

Možnosti sprememb kemične sestave jekla med procesom električnega pretaljevanja pod žlindro

Milan Švajger in Janez Ranc

UDK: 669.046.54:669.187

ASM/SLA: D 8 p, D 11 n, D 11 r, D 11 a

Opisani so industrijski poizkusi dolegiranja Si, Cr in V med električnim pretaljevanjem pod žlindro Cr-Mo in Cr-Mo-V jekel. Rezultati kažejo, da je med EPŽ postopkom do določene meje možno vplivati na popravo sestave EPŽ ingota. Kot EPŽ elektrode uporabljamo ingote, lite v koki- le in izrabljene hladne valje. Elementi, ki med EPŽ proce- som radi odgorevajo, so v omenjenih elektrodah večkrat na spodnji analizi meji. To tem bolj velja za izrabljene hladne valje, ki so že bili pretaljeni pod žlindro. Statisti- čna analiza odgorov elementov je pokazala, da je EPŽ in- got večkrat analizi izmeček, kljub neoporečni sestavi elektrode. S tehnologijo dolegiranja je ta problem enosta- vno rešljiv.

UVOD

Osnovna naloga električnega pretaljevanja pod žlin- dro je doseči usmerjeno primarno kristalizacijo, ugod- no za nadaljnjo plastično predelavo ter boljšo čistost je- kla. Ker med pretaljevanjem potekajo oksidacijsko-re- dukcijski procesi, se temu primerno spremeni tudi se- stava jekla. Elementi, kot aluminij, silicij in podobni, lahko oksidirajo in prehajajo iz jekla v žlindro.

Dezoksidacija žlindre med pretaljevanjem, npr. z aluminijem, bistveno zmanjša odgor omenjenih elemen- tov, vendar je omejena zaradi predpisane vsebnosti alu- minija v jeklu. Ker je stopnja dezoksidacije vedno kom- promis med prisotnim prostim kisikom, ki ga mora alu- minij vezati, in dovoljeno vsebnostjo aluminija v EPŽ ingotu, moramo z določenim odgorom elementov, npr. silicija, računati že pri izdelavi matične šarže za EPŽ elektrode, kjer naj bo temu primerna vsebnost teh ele- mentov.

Praksa je pokazala, da imajo EPŽ elektrode in izra- bljeni valji za hladno valjanje, ki jih neposredno preta- ljujemo po EPŽ postopku, večkrat neustrezno sestavo, ki že vnaprej povzroča analizi izmeček EPŽ ingota.

Da bi takšne elektrode izločili iz proizvodnega progra- ma zaradi minimalnih odstopanj kemične sestave, bi bi- lo neekonomično.

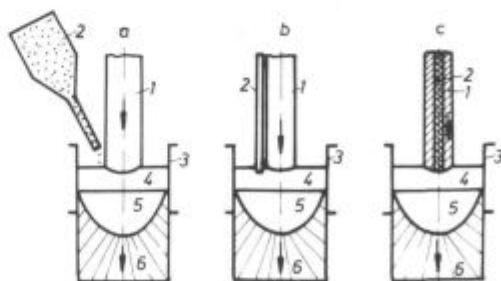
Potrebe so narekovale, da smo najprej raziskali možnosti dolegiranja silicija, kroma in vanadija, kar bo v nadaljevanju tudi opisano.

1. NAČINI IN POGOJI DOLEGIRANJA PRI EPŽ POSTOPKU

V glavnem danes poznamo tri načine dodajanja do- datkov v kristalizator med pretaljevanjem¹ (slika 1):

a) Najpreprostejši in zelo fleksibilen je način doda- janja s kontinuirnim dozatorjem. Če tega nimamo, lah- ko dodajamo tudi ročno v čim krajših časovnih interva- lih. Pri tem je zelo pomembna zrnatost in predhodna obdelava ferolegure, npr. žarjenje.

b) Dolegiranje nekega elementa z dodatno elektro- do, ki ta element vsebuje v znatni količini. Istočasno moramo upoštevati, da so v dodatni elektrodi prisotni



1 - osnovni material - elektroda 4 - žlindrina kapel
2 - dodatni material 5 - jeklena kapel
3 - kristalizator 6 - strjen ingot

Slika 1

Načini dolegiranja pri EPŽ postopku

Fig.1

Ways of additional alloying at the ESR process

Milan Švajger, dipl. inž. metalurgije, vodja raziskav za jeklar- no v železarni Ravne.

Janez Ranc, dipl. inž. metalurgije, železarna Ravne.



70 1963/86

tudi drugi elementi. Elektroda ni priključena na izvor električnega toka, lahko je ločena ali privarjena na osnovno elektrodo. Takih elektrod je lahko več in so razporejene okoli osnovne elektrode.

c) Dolegiranje je možno tudi s stržensko elektrodo. Za to potrebujemo votle elektrode, ki jih v sredi napolnimo s feroleguro primerne sestave in zrnatosti. Ta način je najzahtevnejši in se v glavnem uporablja v EPŽ jeklnah, kjer nimajo lastne proizvodnje EPŽ elektrod. V tem primeru izdelajo elektrode tako, da pločvino oblikujejo v obliko cevi, ki jo napolnijo s ferolegurami primerne sestave in zrnatosti, sintrajo in nato pretaljujejo.

Za dolegiranje pri EPŽ procesu morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji:

- da je tališče ferolegure čim bližje tališču jekla,
- da je gostota ferolegure enaka ali manjša od gostote jekla in večja od tekoče žlindre,
- če dodajamo po načinu a ali c, mora biti ferolegura primerne zrnatosti in
- način dodajanja ferolegure naj bo kontinuiren; če je diskontinuiran, moramo dodajati v čim krajših časovnih intervalih.

2. DOLEGIRANJE SILICIJA

Poizkuse dolegiranja smo izvajali med pretaljevanjem Cr-Mo jekla in smo vsebnosti posameznih elementov variirali v mejah:

C = 0,22—0,32 %	Mo = 0,40—0,60 %
Si = 0,30—0,60 %	Cu = max. 0,25 %
Mn = 0,40—0,60 %	S = max. 0,020 %
Cr = 2,60—3,50 %	P = max. 0,025 %

2.1 Analiza odgovorov elementov pri standardnem pretaljevanju brez dolegiranja

Analiza vezanih serij za odgore elementov med pretaljevanjem brez dolegiranja zajema 51 parov podatkov o sestavi elektroda — EPŽ ingot. Sestavo ingotov smo določili pri »glavi«. Parametra temperature in vsebnost kisika nista zajeta, saj se pri vpeljani tehnologiji in pri enakih pretaljevalnih pogojih le malo spreminjata ter ju ni potrebno meriti. Predpostavljamo, da je njuno variranje le subjektivne narave. V ingotih je znašala povprečna vsebnost $Al_c = 0,027\%$ in $Al_i = 0,019\%$.

Silicij od vseh elementov v sestavi jekla med pretaljevanjem najbolj odgoreva. Povprečna razlika med vsebnostjo silicija v elektrodi in ingotu je znašala pri naših poizkusih 0,087 %. Ta razlika

$$\Delta \% Si = \% Si_e - \% Si_i = 0,454 \% - 0,367 \% = 0,087 \%$$

je prikazana s porazdelitvijo v verjetnostni mreži na sliki 2. Za 95 % zanesljivost mora biti izpolnjen pogoj

$$Si_i - 1,96 \cdot S_{Si_i} \geq 0,30 \%,$$

kjer je 0,30 % spodnja predpisana meja za Si. Iz tega sledi, da mora biti povprečna vsebnost silicija v ingotu

$$Si_i \geq 0,30 \% + 1,96 \cdot S_{Si_i} \geq 0,432 \%,$$

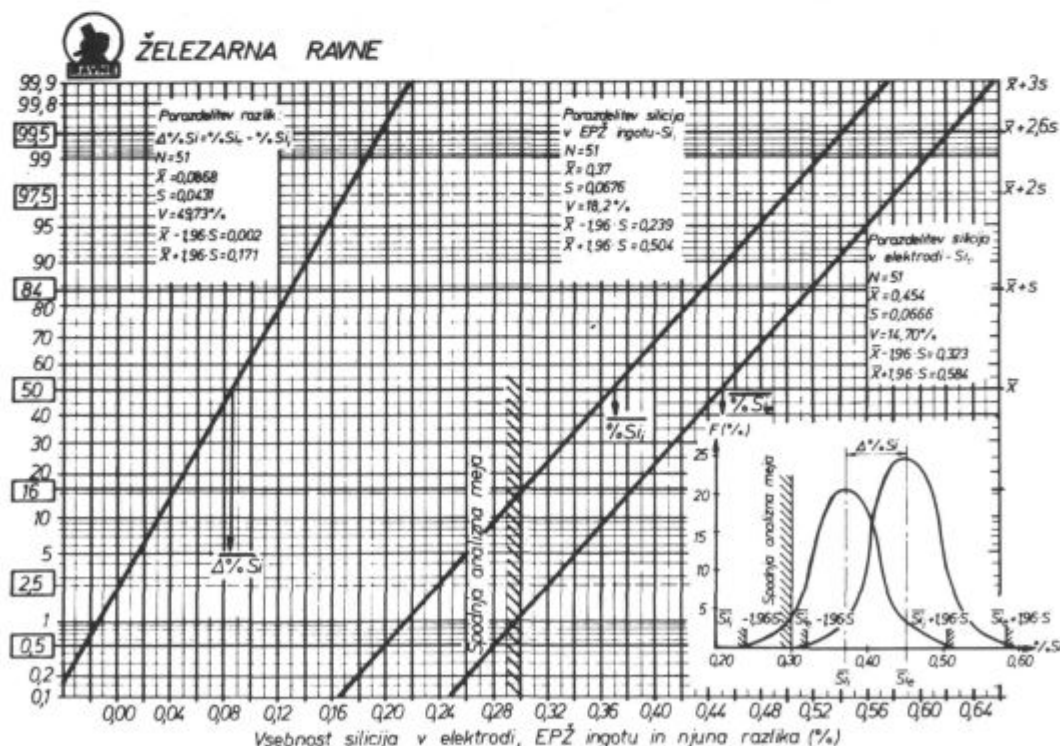
če znaša standardni odklon $S_{Si_i} = 0,0676$.

Iz povprečne razlike vsebnosti silicija v elektrodi in ingotu dobimo potrebno povprečno vsebnost silicija v elektrodi.

$$\% Si_e = \% Si_i + \Delta \% Si = 0,517 \%$$

oziroma za 95 % zanesljivost naj bo vsebnost

$$\% Si_e = \% Si_e - 1,96 \cdot S_{Si_e} = 0,386 \%$$



Slika 2

Porazdelitve vsebnosti silicija v elektrodi in EPŽ ingotu ter razlike njihovih vsebnosti

Fig. 2

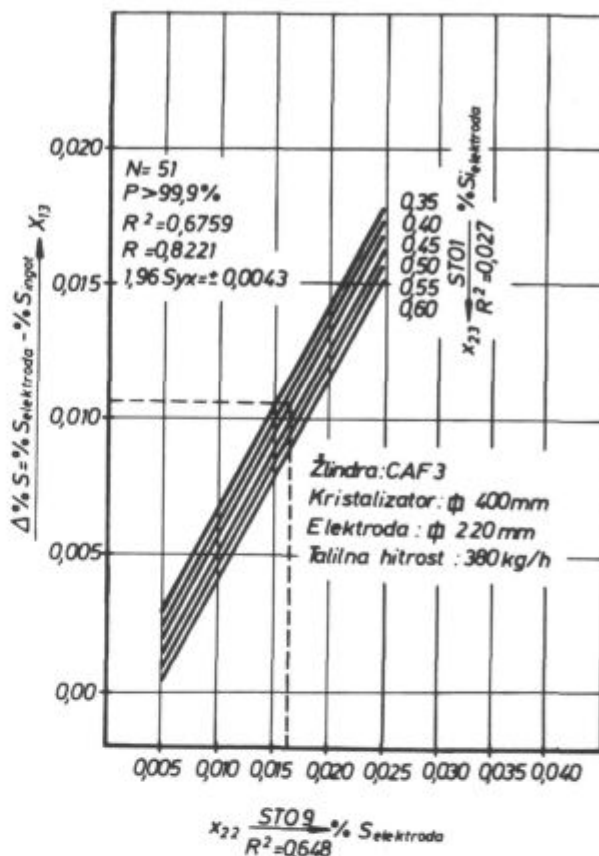
Distribution of silicon in the electrode and the ESR ingot, and the differences of contents

Za prakso torej ugotavljamo, da moramo pri vsebnosti silicija v elektrodi 0,20 do 0,60 % računati s povprečnim odgorom silicija okrog 19 %. Za toliko moramo glede na zahtevano sestavo EPŽ jekla povečati vsebnost silicija pri izdelavi elektrod.

Diagram na sliki 3, s katerim pojasnimo 67 % vseh vsebnosti silicija v ingotu, kaže, da ima na odgor silicija vpliv tudi vsebnost kroma v jeklu. Višja bo vsebnost kroma, večji bo odgor silicija. Fischer in Janke² sta ugotovila, da silicij pri vsebnosti kroma 1,2 % aktivnost kisika v jeklu znižuje, z naraščajočo vsebnostjo kroma pa jo zvišuje. Če smo prej ugotovili, da moramo imeti minimalno vsebnost silicija v elektrodi okrog 0,39 %, moramo sedaj dodati, da to velja za vsebnosti kroma do okrog 3,1 %. Če vsebnost kroma v elektrodi narašča, moramo zvišati tudi vsebnost silicija, da nam vsebnost v ingotu ne bo padla pod spodnjo predpisano mejo 0,30 %.

Tudi vsebnost žvepla je odvisna od izhodne vsebnosti v elektrodi, obenem pa še od vsebnosti silicija (slika 4). Višja vsebnost silicija v elektrodi pomeni večji odgor silicija in več SiO_2 v žlindri, s tem pa manjšo bazičnost žlindre in slabše razžveplanje.

Aluminij je kot dezoksidacijski element najtesneje povezan z odgorom silicija in mangana. Povprečno imamo v 51 ingotih vsebnost $\text{Al}_1 = 0,019$ % ob najnižji vsebnosti 0,002 % in najvišji 0,046 %. Višja bo vsebnost aluminija, manjši bo odgor silicija. Bolj za ilustracijo kot za kvantitativno uporabo nam nomogram na sliki 5 prikaže medsebojne soodvisnosti vsebnosti silicija v elektrodi in vsebnosti silicija, mangana ter topnega aluminija v ingotu. Če povežemo linije enakih vsebnosti silicija v elektrodi in ingotu, dobimo točke, ki predstavljajo linijo mejne vsebnosti topnega aluminija med odgorom in prigorom silicija. Tolikšna vsebnost topnega aluminija, ki bi nam zagotovila enako vsebnost silicija v ingotu, kot je v elektrodi, je praktično nesprejemljiva in moramo zato z določenim odgorom silicija pač računati. Nomogram kaže, da pri približno 50 % odgoru silicija nimamo več aluminija v ingotu; dejansko pa ingot, pretaljen pod žlindro CAF 3, še vedno vsebuje neko minimalno količino aluminija.

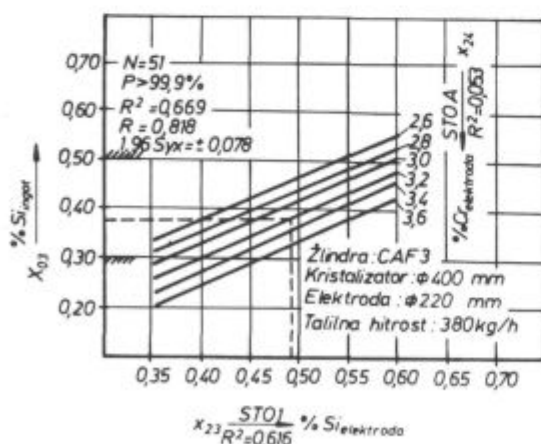


Slika 4

Odžveplanje pri pretaljevanju Cr-Mo jekla pod žlindro v odvisnosti od vsebnosti S in Si v elektrodi

Fig. 4

Desulphurisation in remelting Cr-Mo steel depending on the S and Si contents in the electrode

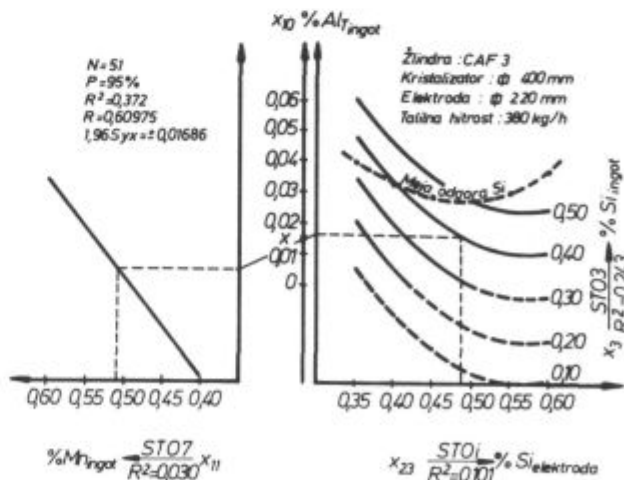


Slika 3

Vsebnost silicija v EPŽ ingotu v odvisnosti od vsebnosti Si in Cr v elektrodi

Fig. 3

Silicon contents in the ESR ingot in the relation to the Si and Cr contents in the electrode



Slika 5

Soodvisnosti med Si v elektrodi ter Si, Mn in Al_1 v EPŽ ingotu

Fig. 5

Correlations between Si in electrode and Si, Mn, and Al_1 in the ESR ingot

Vsebnosti ostalih elementov se med pretaljevanjem praktično ne spremenijo in so njihove razlike $\Delta \% E = E_c - \% E_i$ manjše od toleranc analitske tehnike.

2.2 Poizkusi

Pri manjšem premeru kristalizatorja, in s tem manjši jekleni kopeli, je dolegiranje zahtevnejše. Zato smo se odločili za format kristalizatorja $\varnothing 310$ mm in težo ingota 814 kg, s tem da smo vzeli enaka izhodišča za predpis tehnologije kot pri formatu kristalizatorja kv. 400 mm. Elektrode kv. 160 mm so vsebovale 0,32 % Si in brez dolegiranja silicija ne bi zadržali v ingotu minimalno 0,30 % Si.

Dodajali smo FeSi 75 sestave: 73,3 % Si, 0,44 % C, 0,006 % S in 6 ppm H₂. Gostota znaša 3,7 g/cm³ in interval taljenja 1210 do 1315 °C³. Način dodajanja prikazuje tabela 1.

Uporabili smo standardno žlindro CAF 3 smerne sestave: 33 % CaO, 33 % CaF₂, 33 % Al₂O₃ in največ 3 % SiO₂. Gostota žlindre znaša pri temperaturi 1700 °C 2,2 g/cm³, tališče pa ima okrog 1300 °C. Dodatek aluminija za dezoksidacijo žlindre je znašal 0,07 % talilne hitrosti. Sestavo ingota smo kontrolirali pri »nogi« in »glavi« ingota (glej tabelo 1 in sliko 6).

Tabela 1: Dodatek ferosilicija za različne taline in načrtovane oziroma dosežene vsebnosti silicija v EPŽ ingotu.

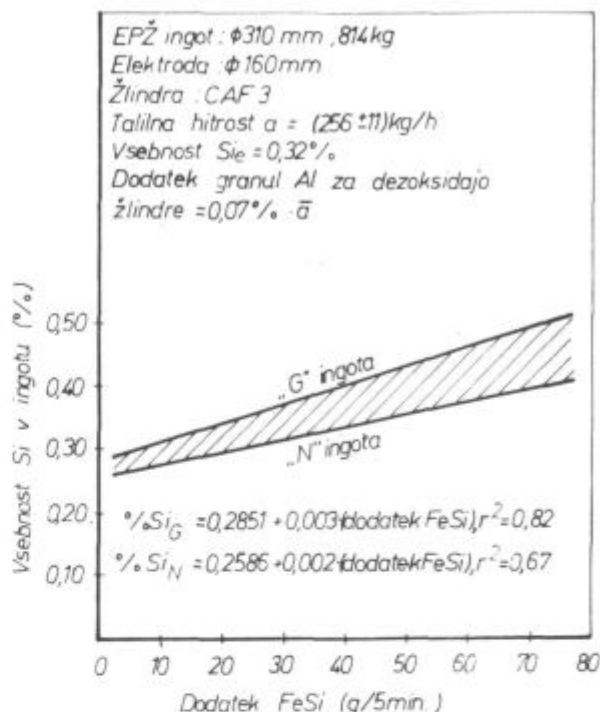
Število poizkusov	Številka taline	Načrtovana vsebnost Si v ingotu (%)	Dodatek (g FeSi/5 minut)	Povprečno dosežena vsebnost Si v ingotu (%)	»noga« »glava«
8	07176/13—20	0,37	16	0,32	0,34
13	07202/0—20	0,41	30	0,34	0,37
9	07176/0—8	0,46	45	0,36	0,42
4	07176/9—12	0,53	70	0,42	0,45

2.3 Vpliv dolegiranja na potek pretaljevanja in kakovost ingota

Za obnašanje silicija moramo vedeti, da je v normalni EPŽ praksi največji odgor silicija pri »nogi« ingota, ko je vsebnost SiO₂ v žlindri še nizka, in znatno manjši odgor pri »glavi«, ko je vsebnost SiO₂ v žlindri bistveno večja in je tendenca prehajanja silicija iz jekla v žlindro manjša.

Če bi pretaljevali brez dolegiranja silicija, bi na osnovi že omenjenih podatkov dobili povprečen odgor silicija pri »glavi« ingota 19 % ali vsebnost silicija bi znašala 0,23 %; pri »nogi« bi bila še nižja. Zaradi dodajanja ferosilicija smo dosegli povprečne vsebnosti silicija pri »nogi« in »glavi« ingota, kot prikazuje tabela 1 in slika 6.

Vidimo, da smo pri »nogi« ingota z dodatkom ferosilicija 16 g/5 minut ravno kompenzirali odgor silicija, pri »glavi« pa smo že dolegirali 0,02 % Si. V diagramu na sliki 6 nam zgornja linija predstavlja vsebnost silicija v odvisnosti od dodatka ferosilicija za »glavo« ingota, spodnja pa za »nogo« ingota. Šrafirano področje predstavlja vmesne vsebnosti silicija po višini ingota. Z dolžino ingota in dodatkom ferosilicija bo razlika vsebnosti silicija med »glavo« in »nogo« naraščala. Povprečen izkoristek ferosilicija je znašal pri »nogi« 77 % in pri »glavi«, kjer je vsebnost SiO₂ v žlindri večja in tendenca prehajanja silicija v žlindro manjša, 85 %. Torej preide v žlindrino kopel 15—23 % dodanega ferosilicija



Slika 6

Vpliv dodatka FeSi med pretaljevanjem Cr-Mo jekla na vsebnost Si v »glavi« in »nogi« EPŽ ingota

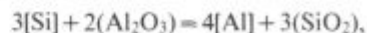
Fig. 6

Influence of the FeSi addition in remelting Cr-Mo steel on the Si content in the top and the bottom of the ESR ingot

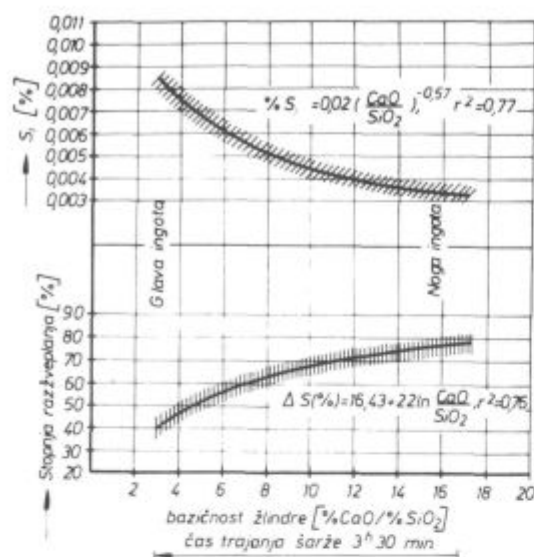
oziroma 11—17 % silicija, kar le neznatno poveča vsebnost SiO₂ v žlindri v primerjavi s pretaljevanjem brez dolegiranja. Bazičnost žlindre CAF 3 (CaO/SiO₂) znaša na začetku pretaljevanja okrog 18 in med pretaljevanjem zaradi odgora Si hitro pada. Na koncu pretaljevanja je bazičnost žlindre različna, odvisna od dolžine ingota oziroma količine pretaljenega jekla na enoto teže žlindre. Pri daljših ingotih lahko doseže bazičnost vrednost 1, v našem primeru se je gibala v mejah 3—5.

Ne glede na dodano količino ferosilicija, je znašala stopnja razžveplanja pri »nogi« ingota nad 70 % in pri »glavi« nad 40 % (slika 7). Temu primerno se je tudi spreminjala vsebnost žvepla po višini ingota od 0,004 % do 0,007 %, kar je identično pretaljevanju brez dolegiranja.

Izkoristek dodanega aluminija za dezoksidacijo žlindre je dokaj majhen in po vpeljani tehnologiji v Železarni Ravne smo ga dodajali pri vseh poizkusnih talinah v količini 0,07 % talilne hitrosti, kar znaša pri hitrosti pretaljevanja 256 kg/h 180 g Al-granul/h. Tako smo dosegli povprečne vsebnosti topnega aluminija 0,031 % pri »nogi« in 0,014 % pri »glavi« ingota. Več kot dvakrat višjo vsebnost topnega aluminija pri »nogi« ingota si razlagamo z reakcijo



ker je prehod aluminija iz žlindre v kovinsko kopel povezan z odgorom silicija⁴. Za ilustracijo imamo na sliki 8 prikazane soodvisnosti med razmerjem (SiO₂)/[Si] proti bazičnosti (CaO)/(SiO₂), topnemu aluminiju in vsebnosti (FeO + MnO). Na začetku pretaljevanja je vsebnost (SiO₂) v žlindri majhna, kar pogojuje večji od-



Ingot: Ø 310 mm, 814 kg
 Elektroda: Ø 160 mm
 Žlindra: CAF 3
 $\alpha = (256 \pm 16) \text{ kg/h}$
 $S_F = 0,014 \%$
 Dodatek Al za dezoksidacijo žlindre: 0,07 % talilne hitrosti

Slika 7

Stopnja razžveplanja Cr-Mo jekla v različnih fazah pretaljevanja

Fig. 7

Degree of desulphurisation of Cr-Mo steel in various stages of remelting

gor [Si] in višjo bazičnost žlindre. Na koncu pretaljevanja je razmerje $(\text{SiO}_2)/[\text{Si}]$ visoko in bazičnost nizka, kar povzroči manjši odgor [Si] in ob konstantnem dotoku kisika večji odgor [Al]. Z večanjem razmerja $(\text{SiO}_2)/[\text{Si}]$ raste v žlindrini kopeli tudi vsebnost (FeO) in (MnO).

Vsebnosti ostalih elementov so med pretaljevanjem z dolegiranjem silicija praktično ne spremenijo. Makro- in mikropreiskave jekla so pokazale, da se v določenem primeru lahko pojavijo napake kot posledica nepravilnega in neenakomernega dodajanja, ki ima pri manjših formatih kristalizatorja večji vpliv kot pri večjih, kjer je jeklena kopel večja.

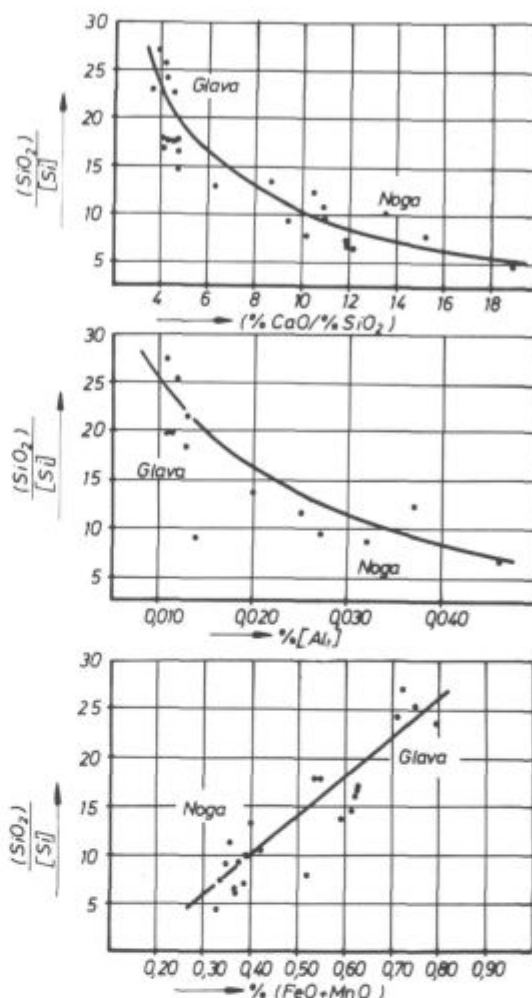
Napake se pojavijo v obliki oksidnih makrovključkov železa, silicija in kroma.

3. DOLEGIRANJE KROMA IN VANADIJA

Poizkuse dolegiranja kroma in vanadija smo izvajali istočasno med pretaljevanjem Cr-Mo-V jekla, kjer so vsebnosti posameznih elementov variirale v mejah:

C = 0,60—0,65 %	Mn = 0,40—0,70 %
Si = 0,22—1,20 %	Mo = 1,20—1,50 %
Cr = 4,00—6,00 %	S = max. 0,010 %
V = 0,50—0,80 %	P = max. 0,025 %

Jeklo pretaljujemo prvenstveno pod žlindro tipa CAF 3, vendar zaradi kemične sestave in drugih lastnosti jekla z bistveno nižjo talilno hitrostjo in stopnjo dezoksidacije kot Cr-Mo jeklo, opisano v poglavju 2.



Ingot: Ø 310 mm, 814 kg
 Elektroda: Ø 160 mm
 Žlindra: CAF 3
 $\alpha = (256 \pm 11) \text{ kg/h}$
 Dodatek Al za dezoksidacijo žlindre: 0,07 % talilne hitrosti

Slika 8

Soodvisnosti med bazičnostjo žlindre, Al, (FeO + MnO) in $(\text{SiO}_2)/[\text{Si}]$

Fig. 8

Correlations between the slab basicity, Al, (FeO + MnO), and $(\text{SiO}_2)/[\text{Si}]$

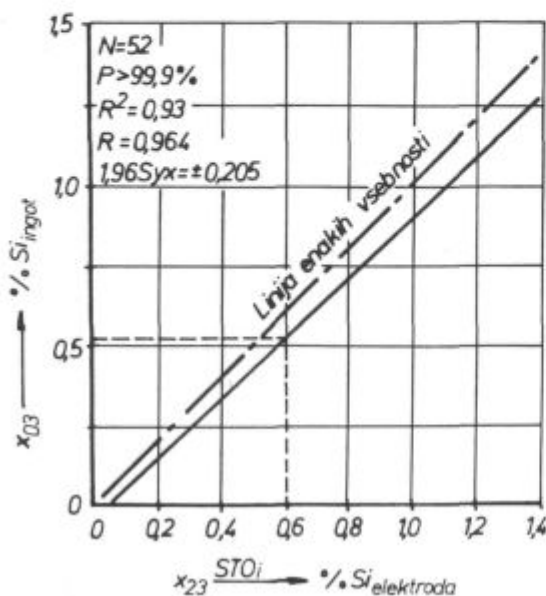
3.1 Analiza odgorov elementov pri standardnem pretaljevanju brez dolegiranja

Analiza vezanih serij za odgore elementov med pretaljevanjem brez dolegiranja zajema 52 parov podatkov o sestavi elektroda — EPŽ ingot. Sestavo ingotov smo določili pri »glavi«. Tudi tu parametra temperatura in vsebnost kisika nista zajeta, saj se pri vpeljani tehnologiji in pri enakih pretaljevalnih pogojih le malo spreminjata ter ju ni potrebno meriti.

Silicij od vseh elementov v sestavi jekla med pretaljevanjem najbolj odgoreva. Povprečna razlika med vsebnostjo silicija v elektrodi in ingotu je znašala pri naših poizkusih 0,08 %. Ob povprečni vsebnosti silicija v elektrodi 0,60 % je znašal odgor 14 %. Nižji odgor silicija proti Cr-Mo jeklu pripisujemo višjim vsebnostim Cr, V

in C. Z višjo vsebnostjo silicija v elektrodi odgor narašča, kar kaže na sliki 9 odklon premice od linije enakih vsebnosti silicija v elektrodi in EPŽ ingotu.

Povprečna razlika med vsebnostjo žvepla v elektrodi in ingotu znaša 0,005 %, čemur usteza stopnja razžveplanja 54 %. Pri tem moramo vedeti, da veljajo



Slika 9

Vsebnost silicija v EPŽ ingotu v odvisnosti od vsebnosti silicija v elektrodi

Fig. 9

Silicon content in the ESR ingot depending on the silicon content in the electrode

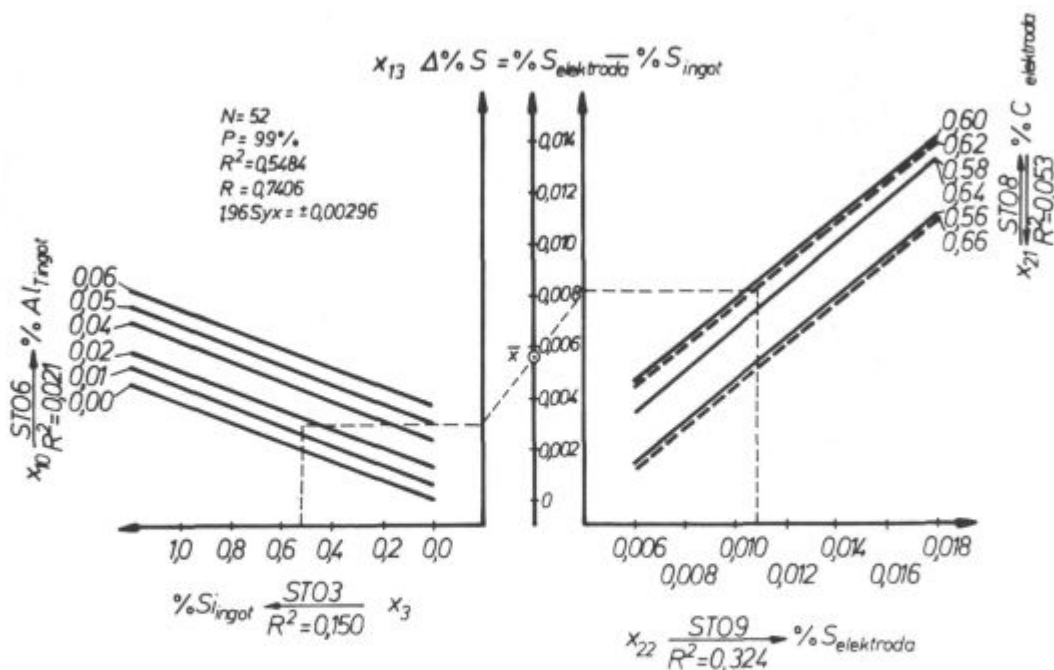
podatki za »glavo« ingota, kjer jemljemo vzorce za kemično analizo. Višja bo vsebnost žvepla v elektrodi ter silicija in aluminija v ingotu, večja bo razlika $\Delta \% S = \% S_e - \% S_i$ oziroma stopnja razžveplanja (slika 10). Višja vsebnost aluminija v ingotu pogojuje nižjo vsebnost kisika, zaradi česar silicij manj odgora in bo bazičnost žlindre večja. Ob povprečni vsebnosti $Al_i = 0,020 \%$ v EPŽ ingotu so spremembe vsebnosti ostalih elementov v elektrodi nepomembne.

3.2 Poizkusi

Za poizkuse dolegiranja kroma in vanadija smo izbrali format kristalizatorja Ø500 mm in težo ingotov 3000 kg. Za dolegiranje kroma smo uporabljali FeCr affine sestave 67,2 % Cr in 0,21 % C. Gostota je znašala 7,0 g/cm³ in interval taljenja 1520 do 1600°C³. Za dolegiranje vanadija smo uporabili FeV 80 sestave 78,6 % V in 0,08 % C. Gostota je znašala 6,2 g/cm³ in interval taljenja 1685 do 1710°C³. FeCr affine in FeV 80 smo dodajali istočasno v količinah, ki so prikazane v tabeli 2.

3.3 Vpliv dolegiranja na potek pretaljevanja in kakovost ingota

Vpliv različnih dodatkov FeCr affine na povišanje vsebnosti kroma v ingotu je prikazan na sliki 11, kjer predstavlja zgornja linija vsebnosti kroma v »glavi«, spodnja pa v »nogi« ingota. Šrafirano področje predstavlja vmesne vsebnosti kroma po višini ingota. Razlika vsebnosti kroma med »glavo« in »nogo« ingota je posledica različnega izkoristka dodanega FeCr-affine oziroma prehoda kroma v žlindrino kopel. Na začetku pretaljevanja je izkoristek FeCr affine 98 % in razmerje $(Cr_2O_3)/[Cr]$ je $1,5 \cdot 10^{-2}$, proti koncu pretaljevanja pa je izkoristek 99 % in razmerje $(Cr_2O_3)/[Cr]$ okoli $3,2 \cdot 10^{-2}$ (slika 12).



Slika 10

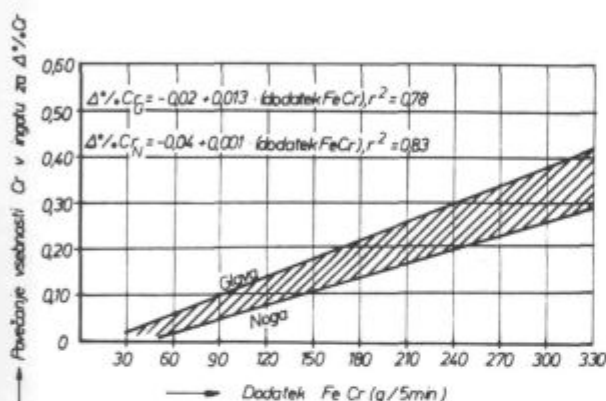
Vpliv vsebnosti nekaterih elementov na odžveplanje Cr-Mo-V jekla pri EPŽ postopku

Fig. 10

Influence of the content of some elements on the desulphurisation of Cr-Mo-V steel in the ESR process

Tabela 2: Dodatek FeCrff in FeV80 pri posameznih poizkusih dolegiranja med EPŽ — pretaljevanjem

Št. poizkusa	Talina	Vsebnost v elektrodi		Ciljna vsebnost v ingotu		Dodatek v g/5 minut	
		% Cr	% V	% Cr	% V	Fe-Crff.	FeV80
1	07314/2	5,66	0,67	5,72	0,74	40	30
2	07314/0	5,66	0,67	5,76	0,80	55	60
3	07314/1	5,66	0,67	5,86	0,80	110	60
4	07314/3	5,66	0,67	5,90	0,80	160	60
5	07318/0	5,40	0,63	5,50	0,70	55	32
6	07318/1	5,40	0,63	5,61	0,75	110	55
7	07318/2	5,40	0,63	5,79	0,80	220	80
8	07318/3	5,40	0,63	5,98	0,80	320	80



Ingot: Ø 500 mm, 3000 kg

Elektroda: Ø 350 mm

Žlindra: CAF-3

 $\alpha = 438 \text{ kg/h}$

Dodatek Al za dezoksidacijo žindre: 0,01 % talilne hitrosti

Slika 11

Vpliv dodatka FeCr med pretaljevanjem na povečanje vsebnosti Cr pri »glavi« in »nogi« EPŽ ingota

Fig. 11

Influence of the FeCr addition during remelting on the increased Cr content in the top and the bottom of the ESR ingot

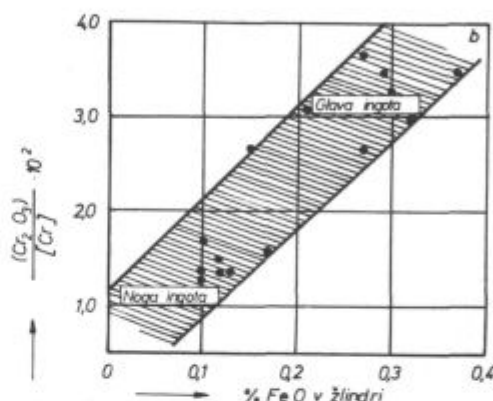
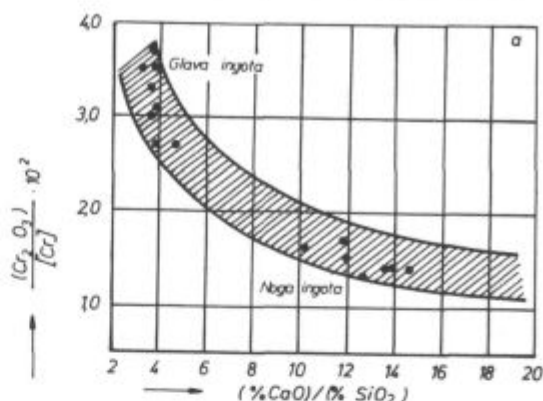
Diagram a na sliki 12 prikazuje porazdelitev kroma med žlindro in kovinsko kopeljo v odvisnosti od bazičnosti žindre, diagram b pa porazdelitev v odvisnosti od vsebnosti FeO v žlindrini kopeli. Odgor kroma je povezan z odgorom silicija; višje bodo vsebnosti SiO₂ in FeO v žlindrini kopeli, večje bo razmerje (Cr₂O₃/[Cr]).

Popolnoma analogne rezultate dobimo pri dolegiranju vanadija, kjer je izkoristek dodanega FeV 80 pri »nogi« 96 % in pri »glavi« ingota 99 %. Povprečno dobimo pri »glavi« ingota 0,02 % višje vsebnosti vanadija.

Dolegiranje kroma in vanadija praktično ne vpliva na stopnjo razžveplanja, ki je znašala pri »nogi« 70 % in pri »glavi« ingota 48 %. Makro- in mikroskopski pregled jekla ni pokazal notranjih napak, ki bi bile posledici dolegiranja (slika 13).

ZAKLJUČKI

V poročilu smo prikazali rezultate dolegiranja silicija, kroma in vanadija pri električnem pretaljevanju je-



Ingot: Ø 500 mm, 3000 kg

Elektroda: Ø 350 mm

Talilna hitrost: 438 kg/h

Žlindra: CAF-3

Dodatek Al za dezoksidacijo žindre: 0,01 % talilne hitrosti

Slika 12

Vpliv bazičnosti žindre in vsebnosti (FeO) na porazdelitev kroma med kovinsko in žlindrino kopeljo

Fig. 12

Influence of the slag basicity and (FeO) content on the distribution of chromium between the metal and slag bath

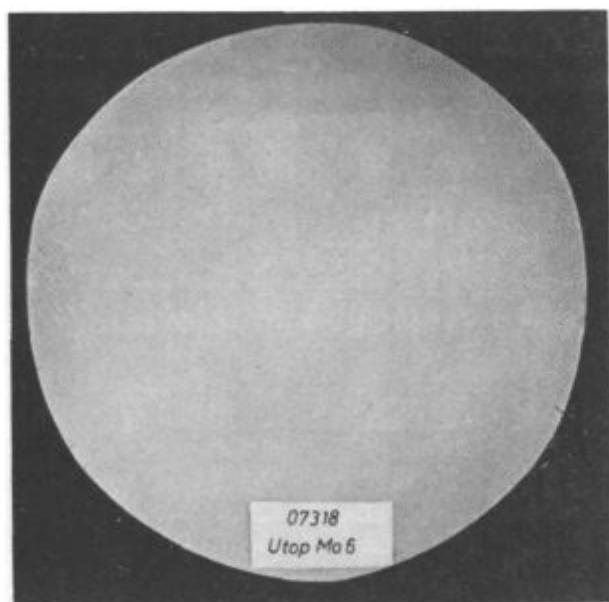
kel pod žlindro. Silicij smo dolegirali pri pretaljevanju Cr-Mo jekla iz elektrode kv. 160 mm v ingot Ø310 mm in teže 814 kg. Krom in vanadij smo hkrati dolegirali pri pretaljevanju Cr-Mo jekla iz elektrode Ø350 mm v ingot Ø500 mm in teže 3000 kg. Zanimalo nas je, kakšne posledice ima dolegiranje posameznega elementa na kakovost EPŽ ingota in na potek spremljajočih procesov pri EPŽ postopku, npr. razžveplanje. Na osnovi rezultatov lahko zaključimo:

— Dolegiranje silicija, kroma in vanadija pri EPŽ postopku je možno z določenimi omejitvami.

— Potrebna je skrbna priprava ferolegure. Granulacija naj znaša 1 do 3 mm, temperatura predhodnega žarjenja naj bo 900 °C.

— Dodajanje ferolegure naj bo kontinuirno preko avtomatske dozirne naprave ali ročno vsaj vsakih 5 minut.

— Stopnja dolegiranja je odvisna od premera kristalizatorja oziroma velikosti jeklene kopeli. Večja je kopel, večja je lahko stopnja dolegiranja. Cr-Mo jeklo smo pretaljevali v kristalizatorju Ø310 mm in dolegirali silicij za 0,18 %. Cr-Mo-V jeklo smo pretaljevali v kristalizatorju Ø500 mm in dolegirali krom za 0,50 % ter



Slika 13

Izgled jedkalne plošče Cr-Mo-V jekla, pretaljenega po EPŽ postopku z dolegiranjem Cr in V

Fig. 13

Appearance of etched macrospecimen of Cr-Mo-V steel remelted by the ESR process and additionally alloyed with Cr and V

vanadij za 0,17 %. Pri dolegiranju silicija so se v dveh primerih pojavili oksidni makrovključki kot posledica nepravilnega dodajanja (granulacija, termična obdelava in količina dodanega ferosilicija).

ZUSAMMENFASSUNG

Industrieveruche für das Zulegieren von Si, Cr und V während der Elektroschlackeumschmelzung der Cr-Mo und Cr-Mo-V Stähle werden beschrieben. Die Versuchsergebnisse zeigen, dass es während des ESU Verfahrens bis zu einer gewissen Grenze möglich ist die chemische Zusammensetzung des ESU Blockes zu korrigieren. Als ESU Elektroden werden in Kokillen gegossene Blöcke und abgenutzte Kaltwalzen verwendet. Die Elemente, welche während des ESU Verfahrens

— Dolegiranje silicija le neznatno poveča vsebnost SiO_2 v žlindri in praktično ne vpliva na stopnjo razžveplanja.

— Dolegiranje kroma in vanadija na spremembo ostalih elementov med pretaljevanjem ne vpliva. Izkoristek pri dolegiranju je tolikšen, da le neznatni delež ferolegure preide v žlindro.

— Vsebnosti posameznih elementov so po dolžini ingota različne, kar je pogojeno z majhno količino žlindre in dolžino ingota. Razlike so pri pretaljevanju ingotov dolžine 6 m temu primerno večje. Raziskave so nakazale različne možnosti za odpravo teh razlik, vendar je v industrijski praksi skoraj nemogoče upoštevati vse vplivne parametre. Naš cilj je z nadaljnjimi raziskavami razviti dinamičen model računalniškega vodenja EPŽ procesa, ki bo poleg že razvitega modela vodenja električnih parametrov v toku celotnega časa pretaljevanja dajal navodila za popravo sestave jekla in žlindre, tako da bodo razlike po dolžini ingota minimalne.

Literatura:

1. V. Prosenc: Beeinflussung der Gefügeausbildung beim Elektro-Schlacke — Umschmelzen von Stahl, Dr. — Ing. — Dissertation, Technische Universität Hannover, 1975.
2. W. Fischer und D. Janke: Einfluss von Kohlenstoff, Silicium, Aluminium oder Titan auf die Sauerstoffaktivität in legierten Stahlschmelzen, Archiv für das Eisenhüttenwesen, 47 (1976) 10, str. 589—594.
3. E. Plöschinger und O. Etterich: Elektrostahlerzeugung, 3. izdaja, Verlag Stahleisen M. B. H./Düsseldorf, 1979.
4. B. Koroušić: Prispevek k termodinamiki reakcij, ki nastopajo pri EPŽ procesu, ŽZB, 14 (1980) 1, 2, str. 65—72.
5. J. Ranc: Diplomski naloga, VTO Montanistika Univerza E. Kardelja v Ljubljani, 1982.

SUMMARY

Industrial trial with alloying Si, Cr, and V to Cr-Mo, and Cr-Mo-V steel in the electros slag remelting is described. The given results show that composition of the ESR ingots can be changed to a certain degree during the ESR process. As ESR electrodes, the ingots cast into moulds or scrap cold-rolling rolls are used. The elements in which losses occur during the ESR process are in the mentioned electrodes often on the low-

abbrennen, sind in den Elektroden an der unteren Analysengrenze. Dieses gilt besonders für die abgenutzten Kaltwalzen die schon einmal unter der Schlacke umgeschmolzen worden sind. Die statische Auswertung der Abbrände von Elementen zeigte, dass ein ESU Block der chemischen Analyse nach ein Auswurf sein kann, trotz der einwandfreien chemischen Zusammensetzung der Elektrode. Durch die Technologie der Zulegierung ist dieses Problem einfach gelöst worden.

er analytical limit. This is still more valid for the scrap rolls which were already once remelted in the ESR process. Statistical analysis of the element losses showed that an ESR ingot is frequently rejected due to the composition though the electrode had faultless composition. By alloying this problem can be simply solved.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Дано описание промышленных опытов присадки легирующих элементов Si, Cr и V во время электрического плавки под шлаком Cr-Mo и Cr-Mo-V сталей. Рассмотрены конечные итоги опытов, которые показывают, что во время ЭСП способа можно до определенного предела влиять на корректуру состава слитка ЭСП-а. Как электроды употреблены слитки отлиты в изложницы или же израсходованные холодные валки. Во время процесса ЭСП-а замечено, что обыкновенно выгорание элементов в электродах происходит когда их содержание в упомяну-

тых электродах находится в нижних аналитических пределах. Это в особенности имеет значение при израсходованных валков, которые уже были употреблены при переплаве под шлаком. Статистический анализ выгорания отдельных химических составных элементов электродов показал, что слиток ЭСП-а может часто оказаться браком несмотря на правильный химический анализ электрода. С применением технологии присадки легирующих элементов этот вопрос можно решить весьма простым способом.