G	—	15	15	—	—	9	18	3	—	—	27	3	—	—	—	—	20	10	—	—
41215	N	—	12	17	1	—	13	13	4	—	—	27	3	—	—	—	—	19	11	—	—

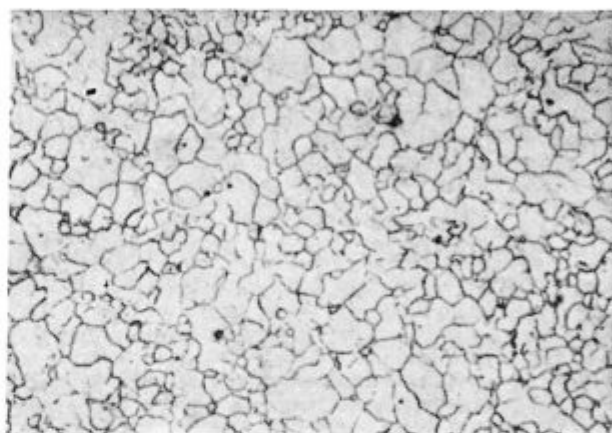
Tabela 7

Talina	Trakavost po tabeli ZR	Velikost avstenitnega zrna	
		McQuaid Ehn Ocenjeno po ASTM	Metoda kaljenja Ocenjeno po ASTM
41206	3	6	5—6
41221	4	4—6	4—6
41217	4	3—5	3—5
41210	3	5—6	3—6
41215	3	5—7	6—7



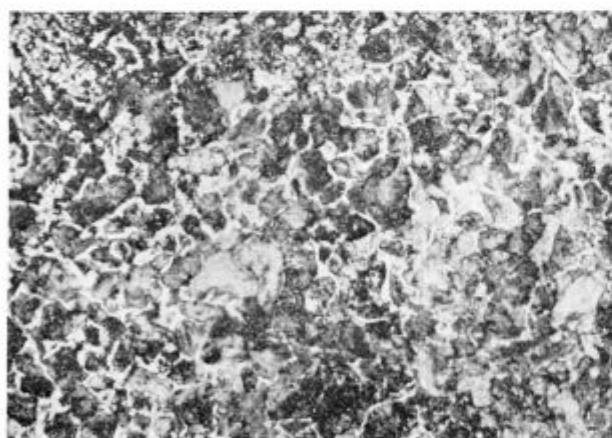
Slika 8

Avstenitno zrno po metodi kaljenja v talini 41206



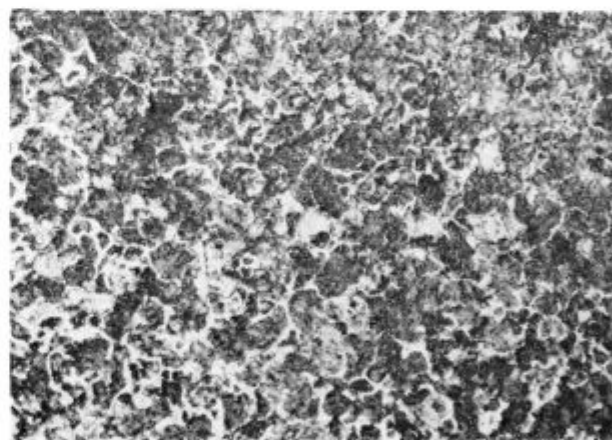
Slika 10

Avstenitno zrno po metodi kaljenja v talini 41215



Slika 9

Avstenitno zrno po metodi Mc Quaid Ehna v talini 41206



Slika 11

Avstenitno zrno po metodi Mc Quaid Ehna v talini 41215

razžveplanja in tudi dosežene končne vsebnosti žvepla v jeklu (0,014 % do 0,016 %) so v primerjavi z vsebnostmi žvepla pri normalni tehnologiji nižje.

Za možnost metalografske primerjave normalnih jekel in jekel, obdelanih s sintetično žlindro, navajamo v tabeli 8 metalografske podatke o cementacijskem jeklu, izdelanem po normalni tehnologiji.

Primerjanje podatkov iz tabel 5 in 8 kaže, da so rezultati metalografskih preiskav jekel, obde-

lanih s sintetično žlindro, boljši kot pri standardni tehnologiji.

Povprečno avstenitno zrno je pri poskusnih talinah manjše, trakavost je približno enaka, vsebnost sulfidnih vključkov in skupna količina vseh nekovinskih vključkov pa je pri standardni tehnologiji za ca. 10—15 % večja. Z novo žlindro smo torej uspeli delno zmanjšati sulfidne vključke, vendar je to zmanjšanje še vedno premajhno. Pričakujemo pa, da bi s skrbnejšim odstranjevanjem

oksidacijske žlindre, večjo količino sintetične žlindre in delno spremembo tehnologije uspeli še bolj znižati vsebnost sulfidnih vključkov.

Zelo važno je tudi, da upoštevamo ugotovitve strokovnjakov⁷, da je za doseganje manjših vseb-

nosti sulfidnih vključkov tipa A potrebno posvetiti dosti pazljivosti tudi specifični intenzivnosti razžveplanja do dodatka aluminija za preddezoksidacijo, torej v času od raztalitve do končne faze izkuvavanja, oziroma do začetka rafinacije.

Tabela 8

St. podatkov	Velikost zrna	Sedanja vrednost zrna	Nekovinski vključki								$\Sigma = \frac{A+B+C+D}{4}$	Σ
			A	\bar{A}	B	\bar{B}	C	\bar{C}	D	\bar{D}		
52	0—7	4,8	1,56		0,60		0,10		1,20		3,66	4,23
			do	1,88	do	0,85	do	0,19	do	1,38	do	
			2,43		1,36		0,29		1,53		4,94	

ZAKLJUČEK

Poskusi so pokazali, da je s predlagano sintetično žlindro za rafinacijo jekla v električni obločni peči moč doseči večje razžveplanje kot pri standardnem modificiranem enožilindrnem postopku.

Delno se je znižala tudi vsebnost nekovinskih vključkov.

Zaradi nove žlindre se je povečala cena jekla za 4 do 5 par/kg. To povišanje lahko z doseženimi rezultati delno že sedaj opravičimo, vendar pričakujemo, da bi dosegli še boljše rezultate, predvsem v pogledu vsebnosti sulfidnih vključkov, če bi bolj odstranili oksidacijsko žlindro, dodali več sintetične žlindre ter delno spremenili tehnologijo pred-

dezoksidacije. S temi ukrepi bi dosegli pogoje, ki bi omogočili še boljše razžveplanje in večjo čistost jekla.

Literatura:

1. Prešern V., A. Prešern, V. Macur: Poročilo Metalurškega inštituta 219, december 1973;
2. Mazurov E. F. in drugi: Stal 1970, No 12, 1089—1091;
3. Vlasov N. N., A. M. Bigeev, L. P. Zarkov, I. N. Gubajduljin: IVUZ, Černaja metallurgija, No. 8, 1968, 47—49;
4. Paršin S. I., O. V. Tvarin: V sb. tr. CNIICM »Metallurgija«, 1967, vip. 56, 33—38;
5. Prešern V., V. Macur, A. Rodič: Poročilo Metalurškega inštituta 229, februar 1974;
6. Prešern A., M. Dobovišek, V. Rac, V. Macur: Poročilo Metalurškega inštituta 112, 113, september 1972
7. Prešern A.: Tehnološke zakonitosti odžveplanja v električni obločni peči, Zelezarski zbornik, 1973, št. 3, 123 do 130

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Ersetzung der Stahlerzeugung nach dem Zweischlackenverfahren im elektrischen Lichtbogenofen mit dem kürzeren Einschlackenverfahren hat sich gezeigt, dass der Entschwefelungsgrad beim kürzeren Verfahren nicht genügend ist. Deswegen werden in der Hüttenindustrie verschiedene sogenannte Sekundärrefinierungsverfahren des Stahles ausserhalb des Ofens untersucht. Unsere Aufgabe war es, die Zusammensetzung der synthetischen Schlacke zu bestimmen und diese für die Raffination im Ofen zu erproben.

Auf Grund mehrerer laboratorischer Proben ist eine optimale Zusammensetzung der synthetischen Raffinationsschlacke festgestellt worden: CaO 55 bis 65 %, CaF₂ 20 bis 30 %, Al₂O₃ 5 bis 15 %.

Eine grössere Menge dieser Schlacke ist erzeugt und bei der Erzeugung der Einsatzstähle im 10-Tonnen Lichtbogenofen des Hüttenwerkes Ravne erprobt worden. Die Entschwefelung bei den Versuchsschmelzen ist verfolgt und analysiert worden. Die erzeugten Stähle sind auch metallographisch untersucht worden.

Die synthetische Schlacke ist in einer Menge von 1,4 bis 1,7 % des Schmelzgewichtes in den Ofen nach der teilweisen Entschlackung und einer Vordesoxydation mit Al, SiMn und FeSi zugegeben worden. Es ist mit dieser Schlacke ein Entschwefelungsgrad von 30 bis 50 % im

Vergleich zu 15 % mit der üblichen Raffinationsschlacke zu erreichen.

Die Menge der nichtmetallischen Einschlüsse hat sich um etwa 10 % vermindert, vor allem wegen der Verminderung der sulfidischen Einschlüsse.

Die Austenitkorngrösse der Versuchsschmelzen war zufriedenstellend. Das Korn war jedoch etwas kleiner als bei der standarden Technologie.

Es kann daraus gefolgert werden, dass mit der vorgeschlagenen synthetischen Schlacke, bei der Raffination im elektrischen Lichtbogenofen eine viel bessere Entschwefelung erreicht worden ist. Auch die metallographischen Untersuchungen hatten günstige Ergebnisse zur Folge.

Wir vermuten, dass noch bessere Ergebnisse, vor allem in Hinsicht der Schwefeleinschlussgehalte, erreicht werden könnten, wenn die Oxydationsschlacke besser abgeschlackt wäre, wenn die Menge der synthetischen Schlacke grösser (wenigstens 2 % des Schmelzgewichtes) und die Reihenfolge der zugegebenen Desoxydationsmittel SiMn und FeSi anders wäre. Mit diesen Massnahmen könnte der SiO₂ Gehalt in der Raffinationsschlacke vermindert und der CaF₂ Gehalt vergrössert werden. Die Entschwefelungsbedingungen wären besser und somit auch der sulfidische Reinheitsgrad der Stähle.

SUMMARY

When substituting the standard two-slag process in manufacturing steel in the electric arc furnace by a shorter single-slag process the degree of desulphurisation was not sufficient. Therefore different methods of the so called «secondary refining» of steel outside the furnace are checked all over the world. Our intention was to determine the composition and test a synthetic slag for refining in the furnace.

Thus the optimal synthetic refining slag with the basic composition: CaO — 55 to 65 %, CaF₂ — 20 to 30 %, Al₂O₃ — 5 to 15 % was determined in numerous laboratory experiments.

Then a greater amount of this slag was prepared and tested in manufacturing the steel for carburising in a 10 ton electric arc furnace in Ravne Ironworks. Desulphurisation in the test melts was analyzed and studied, and metallographic investigations of these steels were made afterwards.

Synthetic slag (1.4 to 1.7 % of charge) was added into the furnace after partial skimming of the oxidative slag and after predeoxidation by Al, SiMn, and FeSi. 30 to 50 %

desulphurisation was obtained during the refining which is considerable improvement compared to 15 % desulphurisation obtained by a common slag.

The amount of nonmetallic inclusions was reduced for about 10 % mainly due to reduction of the amount of sulphide inclusions. The size of austenite grain in the test melts was satisfactory though the grain was slightly smaller than obtained by standard technology.

A conclusion can be made that the proposed synthetic slag for refining in the electric arc furnace represents considerable improvement in desulphurisation and that also metallographic investigations gave favourable results. But still better results can be expected mainly on the amount of sulphide inclusions if the oxidative slag can be better skimmed and thus more synthetic slag can be added (at least 2 % of charge) but also technology of adding SiMn and FeSi for predeoxidation must be partially changed. Thus amount of SiO₂ in the refining slag can be further reduced and concentration of CaF₂ increased. In this way conditions can be obtained enabling still better desulphurisation and better purity of steel in the respect to sulphide inclusions.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При замещении стандартного способа производства стали в электродуговой печи с двумя шлаками с более коротким способом с одним шлаком оказалось, что степень десульфурации с более коротким способом не удовлетворяет. Поэтому в чёрной металлургии в последнее время исследуют разные способы т. н. «вторичное рафинирование» стали вне печи. В статье автор рассматривает состав синтетического шлака и его применение при рафинировании стали в ванне.

Подходящий состав шлака определен лабораторными опытами; его типовой состав с 55—65 % CaO, 20—30 % CaF₂ и 5—15 % Al₂O₃. Шлак применили при производстве стали для цементации в 10 т-ой электродуговой печи Металлургического завода Равне. Этот синтетический шлак в количестве 1.4—1.7 % тяжести всегда металла введён в металлургическую ванну после частичного удаления окислительного шлака и после окисления с Al, SiMn и FeSi.

За процессом десульфурации следили при помощи опытных плавов определяя химический состав и металлургическое состояние сталей. С упомянутым синтетическим шлаком удалось

получить снижение серы между 30—50 %, что существенно превышает десульфурацию обыкновенным способом. Содержание неметаллических включений уменьшили до 10 % и то, главным образом содержание сульфидов. При этих опытных плавках была также в порядке величина аустенитных зёрен, хотя они оказались более мелкими в сравнении с зёрнами стандартной технологии.

Можно заключить, что работы с упомянутым шлаком для рафинирования в электродуговой печи дали что касается десульфурации весьма положительные результаты; это можно сказать также и о металлургическом исследовании. Ещё лучшие результаты, в особенности что касается сульфидных включений можно ожидать если удаётся из металлургической ванны больше окислительного шлака и повысить до 2-ух % всегда синтетического шлака, также частично изменить технологию введения SiMn и FeSi предварительного раскисления. С этими мерами можно в шлаке для рафинирования уменьшить содержание SiO₂ и увеличить содержание т. е. концентрацию CaF₂ что, конечно, повлечёт собой дальнейшее уменьшение сульфидных включений и серы.