

ŽELEZARSKI ZBORNIK

20 LET ŽELEZARSKEGA ZBORNIKA

VSEBINA	Stran
Todorovič Gojko, J. Lamut, B. Dobovišek, Metalurški inštitut Ljubljana L. Šketa, M. Tolar — Železarna Jesenice IZDELAVA SINTRA Z DODATKOM LJUBIJSKEGA SIDERITA IN NJEGOV RAZPAD PRI NIZKIH TEMPERATURAH	19
Risteski Ice B. — Železarna Smederevo ODSTRANJEVANJE ŽVEPLA S KONVERTIRANJEM GRODLJA PRI LD POSTOPKU	23
Rodič Jože, M. Švajger, J. Šegel — Železarna Ravne W. Holzgruber — Inteco DANAŠNJA STOPNJA RAZVOJA ELEKTRIČNEGA PRETALJEVANJA POD ŽLINDRO. NOVE PROIZVODNE MOŽNOSTI IN TEHNOLOŠKI RAZVOJ	29
Tehnične novice Prešern Alojz — Metalurški inštitut Ljubljana TRILETNO SODELOVANJE MED METALURŠKIMI INŠTITUTI EGS IN SFRJ	39

LETO 20 ŠT. 2 — 1986

ŽEZB BQ 20 (2) 17—44 (1986)

4518559

ŽELEZARSKI ZBORNIK

IZDAJAJO ŽELEZARNE JESENICE, RAVNE, ŠTORE IN METALURŠKI INŠTITUT

LETO 20

LJUBLJANA

JUNIJ 1986

Vsebina	Inhalt	Contents	Содержание
Stran	Seite	Page	Страница
G. Todorovič, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar Izdelava sintra z dodatkom ljubijskega siderita in njegov razpad pri nizkih temperatu- rah UDK: 669.162:622.341.15-185 ASM/SLA: B16a	G. Todorovič, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar Erzeugung von Sinter mit der Zugabe von Siderit Ljubija und dessen Zerfall bei tiefen Temperaturen UDK: 669.162:622.341.15-185 ASM/SLA: B16a	G. Todorovič, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar Manufacturing sinter with additions of Ljubija limonite and its desintegration at low temperatures UDK: 669.162:622.341.15-185 ASM/SLA: B16a	G. Todorovič, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar Изготовление агломерата с добавленным сидерита из рудника Любиа и его распад при низких темпе- ратурах. UDK: 669.162:622.341.15-185 ASM/SLA: B16a
I. B. Risteski Odstranjevanje žvepla s kon- vertiranjem grodlja pri LD postopku UDK: 669.18.244.66 ASM/SLA: D10a, D3	I. B. Risteski Entschwefelung bei der Er- zeugung von Stahl im LD Verfahren UDK: 669.184.244.66 ASM/SLA: D10a, D3	I. B. Risteski Sulphur removal by conver- ting pig iron in LD process UDK: 669.184.244.66 ASM/SLA: D10a, D3	I. B. Risteski Удаление серы с конвер- сией чугуна при LD спо- собе. UDK: 669.184.244.66 ASM/SLA: D10a, D3
J. Rodič, W. Holzgruber, M. Švajger, J. Šegel Današnja stopnja razvoja električnega pretaljevanja pod žlindro. Nove proizvod- ne možnosti in tehnološki razvoj UDK: 669.187.3:669-154.9 ASM/SLA: D8n, D8p	J. Rodič, W. Holzgruber, M. Švajger, J. Šegel Heutiger Stand der Entwick- lung des Elektro — Schlacke — Umschmelzver- fahrens. Neue Produktions- möglichkeiten und die Tech- nologische Entwicklung UDK: 669.187.3:669-154.9 ASM/SLA: D8n, D8p	J. Rodič, W. Holzgruber, M. Švajger, J. Šegel Present state in development of the electroslag remelting process. New production possibilities and technologi- cal development UDK: 669.187.3:669-154.9 ASM/SLA: D8n, D8p	J. Rodič, W. Holzgruber, M. Švajger, J. Šegel Теперешняя степень раз- вития электрической пе- реплавки под шлаком. Новые производительные возможности и техноло- гическое развитие. UDK: 669.187.3:669-154.9 ASM/SLA: D8n, D8p
Tehnične novice	Technische Nachrichten	Technical News	Технические новости

1911

11

20 let izhajanja Železarskega zbornika



BESEDA GLAVNEGA UREDNIKA

Teče že dvajseto leto izhajanja Železarskega zbornika. Prav je, da se ob tem, že kar visokem jubileju, spomnimo, da je prav skupno izdajanje strokovnega glasila SLOVENSКИH ŽELEZARN pomenilo začetek plodnega sodelovanja strokovnjakov slovenskih železarn in Metalurškega inštituta v Ljubljani, ki je nekaj let za tem preraslo v združitev slovenskih železarn v sestavljeno organizacijo Slovenske železarne. Mislim, da ni potrebno delati bilance o objavljenih delih, potrebno pa je poudariti, da je bil z izdajanjem skupnega strokovnega glasila dosežen namen, to je spremeniti odnos do ustvarjalnega strokovnega dela, dati znanju večji pomen, krepiti samozavest raziskovalcev, združevati in bogatiti znanje ter ga posredovati drugim.

Zdi se mi prav, da se ob tem jubileju ozremo na prehojeno pot, da predvsem poudarimo tehnološki napredek, ki smo ga dosegli na Jesenicah, na Ravnah in v Štorah. Slovensko železarstvo se lahko preživi le s proizvodnjo kvalitetnih jekel. Razvoj v smeri zahtevnih vrst jekel je že zdavnaj spoznana nujnost, ki se v današnjem času vedno znova potrjuje. Tega smo se zavedeli metalurgi in nemetalurgi, zato se lahko pohvalimo, da imamo, vsaj kar se tiče proizvodnje surovega jekla, v vseh treh železarnah najsodobnejšo opremo za sekundarno obdelavo jekla, ki nam omogoča izdelati najbolj zahtevne vrste jekel.

Vložena sredstva v vakuumsko metalurgijo, v pretaljevanje jekla pod žlindro in v sekundarno metalurgijo se nam bogato obrestujejo. Poleg tega se na teh napravah šolajo delavci za novo jeklaro na Jesenicah.

Investicije v predelavo bodo naslednja nujnost. Stare naprave so že iztrošene in tudi zastarele.

Manjka pa nam sposobnih in kreativnih inženirjev ter tehnikov. Moderna tehnologija pač zahteva več znanja, tega pa se, žal, premalo zavedamo.

Železarski zbornik ima vedno manjši obseg. Lahko bi rekli, da strokovno premalo delamo in da imamo premalo strokovnih ambicij. Ali z drugimi besedami, strokovnega dela in znanja pri nas še vedno ne cenimo dovolj.

Kljub vsem težavam in ob popolnemu amaterskem načinu dela je Železarski zbornik skozi vseh dvajset let ohranil visok strokovni in oblikovni nivo. Zato gre zasluga predvsem uredniškemu odboru, ki se je skozi vsa leta le malo spremenjal. Pohvala gre predvsem prizadevnim avtorjem za temeljito strokovno obravnavanje snovi in organizacijam združene-ga dela, ki glasilo izdajajo, saj nikoli niso skoparile z denarjem.

Naša želja je tudi v bodoče delati vsaj tako dobro, kot smo doslej. Krepiti znanje in naše medsebojno sodelovanje naj bo naše vodilo. Železarski zbornik je pravo mesto za to.

Izdelava sintra z dodatkom ljubijskega siderita in njegov razpad pri nizkih temperaturah

UDK: 669.162:622.341.15-185
ASM/SLA: B 16a

G. Todorović, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar

Za pripravo ustrezne mešanice za sintranje oziroma izdelavo sintra z optimalnimi lastnostmi je zelo koristno spoznati dejavnike, ki vplivajo na njegovo obstojnost in reduktivnost v plavžu. S tem člankom skušamo opozoriti na obširno in pomembno delo na področju izdelave sintra z dodatkom ljubijskega siderita ter njegov razpad pri nizkih temperaturah. Prispevek, ki ga objavljamo, je samo del študije o sintranju mešanice, sestavljene iz uvoženih bogatih rud in ljubijskega siderita. Delo obravnava mehanizem razpada sintra in vpliv povečane vsebnosti siderita na termostabilnost sintrov.

1.0 UVOD

Ljubijski siderit se že več let uporablja za proizvodnjo sintra oziroma grodlja v jeseniških plavžih. Dodajamo ga v mešanico za sintranje s perujskim magnetitom, ljubijskim limonitom in dodatki. Dosedanje raziskave so bile usmerjene k določevanju fizikalno-kemičnih lastnosti sideritov¹ in metalurških ter mineraloških lastnosti sintrov. Sintri so bili izdelani z različno granulacijo in vsebnostjo siderita v mešanici za sintranje. Rezultati raziskav so pokazali, da granulometrijska sestava siderita močno vpliva na trdnost sintra. Če je granulacija siderita večja, kot je to normalno za mešanico za sintranje, potem so njegova zrna povezana samo na površini. Notranjost ostane razpokana in porozna. Zato prihaja pri drobljenju sintra do razpada. Raziskave smo nadaljevali v smislu dodatnega drobljenja siderita in koksna na granulacijo pod 3 mm. Pri isti sestavi mešanice za sintranje smo opazovali vpliv različnih dodatkov siderita na razpad sintra pri nizkih temperaturah v modificirani Linderjevi napravi.

2.0 RAZPAD SINTRA V PLAVŽU

Rudni del plavžnega vsipa vsebuje od 60 do 100 % sintra, ki je v glavnem regulator tehnološkega procesa proizvodnje grodlja. Sinter predstavlja heterogen sistem in je sestavljen iz železovih oksidov in jalovinskih komponent. Lastnosti sintrov se med seboj zelo razlikujejo, čeprav so izdelani iz istih rudnih mešanic z enako granulometrijsko sestavo, količino goriva ter vlage. Vsebnost FeO v sintru pa je odvisna od njegove vsebnosti v mešanici za sintranje².

Sinter je v plavžu izpostavljen različnim mehničnim in termičnim udarom, kar povzroča spremembe v njegovi strukturi in granulometrijski sestavi. Zaradi tega mora imeti sinter določeno trdnost in reduktivnost, da bi zagotovil optimalni potek tehnološkega procesa. Mehanizem razpada sintra je povezan s termičnimi napetostmi, ki vladajo v temperaturnem intervalu od 400 do 700°C, in se imenuje krhki razpad. Poznamo še plastični razpad, ki se pojavlja pri višjih temperaturah, in

sicer od 900 do 1200°C. Na razpad sintra vpliva temperatura, heterogenost stinuturnih komponent in sestava plinske atmosfere³. Trdnost sintra je odvisna od količine in kemične sestave žilindrine faze, ki povezuje kristalna zrna železovih oksidov. Želimo izdelati sinter z žilindrino vezjo, da bi dobili optimalno trdnost in reduktivnost.

Razpoke se pojavljajo na najmanj obstojni strukturi fazi sintra. Pri ohlajanju sintra nastajajo nove razpoke na račun podaljševanja in množenja obstoječih. To je tudi eden od vzrokov delnega razpada sintra na sintrnem traku pri ohlajanju. Pri sintrih, ki imajo bolj homogeno strukturo, nastaja manj razpok zaradi toplotnih sprememb. V feritno-hematitni coni nastajajo razpoke v temperaturnem intervalu med 400 in 500°C, ki jih povzroča napihovanje hematita. Te razpoke so pogojene s povečanjem parametrov kristalne rešetke pri prehodu hematita iz α v γ modifikacijo pri procesu redukcije. Pri redukciji sintra se pojavljajo razpoke tudi v kristalnih zrnih magnetita, ki nastajajo zaradi zmanjševanja parametrov kristalne rešetke.

Na osnovi literaturnih podatkov^{4,5} in lastnih raziskav lahko sklepamo, da v plavžni atmosferi nastaja krhki razpad sintra med 400 in 700°C in povzroča razpoke treh vrst:

a) termične razpoke se pojavljajo zaradi strukturne heterogenosti sintra oziroma različnih koeficientov širjenja posameznih kristalnih faz,

b) razpad sintra je pogojen z napihovanjem, kar je v zvezi s povečanjem volumna hematita pri redukciji,

c) radialne razpoke se nahajajo na metalizirni površini sintra zaradi krčenja pri redukciji.

Zaradi krhkega razpada sintra v plavžu nastaja drobna frakcija, ki ovira pretok plinov skozi steber plavžnega vsipa. To se posebej pozna pri plavžih, v katere vpihujemo predgreti zrak z manjšim pritiskom.

Za obratovanje plavžev je zelo važen tudi plastični razpad sintra, ki nastaja v temperaturnem intervalu med 800 in 1200°C. Ta je pogojen z nastankom žilindrine faze in komponent sintra, ki se razlikujejo po strukturi in fazni sestavi in imajo različne temperaturne intervale taljenja. Razpad sintra pod obremenitvijo se začne v momentu, ko se v njem pojavijo večje količine taline. Minimalna temperatura razpada je 900°C pri sintrih, ki vsebujejo silikatno fazo. Če prevladuje magnetit (wüstit) nad silikatno fazo, tedaj temperatura plastičnega razpada sintra doseže maksimalno 1200°C. Pri segrevanju sintra v področju plastičnega razpada se pojavlja na površini sintra cona metalizacije. V njej se zaradi zmanjšanja parametrov kristalne rešetke zrna reducirane magnetita spreminjajo v železovo gobo, vendar ohranijo svojo zunanjo površino. Kovinsko železo se ne raztaplja v žilindrini fazi, tako da redukcija poteka v ločenih conah in se razmešča samo notranjost sintra. Zu-

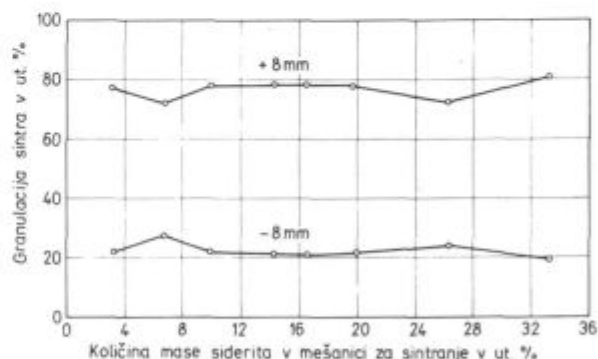
nanja metalizirana cona preprečuje plastični razpad sintra. Pri tem se silikatna raztopina delno reducira, ker se absorbira po zrnih magnetita in prehaja v železovo gobo. Plastični razpad sintra je pogojen z razmehčanjem sintra oziroma silikatne faze in lahko topljivih evtektikov. Vendar prihaja pozneje do taljenja različnih mineralnih faz, kar je v zvezi z mehčanjem in deformacijo železove gobe, ki nastaja pri redukciji železovih oksidov. Zaradi strukturne heterogenosti se dogaja v širšem temperaturnem intervalu med 900°C in 1200°C. Precej širok interval plastičnega razpada povzroča poslabšanje pretoka plinov skozi plavžni vsip in povzroča njegovo visenje. Da bi se izognili temu pojavu, bo treba zvišati temperaturno začetnega plastičnega razpada in s tem zmanjšati njegov interval. To je mogoče z zmanjšanjem strukturne heterogenosti sintra in povečanjem vsebnosti železa v mešanici za sintranje. Trdnost sintra lahko povečamo, če je čim bolj enakomerna kemična in granulometrijska sestava mešanice za sintranje in goriva ter z zmanjšanjem vsebnosti hematita na račun preprečevanje oksidacije magnetita pri ohlajanju gotovega sintra. S povečanjem vsebnosti goriva v mešanici za sintranje se povečuje tudi odstotek wüstita, magnetita in drugih železovih spojin in sicer zaradi zmanjšanja vsebnosti hematita, ki vpliva na razpad sintra.

3.0 IZDELAVA SINTRA Z DODATKOM LJUBIJSKEGA SIDERITA V MEŠANICO ZA SINTRANJE

Mešanica za sintranje je sestavljena iz perujskega magnetita, ljubijskega limonita in siderita, apnenca, povratka in koka (tabela 1). Vsebnost železa v magnetitu

je znašala 64,08 %, limonitu 44,51 % in sideritu 36,63 %. Granulometrijska sestava mešanice za sintranje je enaka, kot smo jo že uporabljali pri raziskavah¹, s to razliko, da sta koks in siderit zdrobljena pod 3 mm. V mešanici za sintranje smo zviševali vsebnost siderita od 3,3 do 33,8 % na račun zmanjševanja vsebnosti limonita, da bi ostal rudni del mešanice nespremenjen. Sinter, ki je izdelan na laboratorijski napravi, je vseboval od 14,30 do 30,63 % FeO (tabela 2), na kar vpliva tudi vsebnost FeO v mešanici za sintranje.

Rezultati poskusov (sl. 1) kažejo⁶, da je pri 33,3 % siderita v mešanici za sintranje nastalo po podanem pre-



Slika 1
Odvisnost med vsebnostjo siderita v mešanici za sintranje in granulacijo sintra

Fig. 1
Relationship between the siderite content in the sintering mixture the sinter size

Tabela 1: Sestava mešanic za sintranje z različnimi vsebnostmi siderita

Komponente mešanice	Številke preizkušancev											
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Magnetit												
Peru	31,1	24,3	30,4	30,0	30,1	30,0	30,0	30,0	30,0	28,0	22,7	16,0
Limonit BPR	23,3	16,5	23,0	22,7	19,1	16,0	12,7	9,3	6,0	28,0	6,7	6,7
Siderit												
Ljubija	3,9	17,5	3,4	3,3	6,7	10,0	13,3	16,7	20,0	—	26,7	33,3
Apnenec	9,7	9,7	10,8	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7	10,7
Povratek	26,2	26,2	25,7	25,3	25,4	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3	25,3
Koks	5,8	5,8	6,8	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0	8,0

Tabela 2: Kemične analize sintrov

Št. preizkušanca	Kemična analiza sintrov v ut. %										CaO
	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe	FeO	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	Mn	P ₂ O ₅	S	SiO ₂
1*	7,29	2,09	55,08	10,58	67,01	10,20	0,69	0,67	—	—	1,40
2	9,33	2,10	55,18	19,05	57,63	8,80	1,11	0,85	0,065	0,047	0,94
3	9,88	2,23	53,91	21,33	53,27	8,93	1,59	1,02	0,069	0,058	0,90
4	8,45	2,12	52,65	22,05	50,65	10,52	1,15	0,75	0,073	0,090	1,24
5	8,50	2,55	53,48	25,63	47,85	10,36	1,05	0,71	0,079	0,127	1,22
6	8,57	2,18	53,15	30,63	41,73	10,27	1,17	0,73	0,071	0,169	1,20
7	7,80	2,05	53,10	19,90	53,70	10,55	1,11	0,84	0,069	0,066	1,35
8	8,04	2,15	52,99	25,63	47,15	10,92	1,44	0,76	0,074	0,120	1,36
9	7,71	1,83	53,10	25,77	47,15	10,21	1,55	0,88	0,067	0,074	1,32
10	7,15	1,76	53,39	24,63	49,05	10,47	1,59	0,79	0,067	0,173	1,46
11	8,44	2,25	52,85	28,35	43,90	10,41	1,22	0,76	0,069	0,138	1,23
12	7,78	1,98	52,52	23,20	49,19	10,65	1,68	0,97	0,061	0,110	1,37
13	8,39	2,01	51,19	14,30	57,23	11,37	2,23	1,26	0,064	0,117	1,36

* Sinter Jesenice

izkušencu ali preizkusu 80,2 % granulacije nad 8 mm in pri 3,3 % nekaj manj, in sicer 77,8 %. Pri sintranju mešanice, ki je vsebovala 50 % magnetita in 50 % limonita, tj. brez siderita, je odstotek granulacije nad 8 mm znašal 73,6 %. To pomeni, da je najmanjšo trdnost imel sinter brez siderita in največjo z največjim odstotkom siderita v mešanici za sintranje. Vendar moramo poudariti, da se rezultati med seboj zelo malo razlikujejo.

4.0 TERMOSTABILNOST SINTRE

Sintre, ki so izdelani na laboratorijski napravi z različnimi dodatki siderita, in jeseniški sinter, ki je vseboval 13,3 % siderita, smo testirali v modificirani Linderjevi napravi po ISO standardu. Termostabilnost sintrov smo določevali z dinamično rotacijsko metodo. Naprava se je vrtela s hitrostjo 1,05 rad/s. Količina sintra je znašala 500 g granulacije od 10 do 15 mm. Segrevali smo ga po programu 3 ure do temperature 700°C in nato eno uro reducirali v plinski zmesi. Redukcijski plin je vseboval 20 % CO, 20 % CO₂ in 60 % Ar. Pretok plina je znašal 900 l/h. Segrevanje in ohlajanje vzorcev smo opravljali v nevtralni atmosferi. Termostabilnost izražamo z odstotkom granulacije sintra pod 5 mm. Krhki razpad sintra nastaja v temperaturnem območju med 400 in 700°C zaradi volumskih sprememb hematita in magnetita. Proces redukcije poteka tako, da nastajajo na površini reduciranega sintra nižji železovi oksidi in kovinsko železo. V razpokah in porah se nadaljuje proces redukcije do kovinskega železa, ki gre v globino reduciranega sintra. Redukcija magnetita (v sintru ga je največ) do kovinskega železa ima za posledico, da se mu zmanjšuje volumen in tvorijo grobe radialne razpoke v zunanji coni reduciranega sintra zaradi termičnih napetosti notranjih delcev. V zunanji coni, tj. feritno he-

matitni, nastajajo v zrnih hematita tanke krivuljaste razpoke, ki jih povzročajo napihovanje hematita pri redukciji.

Rezultati termostabilnosti sintrov, ki smo jih predstavili na sliki 2, z granulacijami pod 0,5 mm, 0,5–2,83 mm in 2,83–5 mm, kažejo, da termostabilnost ni odvisna od vsebnosti siderita v mešanici za sintranje, ampak od njegove granulometrijske sestave. To potrjujejo tudi podatki iz prakse, ki so jih dobili na plavžih čeljabinskega metalurškega kombinata⁷.

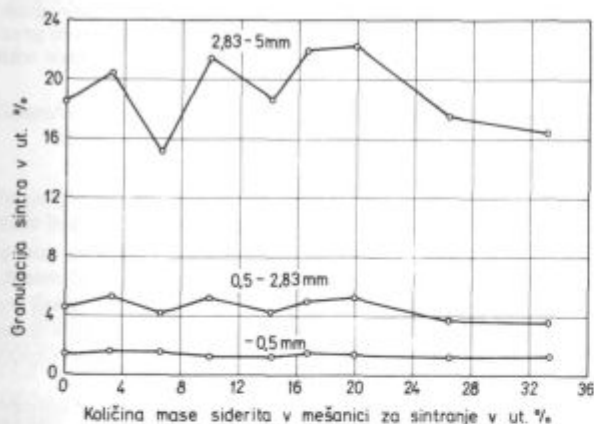
5.0 SKLEPI

Razpad sintra je povezan s termičnimi napetostmi, ki vladajo v temperaturnem intervalu med 400 in 700°C in se imenuje krhki razpad. V glavnem nastaja zaradi volumskih sprememb hematita in magnetita pri redukciji. Pri hematitu prihaja do povečanja parametrov kristalne rešetke pri prehodu iz α v γ modifikacijo in v kristalih magnetita nastajajo tudi razpoke zaradi zmanjšanja parametrov kristalne rešetke. Trdnost sintra je odvisna od količine in kemične sestave žilndrine faze, ki povezuje kristalna zrna železovih oksidov. Če sinter vsebuje večji odstotek FeO, je večja njegova trdnost in slabša reaktivnost. Možno je povečati trdnost sintra s povečanjem vsebnosti železa v mešanici za sintranje in z enakomerno kemično in granulometrično sestavo komponent mešanice in goriva.

Sintri, ki so izdelani na laboratorijski napravi za sintranje, z različnim odstotkom ljubijskega siderita granulacije pod 3 mm, so testirani po ISO standardu v modificirani Linderjevi napravi pri temperaturi 700°C. Termostabilnost sintrov smo izražali z odstotkom granulacije pod 5 mm. Rezultati poskusov kažejo, da termostabilnost sintrov ni odvisna od vsebnosti ljubijskega siderita v mešanici za sintranje, ampak samo od njegove granulometrijske sestave, kar so potrdili tudi rezultati iz prakse.

Literatura

1. G. Todorović, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar: Uporaba ljubijskega siderita za izdelavo sintra, Poročila Metalurškega inštituta Ljubljana, 1982
2. H. Szpila, S. Skupien, W. Matusiak: Hutnik, 1976, No. 3, str. 87–90
3. G. Todorović, J. Lamut: Razpad sintra pri nizkih temperaturah, Poročila Metalurškega inštituta Ljubljana, 1980
4. J. M. Potebnja, V. L. Tolstunov, R. G. Rihter, A. G. Karmazin, L. V. Gubenko: Stal, 1979, No. 4, str. 248–250
5. P. A. Kravčenko, V. N. Vasilev: Metali, 1977, No. 6, str. 20–25
6. G. Todorović, M. Tolar, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, A. Valant: Izdelava sintra z dodatkom ljubijskega siderita in njegov razpad pri nizkih temperaturah, Poročila Metalurškega inštituta Ljubljana, 1985
7. N. V. Fedorenko, A. G. Žunev, B. N. Zverev, V. V. Červotkin, V. A. Morozov, L. V. Surkova, A. N. Černjatin: Stal, 1978, No. 7, str. 580–582



Slika 2

Termostabilnost sintra, ki je izdelan z različnimi dodatki ljubijskega siderita

Fig. 2

Thermostability of sinter made with various additions of Ljubija siderite

ZUSAMMENFASSUNG

Die bisher geführten Untersuchungen über die Anwendung von Ljubija Siderit für die Erzeugung von Sinter haben gezeigt, dass die granulometrische Zusammensetzung von Siderit und der Anteil in der Mischung für das Sintern die Festigkeit und Thermostabilität stark beeinflussen. Die Untersuchungen sind weitergeführt worden mit dem Ziel, Sinter mit besseren physikalischen und metallurgischen Eigenschaften zu erzeugen. Zu diesem Zweck sind Siderit und Koks unter 3 mm Korngrösse zerkleinert worden bei sonst unveränderter Zusammensetzung der Mischung. An einer Laboranlage ist basischer Sinter aus Peruanischem Magnetit, Ljubija Limonit und Siderit und der Zusätze erzeugt worden. In der Sintermischung ist der Gehalt von Siderit von 3,3 bis 33,3% erhöht worden. Die Festigkeit von Sinter entsprach den Anforderungen. Sie wird grösser je gleichmässiger die chemische und die Korngrössenzusammensetzung sind, wie auch die Verminderung des Hematitgehaltes, da bei der Abkühlung des fertigen Sinters die Oxydation von Magnetit verhindert wird. Die angewendete Korngrösse von feinem Siderit macht bei der richtigen Auswahl der Korngrössenzusammensetzung anderer

Komponenten ein gerechtes technologisches Sinterverfahren bei genügender Durchlässigkeit der Sintermischung möglich.

Die höchste Festigkeit besass Sinter erzeugt mit dem grösstem Sideritanteil in der Sintermischung jedoch unterscheiden sich die Ergebnisse nicht wesentlich.

Die Thermostabilität von Sinter ist in einer modifizierten Linderschen Anlage nach ISO Normen bei der Temperatur von 700°C bestimmt worden, da der spröde Zerfall von Sinter zwischen 400 und 700°C auftritt.

Der Zerfallmechanismus von Siderit ist mit den thermischen Spannungen beim Durchgang von Hematit aus der α in die γ Modifikation und mit der Reduktion von Magnetit verbunden, da die Kristallgitterstruktur verändert wird.

Die Ergebnisse zeigen, dass in der Thermostabilität von Sinter keine grösseren Unterschiede bestehen. Daraus geht hervor, dass der Sideritgehalt in der Sintermischung die metallurgischen Eigenschaften von Sinter nicht wesentlich beeinflusst, sondern nur dessen Korngrössenzusammensetzung. Dasselbe wird auch in der Praxis bestätigt, wo in Hochofenmüller Sinter mit Zusatz von Siderit angewendet wird.

SUMMARY

Investigations on application of Ljubija siderite for making sinter showed so far that the grain-size composition of siderite and its content in the sintering mixture have a great influence on the strength and the thermostability of sinter. The investigations were continued in order to produce sinter with better physical and metallurgical properties. Thus the siderite and coke were crushed to the size below 3 mm while the composition of sintering mixture remained unchanged. Basic sinter of Peru magnetite, Ljubija limonite and siderite, and of additions was prepared in a laboratory sintering equipment. The siderite portion in the sintering mixture was increasing from 3.3 to 33.3%. A suitably strong sinter was obtained and its strength can be even increased if the sintering mixture has as uniform chemical and grain-size composition as possible. It can be increased also by reducing the content of hematite by preventing the oxidation of magnetite during the cooling of the prepared sinter. The applied size of fine siderite enables in the combination of correct choice of sizes of other constituents the correct technological process of sintering at a suitable permeability of the sintering mixture.

The highest strength the sinter made of the sintering mixture with the highest siderite content though the results did not vary considerably.

The thermostability of sinters was determined in a modified Linder equipment by the ISO standard at 700°C where the brittle disintegration of sinter occurs between 400 and 700°C.

Mechanism of the disintegration of sinter is connected with the thermal strains, i. e. during transition of α magnetite into γ modification, and in reduction of magnetite when lattice parameters are reduced.

The obtained results did not show any greater variations of the thermostability values. Thus a conclusion can be made that the portion of siderite in the mixture has no essential influence on the metallurgical properties of sinters, but only their grain-size composition. This is confirmed also by the data from practice where the blast-furnace burden contains sinter made with additions of siderite.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

До сих пор выполненные исследования применения siderита рудника Любия для изготовления агломерата показали, что granulometricheskii состав siderita и его содержание в агломерационной смеси сильно влияют на прочность и термостойкость агломерата. Исследования продолжали с целью, чтобы изготовить агломерат лучших физических и металлургических свойств. Поэтому siderit и кокс дробили на грануляцию под 3 мм при остальном неизменном составе агломерационной смеси.

Основной агломерат изготовлен в лабораторном устройстве для агломерации. Взяты были: магнетит из южноамериканского Перу, лимонит и siderit из рудника Любия и необходимые добавки. В агломерационной смеси постепенно увеличивали содержание siderita с 3,3% на 33,3%. Получили соответствующую прочность агломерата, которую можно увеличить, если агломерационная смесь более равномерного химического и granulometricheskogo состава, а также при уменьшении содержания гематита на счет предотвращения окисления магнетита при охлаждении изготовленного агломерата. Примененная грануляция мелкого siderita позволяет, в комбинации с правильным выбором остальных компонент, правильный техно-

логический способ выполнения агломерации при достаточной пропускной способности агломерационной смеси.

Максимальную вязкость имел агломерат, который изготовлен с самым большим содержанием siderita в агломерационной смеси, хотя результаты существенно между собой не отстают.

Термостойкость агломератов определили в модифицированном устройстве по Линдеру, взяв во внимание ИСО стандарты, при температуре 700°C, так как распад хрупкого siderita происходит между 400 и 700°C.

Механизм распада агломерата связан с термическими напряжениями, а именно при преобразовании гематита из альфа в гама модификацию, и при восстановлении магнетита, при котором наступает уменьшение параметров кристаллической решетки.

Результаты опытов показывают, что при термостойкости агломератов нет больших разниц, а это значит, что содержание siderita в агломерационной смеси не влияет на металлургические свойства агломератов, а только их granulometricheskii состав. Это подтверждают также данные, полученные при практическом изготовлении агломератов в шихте доменной печи где находится агломерат изготовлен с добавкой siderita.

Odstranjivanje sumpora konvertiranjem gvožđa u toku LD-procesa

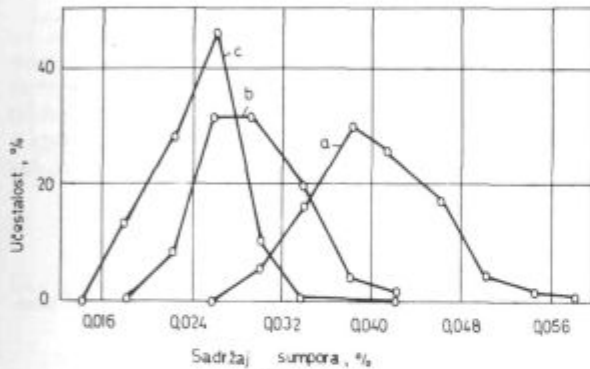
UDK: 669.184.66
ASM/SLA: D 10 a, D 3

Ice B. Risteski*

U radu je razraden proces desumporacije metala u konvertoru na bazi pasivnog eksperimenta pomoću teorije matematičke statistike.

1. UVOD

Efektivnost desumporacije metala u 90 t-skim kiseonim konvertorima karakteriše se učestalošću kriva na sl. 1., koje su dobijene pri statističkoj obradi podataka na 900 šarži.



Slika 1.

Učestalost krive sadržaja sumpora u gvožđu (a), u metalnoj kupki po završetku duvanja (b) i u gotovom čeliku (c)

Fig. 1

Frequency of the sulphur-content curve for pig iron (a), for metallic bath after completed blowing (b), and for manufactured steel (c)

Stepen desumporacije metala D za sve šarže pri proizvodnji niskougljeničnog tečnog čelika iznosio je 39,8 %. Od ove količine za period produbavanja odstranjeno je 29,2 % sumpora, a za vreme staloženosti, korekcije, dezoksidacije i ispusta 10,6 %.

Metalni uložak razmotrenih šarži sastojao se od 15 % čeličnih otpadaka i 85 % tečnog gvožđa čiji sastav je dat u tabeli 1.

Tabela 1: Hemijski sastav gvožđa

Element	%
C	3,49—3,81
Si	0,60—1,00
Mn	0,06—1,10
S	0,03—0,05
P	0,10—0,12

* Ice B. Risteski, dipl. inž., stručni suradnik u Železari Smederevo

Kiseonik je duvan sa intenzitetom od 220—250 m³/min i pritiskom od 1,4—1,7 MN/m². Vreme produbavanja je 25—30 min, a bazicitet troske 2,5—4.

Stepen desumporacije čelika D za period produbavanja zavisi od: sadržaja sumpora u gvožđu, desumporacione sposobnosti troske i njenog stepena iskorišćenja.

2. OBRADA EKSPERIMENTALNIH PODATAKA

Sumpor u konvertoru uglavnom se unosi sa gvoždem. Sadržaj sumpora u kreću, dobijen u gasne šahtne peći, ne prelazi 0.03 %.

Zavisnost stepena desumporacije metala za vreme produbavanja od količine sumpora u gvožđu [S]_G (sl. 2, A) može si izraziti korelacionom jednačinom:

$$D = -10,15 + 906,1 \cdot [S]_G \quad (1)$$

Sa smanjenjem sadržaja sumpora u gvožđu relativna količina odstranjenog sumpora se isto tako smanjuje, kao rezultat približavanja ravnoteži raspodele sumpora između tečnih faza. Pri srazmerno niskim sadržajima sumpora u gvožđu moguć je i obratni proces, prelaz sumpora iz troske u metal.

Zavisnost količine sumpora u čeliku na kraju produbavanja [S]_C od sadržaja sumpora u gvožđu [S]_G u uslovima primenjene tehnologije može se predstaviti sledećom jednačinom:

$$[S]_C = 0,0094 + 0,395 \cdot [S]_G \quad (2)$$

Odavde sledi, pri proizvodnji lima za veoma duboko i posebno složeno izvlačenje, u kome se dopušta ne više od 0,02 % S, sadržaj sumpora u gvožđu ne treba da prelazi 0,027 %.

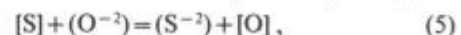
Desumporaciona sposobnost troske može se karakterizirati isto tako sa faktičkim koeficijentom raspodele sumpora između troske i metala $\eta_S = \frac{[S]}{[S]}$ i na sl. 2, B vidi se, da između tog parametra i stepena desumporacije D postoji uska korelaciona veza, data regresionom jednačinom:

$$D = 18,666 + 2,464 \cdot \eta_S \quad (3)$$

Konstanta ravnoteže reakcije desumporacije K_S izražava se jednačinom

$$K_S = \frac{a_{S-2} \cdot [O]}{a_{O-2} \cdot [S]} \quad (4)$$

koja uzima u obzir ne samo reakciju desumporacije



već i proces raspodele kiseonika i sumpora između faza [1]. Računajući, da su aktiviteti anjona sumpora i kiseonika jednaki proizvodu njihovih jonova adekvatnih koeficijentata aktiviteta, za ravnotežni koeficijent raspodele sumpora η_S može se napisati jednačina

$$\eta_s^* = K'_s \frac{\gamma_{O-2} \cdot n_{O-2}}{\gamma_{S-2} \cdot [O]}, \quad (6)$$

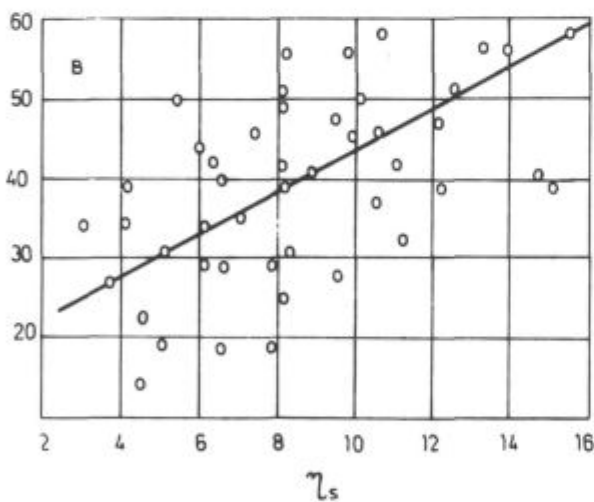
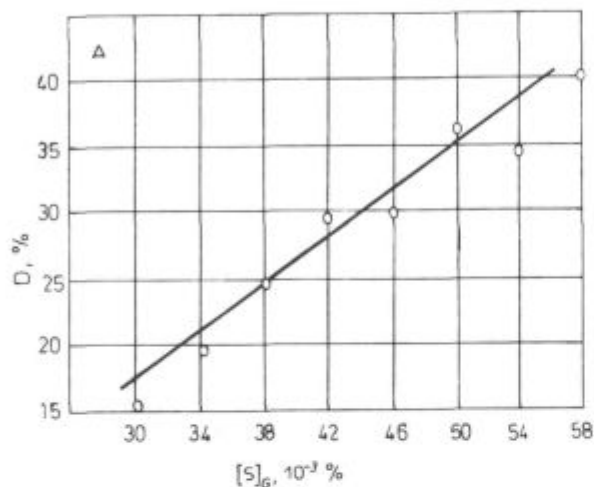
gde je $K'_s = 32K_s$,

γ_{O-2} , γ_{S-2} — koeficijenti aktiviteta anjona kiseonika i sumpora,

n_{O-2} — količina gram-jona kiseonika u 100 g troske, odnosno gram-molekuli adekvatnih oksida,

$$n_{O-2} = n_{CaO} + n_{MgO} + n_{MnO} + n_{FeO} + 3n_{Fe_2O_3} - 2n_{SiO_2} - n_{Al_2O_3} - 3n_{P_2O_5}$$

[O] — koncentracija kiseonika u metalu, %.



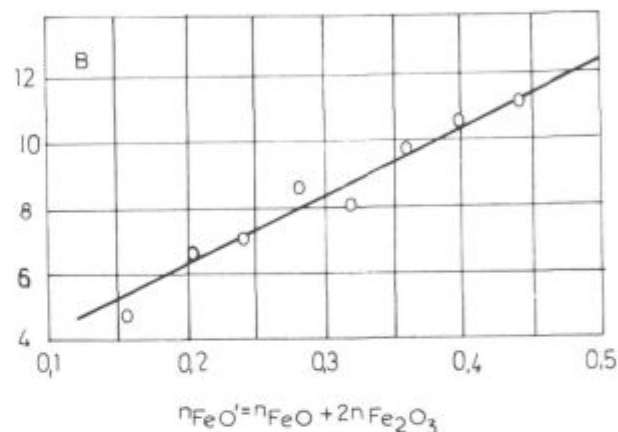
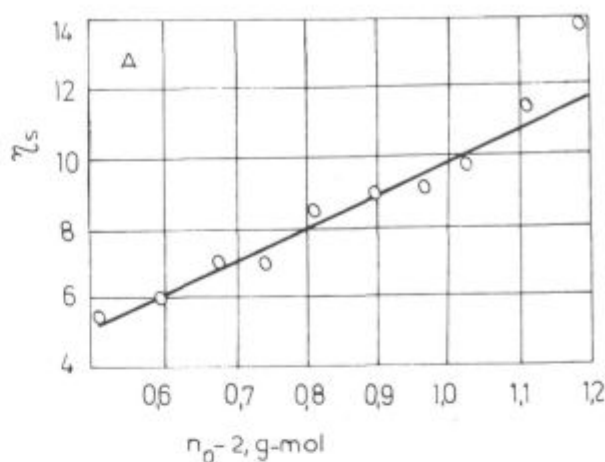
Slika 2.

Zavisnost stepena desumporacije metala D za period produvavanja od sadržaja sumpora u gvožđu (A) i od faktičkog koeficijenta raspodele sumpora između troske i metala (B)

Fig. 2

Variation of the desulphurisation degree for metal D during the blowing period with the sulphur content in pig iron (A) and with the actual partition coefficient of sulphur between slag and metal (B)

U saglasnosti sa jonskom teorijom veličina n_{O-2} javlja se kao mera baznosti troske. Analiza eksperimentalnih podataka potvrđuje pozitivan uticaj baziciteta troske izražen preko n_{O-2} na koeficijent raspodele sumpora (sl. 3, A).



Slika 3.

Zavisnost faktičkog koeficijenta raspodele sumpora η_s od baziciteta n_{O-2} (A) i oksidisanosti troske $n_{FeO'}$ (B)

Fig. 3

Variation of the actual partition coefficient of sulphur, η_s , with the basicity n_{O-2} (A) and the oxidation degree of slag $n_{FeO'}$ (B).

Korelaciona jednačina ima oblik:

$$\eta_s = 0,528 + 9,292 n_{O-2}. \quad (7)$$

Veličina n_{O-2} zavisi uglavnom od sadržaja oksida železa i kalcijuma u troski, što se može izraziti jednačinom

$$n_{O-2} = 0,211 + 2,007n_{FeO'} + 0,017n_{CaO} \quad (8)$$

gde je

$$n_{FeO'} = n_{FeO} + 2n_{Fe_2O_3}.$$

Odstranjivanje troske dovodi do povećanja sadržaja oksida železa. Pri tome se istovremeno smanjuje sadržaj kiselih oksida u troski, a povećava n_{O-2} .

Količina kiseonika u metalu, negativno utiče na desumporaciju metalne kupke i zavisi od sadržaja (aktiviteta) oksida železa u troski, i može se izraziti sledećom jednačinom

$$[O] = 0,0034 \cdot [C]^{-1} + 0,0948 \cdot L_O \cdot a_{FeO'} + 0,0015, \quad (9)$$

gde je

[C] — sadržaj ugljenika u metalu, %

L_O — koeficijent raspodele kiseonika, izračunat po jednačini Chipman-a:

$$\log L_O = \log \frac{[O]}{a_{FeO'(\max)}} = -\frac{6320}{T} + 2,733, \quad (10)$$

gde je a_{FeO} — aktivitet FeO, izračunat po kvaziternarnom dijagramu $FeO' - CaO' - SiO_2$ [2].

Sumarni efekat uticaja FeO na koeficijent raspodele sumpora može se pokazati pomoću ocene znaka parcijalnog izvoda

$$\eta' = \frac{\partial \eta_s}{\partial n_{FeO}}$$

Nakon zamena u formuli (6) značenja n_{O-2} i [O] dati izrazima (8) i (9), diferenciranjem se dobija (ako unesemo oznaku $L_O \gamma_{FeO} / n_{\Sigma} = k$):

$$\eta' = K'_s \cdot \frac{\gamma_{O-2}}{\gamma_{S-2} (0,0015 + 0,0947kn_{FeO} + 0,0035 \cdot [C]^{-1})^2} \cdot [2,006(0,0015 + 0,0947kn_{FeO} + 0,0035 \cdot [C]^{-1}) - 0,0947k(0,212 + 2,006n_{FeO} + 0,018n_{CaO})] \quad (11)$$

gde je γ_{FeO} — koeficijent aktiviteta FeO u troski, n_{Σ} — količina gram-molekula oksida u 100 g troske.

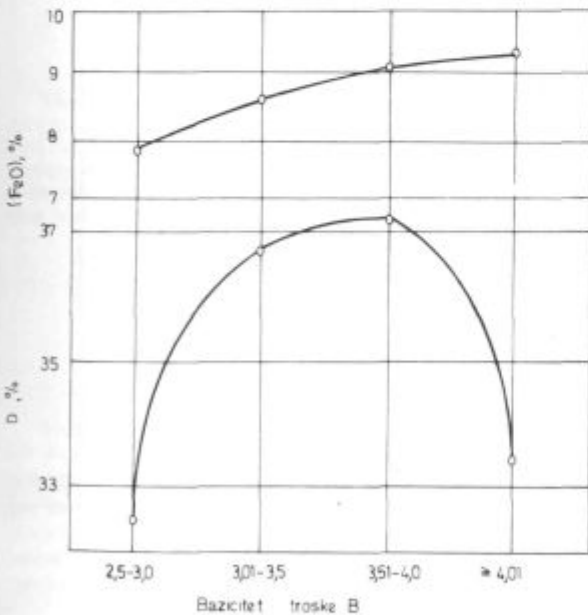
Znak izvoda η' ćemo odrediti znakom izraza, dobijenog nakon transformacije jednačine (11):

$$0,003 + 0,007[C]^{-1} - (0,0201 - 0,0017n_{CaO})k, \quad (12)$$

no analiza pokazuje, da pri unošenju bilo kojih vrednosti ulaznih parametara, karakterističnih za uslove izrade konvertorske šarže, on ostaje pozitivan. To potvrđuje pozitivan uticaj oksida železa na desumporaciju u konvertoru, što se vidi isto tako i iz dobijenih statističkih podataka (sl. 3, B). Jednačina korelacije ima oblik:

$$\eta_s = 2,328 + 20,114n_{FeO}, \quad (13)$$

pozitivni uticaj oksida železa na desumporaciju čelika u konvertoru objašnjava se porastom faktičkog baziciteta



Slika 4.

Zavisnost baziciteta troske $B = CaO/SiO_2$ koja sadrži okside železa od stepena desumporacije metala D

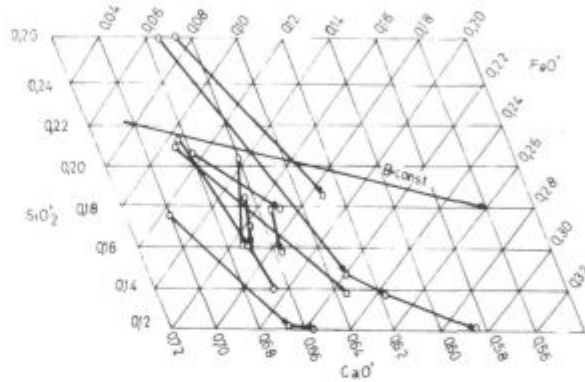
Fig. 4

Variation of the slag basicity $B = CaO/SiO_2$, containing iron oxides, with the desulphurisation degree of metal D

ziciteta troske sa povećanjem sadržaja FeO u troski (sl. 4.), pri jednakoj količini uvedenog kreča.

Dobijen kreč u šahtnim pećima ne uspeva za vreme produvavanja da se potpuno rastvori zbog njegove relativno niže reakcione sposobnosti i veće brzine konvertorskog procesa.

U konačnim troskama nerastvorenog kreča je svega 5—10 %, a nadalje, povećanje homogenosti troske, povećanjem sadržaja oksida železa, dovodi do boljeg rastvaranja kreča i povećanja baziciteta. Na sl. 5. prikazana je promena hemijskog sastava troske u procesu duvanja šarže. Kratkovremeno doduvavanje sa ciljem da se razredi troska, oksidira suvišni mangan ili vrši dopunska desumporacija, prati povećanje sadržaja oksida železa i baziciteta troske B (ukoliko se ugao linije ne poklapa sa uglom prave $B = const.$).



Slika 5.

Promena hemijskog sastava troske u kvaziternarnom dijagramu za vreme procesa doduvavanja šarže ($FeO' = FeO + 0,9 Fe_2O_3$; $CaO' = CaO + MgO + MnO$; $SiO_2' = SiO_2 + P_2O_5 + Al_2O_3$; koncentracija u molovima; $B = n_{CaO} / n_{SiO_2} = SiO_2$ — bazicitet troske)

Fig. 5

Variation of the chemical composition of slag in the quasiternary phase diagram during the blowing period ($FeO' = FeO + 0,9 Fe_2O_3$; $CaO' = CaO + MgO + MnO$; $SiO_2' = SiO_2 + P_2O_5 + Al_2O_3$; concentrations in moles; $B = n_{CaO} / n_{SiO_2} = SiO_2$ — slag basicity)

Pri prelazu od tečne faze ka nerastvorenom kreču sadržaj oksida železa se smanjuje [5]. Što su manje pore u komadima kreča i što je manja energija uzajamnog dejstva između čestica kreča i oksida železa t. j., što je niža reakciona sposobnost kreča, to je veći gradijent koncentracije oksida železa. U praksi to znači da pogoršanje reakcione sposobnosti kreča otežava formiranje troske. Za rastvaranje tvrdog niskoaktivnog kreča potreban je [6] veći sadržaj železa u troski, nego u slučaju mekog visokoaktivnog kreča (adekvatno 18—26 i 16—20 %). Stepen desumporacije je u prvom slučaju mnogo niži.

Na eksperimentalnim šaržama u 90 t-skim konvertorima sa primenom visokoaktivnog mekog poroznog kreča, troska je sa bazicitetom od 3,5—4,0 sadržala 9—10 % FeO (sl. 4.). Pri korišćenju običnog krupnog kreča, pečenog u šahtnim pećima, u troski sa bazicitetom 2,6 sadržalo se 14—15 % FeO, pri čemu je stepen rastvaranja kreča bio niži.

Poboljšanjem kvaliteta kreča pozitivno se smanjuje i uticaj oksida železa na desumporaciju čelika, jer potpuno rastvaranje kreča biva dostignuto znatno brže i pri manjem sadržaju FeO.

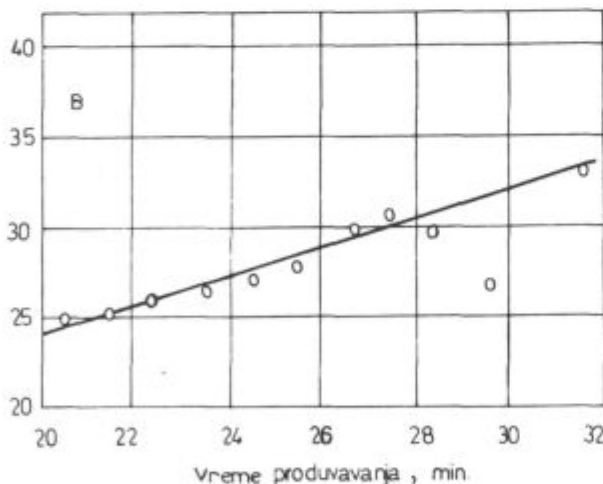
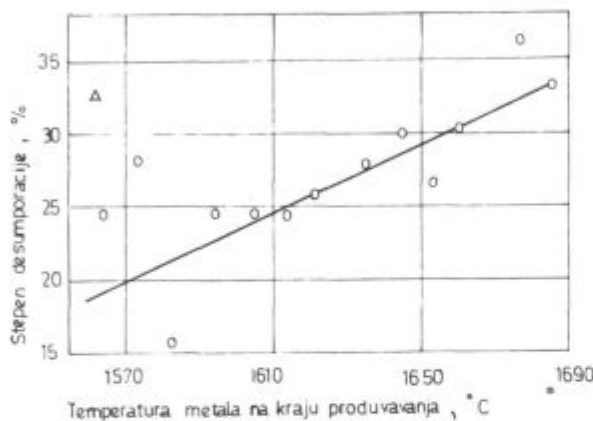
Ukupni uticaj baznosti troske (n_{O-}) i oksidisanosti (n_{FeO}) na raspodelu sumpora između faza može biti izražen sledećom jednačinom:

$$\eta_S = 0,592 + 7,219 n_{O-} + 5,645 n_{FeO} \quad (14)$$

Uticaj temperature na ravnotežnu raspodelu sumpora, saglasno formuli (6), veoma je složen, pošto gotovo sve veličine, koje ulaze u tu jednačinu zavise od temperature. Tako, sa povećanjem temperature konstanta ravnoteže raste [3]:

$$K_S = -\frac{6500}{T} + 2,625, \quad (15)$$

pri čemu se i η_S isto tako povećava. Istovremeno sa rastom temperature povećava se i sadržaj [O], što dovodi do smanjenja η_S . Temperatura utiče isto tako i na količinu gram-jonova n_{O-} i na koeficijent aktivnosti jonova, zato tačna zavisnost η_S od temperature ne postoji.



Slika 6.

Zavisnost stepena desumporacije u konvertoru od temperature metala na kraju produvanja (A) i od vremena produvanja (B)

Fig. 6

Variation of the desulphurisation degree in converter with the metal temperature at the end of the blowing period (A) and with the blowing time (B)

Tendencija povećavanja stepena desumporacije metala sa povećanjem temperature t na kraju produvanja (sl. 6, A) može da bude izražena jednačinom

$$D = -151,86 + 0,11 t. \quad (16)$$

Analogno utiče na stepen desumporacije i vreme produvanja τ (sl. 6, B):

$$D = 7,985 + 0,803 \cdot \tau. \quad (17)$$

Uticaj povišene temperature metalne kupke i duže vreme produvanja na poboljšanje desumporacije objašnjava se očigledno boljom desumporacionom sposobnošću troske. Svi parametri nemaju podjednako bitan praktičan značaj jer se vrednosti t mogu menjati samo u relativno uskom dijapazonu, a i posmatra se konstantna tendencija ka skraćivanju vremena produvanja.

Sadržaj mangana i silicijuma u gvožđu nema bitan uticaj na desumporaciju metala.

Poznato je dosta jednačina, koje daju količinsku zavisnost η_S^* pri ravnoteži od sastava troske i metala i temperature [1, 2, 3]. Podjednako su sve one dobijene za uslove Martinovog procesa i zato njihova primena treba da je oprezna. Tako, upoređenje faktičkog koeficijenta raspodele sumpora sa ravnotežnim, izračunatim po formulama iz rada S. L. Levin-a i I. I. Bornackog [4] je:

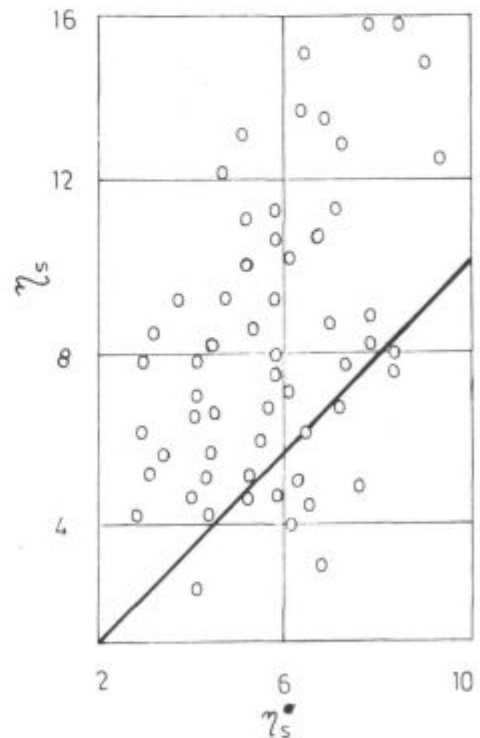
$$\eta_S^* = \frac{32(n_{FeO} + n_{baz.})(n_{FeO} + n_{baz.} - n_{kis.})}{n_{FeO} \cdot K_S \cdot \gamma_S}, \quad (18)$$

gde je

$$n_{baz.} = n_{CaO} + n_{MnO} + n_{MgO}$$

$$n_{kis.} = n_{CaO} + n_{P_2O_5} + n_{Al_2O_3} + n_{Fe_2O_3},$$

pokazuje da u većini slučajeva $\eta_S > \eta_S^*$ (sl. 7.).



Slika 7.

Sravnjenje faktičkog koeficijenta raspodele sumpora η_S sa ravnotežnom izračunatim η_S^* [4]

Fig. 7

Comparison of the actual partition coefficient for sulphur, η_S and the calculated equilibrium one, η_S^* [4]

Očigledno, u konvertorskom procesu desumporaciona sposobnost troske je veća nego u Martinovom, t. j. reakcija desumporacije u većem stepenu se približava ravnoteži.

3. ZAKLJUČAK

Za dostizanje bolje desumporacije metala u kiseoničnom konvertoru neophodno je poboljšanje kvaliteta kreča, pre svega povećanje njegove reakcione sposobnosti, što obezbeđuje brzu asimilaciju kreča troskom, bez značajnog povećanja sadržaja oksida železa u njoj. Primena lako topivih visokoaktivnih sintetskih materijala (aglomerata, briketa) isto tako značajno povećavaju stepen desumporacije čelika.

Literatura

1. O. A. Esin, P. V. Geljd: Fizičeskaja himija pirometalurgičeskijh procesov, č. 2., Metallurgija, 1966, s. 477—520.
2. G. Husson: Revue de métallurgie, 1962, v. 59, № 7—8, p. 603—630.
3. P. Gerasimenko: Ionna teorija na elektrohimična vzaemodija šlaku i metalu pri virobničtva stali, Naukova dumka, Kiev, 1966, s. 78—151.
4. S. L. Levin, I. I. Bornackij: Stalj, 1954, № 10, s. 893—899.
5. D. V. Pudikov: Stalj, 1966, № 2, s. 117—120.
6. K. F. Behrens, J. Koenitzer, T. Kootz: Journal of Metals, 1965, v. 17, № 7, p. 776—784.

ZUSAMMENFASSUNG

Untersuchungen haben ergeben, dass alle Einflussfaktoren die die Geschwindigkeit der Kalkauflösung beschleunigen vergrößern auch den Verteilungskoeffizient beim LD Verfahren. Das Entschwefeln des Metallbades ist hauptsächlich von der schnellen Bildung homogener Schlacke grösserer Basizität, Reaktionsfähigkeit und optimaler Viskosität abhängig. Die

Schlacke mit einer Basizität $B=4$ ist optimal nicht nur für die Entschwefelung sondern auch für das Frischen und den Metallverlust. Grössere Kalkzugabe verzögert die Schlackenbildung so, dass am Ende des Prozesses nur schwer homogene Schlacke grösserer Basizität und kleiner Viskosität erreicht wird. Dadurch wird die Entschwefelung negativ beeinflusst.

SUMMARY

The conclusion can be made that all parameters which increase the dissolution rate of lime also increase the partition coefficient in the process. Removal of sulphur from the melt basically depends on the rapid formation of homogeneous slag with increased basicity, reactivity, and optimal viscosity. The slag with basicity around 4 is optimal not only for desulphuri-

sation but also for oxidation and metal loss. Addition of greater amounts of lime hinders the formation of slag so that a homogeneous slag with increased basicity and low viscosity can be obtained with difficulty at the end of process. And this has a negative influence on the removal of sulphur.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно заключить, что все факты, которые увеличивают быстроту растапливания извести увеличивают также коэффициент распределения серы в процессе удаления серы из стали LD-способом. Удаление серы из расплава зависит главным образом от быстроты образования гомогенного шлака с увеличенной основностью, реакционной способностью и оптимальной вязкости. Шлак основности

около 4 не только оптимален для удаление серы, но также для окисления и потери металла. Увеличенная добавка извести замедляет образование шлака так, что в конце процесса весьма трудно получить гомогенный шлак увеличенной основности и незначительной вязкости. Это же отрицательно влияет на удаление серы.

Današnja stopnja razvoja električnega pretaljevanja pod žlindro

Novo proizvodne možnosti in tehnološki razvoj

UDK: 669.187.3:669-154.9
ASM/SLA: D8n, D8p

J. Rodič, W. Holzgruber, M. Švajger, J. Šegel

Podan je pregled razvoja od uvedbe prvih EPŽ naprav do današnje stopnje z glavnimi značilnostmi razvojnih stopenj, pa tudi ključni kazalci porabe žlindre, energije, izkoristkov ter osnovni tehnološki parametri pretaljevanja. S posebnim poudarkom je opisan razvoj naprav z značilno električno izvedbo, današnja tehnika EPŽ naprav in stanje regulacijske tehnike. Poseben pomen imajo vodno hlajeni visokotokovni drsni kontakti. Poleg tega je novost tudi elektronska regulacija globine potapljanja elektrode ter računalniško krmiljenje hitrosti pretaljevanja, kar je odločilni parameter za kakovost EPŽ ingotov.

Razvoj EPŽ naprav je omogočil pretaljevanje ingotov večjih premerov in dolžin. Pretaljevanje ingotov večjih premerov je bilo omejeno z jakostjo talilnega toka, večjih dolžin pa s spremembo kemične sestave žlindre in jekla med pretaljevanjem. Razvoj tehnologije pretaljevanja dolgih ingotov omogoča uspešno izdelavo 6 m dolgih ingotov, tehnologija dolegiranja v pogojih EPŽ procesa pa uporabo elektrod različnega izvora, kar ugodno vpliva na ekonomičnost pretaljevanja.

UVOD

Železarna Ravne je leta 1973 prva v Jugoslaviji uvedla proizvodnjo z električnim pretaljevanjem pod žlindro. Prva EPŽ naprava z eno samo porabno elektrodo in dolgim stabilnim kristalizadorjem je bila sovjetskega izvora za izdelavo ingotov kvadratnega preseka 400 mm in teže 2 t iz elektrod, dolžine do 5 m.

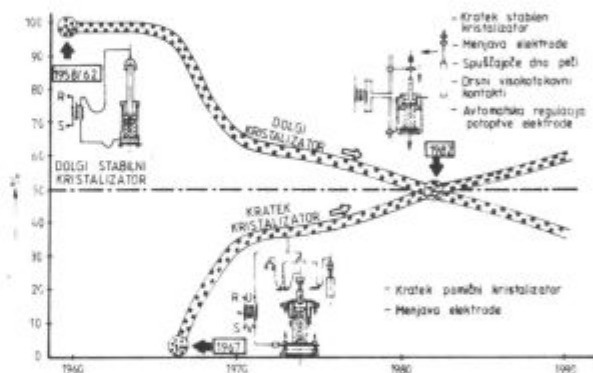
Za odpravo nekaterih tehnoloških omejitev in zagotavljanje boljše prilagodljivosti ter izkoristka smo napravo predelali za uporabo različnih kratkih pomičnih kristalizadorjev v območju od 220 mm do 500 mm z okroglim in kvadratnim presekom.

Z uvedbo sekundarne metalurgije (VAD/VOD) v jeklarnah so se bistveno spremenili cilji novih razvojnih usmeritev električnega pretaljevanja pod žlindro, ki je s tem dobilo vlogo terciarnega jeklarskega procesa, pretežno namenjenega za doseganje kontroliranega strjevanja in izotropnosti posebnih lastnosti jekla.

Konec leta 1982 je začela v železarni Ravne obratovati nova EPŽ naprava, ki je bila delno izdelana doma po inženiringu firme INTECO. Glavne značilnosti te naprave so: stabilni kratki kristalizador, spuščajoče dno

in menjava elektrod; največja dolžina ingotov 6 m s preseki od $\varnothing 500$ mm— $\varnothing 1000$ mm in brame s presekom 1000 mm \times 550 mm; največja teža ingota 36 ton; 25 kA; 3250 kVA; 50 Hz; območje sekundarne napetosti 30—130 V v 100 stopnjah.

Ta EPŽ naprava ima pomembno mesto v splošnem razvoju konstrukcijskih izvedb EPŽ naprav, kar prikazuje sl. 1.



Slika 1
Razvoj EPŽ naprav

Fig. 1
Development of ESR equipment

Ta EPŽ naprava je bila izdelana po novem sistemu INTECO, ki je bil prvič uporabljen v železarni Ravne in z osnovnim konceptom izkorišča prednosti ter odpravlja slabosti doslej poznanih osnovnih sistemov:

— koaksialnega sistema pretaljevalne naprave s stabilnim kristalizadorjem in eno samo elektrodo;

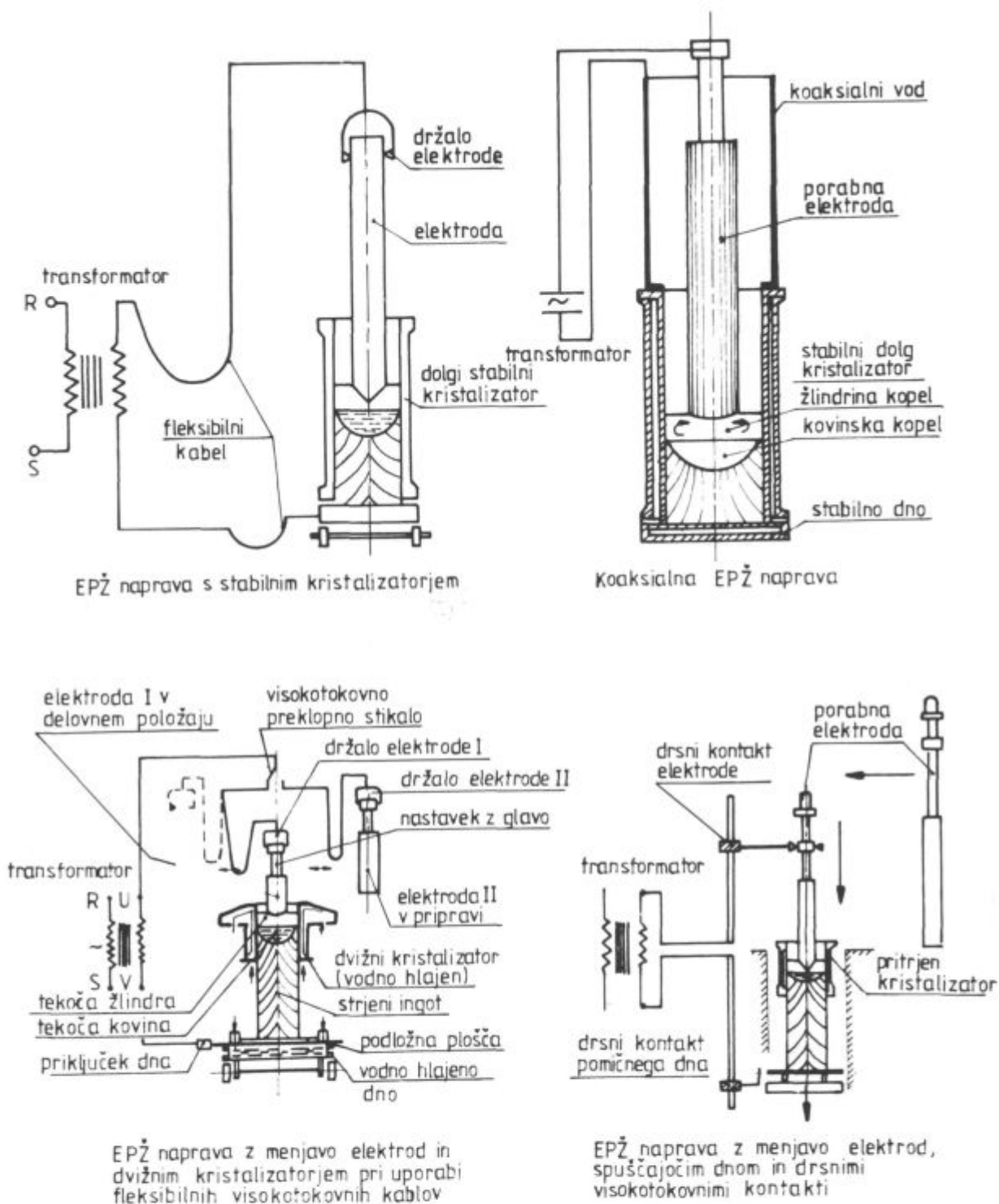
— EPŽ naprav z menjavo elektrod, ki imajo zelo razširjeno zanko jakega toka in so omejene pri delovanju z mrežno frekvenco zaradi velike induktivne upornosti.

Na sl. 2a—2d so prikazani vsi štirje osnovni sistemi naprav, ki so bistvenega pomena v dosedanjem razvoju električnega pretaljevanja pod žlindro.

Pri novi napravi v železarni Ravne je z novim konceptom prvič uporabljenih več pomembnih novosti. S to napravo so bili izdelani doslej najdaljši EPŽ ingoti

Referat na 8. mednarodnem posvetovanju o vakuumski metalurgiji 30. 9.—4. 10. 1985 v Linzu.

dr. J. Rodič — SLOVENSKE ŽELEZARNE — YU 61000 Ljubljana
dr. W. Holzgruber — INTECO — A-8600 Bruck a. Mur
Mgr. M. Švajger, dipl. inž., J. Šegel, dipl. inž. — Slovenske železarne
ŽELEZARNA RAVNE — YU 62390 Ravne na Koroškem



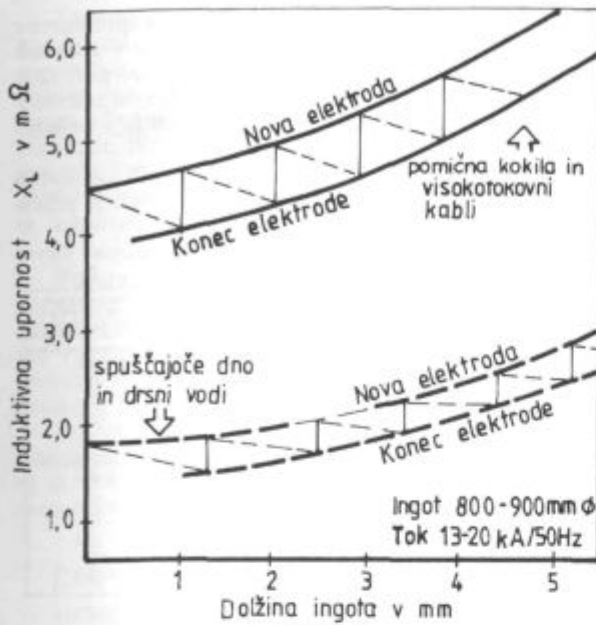
Slika 2
Osnovni sistemi EPŽ naprav

Fig. 2
Basic systems of ESR equipment

na svetu. Paralelni dovodni in povratni tokovodi ter visokotokovni drsniki so v celotnem sistemu omogočili bistvene izboljšave nad pričakovanji, saj se je izkazalo, da je s takim sistemom mogoče obratovati pri mrežni frekvenci do jakosti toka celo nad 50 kA. Indu-

ktivne izgube so pri novem sistemu približno 40 % tistih, ki so običajne pri doslej poznanih sistemih (sl. 3).

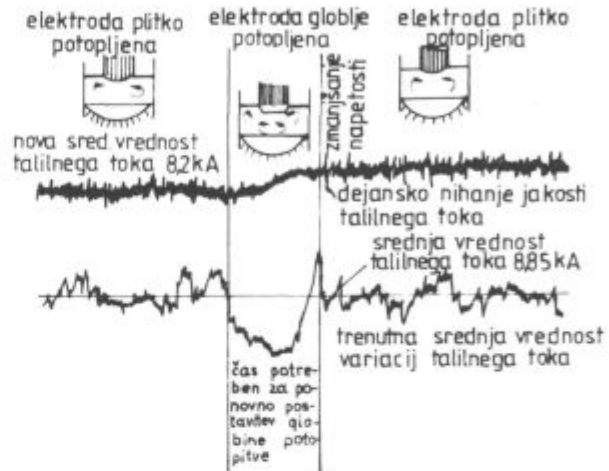
Pomembni so dosedanja dosežki z računalniško podprtim vodenjem proizvodnje in krmiljenjem EPŽ procesov, ker to predstavlja postopen razvoj do popol-



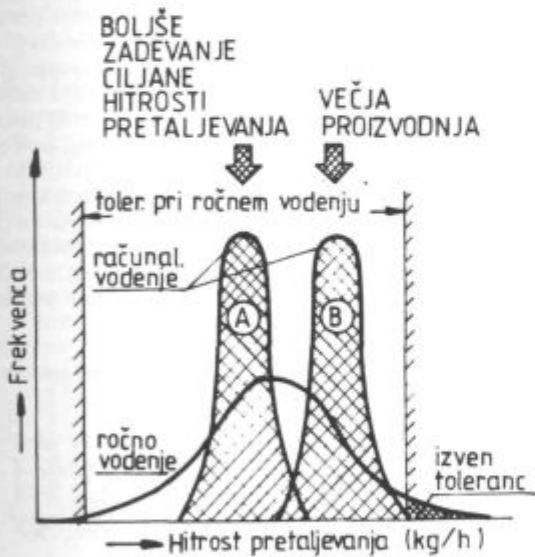
Slika 3
Primerjava induktivnih izgub EPŽ naprav
Fig. 3
Comparison of induction losses of ESR equipment

vost ingotov. Z računalniškim krmiljenjem se nastavlja napetost transformatorja, medtem ko v sistem vključen, prav tako novo razviti krmilnik neprekinjeno vzdržuje optimalno globino potapljanja porabne elektrode pri zahtevani moči (sl. 5). Celoten postopek pretaljevanja se vodi pod pogoji, ki so optimalni za strukturo in površino ingotov.

Ingote za čim boljši izkoristek pretaljujemo na optimalno največjo dolžino in režemo na mero po naročilih

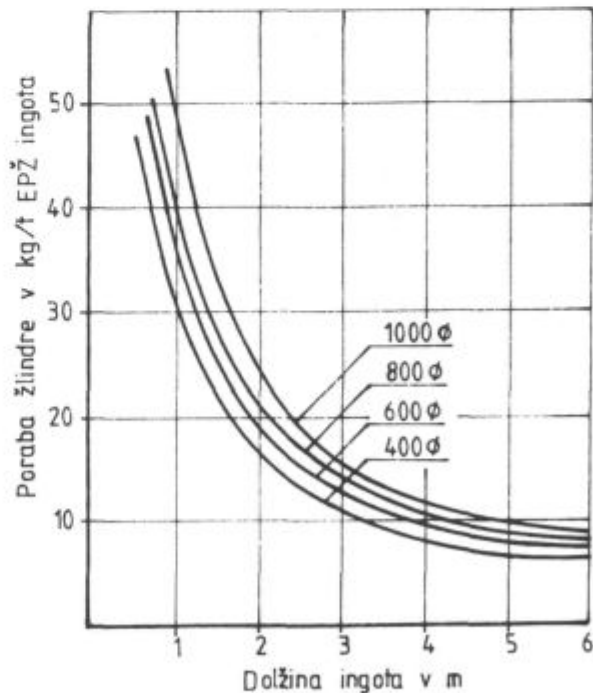


Slika 5
Primer delovanja regulatorja potopitve elektrode
Fig. 5
Example of operation of electrode-dip regulator



- Računalniško vodenje EPŽ procesa:
1. Doseganje enakomerne hitrosti pretaljevanja (kvaliteta) enega ingota in več ingotov iste kvalitete
 2. Boljše zadevanje ciljne hitrosti pretaljevanja (A) in/ali večja proizvodnja (B)
 3. Boljše držanje talilne hitrosti znotraj toleranc

Slika 4
Kvaliteta računalniškega in ročno vodenega EPŽ procesa
Fig. 4
Quality of computer and manual control of the ESR process

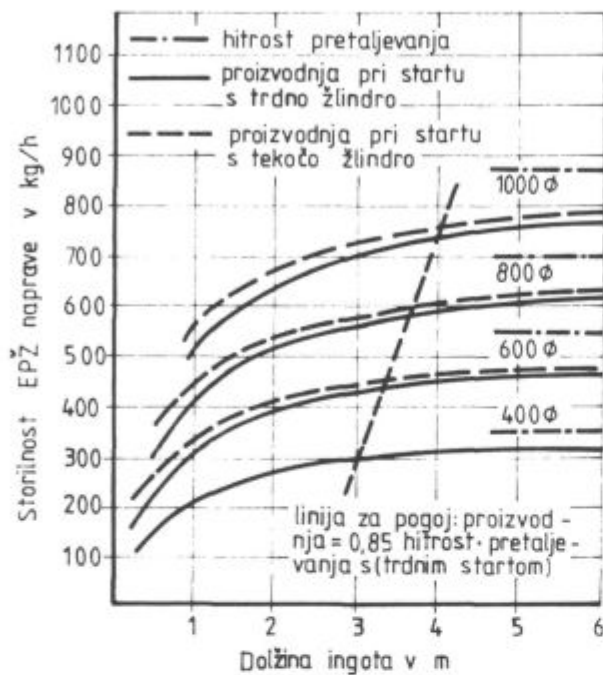


Slika 6
Poraba žlindre na tono EPŽ ingota v odvisnosti od dolžine ingota za različne premere ingotov

Fig. 6
Consumption of slag per ton ESR ingot depending on the ingot lengths and diameters

ne avtomatizacije procesa (sl. 4). Osnovo tega razvoja predstavlja nov krmilni sistem, s katerim se vzdržuje konstantna hitrost pretaljevanja, ki je odločilna za kako-

kovačnice. Z izdelavo dolgih EPŽ ingotov se zmanjšuje specifična poraba žlindre (sl. 6), medtem ko se povečuje produktivnost naprave (sl. 7) in izkoristek dobrega jekla (sl. 7, 8).

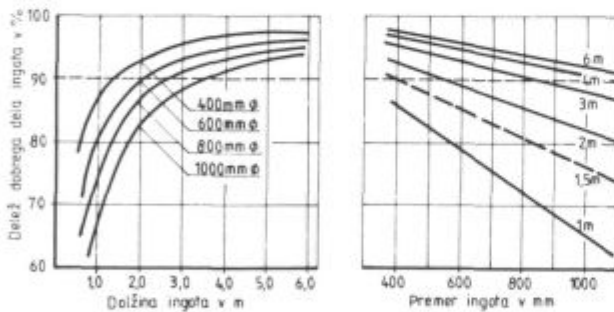


Slika 7

Storitnost EPŽ naprave v odvisnosti od dolžine in premera ingota

Slika 7

Output of ESR equipment after cropping, depending on length and diameter of ingot



Slika 8

Delež dobrega dela ingota po odrezu koncev v odvisnosti od dolžine in premera ingota

Fig. 8

Portion of sound ingot part after cropping, depending on ingot length and diameter

Prav pogosto se ustrezni kosi, izrezani iz nedeformiranih in toplotno obdelanih EPŽ ingotov, uspešno uporabljajo za izdelavo orodij in konstrukcijskih delov.

Posebno področje razvoja predstavlja tehnologija pretaljevanja pod varovalno atmosfero, vse bolj aktualno pa postaja pretaljevanje s korekturami kemične sestave jekla in žlindre med procesom, kar že uporabljamo v redni proizvodnji.

V zadnjih letih so bile izvršene določene spremembe in izboljšave, tako v konstrukciji naprav kot v sistemih krmiljenja procesov, kar omogoča uvedbo že prej znanih posebnih procesov v redno proizvodnjo, in zato lahko pričakujemo, da bo njihov pomen v bližnji prihodnosti še naraščal.

Poskus primerjalnega vrednotenja štirih osnovnih značilnih sistemov pri današnji stopnji razvoja je prikazan v tab. 1.

Tab. 1: Primerjava karakteristik osnovnih tipov EPŽ naprav

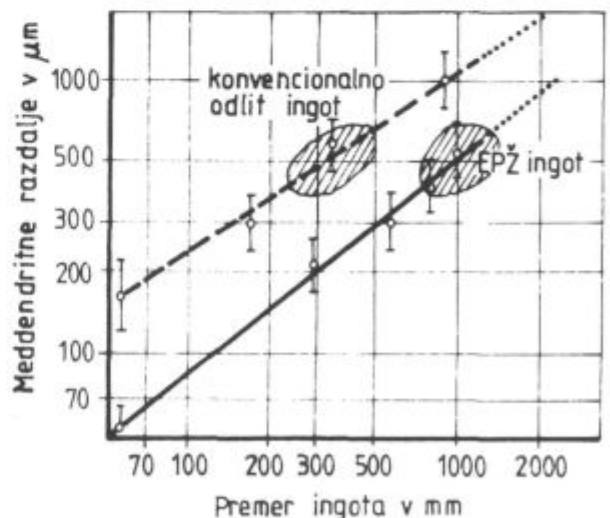
Tip naprave	Osnovni sistem s stalne kristalizatorjem	Kaskadno ali bifazna naprava s stalni kristalizatorjem	Naprava s kratkim pome kristalizator in menjavi elektrode	Naprava s kratkim stalni kristalizator in menjavi elektrode in spuščanjem žlindre
Dolžina ingota	○	○	○	○
Dolžina elektrode	○	○	○	○
Menjava elektrode	○	○	○	○
Vadřevanje Cu kristalizatorjev	○	○	○	○
Dotapje do žlindre: kopeli	○	○	○	○
Dotapjanje v kopeli	○	○	○	○
Izmenične izgube peči	○	○	○	○
Štrleki kristalizatorja	○	○	○	○
Poraba žlindre	○	○	○	○
Izpen ingota	○	○	○	○
Produktivnost	○	○	○	○
Pretaljevanje oblikovnih valjev	○	○	○	○

○ zela ugodno ○ ugodno ○ neugodno ○ zela neugodno

GLAVNE POSEBNOSTI KAKOVOSTI EPŽ JEKEL

Medtem ko je odžveplanje, homogenost sestave in temperature ter čistost glede na vsebnost nemetalnih vključkov danes zadovoljivo dosežena s procesi sekundarne metalurgije, je zagotavljanje določene makro- in mikrostrukture, posebno glede na makro izcejanje, mogoče edino s krmiljenjem strjevanja. Zato bodo zaradi vpliva na mehanske, tehnološke in fizikalne lastnosti pretaljevalni procesi obdržali ali celo pridobili še večji pomen v proizvodnji visokokvalitetnih materialov v kombinaciji z drugimi procesi sekundarne metalurgije.

Ne da bi se spuščali v podrobnosti, naj samo za primer navedemo, da je struktura EPŽ ingota s premerom 1000 mm glede na meddendritne razdalje enakovredna konvencionalnemu ingotu s premerom samo 300 mm (sl. 9).



Slika 9

Meddendritne razdalje v sredini ingota

Fig. 9

Interdendritic spacings in the centre of ingot

Doseganje enakomernije strukture po vsem preseku ingota je pomembno predvsem pri ledeburitnih, orodnih in brzoreznih jeklih. Iz grobe strukture ledeburitnega evtektika nastajajo ob neugodnih pogojih ogrevanja s koagulacijo grobi karbidi, ki močno poslabšajo lastnosti. Fina evtektiska struktura, ki jo je mogoče zagotoviti s strjevalnim procesom pri optimalnih pogojih pretaljevanja, omogoča zelo enakomerno razporeditev in ugodno velikost karbidov pri optimalnih pogojih vroče predelave.

Postopno optimiranje tehnologije po principih integralnega krmiljenja kakovosti, ki je osnovano na povratnih informacijah sistematičnih raziskav, vodi razvoj v smeri računalniško podprte avtomatizacije pretaljevanja in optimizacije proizvodnje z zagotovljeno kakovostjo in zanesljivostjo izdelkov.

Izkušnje z vplivi EPŽ postopka na lastnosti jekel in glavni razlogi za uporabo EPŽ procesov so že publicirani in dobro poznani, tako da jih ni potrebno posebej obravnavati.

EKONOMIČNOST

Iskanje novih možnosti za pokrivanje stroškov pretaljevanja s prihranki materiala in dela in z boljšo zanesljivostjo kakovosti je interni problem proizvajalca. Odločitve je treba poiskati z dobro premišljenimi primerjalnimi kalkulacijami vložka, izkoristkov, tehnoloških operacij, toplotnih režimov, zanesljivosti kontrole, primerjave kakovosti, pretaljevanja izmečka in defektnih izdelkov ter drugih dejavnikov, med katerimi je pomembna tudi širša vloga proizvodov in proizvajalca na tržišču.

Posebej moramo omeniti, da take interne odločitve za uporabo EPŽ tehnologije prevladujejo v proizvodnji in da je neposrednih naročil za EPŽ jekla normalno le za manjši del letne proizvodnje.

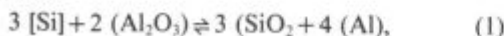
Tehnologija pretaljevanja dolgih ingotov prinaša pomembne ekonomske prednosti. Naše izkušnje z zmanjšanjem specifične porabe žlindre, s povečano produktivnostjo in boljšim izkoristkom dobrega materiala so bile že publicirane.

S pretaljevanjem dolgih ingotov in rezanjem teh na mero po naročilih iz kovačnic je mogoče zagotavljati kovačnici optimalne vložne dimenzije za odkovke.

RAZVOJ POSEBNIH TEHNOLOŠKIH UKREPOV PRI PRETALJEVANJU DOLGIH EPŽ INGOTOV

Spremembe sestave žlindre med procesom

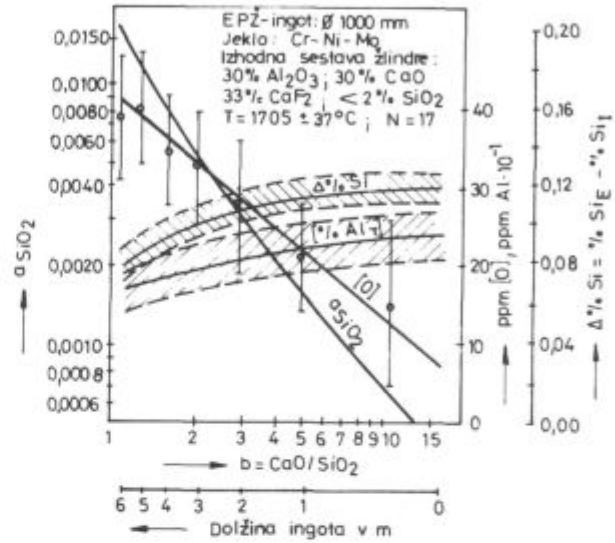
Zaradi oksidacijskih in redukcijskih reakcij se v EPŽ procesu vsebnost nekaterih elementov zaradi odgora zmanjšuje, vsebnost drugih elementov v jeklu pa povečuje. Oksidirajoči elementi prehajajo iz jekla v žlindro, drugi pa potujejo v nasprotni smeri zaradi redukcije. Najaktivnejša elementa sta aluminij in silicij. Njuna vsebnost v sestavi se spreminja po višini ingota zaradi reakcije:



Ta reakcija poteka proti desni intenzivneje pri nogi ingota kot pozneje pri glavi. S termodinamično analizo reakcije je ugotovljena naslednja odvisnost med reakcijskimi komponentami in temperaturo:

$$a_{Al}^{4/3} = a_{Si} \cdot \frac{a_{Al_{2O_3}}^{2/3}}{a_{SiO_2}} \cdot 10^{-\frac{11690}{T} + 1.582} \quad (2)$$

Po naših izkušnjah (Al₂O₃) reducira [Si], ker aktivnost SiO₂ v žlindrini kopeli narašča po višini ingota, medtem ko vsebnost aluminija ali njegova aktivnost v jeklu upada (sl. 10). Vsebnost kisika in silicija v jeklu narašča po višini ingota. Medtem ko pri nogi ingota vsebnost kisika normalno ne preseže 10 ppm, je njegova vsebnost celo do štirikrat večja pri glavi 6 m dolgega ingota. Odgor silicija pri nogi $\Delta \% Si = \% Si_{elektroda} - \% Si_{ingot}$ je v povprečju za 30 % večji kot pri glavi.

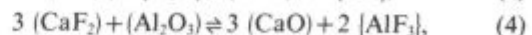
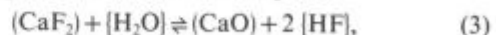


Slika 10
Sprememba a_{SiO₂}, [% Al], [% Si] med pretaljevanjem dolgega ingota z dezoksidacijo žlindre

Fig. 10
Variation of a_{SiO₂}, [% Al], and [% Si] during remelting of long ingot in a deoxidation of slag

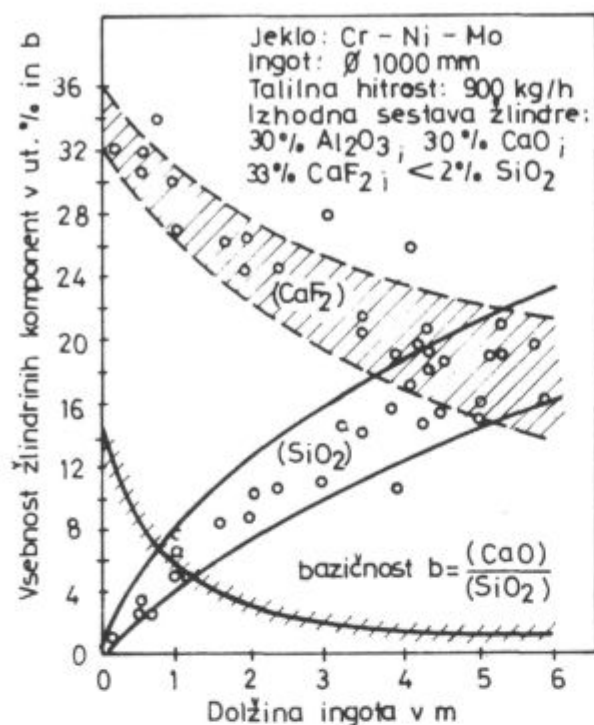
Diagram je izdelan po rezultatih pretaljevanja serije 6 m dolgih ingotov s premerom 1000 mm pri standardnih pogojih. To pomeni, da so bile aluminijeve granule za dezoksidacijo žlindre kontinuirno dozirane v žlindrino kopel s količino, ki zagotavlja povprečno vsebnost aluminija 0,024 % pri nogi in 0,017 % pri glavi. Taka dezoksidacijska stopnja pomeni, da imamo opravka z degresivnim povečevanjem SiO₂ — vsebnosti v žlindri, ki se povečuje od začetne vsebnosti pod 2 % SiO₂ do povprečne vsebnosti 18 % SiO₂ (sl. 11) ob koncu pretaljevanja. Ker se vsebnost CaO in Al₂O₃ v žlindrini kopeli le neznatno spreminja, se bazičnost žlindre močno zmanjšuje, tako da je razmerje CaO/SiO₂ pri začetku povprečno 16 in pri koncu manj kot 2.

Fluor izpareva v skladu z reakcijami:



Zato opažamo močno redukcijo CaF₂ vsebnosti v žlindrini kopeli. Ta se zmanjša od začetne 33 % do manj kot 20 % ob koncu pretaljevanja 6 m dolgega ingota.

Te spremembe (SiO₂) in (CaF₂) vsebnosti omogoča majhna količina žlindre, ki predstavlja 0,6 do 1 % teže ingota pri pretaljevanju 6 m dolgih ingotov in je določena na osnovi optimalne porabe električne energije. Taka majhna količina žlindre vpliva ugodno na potek pretaljevanja do dolžine 3 metrov. Z daljšimi ingoti postaja



Slika 11
Sprememba sestave žlindre med pretaljevanjem dolgih ingotov z dezoksidacijo žlindre

Fig. 11
Variation of slag composition during remelting long ingots by deoxidation of slag

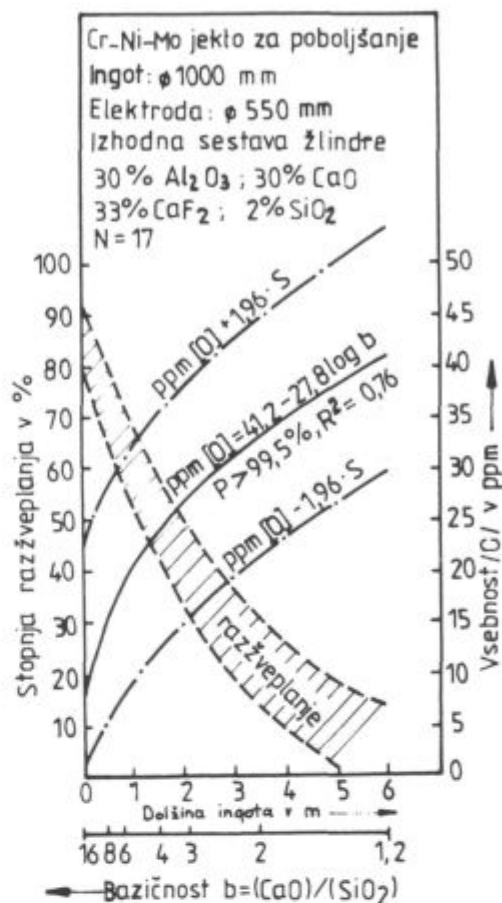
jajo spremembe fizikalno-kemičnih lastnosti takšne, da pogoji za uspešno pretaljevanje in metalurške reakcije niso več zadovoljivi in v nekaterih primerih celo nesprejemljivi. Tališče, viskoznost in specifična omska upornost žlindre se povečujejo z dolžino ingota. Višje tališče in večja viskoznost kažejo negativen vpliv v fazi zaključevanja ingota, ko se dovod električne energije postopoma zmanjšuje in se temperatura žlindre in kovine postopoma znižuje. Pri jeklih z nizkim tališčem se žlindra strjuje prva, delci že strjene žlindre se lahko ulovijo v tekočem jeklu in povzročajo grobe makro vključke v glavi ingota. Za uspešno zaključevanje ingota, brez makro vključkov in lunckerjev pri glavi, mora biti tališče žlindre najmanj 100° C nižje od tališča jekla. Večja specifična upornost žlindre pomeni, da se pretaljevanje ingota Ø 1000 mm in 6 m dolžine začne z jakostjo toka okrog 18 kA, medtem ko je nekoliko pred začetkom zaključevalne faze jakost toka okrog 13 kA zadostna za enako hitrost pretaljevanja.

Spremembe sestave jekla

Če se bazičnost žlindre pri pretaljevanju dolgih ingotov zniža, to zadržuje metalurške reakcije. Zaradi tega se stopnja odžveplanja stalno zmanjšuje od 80–90 % pri nogi do manj kot 10 % pri glavi 6 m dolgega ingota. Zaradi tega se odžveplanje zmanjšuje s povečevanjem dolžine ingota in je skoraj enako 0 pri glavi ingota.

Vsebnost kisika v jeklu se prav tako povečuje z dolžino ingota od manj kot 10 ppm pri nogi do več kot 40 ppm pri glavi (sl. 12).

Povečanje vsebnosti vodika med pretaljevanjem na zraku znaša od 1–1,5 ppm pri nogi in do 1 ppm pri gla-



Slika 12
Stopnja razžveplanja in vsebnost kisika v jeklu v odvisnosti od dolžine ingota

Fig. 12
Desulphurisation degree and oxygen content in steel depending on the ingot length

vi. S pretaljevanjem pod varovalno atmosfero je mogoče skoraj popolnoma preprečiti to povečanje.

Ukrepi za zmanjšanje sprememb v sestavi jekla med ного in glavo EPŽ ingota

Če želimo zagotoviti enakomerno sestavo ingota po vsej višini, moramo poskrbeti, da ostane sestava žlindre v toku celotnega časa pretaljevanja nespremenjena. Tega pri pretaljevanju na zraku ne moremo doseči brez posebnih ukrepov. Kontinuirno popraviljanje sestave žlindre je med pretaljevanjem omejeno, ker vsak večji poseg povzroči določeno motnjo v procesu. Število takih motenj naj bo čim manjše in njihovo trajanje naj bo čim krajše.

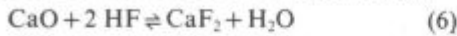
Poseben problem predstavlja pretaljevanje elektrod z neustrezno kemično sestavo ali starih rabljenih valjev različnega izvora, ker bi to povzročalo nedopustna odstopanja od predpisane kemične sestave in že vnaprej povzročalo heterogeno sestavo EPŽ ingotov. Ker so ti problemi kompleksni, lahko razlikujemo naslednje tehnološke ukrepe za zmanjšanje razlik v kemični sestavi med ного in glavo ingotov:

- ukrepi pri pretaljevanju elektrod istega izvora ali elektrod z enako kemično sestavo,
- ukrepi pri pretaljevanju elektrod različnega izvora in z različno kemično sestavo.

Pretaljevanje elektrod istega izvora

Razlike v sestavi med ного in glavo ingota so rezultat sprememb v sestavi žlindre, ki povzročajo tudi določene spremembe v sestavi jekel. Za zmanjševanje teh razlik je razvoj prinesel tri metode za popravljanje sestave žlindre med pretaljevanjem. Te tri metode se razlikujejo po cilju, ki ga želimo doseči, in po stopnji motenj v procesu.

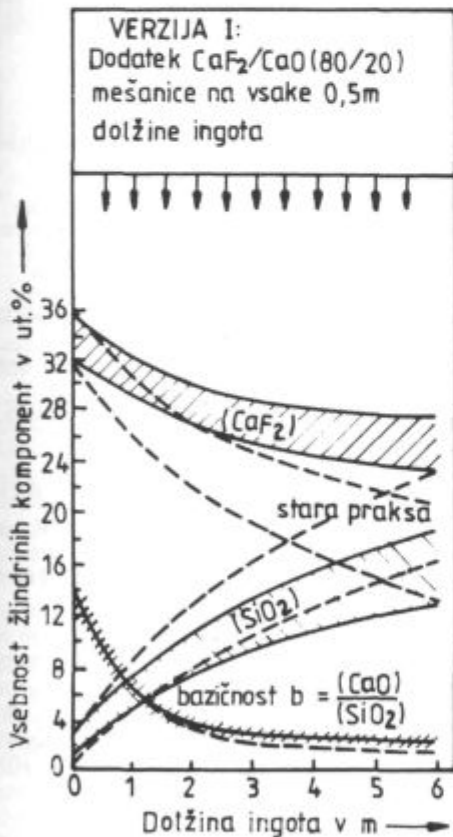
Metoda I je najpreprostejša in najcenejša, pa tudi najbolj pogosto uporabljena v vsakodnevni praksi. Pri tej metodi ni potrebe po večjih motnjah procesa. Za nevtralizacijo agresivnega fluorovodika se dodaja apno. Apno reagira s fluorovodikom po naslednji reakciji:



Pri izhodu čistilne naprave smo našli mešanico približno 80 % CaF_2 in 20 % CaO . Količina te mešanice in vsebnost CaF_2 je odvisna od premera kristalizatorja in od količine razvijajočih se plinov. Po pazljivem sušenju se mešanica nekontinuirno dozira v kristalizator približno na vsakih 0,5 m dolžine ingota s količino, ki zagotavlja CaF_2 vsebnost v žlindri med 25 in 30 %. Zaradi dodatkov te mešanice je vsebnost SiO_2 nekoliko manjša, vendar so ostale lastnosti, kot bazičnost, viskoznost in tališče, zadovoljive. Ta metoda je priporočljiva pri pretaljevanju jekel z manj kot 0,25 % ogljika. Vsebnost silicija v elektrodi naj bo blizu zgornje meje predpisane ke-

mične sestave in vsebnost žvepla v območju predpisanih mej. Količina žlindre se med pretaljevanjem povečuje, kar povzroča rahlo povečanje specifične porabe električne energije (sl. 13).

Metoda II se razlikuje od metode I v tem, da poleg dodajanja CaF_2 ali CaF_2/CaO mešanice v zgornjem delu ingota en del žlindre zamenjamo enkrat ali dvakrat z novo žlindro. Ker je težko in zamudno ročno zmanjšati količino tekoče žlindre, priporočamo uporabo posebne črpalke. Ta metoda zagotavlja še manjšo vsebnost SiO_2 v žlindri (sl. 14).

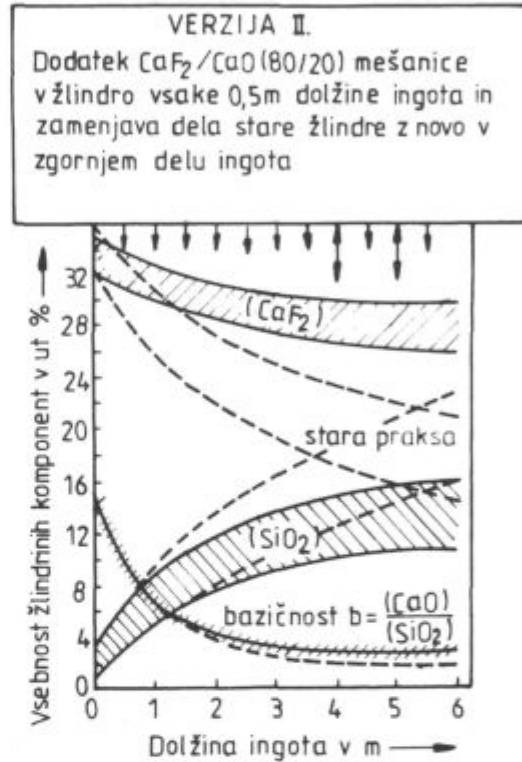


Slika 13

Sprememba vsebnosti (SiO_2) in (CaF_2) v žlindrini kopeli v odvisnosti od dolžine ingota s korekturo sestave žlindre po metodi I

Fig. 13

Variation of (SiO_2) and (CaF_2) contents in slag bath depending on ingot length, and by correcting the slag composition according to the method I



Slika 14

Sprememba vsebnosti (SiO_2) in (CaF_2) v žlindrini kopeli v odvisnosti od dolžine ingota s korekturo sestave žlindre po metodi II

Fig. 14

Variation of (SiO_2) and (CaF_2) contents in the slag bath depending on ingot length, and by correcting the slag composition according to the method II

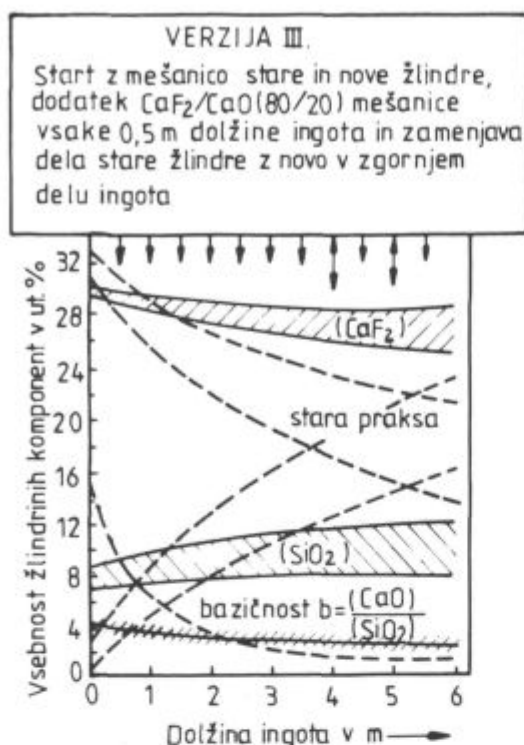
Metodo III smo razvili na osnovi dejstva, da skoraj vsak EPŽ ingot pretaljujemo samo na začetku pod žlindro visoke bazičnosti, kasneje pa se ta bazičnost zmanjša na 2.

Zato del stare rabljene žlindre dodamo novi žlindri že na začetku pretaljevanja, med pretaljevanjem so nato ukrepi enaki kot pri metodi II.

Prednosti te metode so:

- specifična poraba žlindre v kg/t je manjša,
- absorpcija plinov, predvsem vodika pri nogi, je manjša,
- višja vsebnost SiO_2 v žlindri zmanjša izgube silicija pri nogi in s tem omogoča pretaljevanje z manjšo jakostjo toka.

Kasneje je potrebno izboljšati žlindro z dodatkom nove, in to nekajkrat, tako da bazičnost žlindre ne pade pod 2. S takim načinom lahko dosežemo najbolj enakomerno sestavo 6 m dolgih EPŽ ingotov (sl. 15). Z bolj



Slika 15
Sprememba vsebnosti (SiO₂) in (CaF₂) v žlindrini kopeli v odvisnosti od dolžine ingota s korekturo sestave žlindre po metodi III

Fig. 15
Variation of (SiO₂) and (CaF₂) contents in the slag bath depending on ingot length, and by correcting the slag composition according to the method III

ali manj enakomerno sestavo žlindre v toku celotnega procesa pretaljevanja dolgih ingotov ostanejo pogoji za reakcije med žlindro in kovino nespremenjeni, kar obenem zagotavlja manjše trosenje v porazdelitvi vsebnosti posameznih občutljivih kemičnih elementov vzdolž ingota.

Krmiljenje kemične sestave ingota in pretaljevanje elektrod različnega izvora

V splošnem se krmiljenje kemične sestave EPŽ ingotov izvaja z upoštevanjem reakcij med pretaljevanjem in s prilagajanjem kemične sestave uporabljenih elektrod. Če sestava elektrode ne ustreza predpisanim mejam, je potrebno določene popravke izvajati med pretaljevanjem.

Pretaljevanje elektrod različnega izvora, kot so na primer rabljeni valji, je ekonomsko zelo zanimivo, vendar tehnološko dokaj zahtevno. Običajno ni dovolj sortirati elektrode po vsebnosti pomembnih kemičnih elementov v sestavi, zato je potrebno uporabljati tehnologijo dodatnega legiranja v pogojih EPŽ procesa. V glavnem lahko razlikujemo dve različni metodi dodajanja legirnih elementov v kristalizator med pretaljevanjem:

a) Najpomembnejši in zelo prilagodljiv način dodajanja predstavlja uporaba kontinuirne dozirne naprave. Če take naprave nimamo, je še vedno mogoče dodajanje izvajati ročno v čim krajših časovnih presledkih. Zelo pomembna je zrnatost in predhodna priprava ferozlitin, n. pr. žarjenje.

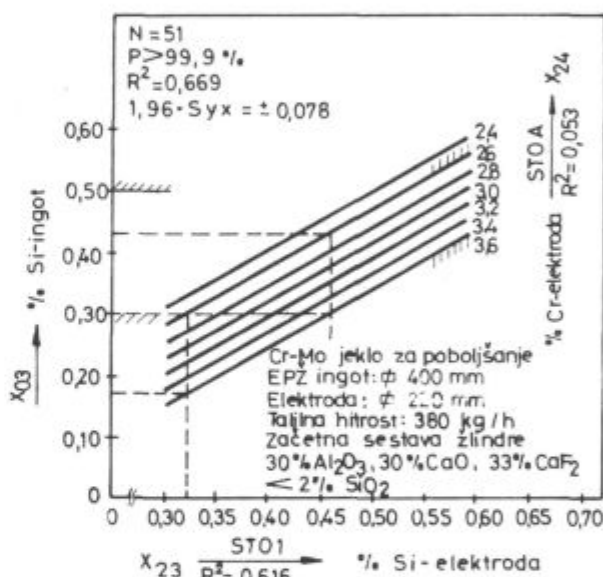
b) Dodatno legiranje določenega elementa z dodatno elektrodo, ki vsebuje določeno višjo vsebnost tega

elementa. Seveda je pri tem zelo važno, da upoštevamo tudi druge elemente, ki jih elektroda vsebuje. Ta dodatna elektroda ni zvezana z električnim izvorom in se lahko odstrani ali pa privari na osnovno elektrodo. Lahko tudi namestimo več takih elektrod okrog osnovne.

Za uspešno dodatno legiranje morajo biti izpolnjeni naslednji 4 pogoji:

- tališče ferozlitine mora biti zelo blizu tališču jekla,
- gostota ferozlitine mora biti enaka ali pa manjša od gostote jekla in večja od gostote tekoče žlindre,
- kadar dodajamo ferozlitine po postopku opisanem pod a), mora imeti ferozlitina ustrezno zrnatost,
- dodajanje mora potekati kontinuirno, če ne, pa mora biti izvajano v čim krajših časovnih presledkih.

Za razlogo postopka legiranja prikazuje sl. 16 korelacijo med vsebnostjo silicija v elektrodi in EPŽ ingotu v odvisnosti od vsebnosti kroma v elektrodi. Pri standardnem EPŽ postopku moramo upoštevati določen odgor silicija, ki je odvisen od vsebnosti kroma. Vzemimo za primer predpisano območje za Si = 0,30 – 0,50 % in Cr = 2,6 – 3,6 %.

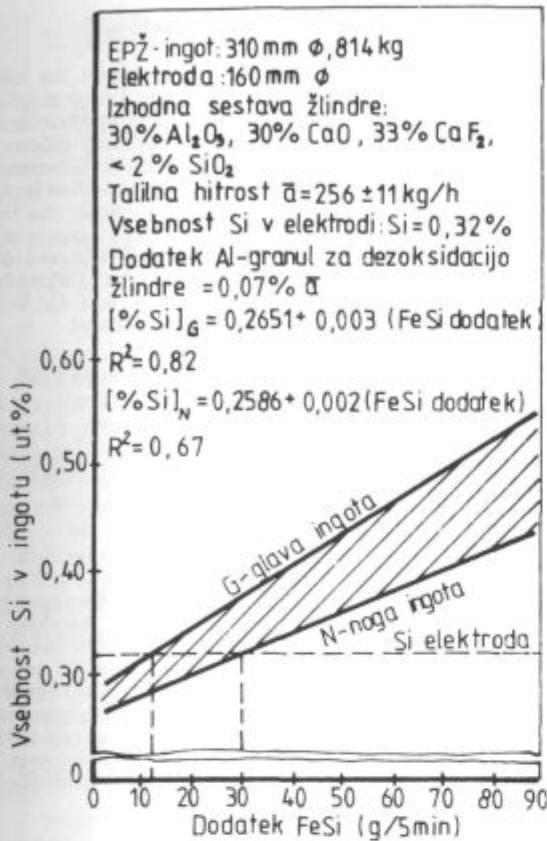


Slika 16
Vsebnost [Si] v EPŽ ingotu v odvisnosti od vsebnosti [Si] in [Cr] v elektrodi

Fig. 16
[Si] content in ESR ingot depending on [Si] and [Cr] contents in the electrode

Če je Cr = 2,6 %, potem Si ≥ 0,33 % v elektrodi že zagotavlja vsebnost silicija v ingotu nad predpisano spodnjo mejo. Pri enaki vsebnosti silicija v elektrodi in pri enaki stopnji dezoksidacije žlindre bo vsebnost kroma na zgornji meji povzročila mnogo večji odgor silicija. V tem primeru lahko pričakujemo v EPŽ ingotu vsebnost Si = 0,17 %. Za Cr = 3,6 % v elektrodi mora biti vsebnost silicija v elektrodi nad 0,46 %, če hočemo zagotoviti silicij = min. 0,30 % v ingotu.

Taki nomogrami omogočajo določanje ustrezne kemične sestave šarž, ki so namenjene za EPŽ elektrode. Če iz kemične sestave razpoložljivih elektrod s pomočjo nomograma pričakujemo odstopanje kemične sestave EPŽ ingotov izven predpisanih mej, se odločimo za dodatno legiranje med pretaljevanjem.



Slika 17

Vpliv dodatka FeSi med pretaljevanjem Cr-Mo jekla na vsebnost [Si] pri glavi in nogi EPŽ ingota

Fig. 17

Influence of adding FeSi during remelting Cr-Mo steel on the [Si] content in the ESR-ingot top and base

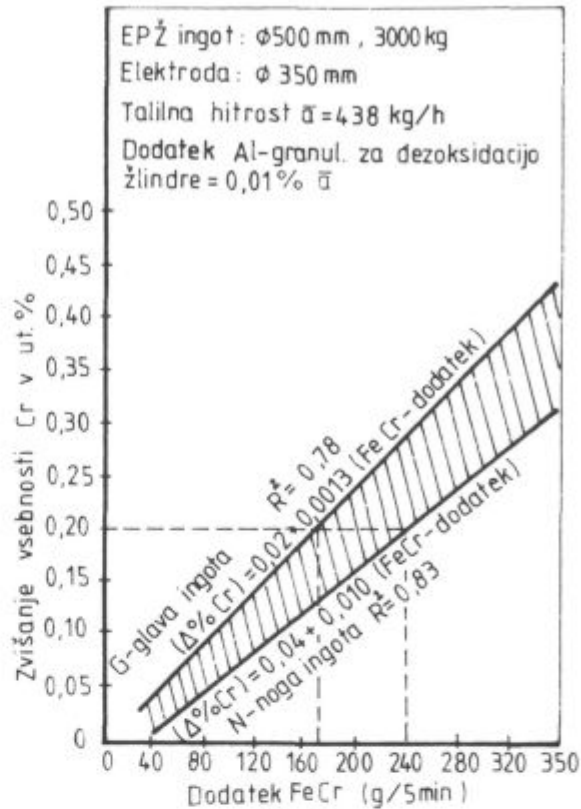
Sl. 17 prikazuje vsebnost silicija v ingotu z odvisnostjo od dodatkov ferosilicija, diskontinuirno vsakih 5 minut.

Če želimo držati vsebnost silicija v ingotu enako kot v elektrodi 0,32 %, moramo dodajati po 30 g ferosilicija na vsakih 5 minut pri nogi in le 12 g ferosilicija na vsakih 5 minut pri glavi. Zmanjšanje dodatkov je potrebno zaradi naraščanja SiO_2 . Različen odgor silicija povzroča različne izkoristke dodanega ferosilicija, ki so med 77 % pri nogi in okrog 85 % pri glavi.

Tako sl. 18 predstavlja pogoje za legiranje kroma.

Za povečanje 0,20 % kroma z legiranjem je potrebno pri nogi dodati 240 g ferokroma na vsakih 5 minut. Zaradi odgora kroma je treba dodatke zmanjšati na 175 g ferokroma na vsakih 5 minut pri glavi. Izkoristek FeCr-affin je okrog 98 % pri nogi in 99 % pri glavi. Približne spremembe izkoristka se spreminjajo z razmerjem $(Cr_2O_3)/[Cr]$ — ki znaša od $1,5 \times 10^{-2}$ pri nogi do $3,2 \times 10^{-2}$ pri glavi.

Razvili smo posebne dozirne naprave, ki omogočajo kontinuirno doziranje katerekoli količine ferozlitine z granulacijo do 5 mm in dodatno legiranje silicija, kro-



Slika 18

Vpliv dodatka FeCr-affine med pretaljevanjem na naraščanje vsebnosti [Cr] pri glavi in nogi EPŽ ingota

Fig. 18

Influence of adding FeCr affine during remelting on the increased [Cr] content in ESR-ingot top and base

ma, vanadija in ogljika, pri čemer lahko več elementov legiramo istočasno. Stopnja dodatnega legiranja je omejena s specifičnimi pogoji EPŽ postopka in je odvisna tudi od premera ingota, ki ga pretaljujemo. V glavnem je mogoče dolegirati silicij do 0,30 %, krom do 0,60 %, vanadij do 0,20 % in ogljik do 0,15 %.

NADALJNI RAZVOJ

Opisani tehnološki razvoj, moderna izvedba proizvodnih naprav in računalniško podprt sistem krmiljenja predstavljajo solidno osnovo za nadaljnji razvoj.

Glede na izkušnje z varovalno atmosfero se razvija pretaljevanje s povečanim pritiskom plina nad žindrino kopeljo. Zaprta EPŽ naprava za pretaljevanje pod visokim tlakom dušika že več let uspešno obratuje.

Tehnologija za proizvodnjo votlih EPŽ ingotov je bila že delno preizkušena, vendar ne kaže, da bi bila ekonomsko uspešno uporabna v vsakodnevni proizvodnji zaradi mnogih omejevalnih dejavnikov.

EPŽ proizvodnja oblikovanih okroglih teles (n. pr. valjev), ki jih ni potrebno kovati, je tehnološko in ekonomsko izredno zanimiva, posebno zato, ker so se taki valji že uveljavili v uporabi.

ZUSAMMENFASSUNG

Eine Übersicht über die Entwicklung von der Einführung der ersten ESU Anlagen bis zum heutigen Stand mit den Haupteigenschaften der Entwicklungsstufen werden gegeben. Die wichtigsten Parameter des Schlackenverbrauches des Energieaufwandes, des Ausbringens, so wie die technologischen Grundparameter der Umschmelzung werden angegeben.

Besondere Betonung gilt der Beschreibung der Entwicklung der Anlagen mit der charakteristischen elektrischen Ausführung, der heutigen Technik der ESU Anlagen und dem Stand der Regeltechnik. Von besonderer Bedeutung sind die Wassergekühlten Hochstromschleifkontakte. Auserdem ist eine Neuheit die Elektronische Regelung der Eintauchtiefe der Elektrode und die rechnerische Steuerung der Umschmelzgeschwindigkeit, was von entscheidender Bedeutung für die Güte der ESU Blöcke ist.

Neue Entwicklungen an ESU Anlagen haben die Umschmelzung von Blöcken grösserer Breite und Länge möglich gemacht. Die Umschmelzung von Ingots grösseren Durchmessers war durch die Schmelzstromstärke begrenzt, grösserer Längen aber durch die Änderung der chemischen Zusammensetzung von Schlacke und Stahl während der Umschmelzung.

Die Entwicklung an der Umschmelztechnologie von langen Ingots macht die Erzeugung von 6 m langen Ingots möglich. Durch die Technologie des Zulegierens während des ESU Verfahrens ist auch die Anwendung von Elektroden verschiedenen Ursprunges möglich geworden, was die Wirtschaftlichkeit der Umschmelzung günstig beeinflusst.

SUMMARY

A review of development since the introduction of the first ESR equipment till now is given with the basic characteristics of the development stages, together with the most important parameters on consumption of slag, and energy, on yields, and on basic technological parameters of remelting. A special emphasis is given to the description of the development of equipment with the characteristic electric performance, the present techniques of ESR equipment, and to the state of regulation techniques. Important are the water-cooled high-current slide contacts. Besides, the novelty is also the electronic regulation of the dipping depth of electrode, and the computer control of the remelting rate which is the decisive parameter for the quality of ESR ingots.

The development of ESR equipment enabled the remelting of ingots of bigger diameters and lengths. Before, remelting of bigger diameters was limited by the melting-current strength, and of longer lengths by the variation of the chemical composition of slag and steel during the remelting. The development of the technology of remelting longer ingots enables at present manufacturing ingots up to 6 m, and the technology of additional alloying under the conditions of the ESR process enables the application of various electrodes which has a beneficial influence on the economy of remelting.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведен обзор развития и введения первых устройств ЭСП-а до теперешней степени с главными характеристиками степеней развития, также кодовые обозначения расхода шлака, энергии, выходов и основные технологические параметры переплава. Особо почеркнуто развитие устройств с характерным электрическим выполнением, современная техника устройств ЭСП-а и состояние регулировочной техники. Особое значение имеют контакты скольжения, охлаждаемые с водой. Кроме этого представляет новизну электронная регулировка глубины погружения электроды, а также управление быстроты переплавки при помощи вычислительной машины, что представляет решающий параметр на качество заготовок ЭСП-а.

Развитие устройств ЭСП-а дало возможность вести переплавку заготовок более крупных диаметров и длины, так как их переплавка была ограничена от величины тока расплавления, а заготовок увеличенной длины от изменения химического состава шлака и стали в течении расплавления.

Развитие технологии переплавки длинных заготовок дало возможность изготавливать заготовки длины до 6 м, технология же легирования при условиях процесса ЭСП-а — употребление электрод различного источника, что оказывает благоприятное влияние на экономичесность переплава.

Tehnične novice

Triletno sodelovanje med metalurškimi inštituti EGS in SFRJ

Alojz Prešern

Na osnovi sklepa Kontaktne skupine za sodelovanje na metalurškem področju med EGS in SFRJ ter obojestranske priprave potrebnih raziskovalnih programov s področja »litje in strjevanje konti odlitega jekla« smo v letu 1980 pričeli konkretne raziskave v okviru navedenega obojestransko potrjenega in sprejetega projekta za dobo 3 let.

Zahodnoevropski metalurški inštituti so v tem projektu sodelovali v naslednji sestavi: CRM Liege, TU Clausthal, TU Berlin, CSM Roma. Prezentirali so obdelavo naslednje problematike:

- vpliv sekundarnega hlajenja na nabreklost in kvaliteto strukture konti odlitih bram,
- izboljšanje livnih pogojev pri konti litju gredic,
- strjevalna struktura in nastanek makrosegregacij pri konti litju bram kot posledica nabreklosti strjene skorje,
- uvajanje pogojev za tehnologijo za pospešeno strjevanje konti litih gredic (FAST-tehnologija z dodatkom kovinskega prahu).

Metalurški inštituti SFRJ v sestavi: Tehnološki fakultet Beograd in Sektor za raziskave MK Smederevo, Inštitut za metalurgijo Sisak, Metalurški inštitut H. B. Zenica, SŽ-Metalurški inštitut Ljubljana so v uresničevanju triletnega projekta sodelovali z raziskavami iz naslednje tematike:

- raziskave defektnosti vertikalno-konti odlitih bram,
- vpliv kvalitete kokilnih praškov na lastnosti konti litih gredic in raziskave kvalitete prahov,
- vpliv ognjevarnih materialov v jeklarski ponovci (šamota in dolomit) na količino in kvaliteto vključkov,
- vpliv obdelave taline v ponovci z vpihovanjem CaSi prahu na livnost in kvaliteto konti litih gredic.

V dobi treh let (do začetka leta 1983) so bili ogledi zahodnoevropskih inštitutov: CRM Liege, CSM Roma, TU Clausthal, VDEh Düsseldorf, Max Planck Institut Düsseldorf, ogledi železarn Terni v Italiji, Hoesch v Zah. Nemčiji, Duisburg Hamborn v Zah. Nemčiji, ogledi SFRJ inštitutov v Sisku, Zenici, Beogradu, Smederevu, ogledi železarn Ravne, Smederevo, Sisak, Zenica, koksarne Tuzla. V tem času smo prejeli od vodje raziskovalnega dela za metalurgijo v okviru EGS več zelo dragocenih težko dosegljivih strokovnih knjig, poročil in revij o elektro pečeh, konti litju in obsežna fazna ter zaključna poročila o raziskovalnem delu navedene tematike. Ves ta material je bil razmnožen, poslan metalurškemu inštitutom in železarnam, kar prav gotovo predstavlja izredno koristen material pri reševanju problematike zelo kompleksnega in izredno aktualnega področja konti litja jekla. V okviru sodelovanja spada tudi obisk zahodnonemških strokovnjakov za reševanje problematike visokih peči in jeklarstva v MK Smederevo ter obisk nemško-francoskih strokovnjakov v koksarni Tuzla.

Še vedno imamo na razpolago vsa končna poročila s podrobno vsebino za potrebe uporabnikov s področja konti litja gredic in bram, še vedno imamo možnost osebnih kontaktov z nekaterimi raziskovalci in strokovnjaki iz CRM Liege in TU Clausthal, če bi bila pri določenem uporabniku konkretna želja po dodatnem tolmachenju analize problemov.

Krajše vsebine končnih poročil inštitutov EGS in SFRJ:

V okviru raziskav »Vpliv sekundarnega hlajenja na nabreklost in kvaliteto strukture konti odlitih bram« so raziskovalci CRM Liege (A. Etienne, R. Fraussen, E. Toubeau) ugotovili, da so v glavnem značilne napake v strukturi konti odlite brame naslednje:

- segregacijske mreže, celo notranje razpoke, ki se pojavljajo po vzdolžnem prerezu v večjih ali manjših oblikah,
- centralne segregacije v glavnem v obliki dvojne osi,
- vključki.

Navzočnost teh napak lahko povzroči celo izmeček brame.

Metalografske in radioaktivne analize iz različnih nivojev odlite brame kažejo, da so segregacijske mreže in notranje razpoke rezultat meddendritnih razpok v bližini strjevalne cone.

Med dendriti se nahaja preostala talina, ki je bogata z raztopljenimi elementi in se pojavlja v obliki segregacijske mreže. Razpokanost nastaja v času, ko se preokrača kritični nivo deformacije med strjevanjem, ki ga povzroča mehanično in toplotno strjevanje brame.

Teoretične kalkulacije in industrijski poskusi kažejo, da spremlja centralno segregacijo konvekcijsko gibanje, ki se nahaja v talini v toku strjevanja. Deformacije, ki se spreminjajo z nastajanjem strjevalne strukture v območju ostankov taline, lahko povzročijo občutne segregacije. Več mehanskih vzrokov more povzročiti deformacije bram v toku strjevanja oziroma lahko nastanejo razpoke pred kristalizacijo:

- nabreklost brame: zaradi ferostatičnega pritiska nabrekne brama med valjčnicami, vrh nabrekline se splošči pri vsakem prehodu brame preko valjčnice. Ta fenomen je odvisen od geometrije stroja in odpornosti strjene skorje

- usločanje in ponovna izravnava brame
- geometrične in mehanske napake stroja (vlečnega stroja, kar je odvisno od konstrukcije).

Če so torej deformacije brame odločujoči dejavnik v tvorbi kristalnih razpok in v povečanju centralne segregacije, je jasno, da imajo metalurški dejavniki, kot je sestava jekla in kristalna struktura, direktni vpliv na obstoj oziroma pomembnost napak.

Frekvenca pojava kristalnih razpok je ozko povezana s sestavo jekla:

Si, Mo > 0,25 %, C < 0,16 % izboljšujejo občutljivost do kristalnih razpok, Ni > 1 %, Cr > 3 %, S > 0,025 %, Mn/S < 20, Mn > 1 %, O > 0,03 % jo slabšajo.

Za kalkulacijo najbolj nabreklih mesta konti lite brame so avtorji teh raziskav sestavili statični in dinamični model: ugotavljanje deformacij med valjčnicami zaradi ferostatičnega pritiska med enako temperaturo, pri čemer je krivulja nabreklosti simetrična, in nabreklost pri premikanju brame, kjer je deformacija asimetrična. Izvedba modelov je računsko utemeljena. Doseženi rezultati so plod industrijskih raziskav na konti stroju za brame v železarni Cockerill-Sambre v Montignies-u, kjer so preiskovali v industrijskih livnih pogojih brame, širine 1015 do 2085 mm, debeline 220 mm, pri livni hitrosti med 0,6–1,35 m/min, sekundarnem hlajenju med 0,45 do 1,1 lit./kg jekla in C v jeklu med 0,05–0,018 %. Pri izvajanju raziskav so upoštevali poleg vpliva navedenih parametrov na nabreklost ploskve brame še vpliv geometrije stroja (napačna okroglina, pretesna prilagoditev) na deformacijo valjčnic med konti litjem. Z izvirnim merilnim sistemom, instaliranim na konti stroju, na brami, ob upoštevanju razdalje med valjčnicami (max. 540 mm), temperature pod valjčnicami (80 °C), temperature same brame (600 °C), so ugotovili, da so operativni dejavniki za pojav nabreklosti brame v velikosti brame, livni hitrosti in intenzivnosti sekundarnega ohlajanja.

V cilju, da se izognemo kristalnim razpokam, je potrebno zmanjšati deformacijo površine brame za 1 mm, sekundarno hlajenje ima še najmanj vpliva na kontrolo deformacije brame in valjčnic. Brame velikih širin (> 1.500 mm) imajo tendenco do nastanka zelo velike nabreklosti: da dosežemo zdravo kristalno strukturo, je potrebno med konti litjem brame omejiti livno hitrost na 0,8 m/min. Ugotovili so, da prilagoditev valjčnic na zunanji krivini, ki je zaradi ohlaiditve med ustavitvijo stroja dvignjena, ni vedno optimalna za livne pogoje. Geometrično reguliranje stroja, ekcentričnost valjčnic in utesitvenje imajo velik vpliv na premaknitev in deformacijo valjčnic med litjem. Ustavitve stroja povzročajo velike nevšečnosti: zaradi učinka toplotne sile obstaja možnost, da nastane na valjčnicah ravno nasprotna krivina, ki poškoduje bramo. Nujno je potrebno zagotoviti zunanje hlajenje valjčnic, da se zmanjša prekomerne deformacije, ki jih hitro poškodujejo.

V okviru izboljšanja livnih pogojev pri konti litju gredic so avtorji prof. Oeters, prof. Schwerdtfeger, H. C. Drömer raziskovali mehansko obnašanje skorje konti odlite gredice pri strjevanju taline v kokili. Cilj raziskav je bil poglobiti znanje o pogojih ohlajanja, ki nastopajo pri konti litju, in rezultate uporabiti v praksi. Raziskave so obsegale meritve sil in napetosti, ki nastopajo pri strjevanju v obrobni skorji gredice, pri čemer so uporabili dve različni konstruirani kokili iz sive litine: eno z vgrajenimi bakrenimi vodohlajenimi elementi, drugo samo z vodnim hlajenjem.

Talino so proizvedli v vakuumsko indukcijski peči v količini 10 kg, izliv taline je izveden pod argonom. Zaradi različnega hlajenja posameznih kokil so se pojavile različne hitrosti strjevanja in potek sil. S pomočjo toplotne bilance so bile določene zakonitosti strjevanja za obrobno skorjo gredice in pri določenih predpostavkah izračunana debelina skorje. S pomočjo visoko elastičnega deformacijskega modela je bilo možno pojasniti rezultate, dobljene računsko in s stvarnimi meritvami.

V pogledu vpliva strjevalne strukture na mejo leze-nja (konti lita gredica) ugotavljajo, da ta preneha, če je bil material ohlajen na prostorsko temperaturo.

Obsežne raziskave so izvedene o makrosegregacijah pri konti litju bram, oz. v strjevalni strukturi in nastanku segregacij kot posledica nabreklosti skorij. Ta povzroča strujanje, ki vodi k mešanju legirnih elementov in nečistoč. Nabreklost lahko nastane pri prevelikih razdaljah med valjčnicami, slabi usmeritvi valjčnic, usločenih valjih ali zaradi drugih napak na valjih. Dolej so domnevali, da ima velik vpliv na segregacije tudi temperatura strjevanja. Konti odlit material z zelo usmerjeno dendritno strukturo je nagnjen k močnemu izcejanju, neusmerjena struktura — globuliti — pa k manjši količini izcej. Pri konti litju je zato potrebno usmeriti pozornost predvsem k pogojem, ki omogočajo nastanek globulitnih kristalov. Pri pravilnem tolmačenju medsebojnih vplivov v tem pogledu je še precej neznanosti.

Nizko pregretje taline izboljšuje pogoje za nastanek globulitnega strjevanja, kar pa je v obratovalnih pogojih težko doseči. Nizko pregretje more povzročiti motnje, zaradi katerih talina zamrzne. Z elektromagnetnim gibanjem taline moremo izboljšati nastanek globulitne kristalizacije. Tudi sestava jekla in način dezoksidacije imata svoj vpliv na strjevalno strukturo. Večkrat je ugotovljeno, da vplivajo dodatki Al na usmerjeno strjevanje; z dodatki nosilcev kali: Ti, Ti zlitine, Zr, B, W, Nb, Ca-cianamid, Fe-Cr-Ni, redke zemlje moremo doseči nastanek globulitne strukture. Predvsem Ti, TiN in Ti zlitine so v tem smislu zelo pozitivne.

Preiskave industrijsko konti odlitih bram so pokazale, da daje tudi usmerjeno strjevanje jeklo brez izcej, če je brama odlita brez pojava nabreklosti (dolžina polmera konti stroja 10,5 m, format brame 260 × 1250 mm, sestava: 0,2 % C, 0,16 % Si, 0,6 % Mn, 0,05 % Al, 0,015 % P, 0,018 % C).

Da se prepreči nabreklost konti brame pri visoko pregreti talini, ki povzroča transkristalno strukturo, je bilo potrebno znižati hitrost litja od 0,7 na 0,4 m/min. In povečati hladilno vodo od 1,46 na 2,56 lit./kg jekla. Na ta način se je zmanjšala globina lunke, zmanjšal se je ferostatični pritisk na skorjo brame, hitreje se brami odvajata toplota, kar še zmanjšuje porozni del sredine. Zaradi znižanja temperature poraste trdnost na površini skorje in se poveča odpornost proti deformaciji. S takimi prijemi moremo precej reducirati nastanek nabreklosti površine brame. Praktične izkušnje kažejo, da so v glavnem pri transkristalni strukturi močnejše navzoče segregacije po sredini preseka brame kot pri globulitni.

Na brami z močnimi izcejami je možno nabreklost dokazati na jedkanem vzorcu. Ta nabreklost more znašati več mm, če so navzoče tudi napake v valjih. Avtorji teh raziskav so razvili način izračuna horizontalnih izcej, kakor tudi izračuna pojava izcej z difuzijskim modelom. Opisan je postopek nastajanja makroizcej pri konti liti gredici in kvantitativno teoretska utemeljitev poteka tvorbe z matematičnim modelom. Posebna pozornost je posvečena modelu za izračun toplotnih napetosti v konti liti brami.

Raziskave defektnosti vertikalno konti odlitih bram v železarni Smederevo (avtorja prof. L. Nedeljković in Čurić) kažejo na izrazito sredinsko segregacijo, ki je posledica nekontrolirane nabreklosti brame. V cilju za zmanjšanje te slabe strukture se vgrajuje v livni stroj elektromagnetni mešalec. Rahlo znižanje livne hitrosti ne vpliva na tvorbo centralne segregacijske cone. Pri slučajno nastali globularno dendritni strukturi brame ni navzoča centralna segregacija. Gustota centralne segregacijske cone je večja pri popolnoma globularno-dendritski strukturi.

Rezultati raziskav primarnega zrna v konti liti brami kažejo na kompleksnost in možen vpliv na končno velikost zrn, oz. kristalnih mej v vroče valjani plošči.

Občutno višja livna temperatura in znatna sprememba v mehki sredini, povzročena zaradi zamenjave dvojnega izlivka z enim, so verjetno povzročili globularno dendritno strukturo, skoraj brez centralne segregacije.

Na inštitutu za metalurgijo Sisak je skupina avtorjev — prof. dr. Krajcar s sodelavci — raziskovala vpliv kvalitete kokilnih praškov na lastnosti konti lite gredice. Predmet raziskav je bilo ugotavljanje lastnosti treh livnih praškov, ki jih uporabljajo pri konti litju gredic za cevi. Za dobri učinek praška v pogledu tvorbe zdrave skorje gredice je predvsem važna enakomernost debeline sloja, nizka talilna točka in relativno majhna livna hitrost. Za preprečevanje tvorbe »zlepljenih mest« na površini gredice je zelo pomembna dobra izolacijska lastnost praška. Posebno pozornost so posvetili raziskavam možnosti merjenja toplotne izolacije določene plasti praška. S pomočjo ugotovljenih podatkov sestave, velikosti zrn praška, talilnosti, diferenčno termične analize, termo-gravimetrijske analize, viskoznosti, površinske napetosti, fazne analize z difrakcijsko metodo in toplotne bilance so poskušali sestaviti matematični model za operativni potek vpliva praška. Pri tem manjka vrsta podatkov, ki jih bo potrebno še ugotoviti, kot so: neznan mehanizem tvorbe filma in njegove debeline v nivoju meniska in pod njim, odnosi med hitrostjo gibanja gredice in kokile, pritisk na steno kokile, temperature in viskoznost filma med kokilo in gredico in končno rezultat vseh faktorjev pri različnih livnih hitrostih.

V okviru večletnega projekta o možnostih uvedbe tehnologije za pospešeno strjevanje konti gredice v sami kokili (FAST-tehnologije) je skupina raziskovalcev CSM Rim pod vodstvom A. Spaccarotella izdelala novo tehnologijo z dodatkom kovinskega prahu v kokilo, kar naj izboljša produktivnost postopka in kvaliteto gredice. Raziskave so obsegale poglobitev teoretičnih principov, ki regulirajo sistem in izvedbo poskusov v laboratorijskem ter polindustrijskem obsegu. Izgotovljeni modeli so potrdili predloge za izvedbo industrijskega sistema. Način dodatka kovinskega prahu je bil izveden na samem konti stroju z odprtim in potopljenim izlivkom. Pri litju brez zaščite je bila uporabljena velika livna hitrost za dosego večje produktivnosti, pri čemer je imel konti proizvod močne centralne izceje. Dodatek v opisanem smislu okrog 10 kg zrnatega materiala/t jekla pri gredicah 140 × 140 mm in kapaciteti stroja 180 ton v jeklarni Terni je vplival na znatno izboljšanje grobe kristalizacije v gredici. Trenutno uvajajo FAST-tehnologijo za litje gredic na osmih konti strojih.

Dodatek prahu skozi potopljeni izlivek, ki se nahaja na zamašnem drogu v vmesni ponovci, je bil preizkušen pri litju bram, velikosti 260 × 1065 mm, v jeklarni Terni. Dokazane so določene pozitivne in negativne strani nove tehnologije: večkrat pride do zamrznitve odprtine v zamašnem drogu zaradi dinamike strujanja, kot tudi zaradi prekomerne termične obremenitve nastale sintrane tvorbe praška. Te napake se zmanjšajo z uvedbo hladilne naprave z varovalnim plinom v notranjem kanalu zamašnega droga. Zaradi določenih obratovalnih težav se ta način dodatka prahu v industriji ni obnesel. Avtorji so prepričani, da bo to tehnologijo možno uporabiti šele z uvedbo novih keramičnih ognjevarnih materialov.

V programu skupnih raziskav iz uvodoma navedenega področja je bilo tudi obširno raziskovalno delo o vplivu ognjevarne ponovčne obloge na količino in kvaliteto vključkov v jeklu, pri čemer je bila uporabljena

delno šamotna, delno dolomitna ponovca. Talino, kvalitete CK 35, teže 80 ton, izlito iz 180 t nagibne SM peči, dezoksidirane s 4 kg FeSi/t določeno količino SiMn in dodatkom 0,25 kg Al/t, so v ponovci prepihal z dušikom 2 do 3 minute in nato odplinili po RH postopku. Na osnovi analize jekla, žlinder iz peči, ponovce, po vakuumiranju, analize kisika s Celovsondo, metalografskih raziskav, makro in mikro vključkov so ugotovili:

— v šamotni ponvi so žlindre z višjo bazičnostjo kot v dolomitni, v talini je po degazaciji znatno večja aktivnost kisika v šamotni kot v dolomitni ponvi,

— količina skupnega kisika v vzorcih iz glave in noge ingota v glavnem ni odvisna od kvalitete uporabljene opeke,

— makro vključki so večji v nogi kot v glavi pri obeh uporabljenih kvalitetah opeke, veliki oksidni makro vključki so v glavnem globulitni aluminati,

— skupno žlindrno število je v nogi ingotov znatno večje pri šamotni ponvi, večje vključke (> 100 μm) zasledimo pri uporabi dolomitne ponve, v vključkih je znatno več SiO₂ pri šamotni ponvi, več Al₂O₃ pri dolomitni ponvi.

S področja izdelave jekla za konti litje gredic z novo tehnologijo vpihovanja CaSi v jekleno talino v ponvi so bile sistematične večletne raziskave izvedene v polindustrijskem in industrijskem merilu (nosilec dr. V. Prešern), preizkušene in uvedene kot stalna obratovalna praksa v jeklarnah Jesenice, Štore, delno Ravne ob uporabi vpihovalnih naprav, konstruiranih v Inženiring Bled.

Glavni cilj raziskovalnega projekta je bil v študiranju in preiskavah vpliva prašnatnega CaSi, ki se ga vpihuje v tekočo talino v ponvi na kinetiko odstranjevanja S, izvedbo dezoksidacije, livnosti, modifikacije vključkov in kot rezultat v ugotovitvi izboljšave nekaterih mehanskih lastnosti jekel. Glavni zaključki raziskav in preiskav kažejo naslednje:

— sistem in nova naprava delujejo učinkovito, obdelava taline je mirna ob nizki porabi argona (< 0,5 Nm³/min),

— odstranjevanje žvepla in dezoksidacija sta odvisni od količine vpihanega CaSi (pri 2 kg CaSi/t okrog 50 do 70 % ΔS),

— padec temperature v talini med obdelavo znaša največ 25 °C,

— zamrznitev ponovnega izlivka med litjem Al pomirjenih jekel je popolnoma odpravljena pri dodatku zadostne količine CaSi,

— pojavlja se modifikacija vključkov, od čistih Al₂O₃ do kompleksnih globularnih CaO—Al₂O₃ z CaS vencem,

— zaradi nizkega žvepla je talina čistejša, modificirani vključki predstavljajo ugodnejšo sestavo in obliko,

— mehanske lastnosti so znatno boljše in zmanjšana je anizotropija. Menim, da je triletno sodelovanje nudilo jeklarjem, ki se ukvarjajo s problemi konti litja gredic in bram, zelo obsežen in koristen material. Iz njega moremo ugotoviti važnost in občutljivost nove konti tehnologije, spoznati, da nujno nastopajo problemi, ki jih moramo študirati in odpraviti, ugotoviti, kje lahko uporabimo obratovalne kompromise v pogledu dobljenih kvalitativnih rezultatov odlite breme ali gredice; skratka, nova tehnologija litja sama po sebi ne nudi pričakovanih prednosti, kot jih tako radi predvidevamo pri investicijskih odločitvah.

O smiselnosti navedenega sodelovanja morajo zato odločati jeklarji, raziskovalci in tehnologi ter operativci, in iz vidika prisvajanja pogojev za čimbolj učinkovito splošno uporabo te livne tehnologije presojati o nuj-

nosti vsebine raziskovalne dejavnosti s tega področja. Čeprav obstajajo več ali manj upravičene želje predstavnikov jugoslovanskih inštitutov, da bi bilo potrebno za bodoče sodelovanje izbrati področje predelave, je prav gotovo, da je na področju litja in strjevanja kontinuirno ulitih jeklenih polproizvodov še mnogo nedorečenega. Potrebujemo še ogromno važnih teoretičnih in praktičnih raziskav, da bomo mogli trditi, da smo popolnoma osvojili industrijsko prakso konti litja, predvsem bram. Bo pa nujno navezati nove stike z drugo komisijo, ki v raziskovalnem centru EGS obdeluje vprašanje predelave.

V nadaljevanju triletnih raziskav na projektu »Litje in strjevanje konti ulitih gredic in bram« so vključeni od EGS naslednji inštituti:

- Hoesch Hüttenwerke AG, Dortmund (Dr. R. Scheel)
 - VDEh Düsseldorf (G. R. Steffen),
 - TU Clausthal (prof. dr. K. Schwerdtfeger),
 - British Steel Corp., Grangetown (dr. R. J. Gray),
 - National Physical Lab., Teddington (dr. K. Mills).
- in jugoslovanski inštituti:
- Inštitut za metalurgijo Sisak (dr. J. Krajcar),
 - Metalurški inštitut »H. B.« Zenica (dipl. ing. S. Tarabar),
 - Teh. metal. fakulteta Beograd (prof. dr. T. Nedeljković),
 - SŽ-Metalurški inštitut Ljubljana (dr. F. Vodopivec).

Železarna Hoesch bo prezentirala raziskovalne dosežke iz tematike »Vpliv sestavne žilindre na procese v livnih praških pri konti litju«.

Dosedanje raziskave na tem področju temeljijo na merjenju temperature taljenja in viskoznosti sintetičnih praškov, ki odgovarjajo splošnim kemičnim sestavam praškov. Ugotovili so, da Na_2O zelo znižuje temperaturo taljenja, CaF_2 bistveno ne vpliva niti na temperaturo niti na viskoznost, da vpliva špranja med slojem raztaljenega prahu in prahu v trdnem stanju ob steni kristalizatorja zelo občutno na rezultate meritev. Laboratorijskih meritev ni mogoče izvesti na slojih pod 2 mm, kot se formirajo pri konti litju, zato so računali z ekstrapolacijskimi vrednostmi. Toplotna prevodnost je n. pr. pri zraku 40 W/cm^2 , pri prašku pa 200 W/cm^2 .

VSC je tolmačila rezultate raziskav pri tematiki »Delovanje livnega prahu pri konti litju«, v katerih je glavni cilj raziskave mehanizma prodora, za katerega je vzrok lepljenje trdne skorje na steno kristalizatorja. Nadaljnji cilji so v poboljšanju kvalitete površine in znižanju stroškov z izboljšanjem delovanja livnega prahu. V ta namen so uvedli za konti litje kompjuter, ki bo v določenem času snemal podatke o kemični analizi livnega praška, o položaju zamašnega droga v vmesnem koritu, o nivoju jekla v kristalizatorju, količini in temperaturi vode v kristalizatorju, globini potopljenega izlivka, številu in amplitudi oscilacije kristalizatorja, debelini sloja livnega prahu, kar omogoča, da se na osnovi modela kontrolira in vodi postopek konti litja. Modeli temeljijo na količini porabljenega livnega praška v kg/t v odvisnosti od viskoznosti in livne hitrosti.

Poseben študij bo namenjen vzrokom za prodor taline (ob koriščenju japonskih izkušenj). V TU Clausthal raziskujejo izdelavo in uporabo aparature za merjenje prenosa toplote skozi sloj livnega prahu. Hrapavost površine trdne skorje more občutno vplivati na medfazni prenos toplote v točkah dotika površine sloja in bakrene stene kristalizatorjev.

V NPL so doslej izvedli obširne raziskave vpliva sestave prahu na toplotno prevodnost s pomočjo impulzne laserske metode, za kar so razvili posebne vzorce. Čeprav je toplotna difuzija pri 12 praških enaka, je mehanizem prenosa toplote za različne praške zelo različen. Tudi vpliv viskoznosti na obnašanje praška pri litju je različen in bo treba še mnogo nadaljnjih raziskav s konkretnjšimi rezultati.

Inštitut za metalurgijo Sisak je v okviru jugoslovanskih metalurških inštitutov prav gotovo največ raziskoval pogoje litja v odvisnosti od kvalitete praškov in veliko prispeval k uporabnim tolmačenjem vplivov posameznih komponent in lastnosti praškov na potek konti litja gredice. Njegove raziskave so usmerjene na nadaljnji razvoj in prisvojitve metod za kompleksne preiskave livnih praškov.

V Inštitutu H. B. v Zenici usmerjajo raziskave na »vpliv sestave jekla in livnosti ob upoštevanju delovanja livnega praška na površino, makro in mikro strukturo konti litih gredic in slabov«.

Na Tehnološki fakulteti Beograd in raziskovalnem centru železarne Smederevo bodo v okviru »študije vpliva sestave jekla in livnih parametrov na kvaliteto primarne strukture konti litih slabov« posvetili določen cilj meritvam nabreklosti slabov zaradi neustreznega projekta kristalizatorjev, kar ima za posledico višino nabreklosti do 3 mm, v neugodnih obratovalnih razmerah pa celo do 6,5 mm. Ta nabreklost je posledica centralne makrosegregacije, spremljane z obsežno nesimetričnostjo vzdolž osi. Treba bo dati več poudarka metodi kvantifikacije teh pojavov.

Glavne programske točke raziskav na SŽ-MI na temo »Preiskava vpliva Al in N na livno strukturo in primarno plastičnost konti litih gredic« so obsežne v raziskavah nižje plastičnosti, če se gredica direktno valja, kot če jo valjajo po $\gamma-\alpha-\gamma$ transformaciji. Raziskave naj pojasnijo vlogo Al in N v nastanku krhkega loma v rdečem stanju. Dodatno študijo »Vpliv livnih parametrov in kvalitete praška na površino konti lite gredice« bo SŽ-MI prezentiral, če bodo rezultati predstavljali prispevek h kvalitetnemu izboljšanju gredic kot funkcija kvalitete prahov in livnih pogojev.

Iz navedene vsebine sledi, da je bodoče triletno obsežno raziskovanje usmerjeno v področje podrobne analize, metode raziskav in tolmačenje fizikalnih funkcij livnih praškov, ki jih uporabljamo v oscilirajoči konti kokili. Gre torej za področje, ki je v svetovnem merilu doslej zelo skromno in nepopolno obdelano.

Na drugi strani pa je navedena problematika poleg hlajenja najbolj občutljivejša za proces konti litja in kvaliteto odlitega jeklenega polproizvoda.

Študiranje dosedanjih razpoložljivih materialov, privzemanje teoretičnih in praktičnih nasvetov nam bo v praktičnem pogledu konti litja gredic, predvsem pa slabov, v veliko pomoč, tako v pogledu obratovalnih parametrov, kot tudi usmerjanja potrebnih raziskav.

Odgovorni urednik: Jože Arh, dipl. inž. — Člani: dr. Jože Rodič, dipl. inž., Franc
Mlakar, dipl. inž., dr. Aleksander Kveder, dipl. inž., dr. Ferdo Grešovnik,
Darko Bradaškja, tehnični urednik, prof. Regina Razinger, lektor

Oproščeno plačila prometnega davka na podlagi mnenja Izvršnega sveta SRS
— sekretariat za informacije št. 421-1/172 od 23. 1. 1974

Naslov uredništva: SŽ Železarna Jesenice, 64270 Jesenice, C. železarjev 8,
tel. št. 064/81-341, int. 2619 — Tisk: TK Gorenjski tisk, Kranj

VSEBINA

UDK: 669.162:622.341.15-185

ASM/SLA: B16a

Metalurgija — železarstvo

G. Todorović, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar

Izdelava sintra z dodatkom ljubijskega siderita in njegov razpad pri niskih temperaturah

Železarski zbornik 20 (1986) 2 s 19—22

Na laboratorijski napravi za sintranje smo izdelali bazičen sinter iz perujskega magnetita, ljubijskega limonita in siderita ter dodatkov. Siderit in koks smo drobili na granulacijo pod 3 mm, ker so dosedanje raziskave pokazale, da granulacija siderita močno vpliva na razpad sintra. V mešanici za sintranje smo zviševali vsebnost siderita od 3,3 do 33,3 %. Po končanem procesu sintranja smo določili trdnost in termostabilnost sintrov. Trdnostni poskusi kažejo, da je največjo trdnost imel sinter, ki je izdelan z največjim odstotkom siderita v mešanici za sintranje, vendar se rezultati bistveno ne razlikujejo. Termostabilnost sintrov smo določili v modificirani Linderjevi napravi po ISO standardu pri temperaturi 700°C. Rezultati poskusov kažejo, da ni velikih razlik med termostabilnostmi sintrov, kar pomeni, da vsebnost siderita v mešanici za sintranje bistveno ne vpliva na metalurške lastnosti sintrov, ampak le njegova granulometrijska sestava.

Avtorski izvleček

UDK: 669.184.244.66:

ASM/SLA: D10a, D3

Metalurgija — LD postopek — odstranjevanje žvepla

Ice B. Risteski

Odstranjevanje žvepla s konvertiranjem grodlja pri LD postopku

Železarski zbornik 20 (1986) 2 s 23—27

V članku je predstavljen proces odžveplanja jekla v konvertorju na osnovi pasivnega eksperimenta s pomočjo korelacijsko-regresijske analize. Za doseganje boljšega odžveplanja jekla v LD-konvertorju je potrebno izboljšati kvaliteto apna, predvsem njegovo reaktivnost.

Avtorski izvleček

UDK: 669.187.3:669-154.9

ASM/SLA: D8n, D8p

Metalurgija — proizvodnja železa in jekla — postopki s tekočo kovino — ostali postopki

J. Rodič, W. Holzgruber, M. Švajger, J. Šegel

Današnja stopnja razvoja električnega pretaljevanja pod žlindro. Nove proizvodne možnosti in tehnološki razvoj

Železarski zbornik 20 (1986) 2 s 29—38

V članku je podan razvoj EPŽ naprav od prvih začetkov, ko so uporabljali stabilne dolge kristalizatorje in eno porabno elektrodo do danes, ko obratujejo EPŽ naprave s kratkimi drsnimi kristalizatorji, s tehniko menjave elektrod, s spuščajočim dnom in regulacijo potopitve elektrode.

Uvedba drsnih kontaktov in računalniško podprtega vodenja EPŽ procesa je znatno znižala specifično porabo električne energije na eni strani in izboljšala enakomernost kvalitete na drugi strani. Na ekonomičnost EPŽ procesa ima ugoden vpliv tudi razvoj tehnologije pretaljevanja dolgih EPŽ ingotov in uporabo elektrod različnega izvora. Vzporedno je bilo potrebno razviti korekturo sestave žlindre in jekla med pretaljevanjem ingotov dolžine 6 m.

Avtorski izvleček

INHALT

UDK: 669.184.66

ASM/SLA: D10a, D3

Metallurgie — LD Verfahren — Entschwefelung

Ice B. Risteski

Entschwefelung bei der Erzeugung von Stahl im LD Verfahren

Železarski zbornik 20 (1986) 2 S 23—27

Im Artikel ist der Prozess der Entschwefelung von Stahl im Konverter auf Grund des passiven Experimentes mit Hilfe der Korrelations-Regressionsanalyse dargestellt. Um eine bessere Entschwefelung im LD-Konverter zu erreichen ist nötig die Qualität von Kalk zu verbessern, vor allem die Reaktivität.

Auszug des Autors

UDK: 669.162:622.341.15-185

ASM/SLA: B16a

Metallurgie — Hüttenwesen

G. Todorović, J. Lamut, B. Dobovišek, L. Šketa, M. Tolar

Erzeugung von Sinter mit der Zugabe von Siderit Ljubija und dessen Zerfall bei tiefen Temperaturen

Železarski zbornik 20 (1986) 2 S 19—22

An einer laboratorischen Sinteranlage ist basischer Sinter aus Peruanischem Magnetit, Ljubija Limonit und Siderit und der Zusätze, erzeugt worden. Zu diesem Zweck sind Siderit und Kocks unter 3 mm Zerkleinert worden, da die bisherigen Untersuchungen ergeben haben, dass die Sideritkorngrosse den Zerfall von Sinter stark beeinflusst. In der Sintermischung ist der Sideritgehalt von 3,3 bis 33,3 % erhöht worden. Nach dem Sintern sind die Festigkeit und Thermostabilität von Sinter bestimmt worden. Die höchste Festigkeit besass Sinter erzeugt mit dem grössten Sideritanteil in der Sintermischung, jedoch sind wesentliche Unterschiede in der Festigkeit nicht festzustellen. Die Thermostabilität von Sinter ist in einer modifizierten Sinderschen Anlage nach ISO Normen, bei der Temperatur von 700°C, bestimmt worden. Die Ergebnisse zeigen, dass in der Thermostabilität von Sinter keine grösseren Unterschiede bestehen. Daraus geht hervor, dass der Sideritgehalt in der Sintermischung die metallurgischen Eigenschaften von Sinter nicht wesentlich beeinflusst, sondern nur dessen Korngrossenzusammensetzung.

Auszug des Autors

UDK: 669.187.3:669-154.9

ASM/SLA: D8n, D8p

Metallurgie — Stahlerzeugung — Sonderverfahren-übrige Verfahren

J. Rodič, W. Holzgruber, M. Švajger

Heutiger Stand der Entwicklung des Elektro-Schlacke — Umschmelz-Verfahrens. Neue Produktionsmöglichkeiten und die technologische Entwicklung

Železarski zbornik 20 (1986) 2 S 29—38

Im Artikel wird eine Übersicht über die Entwicklung der ESU Anlagen gegeben, von den ersten Anfängen, als noch stabile lange Kristallisatoren mit einer Verbrauchselektrode angewendet wurden, bis heute als die ESU Anlagen mit kurzen Gleitkristallisatoren, mit der Elektrodenwechseltechnik, mit niederfahrendem Boden, und elektronischer Regelung der Eintauchtiefe von Elektroden betrieben werden.

Durch die Einführung der Hochstromschleifkontakte und die rechnerische Steuerung des ESU Prozesses ist einerseits der spezifische Verbrauch an elektrischer Energie wesentlich herabgesetzt worden, andererseits hat sich die Gleichmässigkeit der Qualität verbessert. Zu der Wirtschaftlichkeit des ESU Prozesses hat auch die Entwicklung der Technologie der Umschmelzung von langen ESU Ingots und die Anwendung von Elektroden verschiedenen Ursprunges beigetragen. Parallel zu dieser Entwicklung war es nötig die Korrektur der Schlacken und der Stahlzusammensetzung während der Umschmelzung 6 m langer Ingots zu entwickeln.

Auszug des Autors

