

Alojz Prešeren, dipl. inž.
Metalurški inštitut, Ljubljana

DK: 669.14.018.462

669.046.546.2

ASM/SLA: D11r, D11n

Vpliv izdelavne tehnologije na dezoksidacijski potencial in intenzivnost razžveplanja

Primerjave izdelavne tehnologije za cementacijska jekla med klasičnimi in modificiranimi postopki v obločni E peči.

Zakovitost odnosov med [C], [O] in —č— v fazi izkuhavanja, med [O], [Al], in —č— v preostalem rafinacijskem času, med [O] v talini pred izpustom in ([O] po izkuhavanju, med [O] po izkuhavanju in [O] po difuzijski dezoksidaciji, med [O] v jeklu in [O] pred izpustom oz. [O] po izkuhavanju.

Vrednotenje vplivnih tehnoloških parametrov na intenzivnost razžveplanja in primerjava med posameznimi tehnologijami.

Nujnost uvajanja sintetičnih visokoaktivnih žlinder za povečanje intenzivnosti razžveplanja pri modificiranih tehnologijah.

UVOD

Osnovni principi klasične tehnologije izdelave kvalitetnih jekel po obločnem elektro postopku so obseženi v izdatni oksidaciji, krajši fazi izkuhavanja in dalj časa trajajoči defuzijski dezoksidaciji s končno dezoksidacijo tik pred izpustom oz. v livni ponvi. Z učinkovitim žilavenjem želimo doseči izdaten oksidacijski potencial in z njim kinetiko metalurških reakcij, visoko temperaturo taline in dobro homogenizacijo. Z izkuhavanjem po oksidaciji se znižuje količina prostega kisika v talini.

Po določenem času se more doseči praktično ravnotežna vrednost produkta $[C] \times [O]$.

Medtem, ko je znižanje SiO_2 v talini v omenjenem času neznatno, se more Al_2O_3 znižati preko 50 %. Z dodatkom določene količine aluminija ob začetku izkuhavanja vplivamo tudi na znatno znižanje SiO_2 .

Perioda difuzijske dezoksidacije z dodatkom reduktivne mešanice (SiMn, FeMn, FeSi, CaO, CaF₂

in C) traja normalno 50—70 minut. Njen pomen je dvojen: znižanje količine prostega [O] in povečanje razžveplanja. Znižanje glavnih oksidov v talini je pri SiO_2 neznatno, pri Al_2O_3 obsežnejše.

Današnja tehnologija izdelave kvalitetnih jekel vse bolj odstopa od zamudne klasične tehnologije. V znatno krajšem skupnem rafinacijskem času skušamo doseči zadovoljiv dezoksidacijski učinek in dovolj obsežno razžveplanje z obarjalno dezoksidacijo z Al, znatno višjo temperaturo po oksidaciji, smotrnejšimi dodatki apna in talil ter uporabo sintetičnih žlinder.

Vrednotenje praktičnih ukrepov za forsirani postopek zahteva podrobno tehnološko analizo posameznih izdelavnih faz. Ta naj omogoča sestavo optimalnega tehnološkega regulativa za določeno skupino kvalitetnih jekel.

PROGRAM RAZISKAV

V 10, 25 in 60 t E peči smo izdelali večje število šarž kvalitete EC 80, EC 100, ECMo 100 po klasični tehnologiji in dveh modificiranih tehnologijah, ki sta bili v seriji poskusnih tehnologij ocenjeni za optimalni z ozirom na vrednotenje tipov vključkov A, B, C in D.

Pri vseh poskusnih šaržah smo zasledovali vpliv tehnoloških parametrov na:

- gibanje količine kisika v posameznih izdelavnih fazah
- obseg razžveplanja v istem času
- odnose med kisikom, razžveplanjem in vrednotenjem reakcijske sposobnosti reduktivne žlindre (pri klasični tehnologiji)
- gibanje količine glavnih oksidov Al_2O_3 , SiO_2 in Cr_2O_3 .

Z ocenitvijo in primerjavo dobljenih rezultatov ter verjetnim mehanizmom kinetike tvorbe in izločanja dezoksidacijskih in sekundarnih oksidov

smo sestavili verjetne odnose, ki pojasnjujejo določene tehnološke zakonitosti, katerim sledijo klasična in modificirane tehnologije.

1. Klasična tehnološka praksa

Tehnološka značilnost je zajeta v oksidaciji z naknadnimi 30—40 min. izkuhavanjem, v odstranitvi žilindre, dodatku »na golo« SiMn, dodatku reduktivne mešanice iz CaO + CaF₂ + C + FeSi v količini 2 % od teže šarže in trajanju difuzijske dezoksidacije korog 70 min. 40 min. pred izpustom sledi dodatek FeCr + FeMn, dodatek kosovnega FeSi 10—15 minut pred izpustom, 3—6 min. pred izpustom pa dodatek Al za končno dezoksidacijo.

Dezoksidacijski potencial

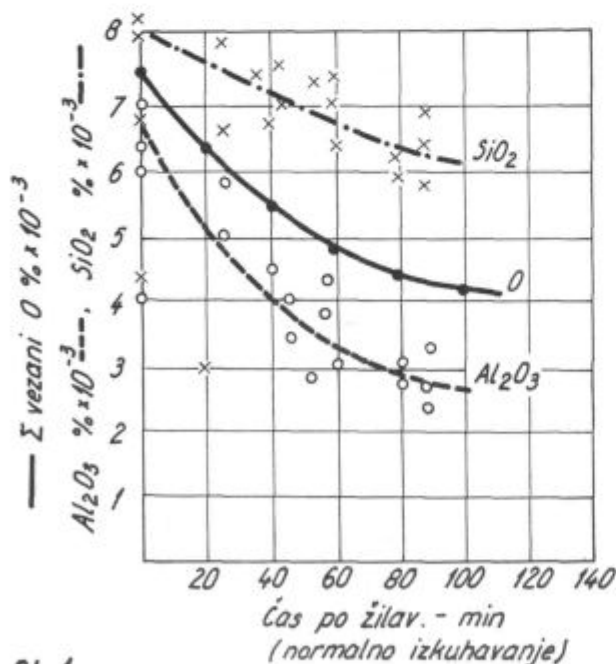
Med izkuhavanjem po oksidaciji se neodvisno od količine kisika ob koncu oksidacije znižuje količina prostega [O] v talini po enačbi:

$$[O] \% = K_1 \times \frac{1}{C} \times \frac{1}{\check{c}}$$

Pri npr. 0,2 % C je v 40 min. izkuhavanja okrog:

$$[O] \% = 0,115 \times \frac{1}{0,2} \times \frac{1}{40} = 0,0144 \%$$

Med izkuhavanjem v omenjem času se zniža SiO₂ od poprečno 0,008 % na 0,007 %, Al₂O₃ od 0,007 % na 0,004 %, količina vezanega [O] znaša 0,0055 % (sl. 1). Količina skupnega [O] v talini znaša približno (0,0144 + 0,0055) = 0,0199 %.



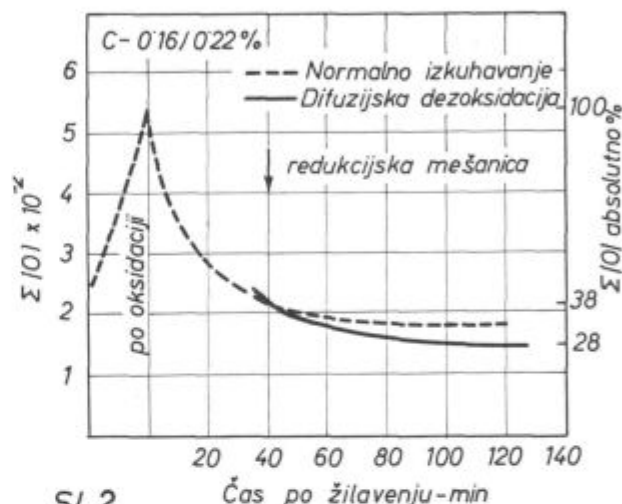
Sl. 1

Slika 1
Vpliv časa izkuhavanja na znižanje količin Al₂O₃, SiO₂

Če je statistična količina skupnega [O] ob koncu oksidacije (pri poprečno 0,012 % C/min.) okrog 0,04 %, znaša znižanje količine kisika z izkuhavanjem približno:

$$\frac{(0,04 - 0,0199) \cdot 100}{0,04} = 50 \%$$

Z naknadno difuzijsko dezoksidacijo v času 70 minut se skupni kisik zniža poprečno na 0,013 %, t. j. nadaljnjih (0,0199—0,013) · 100/0,04 = 17 %. Dezoksidacijski potencial je torej v času normalnega izkuhavanja po oksidaciji okrog 3 × večji kot med časom difuzijske dezoksidacije (sl. 2).



Sl. 2

Slika 2
Vpliv časa po žilavenju na znižanje skupnega kisika

Znižanje SiO₂ v času difuzijske dezoksidacije je neznatno, znižanje Al₂O₃ pa od poprečno 0,0035 % na okrog 0,0015 %. Zaslédovanje odnosov [O]_D : [O]_{iz} (kisik po difuzijski dezoksidaciji : kisik po izkuhavanju) dovoljuje optimalno vrednost 0,63 do 0,65 pri C 0,16/0,22 % in 60—80 min. difuzijske dezoksidacije. Večja vrednost poudarja slabšo kvaliteto reduktivne žilindre in obratno.

Količina skupnega [O] v talini pred izpustom [O]_I je funkcija skupnega [O]_D ob koncu difuzijske dezoksidacije. Zaslédovanje rezultatov dovoljuje odnos:

$$[O]_I \% = 0,64 \cdot [O]_{iz} = [O]_D$$

Ker sledi 6 min. pred izpustom dodatek 0,06 % Al, se odnosi spremenijo:

$$[O]_I \% = 0,47 [O]_D \% = 0,47 \times 0,64 \cdot [O]_{iz} = 0,3 [O]_{iz}$$

Kalkulacijska količina skupnega [O]_I v izdelanem jeklu sledi obrazcu:

$$[O]_I \% = 0,0035 + 0,14 [O]_D = 0,0035 + 0,14 \cdot$$

$$\frac{O_I}{0,47} = 0,0035 + 0,3 [O]_I = 0,0035 + 0,3 \cdot$$

$$0,3 \cdot [O]_{iz} = 0,0035 + 0,09 [O]_{iz}$$

Pri uporabi obrazca za kalkulacijo količine prostega [O] v jeklu sledi:

$$[O]_j \% = 0,0035 + 0,09 \times \left[\left(K_1 \times \frac{1}{C} \times \frac{1}{\xi} \right) + 0,0055 \right]$$

Pri 0,2 % C in 40 min. izkuhavanju je kalkulacijska količina skupnega [O] v jeklu:

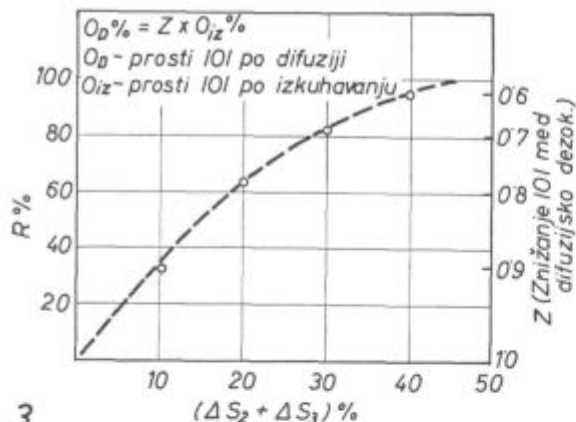
$$[O]_j \% = 0,0035 + 0,09 \left[\left(0,115 \times \frac{1}{0,2} \times \frac{1}{40} \right) + 0,0055 \right] = 0,0053 \%$$

Razžveplanje

Ugotavljamo, da znaša obseg razžveplanja v normalnem času (70 min.) dejstevovanja reduktivne žindre in izpusta med 28 in 48 %, medtem ko je pri 40 min. trajanju te periode le 15–20 % odžveplanja.

Med oksidacijo je ΔS_0 do 25 %, med izkuhavanjem je ΔS_1 okrog 8–12 %, med difuzijsko dezoksidacijo je ΔS_2 okrog 10–12 %, med izpustom ΔS_3 15–30 %. Odžveplanje je torej med dejstevanjem reduktivne žindre relativno skromno, med izpustom pa je odvisno od kvalitete reduktivne žindre in mehanskih prilik.

Na osnovi te predpostavke smo sestavili odnose med obsegom odžveplanja in zmanjšanjem količine prostega [O], reakcijsko sposobnost reduktivne žindre pa ocenili s faktorjem R.



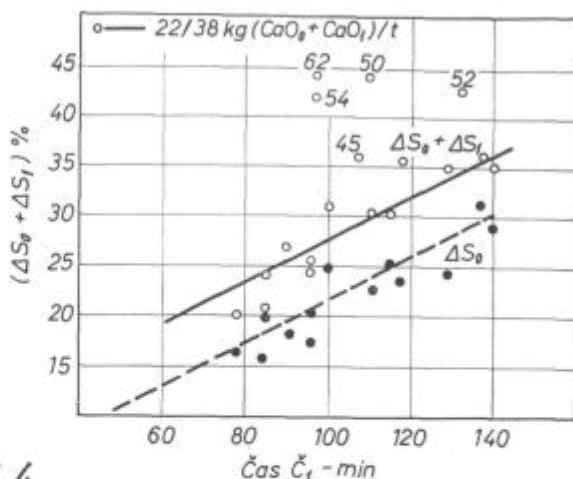
Sl. 3

Slika 3
Vpliv reakcijske sposobnosti reduktivne žindre na obseg razžveplanja in znižanje kisika

Ce postavimo za najvišjo stopnjo ΔS vrednost $R = 100 \%$, v začetku te faze pa $R = 0 \%$, potem sledijo odnosi med [O], ΔS in R, kot je prikazano na sliki 3.

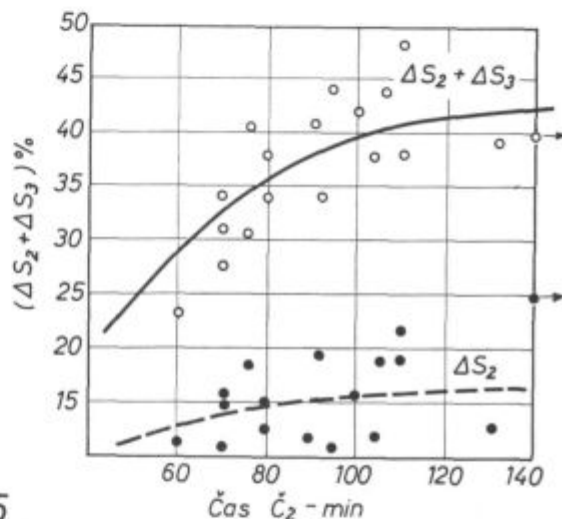
Kvaliteta reduktivne žindre je odvisna od temperature taline, od količinske in časovne razdelitve dodanega apna in jedavca.

Čas \check{c}_1 (oksidacija + izkuhavanje) in \check{c}_2 (čas difuzijske dezoksidacije) sta vplivna faktorja na obseg ΔS_0 , ΔS_1 , ΔS_2 (+ ΔS_3) (sl. 4, 5).



Sl. 4

Slika 4
Odnosi med dodatkom apna, časom reagiranja in obsegom razžveplanja (čas oksidacije + izkuhavanja)



Sl. 5

Slika 5
Odnosi med časom reagiranja dodatka apna in obsegom razžveplanja (čas po izkuhavanju do izpusta) pri reduktivni žindri

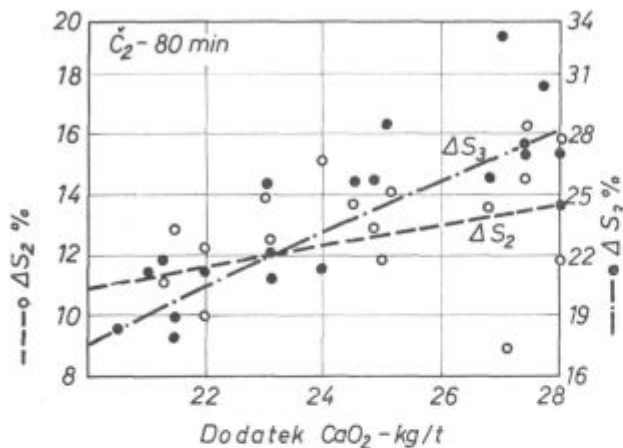
Povečanje dodatka $\text{CaO}_0 + \text{CaO}_1$ vpliva na porast $\Delta S_0 + \Delta S_1$.

Povečanje dodatka CaO_2 vpliva v manjši meri na porast ΔS_2 , v večji meri pa na ΔS_3 (sl. 6).

Medsebojno vrednotenje dobljenih rezultatov dovoljuje obrazec za kalkulacijo ΔS v posameznih tehnoloških fazah.

$$(\Delta S_0 + \Delta S_1) \% = (\text{CaO}_0 + \text{CaO}_1) \cdot F_{\text{CaO}_1} \cdot K \cdot F_{\text{CaO}_1} \times \frac{S_1 \%}{3} \times F_{\check{c}_1} \times {}^\circ\text{C} \cdot F_{\text{C}}$$

$$(\Delta S_2 + \Delta S_3) \% = \text{CaO} \cdot F_{\text{CaO}_2} \cdot K \cdot F_{\text{CaO}_2} \times \frac{S_2 \%}{3} \times F_{\check{c}_2} \times {}^\circ\text{C} \cdot F_{\text{C}}$$



Sl. 6

Slika 6

Vpliv količine dodanega apna na obseg razžveplanja (reduktivna žilindra)

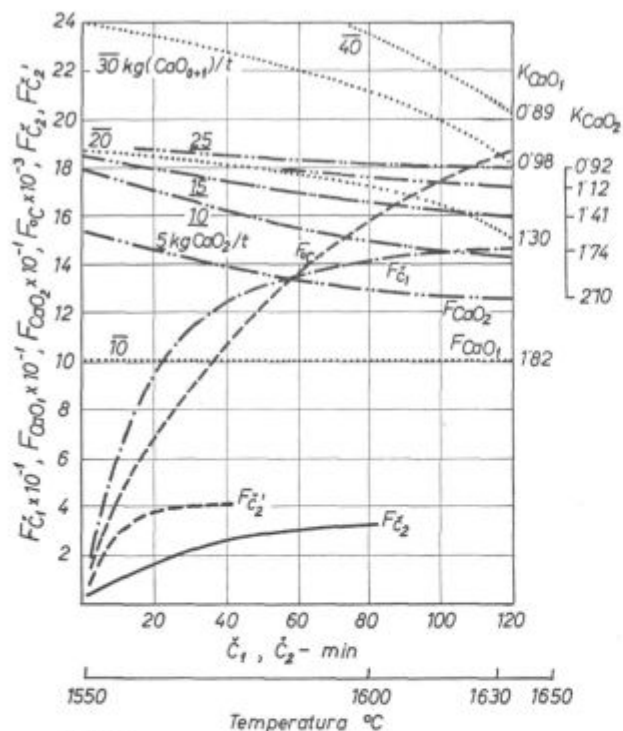
S_1 — količina žvepla v 1. probi,

S_2 — količina žvepla ob začetku difuzijske dezoksidacije

F_{CaO_1} , F_{CaO_2} — faktor učinkovitosti dodanega apna pri določeni temperaturi taline

$K \cdot F_{CaO_1}$, $K \cdot F_{CaO_2}$ — korekturni faktor za določeni dodatek apna (sl. 7).

\check{c}_2 , \check{c}_2' — rafinacija z in brez dif. dezoks.



Sl. 7

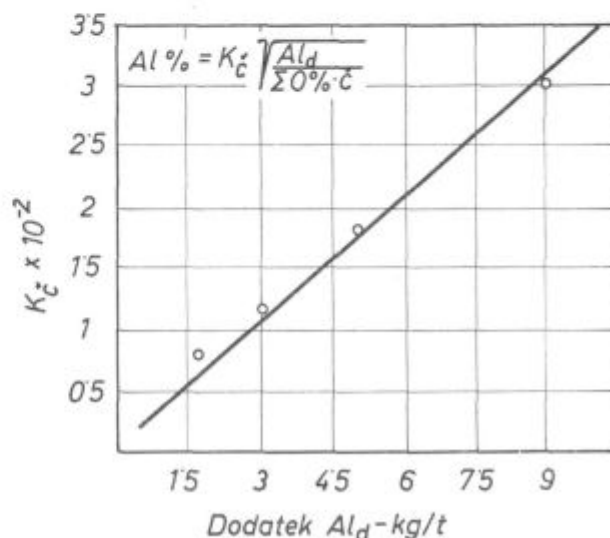
Slika 7

Vrednosti faktorjev za kalkulacijo obsega razžveplanja v posameznih tehnoloških fazah

UČINKOVITOST DODATNEGA Al

Zasledovanje odnosov med vsebnostjo kislinotopnega $[Al]_t$, dodatkom Al_d skupnim $[O]$ v talini pred dodatkom Al_d in časom \check{c} od dodatka Al_t do izpusta dovoljujejo sledeči obrazec za kalkulacijo vsebnosti $[Al]_t$ v izdelanem jeklu:

$$[Al]_t = K\check{c} \cdot \sqrt{\frac{Al_d}{[O] \cdot \check{c}}}$$



Sl. 8

Slika 8

Vrednosti konstante K_c za kalkulacijo količine topnega aluminija

Vrednost K^2 — časovna konstanta odvisna od dodatka Al — je razvidna iz slike 8. Za kalkulacijo $[Al]_d$ v talini v peči, ki je učinkovito preddezoksidirana z dodatkom SiMn, je K^2 pomnožiti z 1,45 oz. 1,4, če talina ni preddezoksidirana. Za kalkulacijo $[Al]_t$ v talini v ponvi je K^2 pomnožiti z 1,3. Če sledi dodatek Al direktno v curek taline v ponvi, se za čas — \check{c} — vzame 7 minut.

Prikazani odnosi odgovarjajo poprečnim rezultatom pri poskusnih šaržah.

VERJETNI MEHANIZEM DEZOKSIDACIJE

Šarža št. 20665 — EC 80

C — 0,19 %, Si — 0,22 %, Mn — 1,17 %, $Al_t = 0,017$ %.

Skupni $[O]$ po izkuhanju 0,0239 % ob koncu dif. dez. — 0,0157 %, v jeklu 0,0051 %.

Čas izkuhanja — 30 min., čas dif. dez. — 60 minut.

Šarža je raztalila z 0,77 % C. Poprečna žilavilna hitrost je 0,012 % C/min. Po izkuhanju je kalkulacijska količina prostega $[O]$:

$$[O] = 0,09 \times \frac{1}{0,16} \times \frac{1}{30} = 0,0187 \%$$

$[O] = 0,0187 + 0,0059 = 0,0246 \%$ (po analizi 0,0239 %).

Z dodatkom 0,17 % Si iz SiMn vsled dolgega časa 22 min., nismo dosegli učinka preddezoksidacije, saj isti sledi v odnosu:

$$d [O_2] = K \times \frac{1}{\sqrt{Si}}$$

in dovoljuje optimalni učinek pri največ 10—12 min. po dodatku SiMn.

Vrednotenje kvalitete reduktivne žindre:

$(\Delta S_2 + \Delta S_3) = 39 \%$, $R = 93 \%$, $z = 37 \%$

$[O] \% = 0,63 \times 0,0187 = 0,0116 \%$

$[O]_D \% = 0,0116 + 0,0034 = 0,015 \%$ (analitsko 0,0157 %)

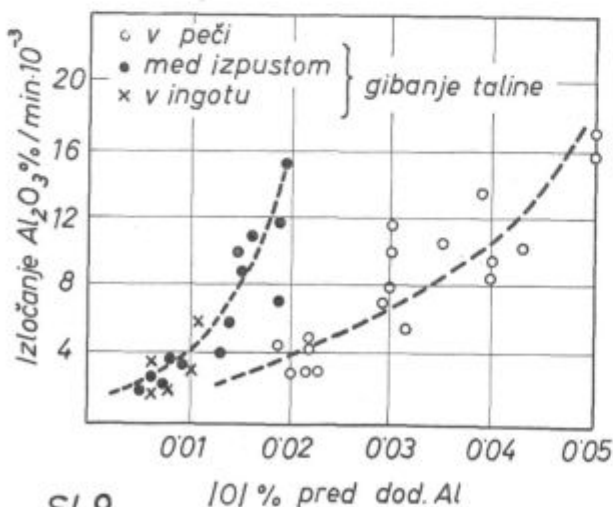
V talino smo 8 min. pred izpustom dodali 0,0283 odst. Al, 3 min. pred izpustom pa še 0,0346 % Al. Količina Al₁ pred izpustom znaša 0,028 %, v ponvi 0,024 %, kalkulacijska količina je sledeča:

$$[Al]_1 \% = 0,03 \times 1,4 \sqrt{\frac{0,0629}{0,0157 \times 8}} = 0,029 \%$$

v talini pred izpustom.

Ravnotežna količina prostega [O] je približno 0,0012 %. Razlika (0,0116—0,0012) reagira z Al in se tvori 0,022 % Al₂O₃. SiO₂ se reducira do 0,0029 % (analiza izolata) in nastane okrog 0,003 % Al₂O₃. Skupno nastane:

$[0,022 + 0,003 + 0,0015] = 0,0265 \%$ Al₂O₃. Ker je po analizi izolata v talini 0,008 % Al₂O₃ se je razlika $[0,0253 - 0,008]$ izločila. Obseg izločanja je 68 %, kar je normalno (sl. 9).



Sl. 9

Slika 9

Vpliv količine kisika v talini na hitrost izločanja Al₂O₃

V talini pred izpustom je 0,008 % Al₂O₃, 0,0039 % SiO₂, 0,0012 % [FeO + MnO], 0,0007 % O (ostali oksidi).

Skupni [O] je okrog 0,0013 %, redukcija kisika zaradi opisanega načina dezoksidacije znaša: $[0,0242 - 0,0070] \cdot 100 / 0,0242 = 70 \%$, oz. napram skupnemu kisiku po oksidaciji okrog: $[0,242 - 0,0070] \cdot 100 / 0,04 = 42 \%$.

$[O]_D : [O]_{iz} = 0,0157 : 0,0239 = 0,66$

$[O]_1 : [O]_D = 0,0073 : 0,0157 = 0,47$

V ponvi pride do reakcij med oblogo ponve in talino. Kalkulacijska količina SiO₂, ki pride iz opeke v talini v času 2,5 min. (izpust) znaša:

$$SiO_2 = 0,65 \times 5,08 \times 10^{-4} \times (2,5 + 1)^2 \times \sqrt{16,2} = 0,0163 \%$$

Verjetni obseg izločanja SiO₂ med izpustom znaša 45 %. V taline ostane: $0,55 (0,0163 + 0,0039) = 0,011 \%$. Ker je po analizi izolata 0,0022 % SiO₂, se je razlika (0,011—0,0022) reducirala z Al in nastane 0,01 % Al₂O₃.

V talini v ponvi je okrog $0,9 \times [Al]_t = 0,9 \times 0,029 = 0,026 \%$, v jeklu 0,017 %. Pri sekundarni oksidaciji curka taline nastane 1,9 (0,029—0,017) = 0,023 % Al₂O₃. Skupno nastane (0,023 + 0,01 + 0,008) = 0,041 % Al₂O₃. Po analizi izolata je v talini poprečno 0,0048 % Al₂O₃, obseg izločanja znaša 88 %.

V jeklu je 0,0048 % Al₂O₃, 0,0022 % SiO₂, 0,0012 odstotka O (FeO + MnO), 0,007 % O (ostali oksidi). Skupni kisik je 0,0054 % (po analizi 0,0053 %).

Kalkulacijska količina skupnega [O] v jeklu je:

$$O_j \% = 0,0035 + 0,3 \times [O]_1 = 0,0035 + 0,3 \cdot 0,0073 = 0,0056 \%$$

OCENITEV VKLJUČKOV

Praktično zadovoljiva metoda za vrednotenje kvalitete izdelanega jekla je ocenitev vrste vključkov po JK skali. Bela žindra ne nudi posebnih prednosti za čisto jeklo, eventualno je možno doseči nekoliko manjšo količino vključkov, vendar je razporeditev tipov vključkov manj ugodna in predvsem tipi C (silikati) in D (globuli) se pojavljajo v preveliki količini.

V poprečju nudi klasična tehnologija naslednje vrednosti:

A	B	C	D	Skupno
0,6—1,25	0,41—0,8	0,33—0,87	1,87—2,27	3,4—4,3

Pri 6-kratni predelavi ingot-gredica želimo D max. 1,8.

2. Modificirana tehnologija

Izmed serije različnih tehnologij, ki bi naj brez uporabe zamudne faze difuzijske dezoksidacije dale kvaliteten proizvod, smo izbrali tehnologije z oznako J (brez Ar) in H_m in po njih izdelali več poizkusnih šarž.

V naslednjem navajamo splošne ugotovitve za tehnologijo J:

Po oksidaciji s kisikom izdelamo novo žlindro. Izkuhavanje traja 20 do 25 minut. Sledi dodatek Al oziroma FeAl, 10 minut po dodatku FeCr + Femn, nato izpust. V ponev dodamo CaSi in manjši dodatek Al.

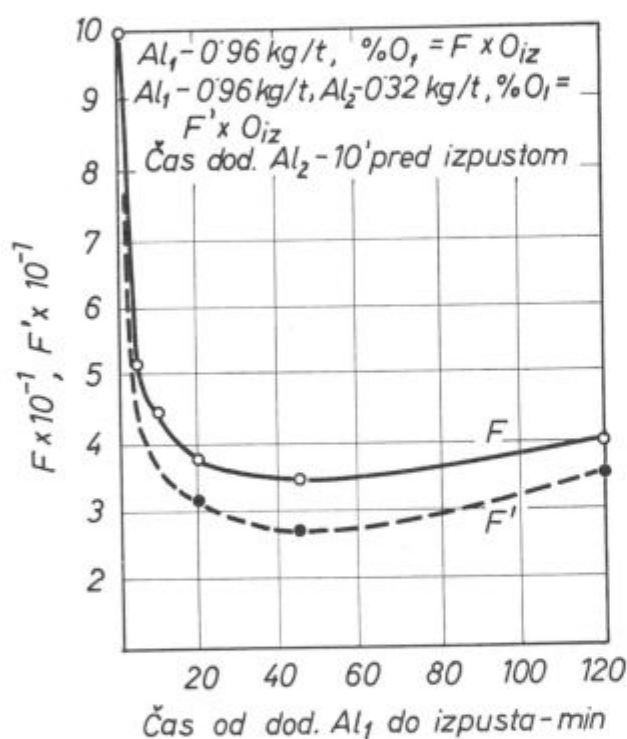
Verjetni mehanizem dezoksidacije:

— Izkuhavanje po oksidaciji sledi obrazcu:

$$[O] \% = K_1 \times \frac{1}{C} \times \frac{1}{t} \quad (\text{čas } t \text{ je krajši})$$

— z dodatkom 1,4 kg SiMn/t in 1,0 kg Al/t po izkuhavanju (in odstranitvi žlindre) so odnosi sledeči:

$$\Sigma [O]_1 \% = F \cdot [O]_{iz} \% \quad (\text{sl. 10}).$$



Sl. 10

Slika 10

Vrednosti faktorjev za kalkulacijo kisika v talini v odvisnosti od časa dodatka aluminija do izpusta

Pri povprečno 18 min. časa od dodatka Al do izpusta je:

$[O]_1 = 0,4 \cdot [O] \%$ (nekoliko višji kot pri klasični tehnologiji).

Vsled dodatka 0,5 kg Al/t v curek taline se stopnja končne dezoksidacije poveča:

$[O] \% = 0,0035 + 0,14 [O]_1 = 0,0035 + 0,14 \cdot [O]_{iz} = 0,0035 + 0,056 \cdot [O]_{iz}$ (nižji kot pri klasični tehnologiji)

Pri npr. 0,2 % C in 30 min. času izkuhavanja je kalkulacijska količina skupnega [O] v jeklu:

$$\begin{aligned} [O]_1 &= 0,0035 + 0,56 \left[\left(K_1 \times \frac{1}{C} \times \frac{1}{t} \right) + 0,0059 \right] = \\ &= 0,0035 + 0,0056 \left[\left(0,09 \cdot \frac{1}{0,2} \times \frac{1}{30} \right) + 0,0059 \right] = \\ &= 0,0047 \% \end{aligned}$$

— Značilen vpliv dodatka okrog 1,2 kg CaSi/t v talino v ponev in za okrog 20° C višje temperature taline pred izpustom se kaže v odnosu med količino topnega [Al] in sestavo oksidnih vključkov. Pri tehnologiji J imamo praktično enake količine SiO₂ in Al₂O₃ kot pri klasični tehnologiji oziroma enake SiO₂ ter znatno nižje Al₂O₃ kot pri običajni praksi s črno žlindro.

Primer kalkulacije odnosov po verjetnem mehanizmu dezoksidacije:

Sarža 45454 — EC Mo 100

C — 0,23 %, Si — 0,21 %, Mn — 0,21 %, Si — 0,014 odstotkov, top. Al 0,023—0,027 %.

Sarža je raztalila z 0,93 % C. Zilavilna hitrost znaša povprečno 0,018 % C/min., izkuhavanje 30 min. Kalkulacijska količina prostega [O] ob koncu izkuhavanja:

$$[O] \% = 0,085 \times \frac{1}{0,12} \times \frac{1}{30} = 0,023 \%$$

$$\Sigma [O] \% = 0,023 + 0,0059 = 0,0289 \%$$

Pred izpustom v času 10 min. dodamo 0,13 % Si kot SiMn in 0,19 % Si kot FeSi. Z dodatkom 0,13 % Si iz SiMn dosežemo v času 10 min. določeni preddezoksidacijski učinek, ki sledi obrazcu:

$$d[O_2] = K \frac{1}{\sqrt{Si}} = \frac{0,22}{\sqrt{0,13}} = 0,62$$

Količina prostega [O] v talini pred izpustom znaša $0,62 \times 0,023 = 0,0142 \%$. Pri tem nastane $[0,023 - 0,0142] \times 1,9 = 0,017 \% \text{ SiO}_2$. Obseg izločanja oksidov, ki nastanejo pri preddezoksidaciji z SiMn znaša okrog 75 % in v talini ostane $0,25 \times 0,017 + 0,007 = 0,011 \% \text{ SiO}_2$.

Z dodatkom 0,087 % Al v času 10 min. pred izpustom ostane v talini okrog:

$$[Al]_1 = 0,03 \times 1,45 \sqrt{\frac{0,087}{0,0289 \times 10}} = 0,023 \%$$

Ravnotežna količina prostega [O] znaša 0,0014 odstotka. Razlika $(0,0142 - 0,0014)$ reagira z Al in se tvori 0,027 % Al₂O₃. Pri redukciji SiO₂ nastane 1,13 · $(0,011 - 0,002) = 0,01 \% \text{ SiO}_2$. Skupno nastane $(0,01 + 0,027 + 0,0045) = 0,0415 \% \text{ Al}_2\text{O}_3$. Obseg izločanja je okrog 60 % in v talini ostane 0,016 % Al₂O₃, 0,002 % SiO₂, 0,0014 % O (FeO + MnO), 0,0007 % O (ostali oksidi). Skupni [O] v talini pred izpustom znaša 0,011 %.

$O_1 : O_{iz} = 0,011 : 0,0289 = 0,38$ (napram povprečni vrednosti 0,4).

Iz obloge ponve pride v 2,5 min. v talino okrog 0,0161 % SiO₂. Po izločanju ostane v talini v ponvi okrog 0,55 (0,0161 + 0,002) = 0,01 % SiO₂.

Z dodatkom 0,040 % Al v curek taline se poveča Al₁ v talini v ponvi za:

$$[Al]_1 = 0,015 \times 1,3 \sqrt{\frac{0,040}{0,011 \times 7}} = 0,014 \%$$

$\Sigma [Al]_1$ v talini v ponvi znaša približno 0,037 %, in je v ravnotežju s približno 0,001 % prostega [O].

Razlika reagira z Al in nastane 0,0008 % Al₂O₃.

Pri sekundarni oksidaciji curka taline nastane 1,9 (0,037—0,025) = 0,023 % Al₂O₃. Pri redukciji SiO₂ (analiza izolata) nastane 1,13 (0,510—0,0016) = 0,0093 % Al₂O₃. Skupno nastane (0,0093 + 0,023 + 0,0008 + 0,016) = 0,0491 % Al₂O₃. Obseg izločanja je približno 90 %. V jeklu je okrog 0,005 % Al₂O₃, 0,001 % SiO₂, 0,003 % O(Fe + MnO), 0,0007 % O (ostali oksidi). Skupni [O] je 0,005 % (po analizi 0,0044 %).

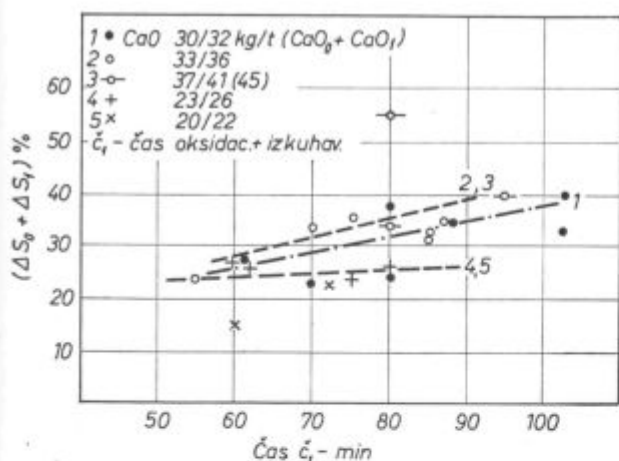
Kalkulacijska količina kisika v jeklu:

$$[O]_1 \% = 0,0035 + 0,14 \cdot [O]_1 = 0,0035 + 0,14 \cdot 0,011 = 0,005 \%$$

Sarža je bila dobro izdelana.

Razžveplanje

— S povečanim časom \check{c}_1 in povečanim dodatkom CaO + CaO₁ se povečuje $\Delta S_0 + \Delta S_1$, vplivnejša komponenta je CaO kot \check{c} (sl. 11).



Sl. 11

Slika 11

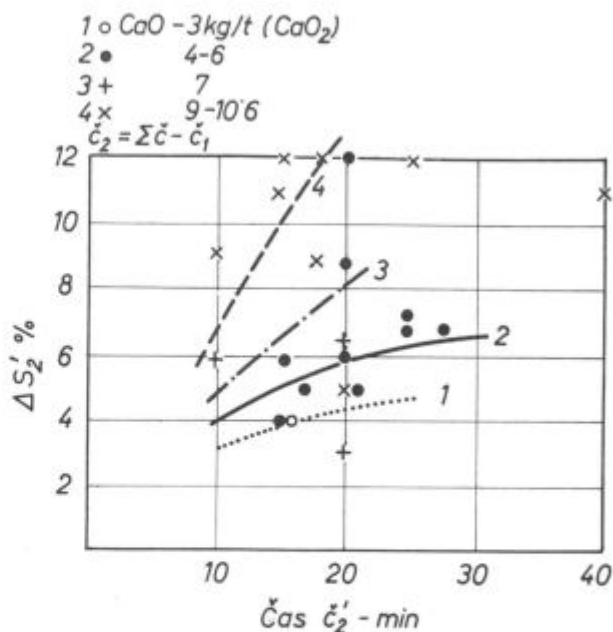
Vpliv časa reagiranja in količine dodanega apna na obseg razžveplanja

— podaljšanje časa \check{c}_2 in povečanje dodatka CaO₂ vplivata v enakem obsegu na povečanje $\Delta S_2'$ (sl. 12, 13)

— s povečanim dodatkom CaF₂ se povečuje ΔS

Primerjava intenzivnosti razžveplanja med klasično tehnologijo in J nudi sledečo sliko:

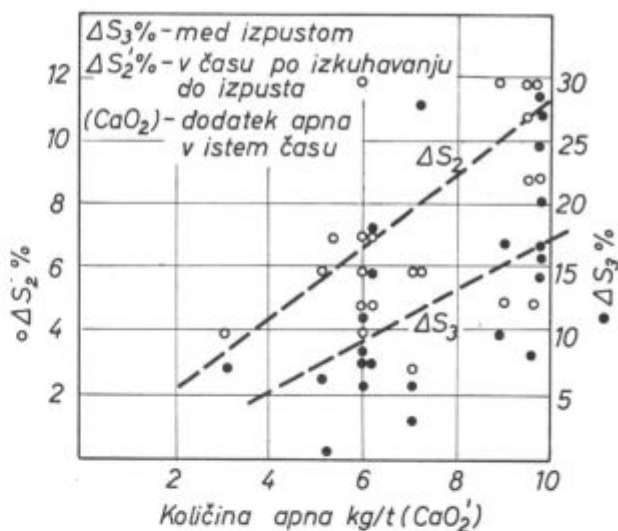
— Klasična tehnologija:



Sl. 12

Slika 12

Vpliv časa reagiranja in količine dodanega apna na obseg razžveplanja (čas po izkuhavanju do izpusta) pri delno sintetični žilndri



Sl. 13

Slika 13

Vpliv količine dodanega apna na obseg razžveplanja (sintetična žilndra)

(CaO ₀ + CaO ₁)	= 30 kg/t
CaO ₂	= 25 kg/t
\check{c}_1	= 25 minut
\check{c}_2	= 75 minut
% ($\Delta S_0 + \Delta S_1$)	= 30 %
% ($\Delta S_2 + \Delta S_3$)	= 35 %
$\Sigma \Delta S$	= 65 %

— Tehnologija J:

(CaO₀ + CaO₁) = 33 kg/t

CaO₂' = 10 kg/t

č₁ = 70 minut

č₂ = 15 minut

% (ΔS₀ + ΔS₁) = 29 %

% (ΔS₂ + ΔS₃) = 27 %

Σ ΔS = 56 %

Obstaja tedenca nekoliko slabšega razžveplanja pri modificirani tehnologiji. Intenzivnost razžveplanja pa je kljub znatno krajšem skupnem rafinacijskem času znatno večja kot pri dejstvomljanju reduktivne žlindre.

Sigurnost za večje razžveplanje zahteva dodatne praktične ukrepe:

— uporabo sintetične žlindre 10—15 minut pred izpustom

— uporabo praškov za dodatno razžveplanje taline v ponvi

— preprihanje taline v ponvi s plinastim argonom.

OCENITEV VKLJUČKOV

Vsebnost tipov vključkov na najslabših mestih ločeno za 10 in 25 t E peči je sledeča (gredice kvadrat 90 mm)

10 t peč	A	B	C	D
glava	2	0,99	0,14	1,57
noga	1,9	0,12	0,14	1,64
20 t peč	A	B	C	D
glava	1,87	0,78	0,13	1,65
noga	1,77	0,77	0,14	1,71

V pogledu aluminatov, silikatov in globulov je modificirana tehnologija zadovoljiva, sulfidi so previsoki.

Velikost avstenitnega zrna se giblje od 5 do 7, ocenjeno po ASTM. Napram analizi izolatov je povprečno 0,0037 % Al₂O₃, 0,0028 % SiO₂ in razmerje Al₂O₃:SiO₂ = 1,3.

TEHNOLOGIJA H_m

Po oksidaciji in izkuhanju sledi vlek žlindre, nastopi faza kombiniranega dejstvomljanja bele žlindre in dezoksidacija z obarjanjem (dodatek Al + SiMn). 40 do 50 minut pred izpustom sledi dodatek FeSi, FeCr + FeMn. V talino v ponev dodamo manjšo količino Al.

Verjetni mehanizem dezoksidacije:

— izkuhanje sledi obrazcu:

$$[O] \% = K_1 \times \frac{1}{C} \times \frac{1}{\bar{c}}$$

— ker sledi v času rafinacije dvakratni dodatek Al (0,9 kg/t po izkuhanju na golo, 0,32 kg/t okrog 10—12 minut pred izpustom) je učinek preddezo-ksidacije sledeč:

$\Sigma [O]_1 \% = F' \cdot [O]_{iz} = 0,28 [O]_{iz}$ za čas 50 min. od 1. dod. Al do izpusta. Količina [O] je v talini pred izpustom okrog 30 % nižja kot pri J ob 22 % večji porabi Al.

— V curek taline sledi dodatek 0,15 kg Al/t in kalkulacijska količina skupnega [O] v jeklu je: $[O] \% = 0,0035 + 0,1 [O]_I = 0,0035 + 0,1 \cdot 0,28 \cdot [O]_{iz} = 0,0035 + 0,028 [O]_{iz}$

Pri npr. 0,2 % C in 30 min. izkuhanju je:

$$[O] \% = 0,0035 + 0,028 \left[\left(0,09 \times \frac{1}{0,2} \times \frac{1}{30} \right) + 0,0059 \right] = 0,0041 \%$$

Skupni [O] v jeklu je za okrog 11—13 % nižji kot po tehnologiji J.

Primer kalkulacije odnosov po verjetnem mehanizmu dezoksidacije.

Šarža 105792 — EC Mo 100

C — 0,18 %, Si — 0,25 %, Mn — 0,91 %, S — 0,013 odstotka, Al₁ — 0,17/0,21 %. Šarža je raztalila z 0,58 % C, poprečna žilavilna hitrost je 0,015 %/min, skupni kisik ob koncu oksidacije je 0,0343 % (vzorec št. 1).

Tik pred dodatkom Al + SiMn na golo je bila v talini sledeča količina prostega [O]

$$[O] \% = 0,07 \times \frac{1}{0,15} \times \frac{1}{20} = 0,023 \%; \text{ skupni } [O] 0,0289 \% \text{ (Po analizi } 0,0282 \% \text{ — vzorec št. 2).}$$

Če bi ne dodali Al, temveč le reduktivno mešanico za difuzijsko dezoksidacijo, ki je konkretno trajala 35 min., bi z ozirom na doseženi $[\Delta S_2 + \Delta S_3] = 22 \%$, R — 68 %, dosegli zmanjšanje prostega [O] za okrog 23 %. Ob koncu te faze bi bilo v talini $0,77 \times 0,023 = 0,0177 \%$ prostega [O].

Ker smo pred dodatkom reduktivne mešanice dodali 0,093 % Al in 0,1 % Si (SiMn) odpade dejstvomljanje reduktivne žlindre v smislu dezoksidacijskega učinka, ostane le učinek razžveplanja.

20 minut po dodatku (vzorec št. 3) je v talini:

$$[Al]_t = 0,032 \times 1,45 \sqrt{\frac{0,093}{0,0282 \cdot 20}} = 0,019 \%$$

Ravnotežna količina prostega [O] je okrog 0,0016 %. Razlika (0,023—0,0016) reagira z Al in nastane 0,045 % Al₂O₃. Redukcija SiO₂ se izvede do 0,002 % in nastane 0,004 % Al₂O₃. Skupno nastane (0,045 + 0,004 + 0,0035) = 0,0515 % Al₂O₃. Obseg izločanja v 20 min. je okrog 70 %. V talini je 0,015 % Al₂O₃, 0,002 % SiO₂, 0,0016 % O (FeO + MnO), 0,0007 % O (ostali oksidi). Skupni [O] je 0,0108 % (po analizi 0,0093 %).

V talini pred izpustom je:

$$[Al]_t = 0,032 \times 1,45 \sqrt{\frac{0,093}{0,0282 \cdot 50}} = 0,012 \%$$

10 minut pred izpustom sledi drugi dodatek 0,031 % Al in pred izpustom (vzorec št. 4) je:

$$[Al]_t = 0,012 \times 1,4 \sqrt{\frac{0,031}{0,011 \times 10}} = 0,009 \%$$

Skupni $[Al]_t$ je okrog 0,021 %.

Ravnotežna količina prostega [O] je približno 0,0014 %. Razlika (0,0016—0,0014) reagira z Al in nastane 0,0002 % Al_2O_3 . Dodatno nastane 1,9 (0,019—0,012) = 0,0133 % Al_2O_3 . Skupno nastane (0,0515 + 0,0002 + 0,0133) = 0,0650 % Al_2O_3 . Obseg izločanja v času 50 min. znaša okrog 80 %.

V talini pred izpustom je $0,20 \times 0,065 = 0,013$ % Al_2O_3 , 0,002 % SiO_2 , 0,0014 % O (FeO + MnO), 0,0007 % O (ostali oksidi). Skupni [O] je približno 0,0096 % (po analizi 0,0088 %).

$$[O]_1 : [O]_{iz} = 0,0088 : 0,0282 = 0,31$$

V curek taline dodamo 0,0156 % Al in količina $[Al]_t$ se poveča za:

$$[Al]_t = 0,006 \times 1,3 \sqrt{\frac{0,0156}{0,0096 \times 7}} = 0,004 \%$$

$[Al]_t$ v talini v ponvi je 0,025 %, v jeklu 0,019 %.

Ravnotežna količina prostega [O] je okrog 0,0013 %. Razlika (0,0014—0,0013) reagira z Al in nastane 0,0001 % Al_2O_3 . Pri sekundarni oksidaciji curka nastane 1,9 (0,025—0,019) = 0,0114 % Al_2O_3 .

Iz obloge ponve pride v času izpusta 5 min.:

$$SiO_2 = 0,65 \cdot 5,08 \times 10^{-4} \times (5 + 1)^2 \times \sqrt{16,0} = 0,0475 \%$$

Po izločanju ostane v talini 0,55 (0,0475 + 0,002) = 0,0272 % SiO_2 . Redukcija se izvede do sledov (analiza izolata) in nastane okrog 1,13 (0,0272—0,0005) = 0,03 % Al_2O_3 . Skupno nastane (0,03 + 0,0114 + 0,0001 + 0,013) = 0,0545 % Al_2O_3 . Obseg izločanja je okrog 90 %. V jeklu ostane 0,005 % Al_2O_3 , 0,0005 % SiO_2 , 0,0013 % O (FeO + MnO), 0,0007 % O (ostali oksidi). Skupni [O] je okrog 0,0047 % (po analizi 0,0042 %).

$$[O]_r = 0,0035 + 0,08 \times 0,0088 = 0,0042 \%$$

V konkretnem primeru je K — 0,08, poprečna vrednost znaša 0,1.

RAZZVEPLANJE

— Čas \check{c}_1 je za okrog 20 min. krajši kot pri J, čas \check{c}_2 za okrog 30 min. daljši kot pri J.

— Dodatek (CaO_0) je pri H_m znatno višji kot pri J (slabši talilni učinek peči, ev. hitrejša tvorba aktivne žilindre po raztaljenju vložka).

— Odnos razžveplanja sledi prej navedenemu obrazcu.

Konkretno (z delno belo žlindro):

$$(CaO_0 + CaO_1) = 35 \text{ kg/t}$$

$$CaO_2 = 16 \text{ kg/t}$$

$$\check{c}_1 = 47 \text{ min.}$$

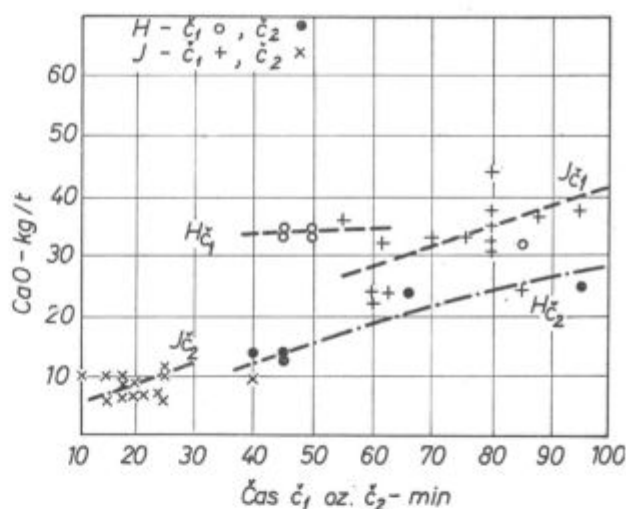
$$\check{c}_2 = 47 \text{ min.}$$

$$\% (\Delta S_0 + \Delta S_1) = 30 \%$$

$$\% (\Delta S_2 + \Delta S_3) = 28 \%$$

$$\Sigma \Delta S = 58 \%$$

Obseg razžveplanja je praktično enak kot pri tehnologiji J, kljub specifičnosti, da je v vložku večja količina CaO_1 . Zaradi slabše kvalitete bele žilindre (prekratek čas in premajhne količine CaO_2 za dobro kvaliteto bele žilindre) pa kljub daljšemu času \check{c}_2 in večjemu dodatku CaO kot pri J — dosežemo praktično manj ugodno razžveplanje. V pogledu razžveplanja veljajo za tehnologijo H_m iste pripombe kot za J (sl. 14).



Sl. 14

Slika 14

Odnos med časom reagiranja in dodatkom apna pri modificiranih tehnologijah J in H_m

OCENITEV VKLJUČKOV (JK-skala)

Vrednosti tipov posameznih vključkov (najslabše mesto) so naslednje:

60 t peč	A	B	C	D
	1,4	1,15	0,12	1,8

Napram analizi izolatov smo zasledili poprečno 0,0038 % Al_2O_3 , sledove do 0,0018 % SiO_2 in razmerje $Al_2O_3 : SiO_2$ do 2,1.

ZUSAMMENFASSUNG

Die Verfolgung technologischer Einflüsse verschiedener Desoxydationsmethoden bei der Erzeugung der Einsatzstähle und die Auswertung der Versuchsergebnisse über den Sauerstoffgehalt, säurelöslichen Aluminium, die Grundoxyde, ermöglichen das Studium gegenseitiger Beziehungen.

Der Verlauf einzelner technologischer Phasen im Erzeugungsverfahren nach dem klassischen Zweischlackenprozess folgt den Gesetzmässigkeiten welche spezifisch für die konkreten Bedingungen sind:

— Der freie Sauerstoff ändert sich während der Auskochdauer nach der Oxydationsperiode nach der Gleichung:

$$[O] \% = K_1 \times \frac{1}{C} \times \frac{1}{\bar{c}}$$

— Der Wert des Produktes $[C] \times [O]$ nähert sich dem Gleichgewicht abhängig von der Länge der Auskochdauer.

— Der Entschwefelungsgrad in dieser Phase ($\Delta S_0 + \Delta S_1$) folgt den Beziehungen:

$$\% (\Delta S_0 + \Delta S_1) = (CaO_0 + CaO_1) \cdot F_{CaO_1} \cdot K_{CaO_1} \times \frac{S_1 \%}{3} \times F_{\bar{c}_1} \times {}^\circ C \cdot F_{eC}$$

In der Reduktionsperiode ist die Reduktion der freien $[O]$ Menge von der Schlackenqualität abhängig, welche auch den Entschwefelungsgrad ($\Delta S_2 + \Delta S_3$) diktiert. Die Wechselbeziehungen zwischen dem Entschwefelungsgrad, der Schlackenqualität und der Sauerstoffreduktion sind im Diagramm 3 wiedergegeben. Der freie Sauerstoff am Ende der Difusionsdesoxydation beträgt $[O] = Z \cdot [O]_{1a}$

$$\% (\Delta S_2 + \Delta S_3) = CaO_2 \cdot F_{CaO_2} \cdot K_{CaO_2} \times \frac{S_2 \%}{3} \times F_{\bar{c}_2} \times {}^\circ C \cdot F_{eC}$$

Mit einer üblichen Vordesoxydation mit SiMn am Ende der Auskochdauer und einem Zusatz von Aluminium 3 bis 6 Minuten vor dem Abstich wird im Bad vor dem Abstich folgender Desoxydationseffekt erreicht:

$$[O]_1 \% = 0.64 \times [O] \% \text{ (ohne Vordesoxydation)}$$

$$[O]_1 \% = 0.47 \times [O]_0 = 0.3 [O]_{1a} \text{ (mit Vordesoxydation)}$$

Der Gesamtsauerstoff in fertigen Stahl folgt der Beziehung:

$$[O]_1 \% = 0.0035 + 0.14 [O]_0 = 0.0035 + 0.3 [O]_1 = 0.0035 + 0.09 [O]_{1a}$$

Die modifizierte Technologie — Typ J (ohne Difusionsdesoxydation) und einem Aluminiumzusatz nach dem Auskochen und in den Strahl während des Abstechens werden folgende Effekte erreicht:

$$\% [O]_1 = 0.4 [O]_{1a}$$

$$[O]_1 \% = 0.0035 + 0.14 [O]_1 = 0.0035 + 0.056 [O]_{1a}$$

— Der Entschwefelungsgrad folgt schon vorher angewendeten Beziehungen während der Auskochdauer.

— Die Entschwefelung während der kurzen Raffinationszeit ist infolge des Zusatzes sintetischer Schlacke wirksamer, für die Zeit \bar{c}_2' nimmt man $F_{\bar{c}_2}$.

Bei der modifizierten Technologie des Types H₁₀ (mit teilssweisser Schlacke), einem Zusatz von Al nach dem Auskochen, von dem Abstich und in den Stahl während Abstiches gibt es folgende Beziehungen:

$$\% [O]_1 = 0.28 [O]_{1a} \text{ für die Zeit 50 Minuten von der Aluminiumzugabe bis zum Abstich}$$

$$\% [O]_1 = 0.0035 + 0.1 [O]_1 = 0.0035 + 0.028 [O]_{1a}$$

Der Gesamtsauerstoffgehalt ist um 10 bis 13 % niedriger als bei J.

— Der Entschwefelungsgrad folgt früher angewendeten Gleichungen und ist praktisch gleich wie bei der Technologie J.

Die Ergebnisse erlauben die Auswertung der Zeit \bar{c}_1 und \bar{c}_2 und ermöglichen die Kalkulation optimaler Werte in Hinsicht der Zeiten, der Zugabemengen von Kalk und Legierungen [Al].

Die Kalkulation der Menge von säurelöslichen Aluminium folgt der allgemeiner Formel:

$$[Al]_1 = K^{\bar{c}} \sqrt{\frac{Al_0}{[O] \times \bar{c}}}$$

Der Wert $K^{\bar{c}}$ ist im Diagramm Nr. 8 wiedergegeben.

Wir stellen fest, dass wir durch die Einführung modifizierter Technologien die Gesamtschlagendauer um ca. 50 Minuten kürzen konnten. Es ist gelungen den Desoxydationspotential zu erhöhen eine gleichmässige Verteilung der Einschlüsse mit weniger Silikate [C] und Oxyde [D] zu erreichen. Der Entschwefelungsgrad ist etwas niedriger, in den Einschlüssen gibt es mehr Sulfide des Types A.

Es wird vorgeschlagen eine zusätzliche Entschwefelung in die Technologie einzuführen:

- mit dem Zusatz synthetischer Schlacken in den Ofen
- mit dem Zusatz von Entschwefelungspulver in den Strahl während des Abstiches
- die Behandlung des Bades in der Pfanne mit Argon oder Stickstoff.

SUMMARY

Investigations of the influence of different deoxidizing techniques and the evaluation of the analyses of specimens on oxygen, soluble aluminium and main oxides make it possible to investigate the corresponding relationships.

The classical methods (with two slags) with several technological stages obey certain rules which are specific for given conditions:

— free oxygen content of the melt changes during the boiling period according to the relation:

$$[O] \% = K_1 \times \frac{1}{C} \times \frac{1}{\bar{c}}$$

— the product $[C] \times [O]$ approaches to the equilibrium value in dependence on time and duration of boiling.

— The rate of desulfuration in this phase ($\Delta S_0 + \Delta S_1$) is given by:

$$\% (\Delta S_0 + \Delta S_1) = (CaO_0 + CaO_1) \cdot F_{CaO_1} \times \frac{\% S_1}{3} \times F_{\bar{c}_1} \times {}^\circ C \cdot F_{eC}$$

In the reducing slag stage the decrease in free oxygen content and the rate of desulfuration ($\Delta S_2 + \Delta S_3$) depend on the slag quality.

The relationship between the slag quality, the rate of desulfuration and oxygen decrease is presented in a diagram.

Free oxygen $[O]$ at the end of deoxidation through diffusion is: $[O] = Z \cdot [O]_{1a}$

The common method predeoxidation by addition of Al 3—6 mins. before the tap result in the following decrease in oxygen content:

$\% [O]_i = 0.64 \times [O]$ (without predeoxidation)

$\% [O]_i = 0.47 \times [O]_D = 0.3 [O]_{i2}$ (with predeoxidation)

The total oxygen content of finished steel is:

$\% [O] = 0.0035 + 0.14 [O]_D = 0.0035 + 0.3 \% [O]_{i2} = 0.0035 + 0.09 [O]_{i2}$

The modified technique of J type (without deoxidation)

$$(\Delta S_2 + \Delta S_1) \% = CaO_2 \cdot F_{CaO_2} \cdot K_F CaO \times \frac{S_2 \%}{3} \times {}^\circ C \cdot F_{\xi_2} \times F_{\xi C}$$

by diffusion) with addition of Al after the boiling period and into the tapping stream gives the following results:

$\% [O]_1 = 0.4 [O]_{i2}$

$\% [O]_1 = 0.0035 + 0.14 [O]_1 = 0.0035 + 0.056 [O]_{i2}$

— the rate of desulfuration is the same as given before, i. e. in the boiling period.

— in the rest of the refining period the rate of desulfuration is more efficient because of synthetic slag action. The time F_{ξ_2} is to be used instead of ξ_2 .

Modified technique of H_m type (with partly white slag), with Al additions after the boiling period, before the tap and into the tapping stream result in the following oxygen content:

$\% [O]_1 = 0.28 [O]_{i2}$ for Al additions 50 mins. before the tap

$\% [O]_1 = 0.0035 + 0.1 [O]_1 = 0.0035 + 0.028 [O]_{i2}$

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотрение технологии разных методов раскисления при выработке цементированной стали и оценка испытания образцов на основании содержания кислорода, расплавленного алюминия, главных окисей, позволяют изучение взаимных соотношений. Течение отдельных технологических фаз процесса классическим методом с двумя шлаками соответствует правилам которые в согласии за конкретные условия, при чём: свободный кислород во время варки после раскисления изменяется по образцу:

$$- [O] \% = K_1 \times \frac{1}{C} \times \frac{1}{x}$$

— величина произведения $(C) \times (O)$ приближается равновесию в зависимости от времени продолжительности варки;

— размер десульфурации в этой фазе $\Delta S_0 + \Delta S_1$ отвечает — размер десульфурации в этой фазе $\Delta S_0 + \Delta S_1$ отвечает отношению:

$$\% (\Delta S_0 + \Delta S_1) = (CaO_2 + CaO_1) \cdot F_{CaO_1} \cdot K_F CaO_1 \times \frac{S_1 \%}{3} \times F_{\xi_1} \times - \times {}^\circ C \cdot F_{\xi C}$$

— в фазе действия раскислительного шлака уменьшения количества свободного кислорода (O) зависит от качества шлака который также предисывает десульфурацию ($\Delta S_2 + \Delta S_1$).

Отношение между размером десульфурации, качества шлака и восстановления кислорода показана на диаграмме Но 3. Свободный кислород [O] в конце диффузионно-раскисления равен: $Z \cdot [O]_{i2}$.

$$(\Delta S_2 + \Delta S_1) \% = CaO_2 \cdot F_{CaO_2} \cdot K_F CaO \times \frac{S_2 \%}{3} \times F_{\xi_2} \times {}^\circ C \cdot F_{\xi C}$$

При применении стандартного метода предварительного раскисления при котором добавляют SiMn в конце варки а 3—6 мин. перед выпуском Al, при этом в расплавленном металле перед выпуском получается следующий эффект предварительного раскисления: $[O]_1 \% = 0.64 \times [O] \%$ (без предв. раскисления)

$[O]_1 \% = 0.47 \times [O]_D = 0.3 [O]_{i2}$ (спредвар. раскислением),

$[O]_1 \% = 0.47 \times [O]_D = 0.3 [O]_{i2}$ (спредвар. раскислением),

Совокупный кислород в отливной стали следует равенству:

$[O] \% = 0.0035 + 0.14 [O]_D = 0.0035 + 0.3 [O]_1 = 0.0035 + 0.09 [O]_{i2}$

$[O] \% = 0.0035 + 0.14 [O]_D = 0.0035 + 0.3 [O]_1 = 0.0035 + 0.09 [O]_{i2}$

The total oxygen content is lower by 10—13 % in comparison to that obtained by the technique of J type.

Estimation of times ξ_1 and ξ_2 and the calculations of the optimum values of time, CaO and alloy (Al) additions are made possible. The amount of soluble Al is:

$$[Al]_1 = K \xi \sqrt{\frac{Al_2}{[O] \times \xi}}$$

The value for $K \xi$ is given in fig. 8.

It is concluded that the use of modified techniques results in the following:

— a decrease in total working time by 50 mins.

— better deoxidation

— more homogeneous distribution of nonmetallic inclusions,

— lower content of silicate (C) type and globular (D) type inclusions,

— slightly lower desulfuration rate

— increased content of A type sulfide inclusions.

Additional desulfuration is recommended as follows:

— addition of synthetic slag

— addition of desulfuration powder into the tapping stream

— the use of ladle argon or nitrogen blowing.

С видоизмененной технологии типа J (без диффузионного раскисления) с добавкой Al после варки в струю расплавленного металла во время выпуска получается следующий эффект: $\% [O]_1 = 0.4 [O]_{i2}$; $[O]_1 \% = 0.0035 + 0.14 [O]_1 = 0.0035 + 0.056 [O]_{i2}$

— диапазон десульфурации соответствует выше упомянутым отношениям в фазе варки,

— в остальном промежуточном времени во время рафинирования эффект десульфурации вследствие влияния синтетического шлака гораздо сильнее; за употребленное время ξ_2 берется обозначение F_{ξ_2}

При применении технологии типа H_m с добавкой частью белого шлака и алюминия после варки, перед выпуском в струю расплавленного металла во время выпуска отношения следующие:

$\% [O]_1 = 0.0035 + 0.1 [O]_1 = 0.0035 + 0.28 [O]_{i2}$

$\% [O]_1 = 0.28 [O]_{i2}$ за интервал 50 мин. от добавки Al до выпуска. Совокупный кислород при этой технологии на 10—13 % ниже чем при технологии J. Диапазон десульфурации согласуется с выше упомянутым уравнением и практически тот же как и в технологии J. Результаты позволяют оценить утраченное время ξ_1 и ξ_2 и дают возможность выполнить расчёт оптимальных величин что касается времени, количества добавок извести и сплавов [Al]. Расчёт количества расплавленного соответствует общему равенству:

$$[Al]_1 = K \xi \sqrt{\frac{Al_2}{[O] \times \xi}}$$

Значение величины $K \xi$

показано диаграммой Но 8.

Опытами доказано, что с изменением технологии удалось сократить совокупное время плавки приблизительно на 50 мин., увеличить эффект раскисления, получить сталь с более равномерным распределением включений с уменьшенным количеством силикатов (C) и глобулинов (D) хотя диапазон десульфурации несколько меньше и в включениях больше сульфидов типа A.

В заключении приводим необходимость, что к упомянутой технологии надо добавит десульфурацию следующими методами:

1) добавкой синтетических шлаков,

2) добавкой порошков за десульфурацию в струю расплавленного металла во время выпуска.

3) продувание расплавленного металла в ковше с аргоном или азотом.