

Rafinacija konstrukcijskih jekel s sintetičnimi žlindrami izven peči

DK: 669.187.5.046.22
ASM/SLA: AD-a, D11n

Blaženko Koroušič, Metalurški inštitut, Ljubljana
Vlado Macur, Alenka Rodič,
Železarna Ravne

Kratek pregled dosežkov na področju uporabe trdnih in tekočih sintetičnih žlinder pri odžveplanju jekla izven peči. Opis industrijskih poskusov izdelave pretaljenih žlinder tipa $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$. Industrijski poskusi odžveplanja s sintetičnimi, pretaljenimi žlindrami na 30-tonski elektro-peči. Analiza doseženih rezultatov in kritična ocena možnosti uporabe sintetičnih žlinder za rafinacijo jekel izven peči.

1. UVOD

Tehnologija izdelave konstrukcijskih jekel v elektroobločnih pečeh sloni danes predvsem na uporabi t. i. »enožilndrnih postopkov«. Z uporabo primerne rafinacijske žlindre in pri uporabi modificirane dezoksidacijske prakse ter homogenizacije taline z inertnimi plini (argonom) je mogoče pri pravilno vodenem procesu doseči dokaj nizke vsebnosti kisika (med 30 in 60 ppm). Vendar je nizke vsebnosti žvepla v tekočem jeklu pred prebodom mogoče doseči le s primerno izbiro rafinacijske žlindre in pri zadostnem času rafinacije. Še bolj pa je pomembno dejstvo, da vsebnost sulfidnih vključkov v konstrukcijskih jeklih v predelanem stanju pri opisani tehnologiji ni povsem sorazmerna absolutni vsebnosti žvepla jekla¹. To dejstvo govori, da je mehanizem nastanka sulfidnih vključkov ozko povezan s stanjem tekočega jekla pred kristalizacijo.

Rafinacijo konstrukcijskih jekel izven peči s sintetičnimi tekočimi in trdnimi žlindrami uporabljajo že v številnih jeklarnah. Zlasti močno se je razširila uporaba tekočih sintetičnih žlinder

v Sovjetski zvezi². Na sliki 1 podajamo v kvalitativni obliki osnovne značilnosti uporabe tekočih sintetičnih žlinder in vpliv rafinacije na najvažnejše tehnološke in mehanske lastnosti konstrukcijskih jekel.

Aplikacija omenjene tehnologije je v naših jeklarnah dokaj omejena, in sicer iz več razlogov: premajhno število talilnih jeklarskih peči, specifičnost proizvodnih programov (širok asortiment jekel), neprimerna geometrija livnih jam itd.

Uporaba trdnih sintetičnih žlinder za rafinacijo jekla zunaj peči je znatno enostavnejša, čeprav je njena učinkovitost manjša.

V članku so na kratko opisani rezultati izdelave sintetičnih žlinder v industrijskih pogojih

LASTNOSTI	poslabšanje	nespremenjena	izboljšanje	znatno izboljšanje
<u>Ingot</u> površna poroznost in gasota izkoristek	↓		↑	↑
<u>Kemična sestava</u> osnovna sestava žvepla kisik dušik vodik primesi			↑	↑
<u>Čistoća</u> makroskopska mikroskopska			↑	↑
<u>Struktura ingota</u> diskontinuirane segregacije kristalne segregacije			↑	↑
<u>Mehanske lastnosti</u> natezna trdnost meja lezenja žilavost avstenitno zrna izstrajaja			↑	↑

Slika 1
Vpliv rafinacije zunaj peči s tekočimi sintetičnimi žlindrami na nekatere lastnosti konstrukcijskih jekel.

Fig. 1
Influence of refining outside the furnace by molten synthetic slags on some properties of structural steel.

* Članek predstavlja skrajšani povzetek predavanja, ki ga je imel avtor na kolokviju o raziskavah s področja sekundarnega žilavenja jekla v priredbi Metalurškega inštituta iz Ljubljane, Ljubljana, novembra 1973.

ter nekateri rezultati poskusov obdelave konstrukcijskega jekla EC-80 (16 Mn Cr 5, Č.4320) s trdno sintetično žilindro na 25-tonski elektroobložni peči v Zelezarni Ravne.

2. EKSPERIMENTALNA TEHNIKA

2.1. Izdelava žlinder

Pri izbiri kemične sestave sintetičnih žlinder smo upoštevali predvsem dejstvo, da so procesi in reakcije, ki potekajo med tekočim jeklom in žilindro (glej *slika 2*), kompleksne narave.

Obstajata torej dve možnosti:

a) uporaba pretaljenih ali nepretaljenih večkomponentnih sistemov z optimalno kemično sestavo,

b) uporaba enostavnih žilindrnih sistemov na osnovi CaO , Al_2O_3 , CaF_2 in SiO_2 .

Odločili smo se za drugo varianto, in sicer za sistem $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ z različnimi vsebnostmi SiO_2 . Na *sliki 3* je prikazana lega izbranih žlinder v binarnem sistemu $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$.

Laboratorijske poskuse izdelave omenjenih sintetičnih žlinder smo opravljali v majhni monofazni elektro peči z grafitno elektrodo in grafitnim loncem. Peč je bila priključena na 100 kW transformator.

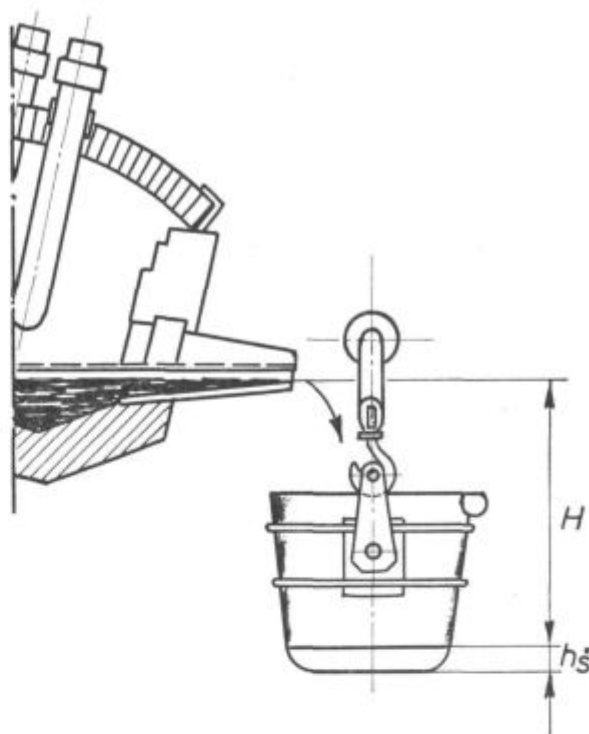
Mešanico korunda (Al_2O_3) in tehnično čistega apna (CaO) smo šaržirali v peč in nato stalili in ogreli na temperaturo okrog 200–300° C nad tališčem žlindre.

Tekočo žilindro smo določen čas homogenizirali na temperaturi okrog 1700° C in ulili v suho jekleno kokilo. Tako izdelano žilindro smo nato analizirali glede na njeno kemično in mineraloško sestavo.

Kemična sestava žlinder in njihova mineraloška sestava je bila povsem v pričakovanih mejah glede na diagram stanja¹. Analiza tehnoloških pogojev (ohmska upornost, stabilnost procesa, poraba električne energije itd.) je omogočila izbiro ustreznih pogojev za taljenje teh žlinder v industriji.

Nato smo pristopili k izdelavi večjih količin sintetičnih žlinder v trofazni elektro peči s kapaciteto okrog 100 kg/h.

Kot izhodne surovine smo uporabili aluminijev hidrat (kot vir Al_2O_3) ter apnenec (kot vir CaO).



Padanje tekočega jekla v žilindro

Premešavanje jekla in žlindre do stanja emulzije žlindre v jeklu in v določeni stopnji kovine v žilindri

Reakcije na fazni meji med žilindro in kovino. Odstranjevanje žvepla in kisika. Redukcija nekaterih elementov iz žlindre (Al)

Tvorba nekovinskih vključkov pri dodatkih dezoksidantov, njihova koagulacija in koalescencija

Slika 2

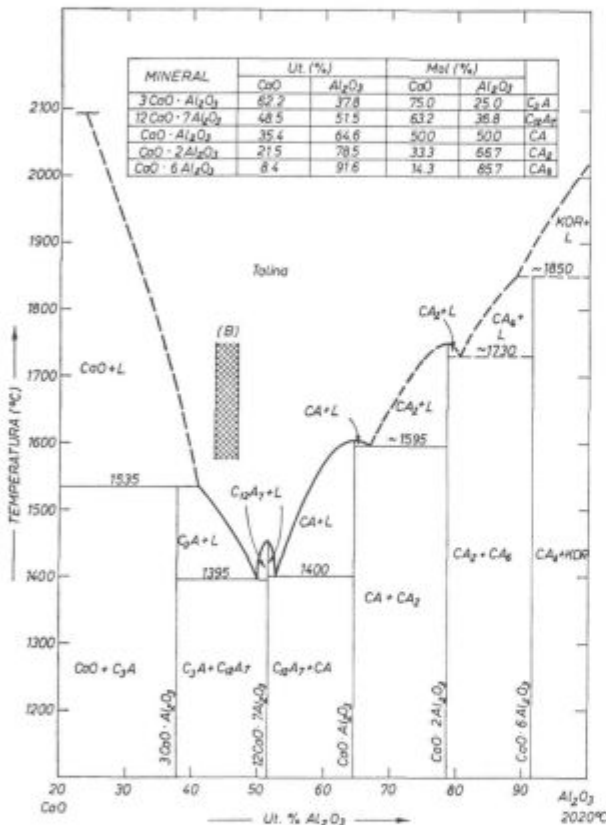
Shematska ponazoritev potekajočih procesov med rafinacijo jekla v ponvi s sintetično žilindro.

Fig. 2

Schematic illustration of processes during refining steel in ladle with a synthetic slag.

Tabela 1 — Kemična sestava pretaljenih sintetičnih žlinder

Oznaka žlindre	Kemična sestava žlindre, ut. %								Bazičnost % CaO/% SiO ₂
	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	MgO	Fe _c	S	C	Vsota	
A	52,38	43,49	2,02	0,96	0,18	0,032	0,12	99,18	25,9
B	52,29	43,06	2,56	0,98	0,10	0,045	0,02	99,40	20,4
C	51,13	43,95	2,60	0,94	0,13	0,042	0,12	98,91	19,7
D	51,59	43,93	2,72	0,99	0,16	0,027	0,02	99,43	18,7
E	51,52	43,72	3,01	0,94	0,13	0,032	0,06	99,41	17,1
F	50,96	42,80	4,20	0,83	0,16	0,034	0,08	99,06	12,1
G	49,42	45,58	5,08	0,90	0,32	0,034	0,12	99,45	9,7
I	45,14	34,35	18,09	1,91	0,14	0,09	0,02	99,84	2,5



Slika 3

Binarni sistem CaO-Al₂O₃ (B — področje uporabnosti sintetičnih žlinder).

Fig. 3

Binary system CaO-Al₂O₃ (B — region of usability of synthetic slags).

Po raztalitvi in homogenizaciji smo žlindro granulirali v vodi in nato drobili in sušili v posebni rotacijski peči. Zdrobljena žlindra je imela granulacijo pod 3 mm. Kemična sestava sintetičnih žlinder je podana v tabeli 1.

Opisana tehnologija omogoča izdelavo vseh vrst sintetičnih žlinder s predpisano (končno) kemično in mineraloško sestavo.

2.2. Rafinacija jekel na 25-tonski elektro-jeklarski peči

Cementacijska jekla tipa EC-80 predstavljajo pomembno skupino konstrukcijskih jekel. Tehnologija izdelave teh jekel v Železarni Ravne sloni na t. i. I- in K-metodi, pri kateri se tekoče jeklo meša z rafinacijsko žlindro med prebodom.

Pri naših poskusih smo zaradi lažje primerjave obeh metod (tj. standardne prakse in nove metode z uporabo sintetične žlindre) obdržali skoraj celotno tehnologijo nespremenjeno, le da smo preprečili mešanje jekla z lastno žlindro. S tem smo si želeli zagotoviti konstantne pogoje za študij reakcij med tekočim jeklom in žlindro.

Poskuse smo opravljali na 25-tonski elektro obločni peči. Pred prebodom jekla smo v ponovco šaržirali sintetično žlindro v količini okrog 10 kg/t skupaj z dodatki (CaSi, FeSi itd.).

Po končanem izlivu taline iz peči smo pričeli s prepihanjem taline z argonom, po običajni praksi za to vrsto jekla, nakar je sledilo litje v kobile.

Med celotnim procesom izdelave jekla v peči in med obdelavo jekla s sintetično žlindro smo jemali vzorce jekla in žlindre.

3. REZULTATI

Povprečna kemična sestava jekla EC-80 in pečne žlindre pred prebodom je znašala:

EC-80

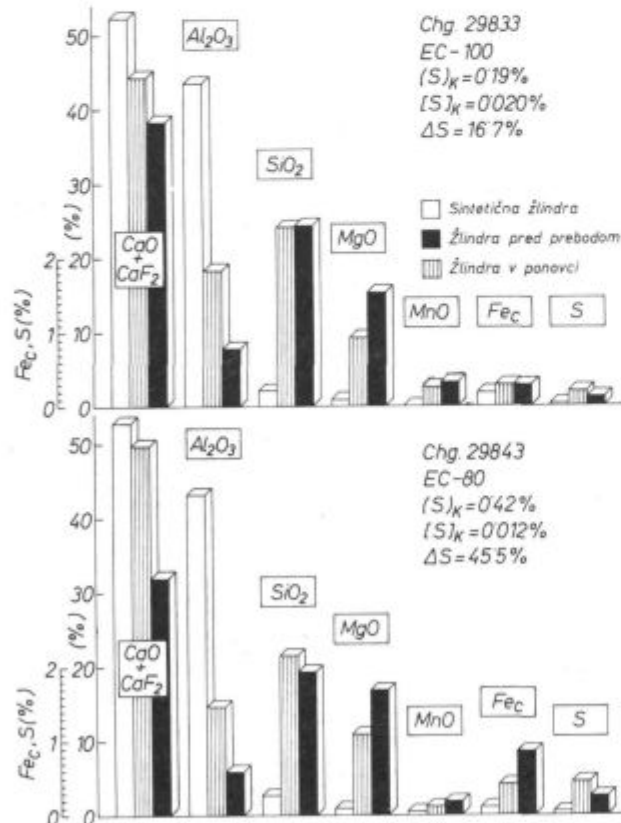
% C	0,18	% pečna žlindra:	% CaO	44	%
% Si	0,23	% T _m	= 1453° C	% Al ₂ O ₃	8
% Mn	1,25	% ΔT	= 48° C	% SiO ₂	22
% Cr	1,05	%		% MgO	13
% P	0,028	%		% CaF ₂	5
% S	0,022	%		% MnO	2,5
% Al _c	0,013	%		% Fe _c	1,1
% Al _k	0,012	%		% S	0,17
% O	0,0087	%			

Med prebodom tekočega jekla iz peči se je del pečne žlindre prenesel v ponovco in se nato mešal s sintetično žlindro. Poleg tega se je večji del silicija, šaržiranega v ponev (v obliki CaSi, FeSi), oksidiral in prešel v žlindro, ki se je nabirala na površini taline.

Med pihanjem argona se je dodani aluminij za končno dezoksidacijo deloma oksidiral in v obliki Al_2O_3 prešel v žlindro.

Povprečna kemična sestava jekla in žlindre v ponovci po obdelavi z žlindro in argonom je znašala:

EC-80		žlindra iz	
% C	0,16	% ponovce:	
% Si	0,28	% $T_m = 1418^{\circ}C$	
% Mn	1,27	% $\Delta T = 42^{\circ}C$	
% Cr	1,00		
% P	0,024		
% S	0,016		
% Al_c	0,050		
% Al_k	0,044		
% O	0,0068		
		% CaO	43
		% Al_2O_3	17
		% SiO_2	20
		% MgO	9
		% CaF_2	6
		% MnO	1,7
		% Fe_c	0,31
		% S	0,45

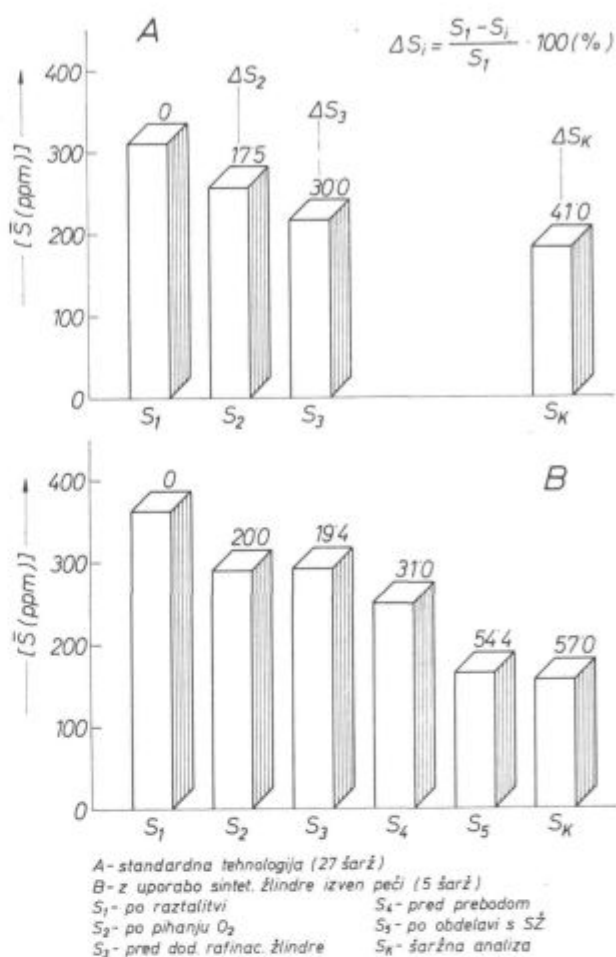


Slika 4

Kemična sestava žlinder: sintetična žlindra za rafinacijo, žlindra iz peči pred prebodom in žlindra iz ponovce po obdelavi jekla.

Fig. 4

Chemical composition of slags: synthetic slag for refining, furnace slag before tapping, and ladle slag after treatment.



Slika 5

Povprečne vsebnosti žvepla v različnih fazah izdelave jekla EC-80 na 25-tonski elektroobložni peči (Zelezarna Ravne).

Fig. 5

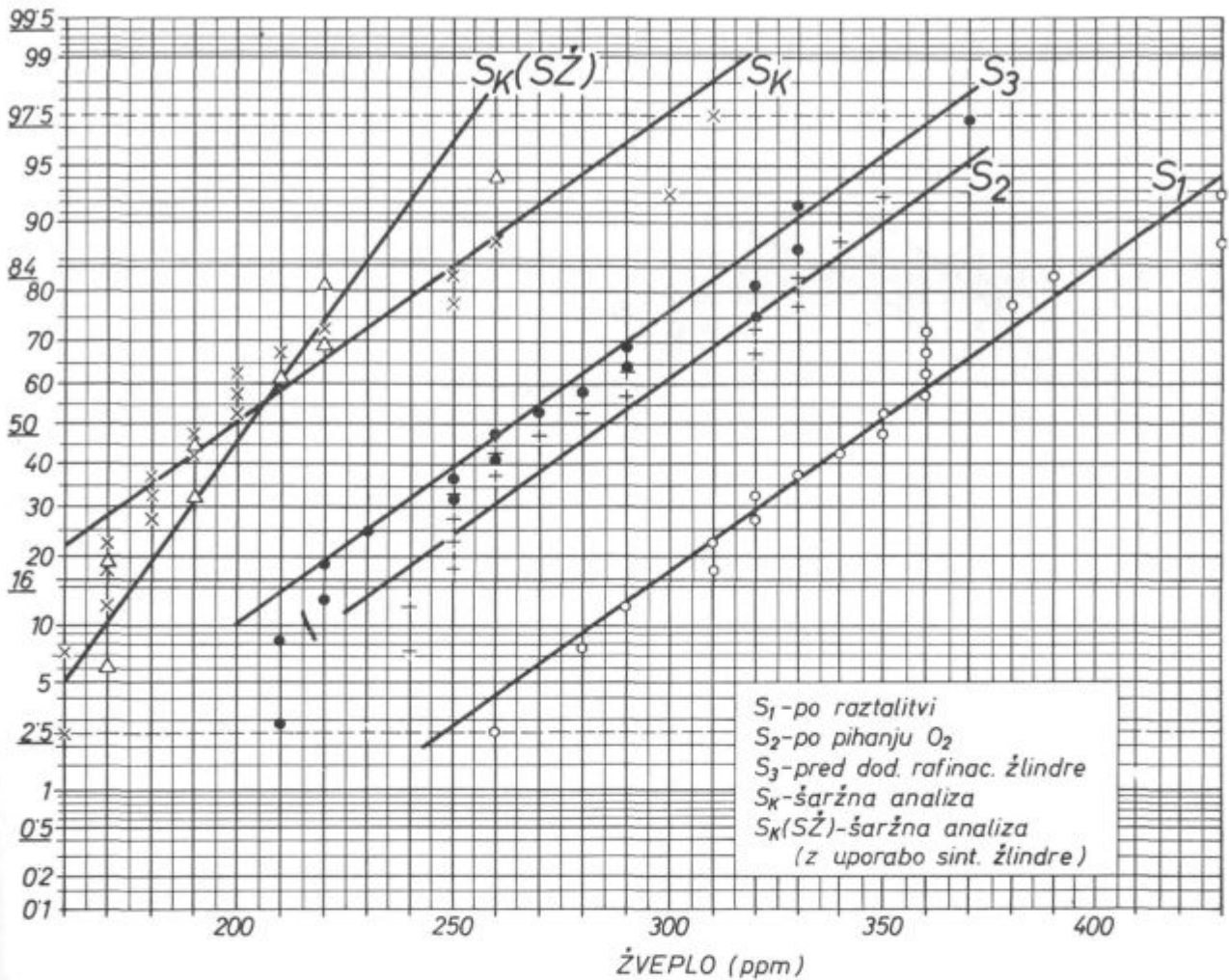
Average sulphur contents in various phases of manufacturing EC-80 steel in a 25 t electric arc furnace (Ravne steelworks).

Primerjava teh vrednosti z analognimi vrednostmi pred obdelavo s sintetično žlindro nam pokaže, da je med obdelavo taline prišlo do sprememb nekaterih elementov: fosfor (-14%), žveplo (-27%), aluminij ($Al_c = +74\%$, $Al_k = +73\%$), silicij ($+18\%$) in kisik (-22%).

Spremembo aluminija je treba pripisati dodatku aluminija med obdelavo taline z argonom, toda del aluminija je prav gotovo rezultat redukcije Al_2O_3 s silicijem po enačbi:



Jasno se opaža povečanje vsebnosti žvepla v žlindri po obdelavi s sintetično žlindro ter padec vsebnosti MnO in FeO.



Slika 6

Porazdelitev žvepla v različnih fazah izdelave jekla EC-80 na 25-tonski elektroobložni peči (Železarna Ravne).

Fig. 6

Sulphur distribution in various phases of manufacturing EC-80 steel in a 25 t electric arc furnace (Ravne steelworks).

Povprečna kemična sestava jekla EC-80 v predelanem stanju (gredica) je bila naslednja:

EC-80	% C	0,17 %
(končna sestava)	% Si	0,26 %
	% Mn	1,23 %
	% Cr	1,01 %
	% P	0,021 %
	% S	0,015 %
	% Al_c	0,032 %
	% Al_k	0,019 %

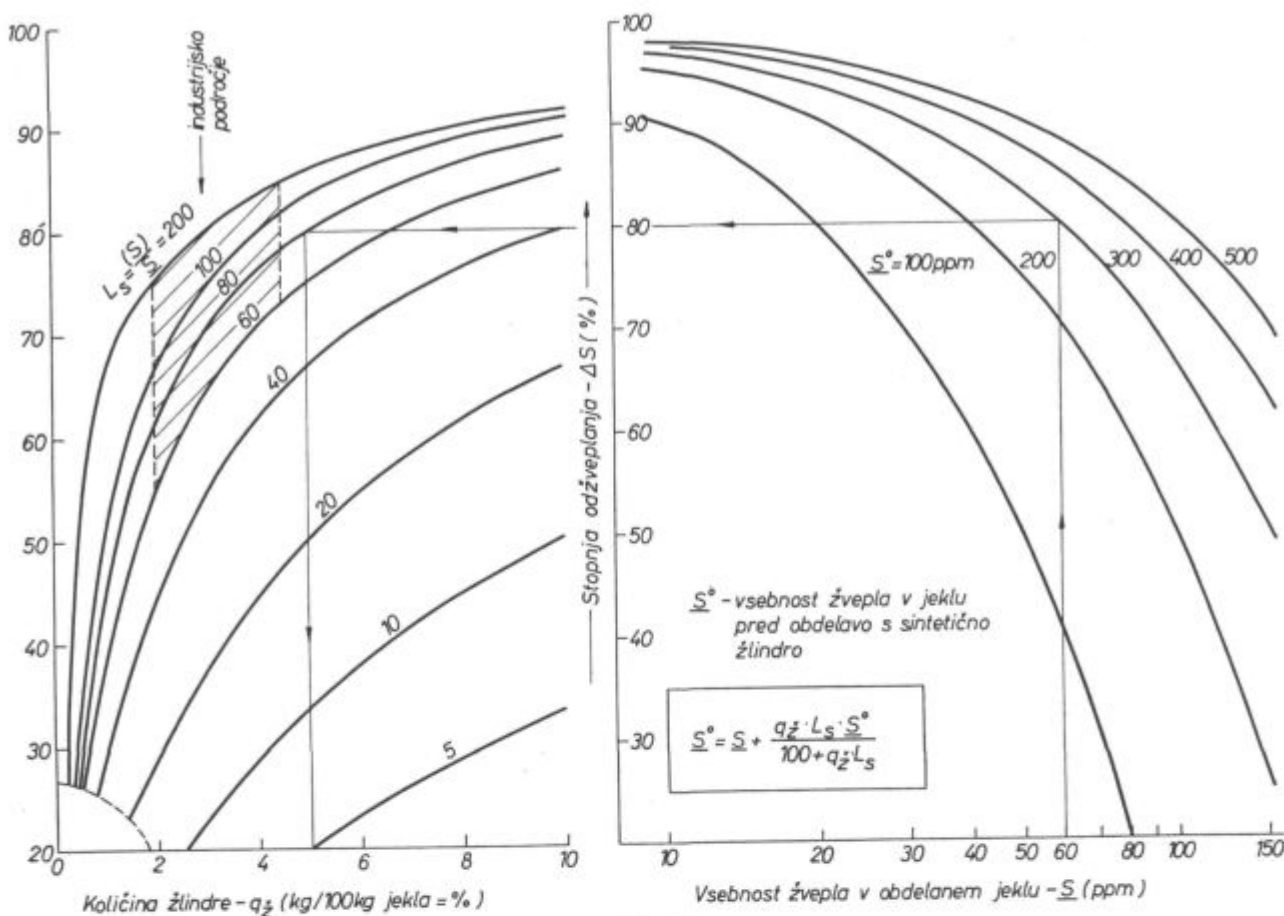
4. ANALIZA RGEZULTATOV

Podrobnejša analiza kemične sestave jekla in žlindre pred obdelavo in po njej s sintetično žlindro nam pokaže, da je med izlivom jekla iz peči in med mešanjem jekla s sintetično žlindro prišlo do znatne oksidacije silicija, dodanega v ponovco.

Slika 4 kaže primerjavo med kemično sestavo sintetične žlindre (žlindra A, glej *tabelo 1*), pečne žlindre pred prebodom in žlindre, vzete iz ponovce po obdelavi jekla s sintetično žlindro in argonom. Rezultati na *sliki 4* jasno kažejo, da je med obdelavo jekla prišlo do močnega povečanja vsebnosti SiO_2 v žlindri. Vzroke za to je iskati v delni oksidaciji silicija in v močni eroziji ognjevarnega materiala s tekočim jeklom.

Povečanje vsebnosti SiO_2 v žlindri je znatno poslabšalo pogoje za prenos žvepla iz jekla v žlindro. Toda kljub neugodnim pogojem je mogoče ugotoviti pozitiven vpliv obdelave jekla s trdno sintetično žlindro. Na *sliki 5 in 6* podajamo rezultate, ki kažejo obnašanje žvepla med izdelavo jekla EC-80 v elektro-obložni peči in med obdelavo s sintetično žlindro.

Ugotavljamo pomembno dejstvo, da obdelava jekla EC-80 s trdno sintetično žlindro ne prispeva samo k znižanju absolutne vsebnosti žvepla, tem-



Slika 7

Nomogram za izračunavanje potrebne količine žlindre za obdelavo jekla s sintetično žlindro v odvisnosti od koeficienta porazdelitve žvepla in vsebnosti žvepla pred obdelavo in po obdelavi z žlindro.

Fig. 7

Nomogram for calculation of the needed amount of slag for steel treatment with synthetic slag depending on the coefficient of sulphur distribution and sulphur content before and after the treatment by slag.

več daje tudi veliko manjše odstopanje od povprečnih vrednosti.

Nadaljnje povečanje stopnje odžveplanja jekla EC-80 pri obdelavi s trdno sintetično žlindro je mogoče doseči z izboljšanjem naslednjih pogojev:

1. Povečanje bazičnosti žlindre, oziroma koeficienta porazdelitve žvepla med žlindro in jeklom, kar je mogoče doseči s preprečitvijo mešanja sintetične žlindre s pečno žlindro ter z izoginitvijo prekomerni oksidaciji silicija ter intenzivni eroziji ognjevarnih materialov s tekočim jeklom.

2. Povečanje količine sintetične žlindre od sedanjih 10 kg/t na 20–30 kg/t.

3. Uporabo sintetične žlindre s finejšo granulacijo (zmleta žlindra).

Vpliv prvih dveh pogojev je mogoče oceniti iz termodinamičnih pogojev odžveplanja in bilance žvepla med procesom obdelave jekla s sintetično žlindro. Na sliki 7 je pokazana v nomogramski obliki odvisnost med količino dodane sinte-

tične žlindre, koeficientom porazdelitve žvepla [$L_s = (\%S) / \%S$] ter stopnjo odžveplanja^{1, 3}.

Iz diagrama je razvidno, da znaša pri količini dodane žlindre 10 kg/t jekla in pri koeficientu porazdelitve $L_s = (\%S) / \%S = 20$ –40 maksimalna stopnja odžveplanja od 28–36 %. Ti podatki se povsem ujemajo z našimi ugotovitvami.

Nadaljnji poskusi bodo pokazali, ali je mogoče z uporabo optimalne izbire in količine sintetične žlindre ter tehnologije obdelave taline doseči tako visoko stopnjo odžveplanja, da bi na račun skrajšanega časa rafinacije taline v peči kompenzirali dodatne stroške za izdelavo sintetične žlindre.

Zaključki

Uporaba trdnih, pretaljenih sintetičnih žlinder za odžveplanje jekel zunaj peči je zanimiva predvsem pri tistih kvalitetah jekel, za katere se postavljajo ostre zahteve glede vsebnosti sulfidnih, toda v nekaterih primerih tudi oksidnih in nitridnih vključkov.

Preliminarni poskusi odžveplanja cementacij-skega jekla EC-80 zunaj peči s trdno, pretaljeno sintetično žlindro tipa $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaF}_2$ so pokazali naslednje rezultate:

1. Dodatek sintetične žlindre v ponovco (v količini 10 kg/t jekla) pred prebodom taline iz peči je prispeval k znižanju vsebnosti žvepla od povprečne vrednosti 0,025 % na 0,016 % S.

2. Poleg absolutnega znižanja vsebnosti žvepla smo opazili, da obdelava s sintetično žlindro daje ožje intervale trosenja vsebnosti žvepla v končni preizkušnji.

3. Za doseg še večje stopnje odžveplanja jekla je potrebno preprečiti odnašanje žlindre (iz peči),

ki ima visoko in spreminjajočo vsebnost SiO_2 . Ravno tako je potrebno preprečiti močno oksidacijo silicija, dodanega v ponovco v obliki Ca-Si ali Fe-Si, ter erozijo ognjevarnega materiala s tekočim jeklom.

Literatura:

1. Koroušič, B. et al: Rafinacija kvalitetnih jekel s sintetičnimi žlindrami, Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani, Nal. 139, december 1973.
2. Voinov, S. G., A. G. Šalimov, A. F. Kasai, E. S. Kalinikov: Rafiniranje stali sintetičeskimi šlakami. Izd. »Metallurgija«, Moskva, 1970.
3. Vlasov, N. N. et al: K vnepečnomu obserivaniju stali, Izv. VUZ, Črna metalurgija 8 (1968) 47-49 (1898).

ZUSAMMENFASSUNG

Der moderne Einschlackenprozess der Stahlerzeugung ermöglicht bei der Anwendung aller bekannten technologischen Massregeln die Erreichung sehr niedriger Sauerstoffgehalte, aber nicht auch Schwefelgehalte.

Die Anwendung der Festen und noch besser der flüssigen synthetischen Schlacken aus dem System $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaF}_2$ gibt eine Möglichkeit für die Entschwefelung ausserhalb des Ofens.

Für unsere Versuche haben wir feste im Elektroofen erschmolzene syntetische Schlacken des Types $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ mit verschiedenem SiO_2 Gehalt angewendet. Die Schlacke ist aus dem Ofen im Wasser granuliert worden.

Die Versuche sind am 25 Tonnen Lichtbogenofen im Hüttenwerk Ravne durchgeführt worden. Die übliche Technologie der Erzeugung des Einsatzstahles EC-80 (16 MnCr 5) basiert auf dem Einschlackenprozess und intensiver Mischung des Stahles mit der Abstichschlacke.

Die synthetische Schlacke ist vor dem Abstich in einer Menge von 10 kg/Tonne der Pfanne zugegeben worden.

Chemische Analyse des Stahles und der Schlacke vor und nach der Behandlung zeigte:

1. Dass der Schwefelgehalt des Stahles durchschnittlich um 0,016 % gefallen ist, wobei der durchschnittliche Entschwefelungsgrad rund 27 % und der maximale (bei dem Verhältniss $\text{CaO}/\text{SiO}_2 = 26$) 55 % betrug.

2. Der SiO_2 Gehalt in der Pfannenschlacke nach der Stahlbehandlung betrug durchschnittlich 20 %, was mit dem Mischen der syntetischen mit der Ofenschlacke, starker Siliziumoxydation und Erosion der Pfannenausmauerung geklärt werden kann.

Der Aluminiumgehalt im Stahl vor dem Vergiessen in die Kokillen war etwas höher als bei der normalen Praxis, was sicher eine Folge der teilweisen Reduktion des Al_2O_3 durch Silizium ist.

Eine weitere Vergrösserung der Entschwefelungswirkung der synthetischen Schlacke kann durch das schlackenfreie Abgiessen des Stahles aus dem Ofen und durch eine Umänderung beim legieren mit CaSi und FeSi in der Pfanne erzielt werden.

SUMMARY

Modern single-slag processes of manufacturing structural steel enable very low oxygen contents but not always also low sulphur contents though all the known technological measures are applied.

Use of solid and even more of molten synthetic slags of $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{CaF}_2$ system offers the possibility of reduction of sulphur content outside the furnace.

In our experiments solid remelted $\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3$ synthetic slag with varied SiO_2 content was applied. Synthetic slags were prepared in a three-phase electric furnace and then granulated in water.

Experiments were made in a 25 t electric arc furnace in Ravne Steelworks. Standard technology of manufacturing EC-80 carburizing steel (16MnCr5) is based on a single-slag process by stirring the steel and the furnace slag.

Before tapping the molten steel, synthetic slag (about 10 kg per ton steel) was feeded with other additions into the ladle.

Analysis of chemical composition of steel and of slag before and after the treatment by synthetic slag showed: 1. sulphur content in steel was reduced in average to about 0.016 % (average degree of desulphurisation was about 27 %. Maximal degree of desulphurisation which was 55 % was achieved at the slag basicity CaO/SiO_2 is 26). 2. SiO_2 content in slag taken from the ladle after the steel treatment was about 20 % which can be explained only of synthetic slag was somehow mixed with the furnace slag, by high degree of oxidation of silicon added into the ladle, and by the erosion of refractory lining by molten steel.

Aluminium content in steel before casting into moulds was slightly higher than in usual practice which is very probably caused by partial reduction of Al_2O_3 by silicon.

Further increase of effectiveness of solid synthetic slag in desulphurisation of steel outside the furnace can be achieved if the furnace slag will no be pulled by the jet of molten steel, and by a partially changed way of adding Ca-Si and Fe-Si into the ladle.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Современный способ изготовления конструкционных сортов стали с одним шлаком позволяет, при соблюдении всех известных технологических мер, получить стали с низким содержанием кислорода, но не всегда низкого содержания серы.

Употребление твёрдых, ещё лучше жидких синтетических шлаков системы $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3\text{-CaF}_2$ даёт возможность уменьшить содержание серы также и вне печи.

При опытах употребляли твёрдых, переплавленный синтетический шлак типа $\text{CaO-Al}_2\text{O}_3$ с переменным содержанием SiO_2 . Этот синтетический шлак приготовлен в трёхфазной электрической печи с последующим гранулированием в воде.

Опыты выполняли в 25-ти т. электродуговой печи в Металлургическом заводе Равне. Стандартная технология изготовления стали для цементации марки (BC-80 (16 MnCr5) основывается способом с одним шлаком, перемешиванием стали с печным шлаком.

До выпуска расплавленной стали из печи в ковш загружают синтетический шлак (10 кг/т стали) а также и остальные добавки.

Химический анализ стали и шлака до и после обработки с синтетическим шлаком показал следующее:

1. содержание серы в стали уменьшалось в среднем на прибл. 0,016 % S т. е. уменьшение серы представляло в среднем около 27 % а макс. уменьшение при основности $\% \text{CaO} / \% \text{SiO}_2 = 26$, представляло 55 %;

2. содержание SiO_2 в шлаке взятого из ковша по обработке стали представляло в среднем около 20 %; это можно пояснить только как последствие перемешивания синтетического шлака с печным шлаком, с сильным окислением кремния добавленного в ковш и эрозией огнеупорного материала расплавленным металлом.

Содержание алюминия в стали до литья в изложницу было немного выше при сравнении с нормальным способом; ясно что это последствие частичного восстановления Al_2O_3 с кремнием.

Последующее увеличение эффекта твёрдого синтетического шлака для удаления серы из стали вне печи возможно достигнуть, если вполне предобрать выпуск печного шлака в струёй жидкой стали, а также некоторым изменением способа добавки Ca-Si и Fe-Si в ковш.