

Alojz Prešeren, dipl. inž.
Metalurški inštitut Ljubljana

DK: 669 : 183; 187, 66.094.1
ASM/SLA: DZC; D5C

Vpliv dezoksidacijske tehnologije na izkoristke dodanega aluminija

Na podlagi tehnoloških analiz in statističnega obrazca, ki vsebuje vplivne faktorje izdelavne prakse za SM in E postopek, smo izvedli vrednotenje raznih načinov dezoksidacije s ciljem, da ugotovimo izkoristke dodane količine aluminija za pred- in končno dezoksidacijo.

Zasledovali smo homogenost gredic v pogledu (Al), in (O) ter poudarili vpliv obdelave taline v ponvi z argonom oz. dušikom.

UVOD

Tehnološki regulativi skušajo postaviti določene odnose v izdelavnem postopku v grobe okvirje tehnološke zakonitosti. Neredko pa pride v praksi do odstopanja predvidenih parametrov, kar zahteva delne ali obsežne spremembe predvsem v dezoksidacijski praksi.

V okviru predmetne problematike smo imeli postavljen cilj, da:

— zasledujemo vpliv izdelavnega SM in E postopka na končno fazo stanja šarže v peči pred prebodom,

— najdemo zakonitosti, ki bi dovoljevale ocenitev stanja šarže oziroma določitev praktično potrebnega obsega pred- in končne dezoksidacije,

— določimo parametre, ki diktirajo količino kislinotopnega Al, torej vplivajo na izkoristek slednjega.

PROGRAM RAZISKAV

Odločili smo se za pomirjeno kvaliteto nelegiranega jekla s srednjim in nizkim ogljikom ter nizko legiranega cementacijskega jekla in jekla za poboljšanje z nizkim ogljikom. Pri nelegiranih jeklih kvalitet C in Ck 10, 15 in 35 ter 45 pride v poštev SM jeklo in E jeklo z eno žlindro in dez-

oksidacijo v ponvi, pri cementacijskih jeklih in jeklih za poboljšanje in sicer EC 80, 100, ECMo 80, 100 VCMo 135, 140, 31 CrV3 itd. je izdelati šarže s preddezoksidacijo z Al, ev. SiMn in standardno končno dezoksidacijo v ponvi.

Da bi mogli ugotoviti vpliv argoniziranih šarž na izkoristke Al in vročo predelavo, je bilo odločeno, da bo del poizkusnih šarž izdelan brez in del s preprihovanjem z argonom oz. dušikom. Dodatek aluminija naj bi sledil pri določenem številu poizkusnih šarž z argonom med prvim in drugim delom argoniziranja, del dodatka Al naj bi sledil po končanem argoniziranju. Pri izdelavi SM jekla naj bi nekaj poizkusnih šarž izdelali z dodatkom celotne količine potrebnega aluminija v komadih po 1 kg, nekaj šarž v količini po 5 kg, ostale tako, da bi polovico potrebne količine Al dodali v curek taline, polovico pa skozi žlindro po končanem prebodu.

Za vse šarže smo beležili podatke o časovnih in količinskih parametrih, za analiziranje skupne količine kisika, aluminija in glavnih oksidov v nekovinskih vključkih smo jemali vzorce:

- po izkuhavanju taline,
- pred dodatkom preddezoksidantov,
- pred izpustom taline iz peči,
- med litjem prve in druge livne plošče,
- iz izvaljane gredice ločeno za glavo, sredino in nogo ter ločeno za rob in srednjo os gredice.

Dobljeni rezultati naj bi služili za:

— ocenitev tehnološke prakse v smislu najboljših vplivnih pokazateljev na stanje taline v peči pred izpustom,

— prikaz zakonitosti za vpliv posameznih tehnoloških parametrov na kisik v talini pred izpustom oziroma na pričakovano količino topnega aluminija,

— ugotavljanje potrebnega obsega dezoksidacije oziroma količine topnega Al v izdelanem jeklu,

— medsebojno odvisnost topnega in netopnega Al, kisika v talini, izkoristka aluminija pri upoštevanju različnih načinov dodatka aluminija.

Z ozirom na različne načine dezoksidacije: šarže z in brez preddezoksidacije, različni časi, količine in načini dodatki Al, je treba predvsem kazati izkoristke aluminija ter predlagati najučinkovitejši način dodajanja.

IZVAJANJE POSKUSOV IN VREDNOTENJE REZULTATOV

V smislu programa smo izdelali v 60 t E peči: 3 šarže nizko legirane navadne kvalitete z 0,19 do 0,37 % C, brez argona,

— 5 šarž nizko legirane in navadne kvalitete z 0,2 do 0,37 % C, obdelane v ponvi s plinastim argonom,

— 4 šarže kvalitete Č 1430 oz. 4320, obdelane v ponvi s plinastim argonom.

Pri 3 šaržah je bil izveden dodatek Al za končno dezoksidacijo v ponvi, pri drugi skupini poizkusnih šarž smo dodali Al po končanem prvem delu pihanja argona, pri tretji seriji šarž po končanem drugem delu pihanja argona. Za preddezoksidacijo smo pri vseh šaržah dodali okrog 1,0 kg Al/t v času 50 do 60 minut pred prebodom.

V 25 oz. 40 t E peči smo izdelali:

— 3 šarže za poboljšanje brez argona, z dodatkom Al v času 25 minut pred prebodom za preddezoksidacijo in z dodatkom Al za končno dezoksidacijo v ponev,

— 7 šarž jekla za cementacijo po preizkušeni »K« metodi: za preddezoksidacijo dodatek okrog 1,0 kg Al/t v času 25 minut pred prebodom, za končno dezoksidacijo dodatek 0,4 kg Al/t po končanem prvem delu pihanja argona,

— 6 šarž za cementacijo po modificiranih metodah: preddezoksidacija z 0,95 kg Al/t v času 55 minut pred prebodom, dodatek 0,3 kg Al/t v času 6 do 20 minut pred prebodom in dodatek okrog 0,25 kg Al/t v ponev oz. pri argonski obdelavi po končanem prvem delu pihanja.

V 30 t SM peči je bilo izdelanih

— 15 šarž kvalitete CK 10 in CK 15

Pri 5 šaržah smo dodali potrebno količino Al v talino v ponvi v komadih po 1 kg, pri 5 šaržah v komadih po 5 kg in pri 5 šaržah polovico potrebne količine Al v talino v ponvi, ostalo skozi žlindro, ko je bila ponev napolnjena.

Za študij odnosov med tehnološkimi parametri in značajem taline v posameznih izdelavnih fazah ter izdelanim jeklom smo razpolagali z rezultati analiz skupnega kisika po oksidaciji, po izkuhavanju, v talini pred prebodom in nekaterimi vplivnimi tehnološkimi pokazatelji kot čas trajanja bele žlindre, količina Al_t v talini pred prebodom, dodatek Al za preddezoksidacijo, dodatek Al za končno

dezoksidacijo, količina topnega Al v izdelanem jeklu, skupni kisik v poizkusnih gredicah ločeno za glavo, sredino in nogo, količina netopnega Al v glavi, sredini in nogi gredic in končno SiO₂ ter Al₂O₃ v nekovinskih vključkih.

Iz zasledovanja dobljenih rezultatov moremo zaključiti, da samo vrednotenje razpoložljivih podatkov ne nudi odgovora za značilno obnašanje aluminija tj. da dobimo različne vsebnosti topnega Al v izdelanem jeklu kljub sličnim količinam kisika pred prebodom, sličnim dodatkom Al in enako uspešni obdelavi taline v ponvi z argonom.

E postopek:

Za vrednotenje parametrov, ki vplivajo na obnašanje aluminija smo se poslužili obrazca, ki smo ga sestavili s pomočjo statistične obdelave številnih E in SM šarž:

$$(Al)_t \% = K_c \cdot F \cdot \sqrt{\frac{Al_d \%}{(O) \% \cdot \check{c}}}$$

Vrednost K_c je odvisna od dodatka Al_d in narašča proporcionalno z dodatkom. Tako je npr. pri 0,3 kg Al/t vrednost K_c — 0,011; pri 1,0 kg Al/t je K_c — 0,035.

č — čas v minutah od dodatka Al do preboda.

Pri kalkulaciji Al_t pri končni dezoksidaciji, ko dodamo aluminij v ponev, znaša čas č okrog 7 minut

(O) % — količina skupnega kisika v talini tik pred dodatkom Al_d.

Za kalkulacijo Al_t v talini v peči znaša »F« — 1,45, če je bila talina učinkovito preddezoksidirana (Al, Si, Mn) in 1,35 če ni preddezoksidirana. Za kalkulacijo Al_t v talini v ponvi je »F« — 1,3. Prikazane odvisnosti med Al_t v izdelanem jeklu napram Al_t v talini v ponvi in v talini v peči sledijo povprečno dobljenim odnosom preiskav številnih šarž in odgovarjajo vrednostim 1:1, 3:1,4.

Na osnovi navedenih odnosov smo za vse poizkusne šarže kalkulirali Al_t. Primerjava med tako dobljenimi vrednostmi Al_t v talini pred prebodom, dodatnega Al_t zaradi končne dezoksidacije z aluminijem v ponvi in količinami Al_t v izdelanem jeklu nam nudi možnosti ugotavljanja učinkovitosti posameznih dodatkov Al oz. stopnjo izkoristka dodane količine Al v posameznih tehnoloških fazah. Na ta način smo imeli možnost ugotoviti kateri dodatki Al so bili učinkoviti oz. v kakem obsegu vpliva na izkoristek Al količina ogljika, odnosno količina skupnega kisika pred prebodom in čas dodatka Al pred prebodom.

Vrednotenje vpliva ogljika na prosti kisik smo prikazali z obrazcem, s katerim zasledujemo tudi vpliv časa izkuhavanja po oksidaciji na količino kisika:

$$(O) \% = K \cdot \frac{1}{C} \cdot \frac{1}{\check{c}}$$

Vrednost — K — je odvisna od časa izkuhavanja — č — in znaša npr. pri času 15 minut okrog

0,06, pri času 45 minut pa 0,012. Pri krajših časih vrednost konstante hitreje narašča.

Iz odnosov vpliva časa in ogljika na količino kisika moremo ugotoviti, da bo kisik pri višjem ogljiku in daljšem času manjši, kar nudi možnost za povečanje količine kislinotopnega Al. Dolgi časi od dodatka Al_3 do preboda znižujejo količino Al, oziroma znižujejo izkoristek Al.

Nastane vprašanje kdaj bi bil dodatek Al optimalen z ozirom na izkoristek Al, intenziteto izločanja Al_2O_3 in čim nižji kisik v talini pred prebodom.

Verjetni mehanizem dezoksidacije nudi odgovore za:

- obseg in hitrost dezoksidacijske reakcije
- intenziteto izločanja Al_2O_3
- obseg redukcije SiO_2
- učinkovitost ali neučinkovitost obdelave taline v ponvi s plinastim argonom oziroma dušikom
- verjetno utemeljenost oz. neutemeljenost analize Al_1 .

Pripomniti moramo, da so bili nekateri vzroki izredno nehomogeni in vsebnosti Al_1 za eno in isto šaržo med 0,007 % in 0,039 %.

V naslednjem podajamo verjetni mehanizem dezoksidacije za nekaj značilnih šarž iz posameznih poskusnih serij:

Šarža 106194 — C 35 stab.

C — 0,37 %, Si — 0,23 %, Mn — 0,56, P — 0,008 %, S — 0,016 %, Alt — 0,019 %, Al_{net} — 0,002/0,004 %.

Analize skupnega kisika so naslednje:

v talini po oksidaciji	— 0,0256 %
po izkuhanju	— 0,0141 %
v talini pred prebodom	— 0,0048 %
v mali probni kokili	— 0,0068 %
v izvaljani gredici glava	— 0,0058 %, sredina — 0,0056 %, noga — 0,0046 %.

Šarža je raztalila z 0,51 % C, žilavenje je bilo s kisikom pri povprečni hitrosti 0,007 % C/min, kar nudi statistično okrog 0,027 % skupnega kisika.

Izkuhanje po oksidaciji je trajalo 20 minut, kalkulacijska količina prostega kisika je:

$$(O)_{1z} \% = 0,071 \cdot 1/0,3 \cdot 1/20 = 0,0117 \%$$

Ob koncu izkuhanja predvidevamo (na osnovi številnih dosedanjih raziskav) v talini 0,0045 % Al_2O_3 , 0,0075 % SiO_2 oziroma skupni vezani kisik 0,0059 %. Skupni kisik ob koncu izkuhanja znaša torej 0,0176 %, po analizi pa 0,0141 %.

Po odstranitvi žlindre smo na golo dodali 1,0 kg Al/t in 1,5 kg Si/t (SiMn). Sledi dodatek apna in mešanica $CaF_2 + C + CaSi$ za tvorbo bele žlindre. Učinek preddezoksidacije zaradi SiMn je praktično nezaznaven ker je čas od dodatka do preboda

znatno prevelik. Pride pa učinek SiMn do izraza pri kalkulaciji količine topnega Al, katerega odgor je nekoliko manjši.

Učinek bele — karbidne žlindre s časom delovanja 38 minut se more izraziti le z določeno vlogo pri razžveplanju in ne pri preddezoksidaciji. Predpostavljamo pa, da se ob koncu te periode znižata Al_2O_3 in SiO_2 v talini na okrog 0,0018 % in 0,006 %, oziroma skupni kisik približno na 0,0039 %.

Dodatek 0,1 % Al na golo znatno presega učinek preddezoksidacije vsled bele karbidne žlindre. Kalkulacija (Al)₁ v talini pred prebodom:

$$(Al)_1 \% = 0,035 \cdot 1,45 \cdot \sqrt{\frac{0,1}{0,0141 \cdot 50}} = 0,019 \%$$

(enak rezultat nudi tudi analiza).

Ravnotežna količina prostega kisika je približno 0,0017 %. Razlika (0,0141—0,0059—0,0017) = 0,0065 % O reagira z Al pri čemer se tvori 0,0136 % Al_2O_3 . Pri redukciji SiO_2 do 0,002 % nastane 0,0045 % Al_2O_3 . Skupno se tvori 0,0136 + 0,0018 + 0,0045 = 0,0199 % Al_2O_3 . Obseg izločanja znaša okrog 67 %. V talini ostane 0,006 % Al_2O_3 , 0,002 % SiO_2 , 0,0017 % O in skupni kisik je pribl. 0,0055 % (po analizi 0,0048 %).

Razmerje $(O)_1 : (O)_{1z} = 0,0055 : 0,0141 = 0,38$. Po statističnem zasledovanju navedenega odnosa je vrednost 0,35 karakteristična za normalne pogoje preddezoksidacije.

V curek taline med prebodom smo dodali 0,33 kg Al/t v zavrtkih po 5 kg. Kalkulacija dodatnega (Al)₁ v talni ponvi je:

$$(Al)_1 \% = 0,012 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{\frac{0,033}{0,0055 \cdot 7}} = 0,014 \%$$

Skupni aluminij v talini v ponvi bi naj znašal:

$$(Al)_1 \% = 0,019 \cdot 1,3/1,45 + 0,014 = 0,031 \%$$

v izdelanem jeklu bi naj bil aluminij 0,031. $\cdot 1,0/1,3 = 0,025 \%$.

Stvarno smo analizirali 0,016—0,019 % Al.

Iz primerjave sledi, da je bil izkoristek dodanega Al v curek taline okrog 0,003 do 0,004 % mesto 0,011 % (z ozirom na Al v jeklu). Količina aluminija je torej v talini v ponvi 0,019 $\cdot 1,3/1,45 + 0,003 \cdot 1,3 = 0,021 \%$.

Med prebodom pride v talino iz obloge ponve:

$$SiO_2 = 0,65 \cdot 5,08 \cdot 10^{-4} \cdot (5 + 1)^2 \cdot \sqrt{16,0} = 0,0147 \%$$

Pri izločanju med prebodom v količini 45 % ostane 0,55 (0,0475 + 0,002) = 0,0272 % SiO_2 . Pri redukciji z Al do 0,0031 % (analiza izolata), nastane 0,026 % Al_2O_3 . Pri sekundarni oksidaciji curka nastane 1,9 (0,021—0,016) = 0,01 % Al_2O_3 . Skupno se tvori 0,01 + 0,005 + 0,026 + 2,1 \cdot (0,0017 do 0,0015) = 0,045 % Al_2O_3 .

Obseg izločanja v 18 minutah (od preboda do odlitja prve livne plošče) je okrog 78 %. V jeklu ostane približno 0,0055 % Al_2O_3 , 0,0031 % SiO_2 , 0,0015 % O (ostali oksidi). Skupni kisik je pribl. 0,0059 %, po analizi pa ga je 0,0056 do 0,0058 %.

Napram verjetnim odnosom pri normalnih tehnoloških pogojih je skupni kisik v jeklu:

$$(O)_j \% = 0,0035 + 0,14 \cdot (O)_{Iz} = 0,0035 + 0,14 \cdot 0,0055 = 0,0044 \%$$

Po statističnem odnosu z upoštevanjem količine kisika po izkuhanju je količina kisika v jeklu:

$$(O)_j \% = 0,0035 + 0,053 \cdot (O)_{Iz} = 0,0035 + 0,053 \cdot 0,0176 = 0,0044 \%$$

Primerjava teh kisikov s količino analiziranega kisika v jeklu potrjuje manjši učinek končne dezoksidacije oz. prenizko izkoriščanje dodanega Al med prebodom. Verjetno je bila tudi temperatura med litjem nekoliko prenizka kar zmanjšuje intenzivnost izločanja Al_2O_3 .

Splošne tehnološke pripombe:

— rafinacija in preddezoksidacija taline sta normalni. Obstaja splošno vprašanje o utemeljenosti dolgega časa od dodatka Al do preboda, ko je možno s pravnimi sintetičnimi žilindrami v krajšem času dobiti praktično enaki učinek odžveplanja,

— končna dezoksidacija v ponvi je bila le delno učinkovita, zaradi česar sta količina oksidnih vključkov in skupni kisik v jeklu večja,

— obstaja verjetnost, da je bila livna temperatura nekoliko prenizka in izločanje Al_2O_3 premalo obsežno. Vsled tega je skupni kisik v jeklu višji kot kisik v talini pred prebodom, kar na podlagi statističnih odnosov ni normalno,

— izkoristek dodanega Al za preddezoksidacijo znaša:

$$0,019 \cdot 100/0,1 = 19 \% \text{ (zelo dobro),}$$

izkoristek dodanega Al med končno dezoksidacijo je

$$0,003 \cdot 100/0,033 = 9 \% \text{ (mesto 33 \%),}$$

$$\text{izkoristek dodanega Al na jeklo znaša}$$

$$0,018 \cdot 100/0,133 = 13 \% \text{ (mesto 18 \%).}$$

Iz grupe poizkusnih šarž, kjer smo dodajali aluminij po končanem prvem delu pihanja argona je najuspešnejše izdelana šarža št. 106182 — C 35 st.

C — 0,37 %, Si — 0,24 %, Mn — 0,51 %, S — 0,011 %, Al_i — 0,026 do 0,029 %, Al_{net} — 0,003 do 0,004 %.

Šarža je raztalila z 0,6 % C, po 15-minutnem izkuhanju je v talini 0,0167 % O, kalkulatívna količina kisika pa 0,017 %.

Po izkuhanju oziroma 40 minut pred prebodom sledi dodatek 0,11 % Al. Kalkulatívna količina Al_i znaša 0,021 %, stvarno smo analizirali 0,018 % Al.

Po sličnem mehanizmu dezoksidacije kot pri prejšnji šarži se tvori skupno 0,0208 % Al_2O_3 in pri 75 % izločanju ostane v talini pred prebodom

okrog 0,005 % Al_2O_3 , 0,002 % SiO_2 , 0,0016 % O ter skupni kisik pribl. 0,0050 %.

$(O)_{I} : (O)_{Iz} = 0,0050 : 0,017 = 0,30$, kar je zelo dobro.

Z dodatkom Al po končanem prvem delu pihanja argona se poveča $(Al)_i$ v talini v ponvi za:

$$(Al)_i = 0,0152 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{\frac{0,046}{0,0050 \cdot 7}} = 0,020 \%$$

Skupni aluminij v talini v ponvi bi znašal:

$0,021 \cdot 1,3/1,45 + 0,020 = 0,035 \%$ in v izdelanem jeklu okrog 0,026 %. Stvarno smo analizirali v tej šarži okrog 0,028 % topnega aluminija. Smatramo, da sta bila oba dodatka, torej za preddezoksidacijo in končno dezoksidacijo normalno učinkovita.

Vsled uspešne argonske obdelave — redukcija SiO_2 do 0,0015 % (analiza izolata), intenzivnost izločanja Al_2O_3 95 %, ostane v jeklu okrog 0,003 % Al_2O_3 , 0,0015 % SiO_2 , 0,0006 % O (ostali oksidi) in skupni kisik je pribl. 0,0030 %. Po analizi znaša kisik 0,0028 do 0,0033 %.

Napram statistični kalkulaciji kisika v izdelanem jeklu (pri uspešni argonski obdelavi) znaša isti:

$(O)_j \% = 0,0027 + 0,14 \cdot 0,0050 = 0,0034 \%$, kar se s stvarno analizo kisika v gredici zadovoljivo ujema.

Splošne tehnološke pripombe:

— šarža je zelo dobro izdelana. Pripominjamo, da bi praktično enako dobre rezultate dosegli tudi pri nižjem aluminiju — okrog 0,022 %. Dodatek Al med argonsko obdelavo lahko zmanjšamo na 0,3 kg/t, če je ob koncu rafinacije dosežen zadovoljiv preddezoksidacijski učinek.

— Argonsko preprihanje taline v ponvi je bilo zelo uspešno.

— Izkoristek Al med preddezoksidacijo znaša $0,021 \cdot 100/0,11 = 19 \%$.

Izkoristek Al med dezoksidacijo je $0,022 \cdot 100/0,46 = 47 \%$.

Izkoristek aluminija v jeklu znaša $0,028 \cdot 100/0,156 = 18 \%$.

Splošne tehnološke značilnosti vseh poizkusnih E šarž:

Iz vseh dobljenih podatkov kot jih nam nudijo tehnološka analiza šarž, analiza plinov in vključkov ter odnosi, kot jih dovoljuje verjetni mehanizem dezoksidacije, moremo zaključiti naslednje:

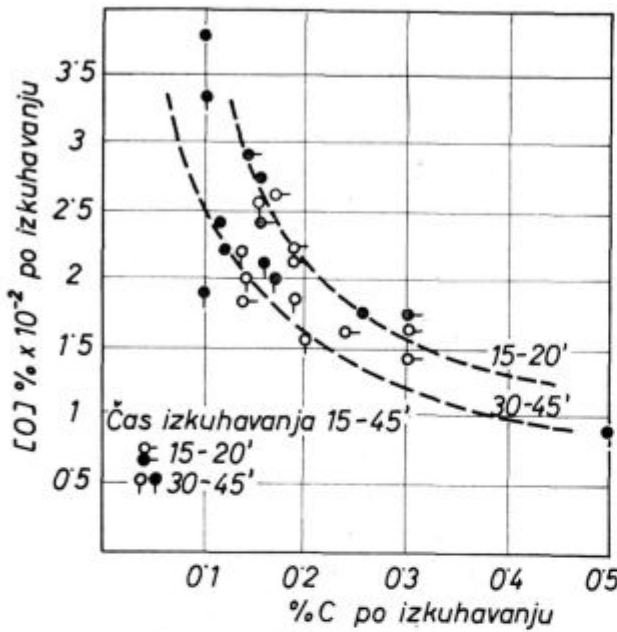
— Količine kisika po izkuhanju sledijo odnosom, kot so za določeni C in čas izkuhanja značilni. V povprečju znašajo časi izkuhanja 20 do 35 minut. Odgovarjajoče vsebnosti skupnega kisika so med 0,018 do 0,025 % (sl. 1).

— Časi od končanega izkuhanja do preboda so med 25 in 95 minut.

— Dodatki Al za preddezoksidacijo v količini 0,9 do 1,0 kg/t, z izjemo pri trdih šaržah, so sledili v različnih časih od izkuhanja do preboda (sl. 2).

— Količina kisika pred prebodom znaša med 0,0064 do 0,0123 %.

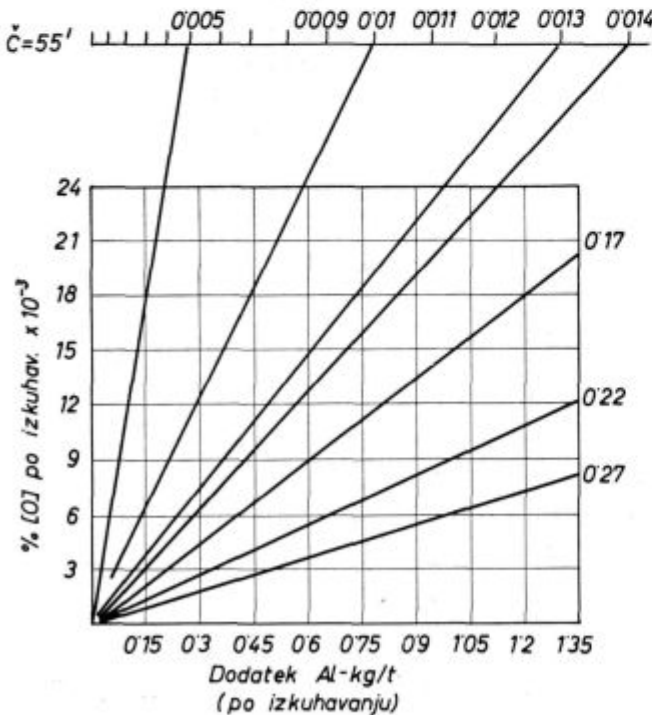
— Delno bela žilindra pri poizkusnih šaržah, razen v dveh primerih, ni doprinesla k povečani stopnji preddezoksidacije, temveč je vlogo pred-



Slika 1

Vpliv količine ogljika in časa izkuhavanja taline po oksidaciji na količino kisika v talini

%Al/t₂ (pred izpustom)



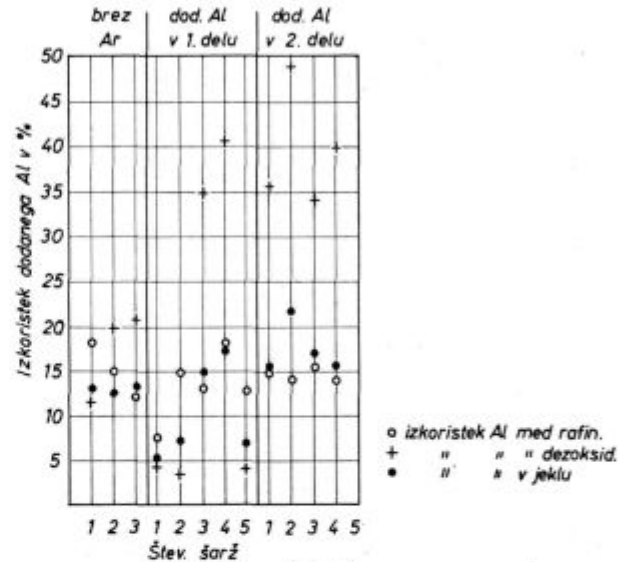
Slika 2

Vpliv količine kisika in dodatka aluminija po izkuhavanju taline na količino kislinitopnega aluminija v talini pred prebodom

dezoksidanta prevzel dodani Al. Se pa kaže pozitiven vpliv delno bele žilindre v povečani stopnji odzveplanja za okrog 6—8 %.

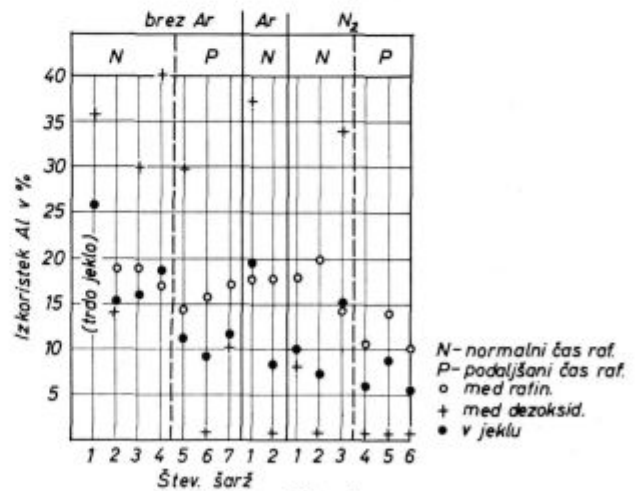
— Razmerje (O)₁ : (O)₂ znaša povprečno 0,0075 : 0,021 = 0,35 pri kratkih rafinacijah in 0,0074 : 0,023 = 0,32 pri dolgih rafinacijah.

— Normalni izkoristek Al med rafinacijo naj bi bil 18 %, med dezoksidacijo (brez Ar) 20 %, odvisno od vsebnosti Al v talini pred prebodom oziroma v ponvi. Stvarno so bili dodatki Al uspešnejši pri kratki rafinaciji in znatno slabši pri dolgi. Rezultati so prikazani v sl. 3 in 4.



Slika 3

Vpliv načina dodatka aluminija na izkoristek dodanega aluminija



Slika 4

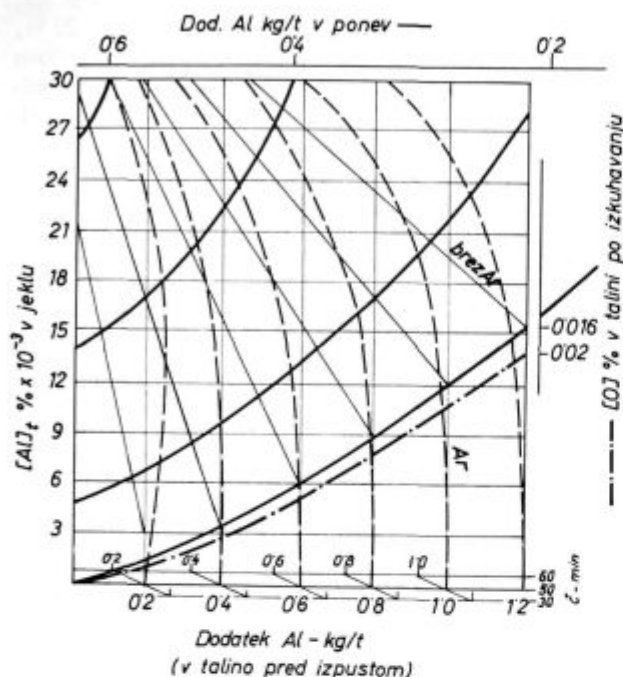
Vpliv različnih načinov dezoksidacije na izkoristek aluminija

— Dodatek Al po prvem delu pihanja argona nudi stopnjo izkoriščanja med dezoksidacijo okrog 4 % do 37 % (normalni izkoristek 35 do 45 %).

Tak način dodatkov Al ne kaže sigurnosti oziroma je preveč odvisen od subjektivnih momentov

— dodatek Al po končanem pihanju Ar je v celoti izredno učinkovit. Med rafinacijo so bili izkoristki 15 do 17 %, med dezoksidacijo od 35 do 48 %, v povprečju 39 %, kar je zelo ugodno.

— V sliki 5 prikazujemo vpliv dodatka Al za preddezoksidacijo in kisika po izkuhanju ter Al



Slika 5

Odnosi med kisikom v talini po izkuhanju, časom dodatka aluminija v talino pred prebodom, količino dodanega aluminija za pred- in končno dezoksidacijo in količino kislinitopnega aluminija v jeklu pri praksi z in brez obdelave taline v ponvi z argonom

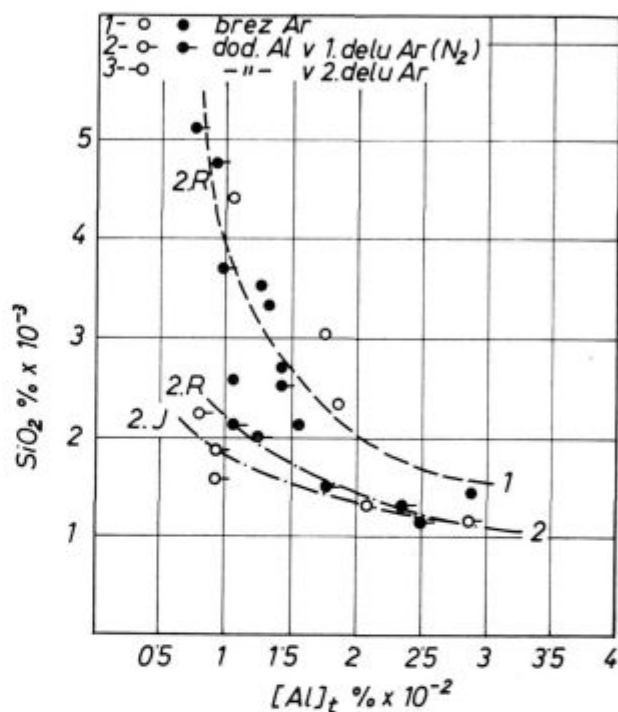
za končno dezoksidacijo v ponvi na količino kislinitopnega Al v jeklu pri standardni dezoksidaciji in uspešni obdelavi taline z argonom.

— Uspešnost argonske oziroma dušikove obdelave taline v ponvi je razvidna tudi iz vpliva Al na SiO_2 v vključkih (slika 6). Pri standardni dezoksidaciji sledi vpliv krivulji 1, pri uspešni argonski obdelavi krivulji 2 J, pri uspešni dušikovi obdelavi krivulji 2 R. Ugotavljamo, da sta 2 J in 2 R pri količinah pa je dušikova obdelava nekoliko manj učinkovita (do tega zaključka pridemo na osnovi dobljenih rezultatov; verjetno pa ni praktičnih razlik). Pri neuspešnem prepihanju so količine SiO_2 na krivulji 1 kot je značilno za standardno dezoksidacijo.

— Vsebnost netopnega Al je zelo različna. Analiza rezultatov dovoljuje mišljenje, da je Al_{net} odvisen od vrste faktorjev, ki diktirajo izkoristek Al (slika 7). Na splošno je pričakovati manjši Al_{net} pri povečanem izkoristku Al. Medtem ko odnosi med rafinacijo nimajo vpliva, je viden vpliv izkoristka med dezoksidacijo. Prav tako obstaja verjetnost, da vpliva uspešno prepihanje z argonom oziroma dušikom na nekoliko spremenjen vpliv izkoristka na vsebnost Al_{net} . Če sprejmemo

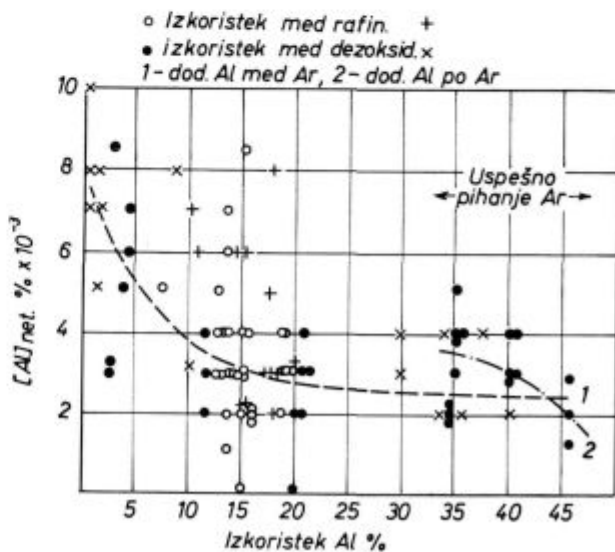
potek medsebojnih odnosov kot jih slika prikazuje, potem sledi, da vplivajo na zmanjšanje vsebnosti Al_{net} naslednji faktorji:

— nižji kisik v talini pred prebodom, torej daljše izkuhanje, višja temperatura, večja intenzivnost izločanja Al_2O_3 , dobro mešanje in učinkovita preddezoksidacija. Dalje more vplivati na zmanjšanje Al_{net} visoka temperatura taline v ponvi, določeni čas čakanja poneve pred litjem (homogenost) in uspešno prepihanje z argonom.



Slika 6

Vpliv količine kislinitopnega aluminija na zmanjšanje SiO_2 v vključkih

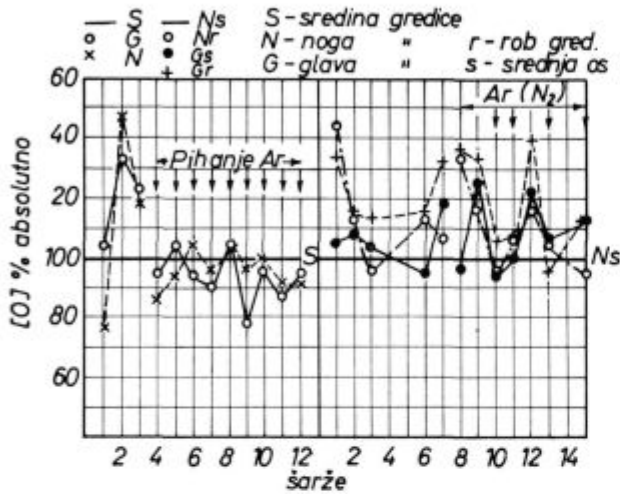


Slika 7

Vpliv izkoristka aluminija na količino netopnega aluminija v jeklu

Iz podatkov moremo tudi zaključiti, da je največja količina Al_{net} v glavi gredice, najmanj pa v nogi. Tudi ta razporeditev govori v prid notranjim kinetičnim odnosom homogenosti, višje temperature, hitrosti izločanja Al_2O_3 in ne najmanj ohlajevalni hitrosti oziroma hitrosti kristalizacije.

— Zasedovanje gibanja skupnega kisika v glavi, sredini in nogi gredic ter po robu in v osrednji osi gredic je prikazano v sliki 8.

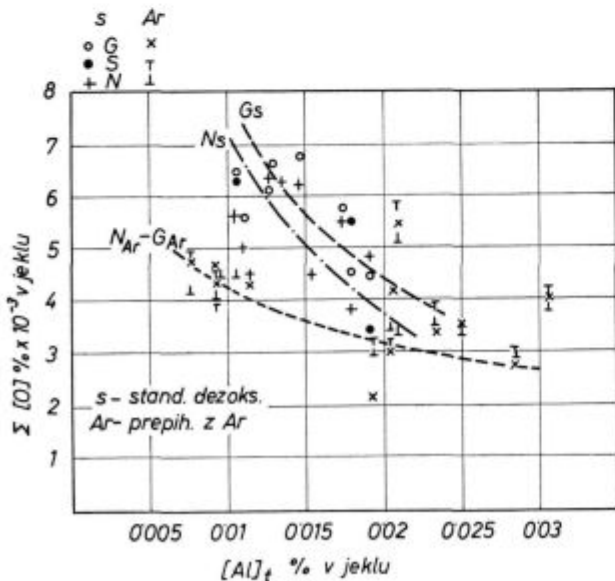


Slika 8

Vpliv uspešne obdelave taline v ponvi z argonom na homogenost gredic

Jasno vidimo sledeče:

— taline brez preprihovanja z Ar ali N_2 kažejo znatno stresanje količine kisika med glavo, sredino in nogo. Pri uspešni obdelavi so razlike malenkostne. Prav tako ugotovimo malo stresanje med vrednostmi kisika na robu in osi gredic med nogo in glavo, veliko stresanje pa pri neuspelem prepriho-



Slika 9

Vpliv dezoksidacijske tehnologije na homogenost gredic

vanju oz. pri praksi brez preprihovanja. Torej doprinaša argonska obdelava taline k večji homogenosti tudi v pogledu kisika oziroma oksidov v vključkih.

— Vpliv Al_t na končni kisik v jeklu ločen za G, S in N pri praksi brez in z Ar (N_2) prikazujemo v sliki 9.

— Kisik v jeklu sledi pri argonski obdelavi statističnemu odnosu:

$$(O)_j \% = 0,0027 + 0,14 \cdot (O)_1,$$

pri praksi brez argona pa:

$$(O)_j \% = 0,0035 + 0,14 \cdot (O)_1.$$

SM postopek:

Značilno za splošno tehnologijo izdelave pozikusnih SM šarž je, da so povprečne žilavilne hitrosti med rafinacijo različne in sicer med 0,2 do 0,6 % C/h in končne žilavilne hitrosti med 0,02 do 0,13 % C/25 minut. V glavnem so bile vse šarže izdelane s preddezoksidacijo z dodatkom SiMn v količini od 0,9 do 2,7 kg Si/t in čas od dodatka do preboda je bil 3 do 10 minut. Na osnovi študije o preddezoksidacijskem učinku sledi slednji obrazcu:

$$dO_2 = k \frac{1}{\sqrt{Si}}$$

dO_2 pomeni zmanjšanje količine kisika po preddezoksidaciji napram kisiku v talini pred dodatkom SiMn. Vrednost faktorja k je odvisna od časa od dodatka SiMn do preboda.

Optimalen učinek preddezoksidacije je pričakovati pri času 10 do 12 minut, medtem ko pri zelo kratkih časih praktično ni učinka.

Pri poskusnih šaržah znaša zmanjšanje kisika vsled preddezoksidacije v povprečju 11 % (prekratki časi).

Za kalkulacijo količine kisika ob koncu rafinacije, smo uporabili obrazec:

$$(O)_1 \% = K_c / C \cdot 0,4 \cdot K_1 / V_1 \cdot V_2 / K_2 \cdot 10^{-3}$$

- $(O)_1$ — skupni kisik v talini pred prebodom
- V_1 — povprečna žilavilna hitrost % C/h
- V_2 — žilavilna hitrost % C/25 minut
- C — % C v talini pred prebodom oziroma pred dodatkom preddezoksidanta
- K_2 — vrednost konstante v odvisnosti od ogljika
- K_1 — vrednost konstante v odvisnosti od povprečne žilavilne hitrosti
- K_2 — korekturni faktor v odvisnosti od ogljika

Vpliv tehnoloških odnosov na vsebnost topnega Al smo slično kot pri elektro postopku zasledovali z obrazcem:

$$(Al)_t \% = K_c \cdot F \cdot \sqrt{\frac{\% Al_d}{(O) \% \cdot \check{c}}}$$

V naslednjem podajamo primer verjetnega mehanizma dezoksidacije za šaržo iz skupine, kjer je bil izveden dodatek Al v komadih po 1 kg v curek taline v ponvi.

Šarža 6138 — CK 10

C — 0,11 %, Si — 0,23 %, Mn — 0,52 %, S — 0,033 %, Al_i — 0,017 do 0,022 %, Al_{net} — 0,004 do 0,003 %.

Šarža je raztalila z 0,84 % C. Po izdatnem žilavenju s kisikom je kalkulacijska količina skupnega kisika pred dodatkom SiMn:

$$(O) \% = 5,9/0,11 \cdot 0,4 \cdot 1,05/0,405 \cdot 0,06/0,11 \cdot 10^{-3} = 0,0308 \%$$

Vsled dodatka 0,24 % Si kot SiMn v času 3 minute pred prebodom znaša $dO_2 = 0,42/0,24 = 0,86$. Skupni kisik v talini pred prebodom je okrog $0,86 \cdot 0,031 = 0,027 \%$, stvarno smo ga analizirali 0,0286 %.

Z dodatkom 0,091 % Al v curek taline znaša kalkulacijska količina topnega Al v talini v ponvi:

$$(Al)_t \% = 0,031 \cdot 1,3 \cdot \sqrt{\frac{0,091}{0,029 \cdot 7}} = 0,026 \%$$

V jeklu naj bi bilo $0,026/1,3 = 0,02 \%$ Al_i, stvarno smo ga analizirali povprečno 0,0197 %.

Ravnotežna količina prostega kisika pri 0,23 % Si znaša približno 0,008 %. Razlika $0,0286 - 0,008 = 0,0045$ reagira z Si in se tvori 0,031 % SiO₂. Skupno z 0,027 % SiO₂ iz opeke ponve in 0,004 % SiO₂ iz taline iz peči ostane po 45 % izločanju med prebodom okrog 0,034 % SiO₂. Po redukciji SiO₂ z Al do 0,0026 % (analiza izolata) nastane 0,038 % Al₂O₃. Pri sekundarni oksidaciji curka taline nastane $1,9 (0,026 - 0,02) = 0,012 \%$ Al₂O₃. Ravnotežna količina prostega kisika pri 0,026 Al_i v talini v ponvi je okrog 0,0014 %. Razlika $0,008 - 0,0014$ reagira z Al in se tvori 0,014 % Al₂O₃. Skupno nastane

0,069 % Al₂O₃. Pri verjetnem obsegu izločanja 90 % ostane v jeklu 0,006 % Al₂O₃, 0,0026 % SiO₂, 0,0016 % O (ostali oksidi). Skupni kisik je okrog 0,0059 %, stvarno smo ga analizirali povprečno na robu gredice v glavi, sredini in nogi 0,0061 % in v osi gredice 0,0053 %, kar se z analizo zadovoljivo ujema.

Splošne tehnološke pripombe:

— Pri praksi brez preddezoksidacije bi znašal kisik v jeklu (sl. 10):

$$(O)_j \% = K \cdot (O)_t = 0,2 \cdot 0,029 = 0,0058 \%$$

(pri 0,02 % topnega Al). Pri optimalni preddezoksidaciji z 0,24 % Si (SiMn) bi znašal kisik v jeklu:

$$(O)_j \% = K \cdot (O)_t \cdot dO_2 = 0,2 \cdot 0,029 \cdot 0,56 = 0,0032 \%$$

Konkretno je bil učinek preddezoksidacije izkoriščen:

$$(0,0058 - 0,0032) \cdot 100 / (0,0058 - 0,0032) = 4 \%$$

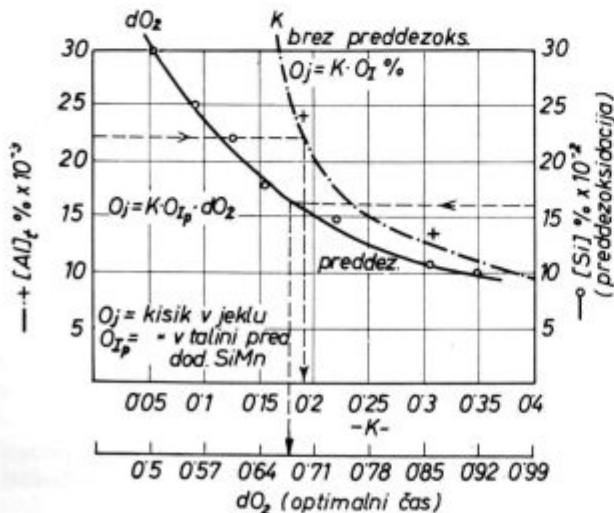
(zelo slab izkoristek preddezoksidacije).

— Izkoristek Al med dezoksidacijo znaša okrog 28,6 %, v jeklu okrog 22 %.

— Napram statističnemu obrazcu je: $(O)_j \% = 0,0044 + 0,039 (O)_t = 0,0044 + 0,029 = 0,0055 \%$, kar se s stvarno analizo kisika dobro ujema in je tudi dokaz, da s preddezoksidacijo praktično nismo izboljšali rezultata rafinacije. Sicer je šarža normalno izdelana.

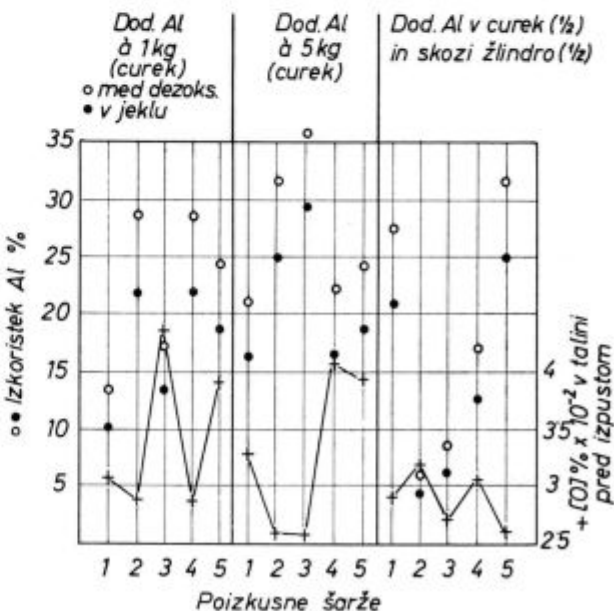
Splošne tehnološke značilnosti vseh poskusnih SM šarž:

— s povečano povprečno žilavilno hitrostjo V₁ in zmanjšano žilavilno hitrostjo v zadnjih 25 do 30 minut rafinacije se manjša skupni kisik v talini pred prebodom.



Slika 10

Učinek preddezoksidacije in končne dezoksidacije na kalkulacijsko količino kisika v jeklu



Slika 11

Vpliv dezoksidacijske tehnologije in kisika v talini na izkoristek dodanega aluminija

— z dodatkom SiMn v talino pred prebodom moremo vplivati na zmanjšanje kisika po statističnem obrazcu:

$$dO_2 = K \cdot \frac{1}{\sqrt{Si}}$$

Ugotovljeno je, da je optimalne učinke preddezoksidacije doseči pri 10–12 minutah od dodatka SiMn do preboda.

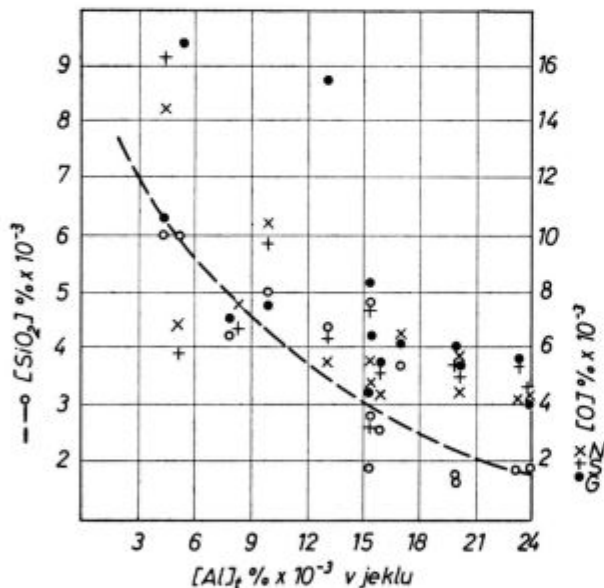
— kisik v jeklu brez preddezoksidacije sledi odnosu:

$(O)_j \% = K \cdot (O)_i$ oziroma pri preddezoksidaciji $(O)_j \% = K \cdot (O)_i \cdot dO_2$. Ugotavljamo, da pri Si (iz SiMn) okrog 0,09 do 0,11 % ni pričakovati preddezoksidacijskega učinka, oziroma je količina kisika v jeklu praktično enaka pri izdelavni praksi z in brez preddezoksidacije, če je v jeklu 0,01 do 0,012 % Al.

— med kisikom v talini pred prebodom in kisikom v jeklu obstaja statistični odnos:

$$(O)_j \% = 0,0044 + 0,037 \cdot (O)_i$$

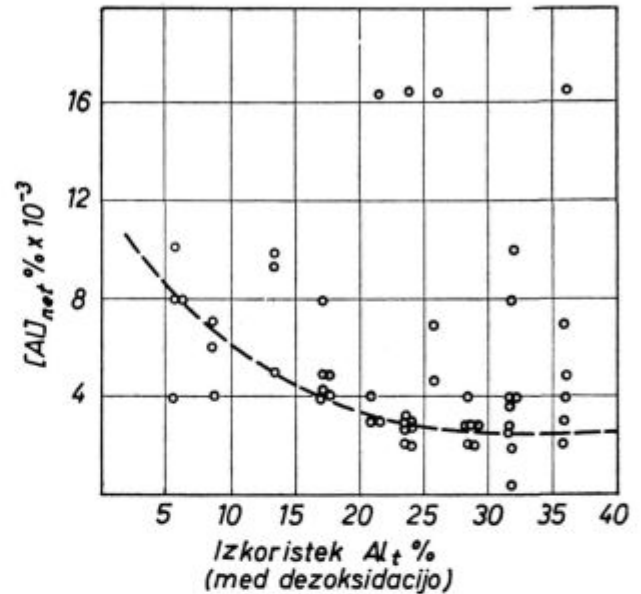
— izkoristki dodanega Al za poskusne 3 načine dodatka Al za končno dezoksidacijo so prikazani v sliki 11:



Slika 12

Vpliv količine kislinitopnega aluminija v jeklu na znižanje skupnega kisika oziroma SiO₂ v vključkih

pri dodatku Al v komadih po 1 kg je izkoristek povprečno 15–20 % nižji, kot pri dodatku Al v kosih po 5 kg. Pri dodatku Al v polovični količini v curek taline, ostala polovica skozi žlindro v napolnjeno ponev sta uspeli dve šarži, kjer je izkoristek v jeklu okrog 20 %, računano na enako količino kisika pred prebodom, pri ostalih 3 šaržah so izkoristki daleč pod normalo.



Slika 13

Vpliv izkoristka dodanega aluminija na količino netopnega aluminija v jeklu

Smatramo, da je najbolj učinkovit dodatek Al v komadih po 5 kg v curek taline, dodatek Al v curek in skozi žlindro je nezanesljiv.

— Ugotavljamo, da so kisiki v robovih gredic v glavnem višji kot v osi gredic. Prav tako je na splošno kisik v glavi višji kot v sredini oziroma nogi (slika 12). Pri nižjih Al_t je stresanje količin kisika med G, S, N znatno večje kot pri višjih količinah topnega Al.

— S povečanim Al_t se manjša SiO₂. Ugotavljamo močnejši vpliv kot smo to zasledovali pri številnih prejšnjih raziskavah.

— Vpliv izkoristka Al med dezoksidacijo na količino netopnega Al je sličen kot pri E postopku, le stresanje rezultatov je znatno večje. Pri izkoristku Al_t večjem kot 22 % se vpliv praktično ne povečuje (sl. 13).

ZUSAMMENFASSUNG

Bei der Bewertung der Technologie des SM Verfahrens haben wir die Gesamtsauerstoffmenge im Stahl am Ende der Refinationszeit nach der statistischen Formel bei Berücksichtigung der durchschnittlichen und Endfrischgeschwindigkeit und des Kohlenstoffes am Ende der Refinationszeit bestimmt. Wir haben festgestellt, dass die Formel nützlich für die Kalkulierung der Sauerstoffmenge angewendet werden kann, da die Abweichung von der durchschnittlichen analysierten Sauerstoffmenge von ± 10

bis 12 % beträgt. Das Bewegten des säurelöslichen Aluminiums ist auch mit einer statistischen Formel verfolgt worden. Auch hier konnten wir feststellen, dass nach der Formel das säurelösliche Aluminium genügend genau auskalkuliert werden kann, da die Abweichungen von der analysierten Menge nur klein sind. Das Ausbringen des während der Desoxydation zugesetzten Aluminiums ist für drei verschiedene Zugabearten bestimmt worden:

1. Zugabe von Al in Stücken von 1 kg in den Stahlstrahl.
2. Zugabe von Al in Stücken von 5 kg in die Pfanne
3. Zugabe einer Hälfte der Gesamtaluminiummenge in die Pfanne und der anderen Hälfte durch die Schlacke in die Schmelze. Es zeigt sich eindeutig, dass die Zugabe nach der zweiten Art am sichersten, und die Zugabe durch die Schlacke unsicher ist.

Die Bewertung der untersuchten Elektrostahlschmelzen haben wir auf Grund des Sauerstoffgehaltes nach dem Auskochen (Vergleich zwischen der analysierten und kalkulierten Menge), auf Grund der Menge des säurelöslichen Aluminium nach der statistischen Formel (Vergleich mit den analysierten Mengen) ausgeführt. Der Vergleich des Ausbringens von säurelöslichen Aluminium bei verschiedenen Desoxydationsarten zeigt, dass das Ausbringen von Aluminium am sichersten und am grössten ist, wenn das Aluminium für die Enddesoxydation am Ende der Argondurchspülung zugegeben wird. Wenn das Aluminium am Anfang der Argondurchspülung in die Pfanne zugegeben wird, ist das Ausbringen am schlechtesten. Wir setzen voraus, dass bei der Argondurchspülung der Stahlschmelze in der Pfanne das Ausbringen des Aluminiums nur 10 % grösser sein sollte als bei der üblichen Desoxydation. (Solche Daten gibt die Literatur an und die Ergebnisse der Versuchsschmelzen bestätigen es auch.)

Den Einfluss der Vordesoxydation mit Al zu verschiedenen Zeiten und Mengen vor dem Abstich haben wir mit

der statistischen Formel für die Kalkulation von säurelöslichem Al und dem Verhältniss $(O)_1 : (O)_{12} = 0.35$ verfolgt.

Wir haben festgestellt, dass die Kalkulation des Gesamtsauerstoffgehaltes im fertigen Stahl bei der üblichen Desoxydationspraxis mit der statistischen Formel: $(O)_1 \% = 0.0035 + 0.14 (O)_2$ und die Kalkulation des Sauerstoffes im Stahl bei erfolgreicher Argondurchspülung mit der Formel: $(O)_1 = 0.0027 + 0.14 (O)_2$ berechnet werden kann.

Auf Grund der vorliegenden Ergebnisse kann geschlossen werden, dass bei der üblichen Desoxydationspraxis das grösste Ausbringen des zugesetzten Aluminiums bei der Zugabe in 5 kg Stücken in die Pfanne zu erwarten ist, und bei der Argondurchspülung der Schmelze in der Pfanne, wenn das Aluminium in den letzten Minuten der Spülung durch die Schlacke zugegeben wird.

Die vorliegende Ergebnisse zeigen auch, dass die sogenannte lange Refination in Hinsicht der Menge der oxydischen Einschlüsse, bzw. Sauerstoff, keinen Vorteil mit sich bringt. Im Gegenteil, es vermindert sogar das Ausbringen von Aluminium. Um ca. 5 bis 8 % bessere Entschwefelung bei der verlängerten Refination kann auch bei einer kurzen Refinationszeit mit Hilfe der synthetischen Schlacke bzw. mit erfolgreicher Argondurchspülung erreicht werden. Die Argondurchspülung des Stahles in der Pfanne bietet eine Reihe qualitativer Vorteile und wird allmählich ein unerlässliches technologisches Verfahren.

SUMMARY

Statistical analysis for calculation of total oxygen at the end of the refination period in the open-hearth process was used to control the technology, taking in account also an average and the final rate of refination, and the carbon content at the end of the refination. This calculation method for oxygen content is satisfactory as deviations from the average analyzed oxygen content are ± 10 to 12 %. Amount of dissolved Al was studied statistically and the developed equation is also satisfactory as deviations from the analyzed amounts of dissolved Al are minimal. Yield of added aluminium during deoxidation for three different methods: addition of 1 kg Al pieces into the melt jet, addition of 5 kg Al pieces into the ladle, and addition of half of previous amount into ladle and the rest into the melt in the ladle through the slag, clearly showed that the second method is the most safe one while adding of Al through the slag in the least satisfactory.

Analysis of experimental batches from the electro-furnace was made by analysing single technological phases on oxygen after the refination (comparing analyzed and calculated amounts), and on amount of dissolved Al according to the statistical expression (comparison with analyses of Al_{dis}). Yields of Al_{dis} were studied for various deoxidation methods. The highest and the safest yield was obtained when Al was added for final deoxidation after the finished blowing by argon while addition of Al after the first stage of argon blowing gave the least satis-

factorial results. Supposition is made that Al yield after argon treatment of the melts is for about 10 % higher than in standard deoxidation (data from references confirmed by results of experimental batches). Influence of predeoxidation by adding Al at various times in various amounts before tapping was statistically analyzed by calculating Al_{dis} and by the ratio $(O)_1 : (O)_{12} = 0.35$.

Total oxygen in the finished steel by standard deoxidation practice can be calculated by statistically determined expression: $(O)_{12} \% = 0.0035 + 0.14 (O)_1$ and amount of oxygen in steel after satisfactory argon blowing by: $(O)_{12} \% = 0.0027 + 0.15 (O)_1$.

Basing on the obtained results, conclusion can be made that best yield of added aluminium in standard deoxidation practice can be expected if 5 kg Al pieces are given into the ladle, and in the case that the melt is treated by argon aluminium must be added into the melt through the slag after the finished argon blowing, i. e. after the slag calms down.

The obtained results also show that so called long refination does not give quality advantages in the respect of the amount of oxide inclusions or oxygen. On contrary, yield of aluminium is reduced. For about 5 to 8 % better desulphuration in the long refination can be achieved also in the short refination by adding synthetic slag or by successful argon blowing. Argon treatment gives many quality advantages and it is becoming a necessary technological operation.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для оценки выполненного задания использовали для СМ-процесса статистический образец для калькуляции количества совокупного кислорода в конце рафинирования приняв во внимание среднюю и исходную скорость фришования, также и содержание углерода в конце рафинации. Определено, что образцы могут быть полезно употреблены для калькуляции кислорода, так как отклонение от среднего количества кислорода бывает до 10—12 %. Процесс движения растворимого алюминия следил с статистическим образцом при чём доказано, что этот образец дает удовлетворительную

калькуляцию, так как отклонения от полученных анализов растворимого алюминия незначительны.

Алюминий добавлял в струю расплавленного металла кусками тяжести одного кг. Другой способ добавки был кусками тяжести по 5 кг в ковше, и, наконец, третий способ добавки: половина количества алюминия в ковше а остальное количество в расплавленный металл посредством шлака в ковше. Оказалось, что самый лучший выход алюминия при втором способе, а менее всего надёжный посредством шлака. Плавки из электропечи

оценки на основании отдельных фаз взяв во внимание содержание кислорода (сравнение между вычисленным количеством и количеством полученным химическим анализом); также взяв во внимание количество растворимого алюминия на основании статистического образца (сравнение с определённым содержанием Al_2) и, наконец, следил за выходом Al_2 при различных способах раскисления.

Определено, что самый лучший и самый надёжный выход если алюминий для выходного раскисления добавить после закончания дутья с Аргоном и менее всего эффективный если его добавить в конце первой части дутья. При этом взято во внимание, что выход алюминия при дутье расплава с Аргоном приблизительно 10 % лучше выхода при стандартном раскислении (такие данные приведены в литературе а также доказаны конкретными результатами исследованных плавов).

Влияние предварительного окисления добавок алюминия в различных промежутках времени и в различных количествах до выпуска расплава следил при помощи статистического образца для расчёта Al_2 и при помощи отношения $(O)_2 : (O)_{12} = 0.35$.

Определено, что расчёт совокупного кислорода в выработанной стали при стандартной практики раскисления надо выполнить при помощи образца:

$$(O)_2 \% = 0.0035 + 0.14 \cdot (O)_1$$

а расчёт кислорода при удачном дутье Аргона по образцу:

$$(O)_2 \% = 0.0027 + 0.14 \cdot (O)_1$$

На основании находящийся в распоряжении результатов можно заключить, что для стандартной практики самый успешный эффект добавки алюминия можно ожидать в случае добавки в кусках по 5 кг в ковш; при обработке расплава с Аргоном добавлением алюминия через шлак по заключению дутья, т. е. когда шлак успокоился. Кроме того, на основании полученных данных определено, что так называемая длительная рафинация не даёт качественных преимуществ что касается окисных включений т. е. кислорода. Улучшения десульфурации за 5—8 % как преимущество длительной рафинации перед короткой можно получить также при короткой рафинации добавкой синтетического шлака или дутьём с Аргоном. Из исследований ясно, что обработка расплава с Аргоном даёт целый ряд качественных выгод и становится необходимой технологической операцией.