

Milan Dobovišek, dipl. inž.  
Železarna Ravne  
Alenka Rodič, dipl. inž.  
Železarna Ravne  
Vlado Macur, dipl. inž.  
Železarna Ravne

DK 669.182.33 : 620.18 : 620.192.45  
ASM/SLA: D 5; M; 9—69; M 27 c

## Izboljšanje velikosti avstenitnega zrna in čistoče jekla za cementacijo

S pomočjo različnih metod izdelave surovega jekla za cementacijo, različnih načinov dezoksidacije v elektro obločni peči in načinov litja je mogoče zagotoviti čistočo jekla. Uporaba argona za preprihanje taline v ponovci ter vmesni dodatek aluminija omogočata sigurno doseg finega zrna ter ugodno razporeditev raznih tipov nemetalnih vključkov v jeklu za cementacijo. Izdelana je cela vrsta različnih metod v 30-tonski el. obločni peči, na podlagi katerih je postopoma prišlo do najbolj ugodne izdelave surovega jekla.

Naloga je bila s pomočjo teamskega dela eksaktno pripravljena ter v rezultatu nudi dovolj sigurne možnosti za doseganje zahtevanih pogojev, ki jih danes postavlja avtomobilska industrija.

Glede na nesigurnost dosedanje izdelave cementacijskega jekla smo si postavili za nalogo:

- doseči garantirano zrno jekla > ASTM 5,
- izboljšati čistočo z zmanjšanjem velikosti vključkov.

### UVOD

Zrno cementacijskih jekel grupe Cr-Mn (EC 80, EC 100, ECMo 80, ECMo 100) je bilo zelo pogosto neenakomerno, tako da smo beležili velikosti avstenitnega zrna po ASTM slabše in boljše od stopnje 5. Ker pa zahteva avtomobilska industrija garantirano zrno nad ASTM 5, smo se lotili postopnega izboljševanja situacije z uvedbo raznih metod dodajanja aluminija.

Enake težave so nastopale tudi pri skupini Cr-Ni cementacijskih jekel (ECN 150, 200; ECN 15, 25, 35; ECNMo 100, 150, 200). Druga skupina Cr-nikljevih jekel je bolj delikatna, saj nastopajo tudi lahko razne nevšečnosti v predelavi ingotov v valjarni, če uporabljamo preveč Al za legiranje.

Znana je slaba valjavost oziroma slaba kovnost premočno aluminiranih jekel, ki je lahko posledica premočnega Al nitrida. Delo smo osredotočili v glavnem na iskanje prave jeklarsko-metalurške metode izdelave ingota za prvo grupo cementacijskih jekel, saj smo smatrali, da je zaradi stalnega programa naše jeklarne na Ravnah to najbolj primerno. Nadalje smo osredotočili delo v glavnem na valjavski ingot teže 450 kg za srednjo progo z namenom, da bomo za težke kovaške bloke postopoma prešli na novo tehnologijo, ko bomo osvojili valjavski ingot.

Izhodišče je 450 kg ingot, ki pa za določevanje nečistoč ni ugoden, saj nam nudi po prevalljanju na gredico [ ] 90 mm le 6-krat predelavo. Tako nizka stopnja predelave pri oceni nečistoč slabše kaže. Ta je največkrat 10-kratna. To moramo pri medsebojnih primerjavah ocen upoštevati.

Razne metode izdelave jekla so kazale različno stopnjo onesnaženosti, različno razporeditev in velikost posameznih tipov vključkov. Nezadovoljiva situacija v proizvodnji cementacijskega jekla pri nas je vodila k iskanju najugodnejše jeklarske metode v proizvodnji.

Naročniki omejujejo s svojimi prevzemnimi pogoji najslabše metalografsko ocenjeno mesto za vsak tip vključkov. Splošna ocena čistoče jekla je izražena s srednjo vrednostjo ocen tridesetih mest na obrusu za posamezne tipe in za vsoto vključkov.

Pri ocenjevanju po skali JK so največkrat omejitve za najslabša mesta naslednje:

- vključki tipa A . . . . . maksimum 3
- vključki tipa B . . . . . maksimum 3
- vključki tipa C . . . . . maksimum 2
- vključki tipa D . . . . . maksimum 3

Problematika velikosti zrna in čistoče jekla je povezana. Znano je, da nastopa najugodnejše zrno cementacijskih jekel pri koncentraciji kislinotopnega aluminija od 0,015–0,030 %, to znaša dve tretjini ali vsaj polovico aluminija, katerega smo dodali za dezoksidacijo. Ostali aluminij oksidira v aluminijev oksid. Če dosežemo take pogoje, nam dezoksidacija mora omogočiti tvorbo ugodne čistoče jekla kakor tudi drobnega avstenitnega zrna.

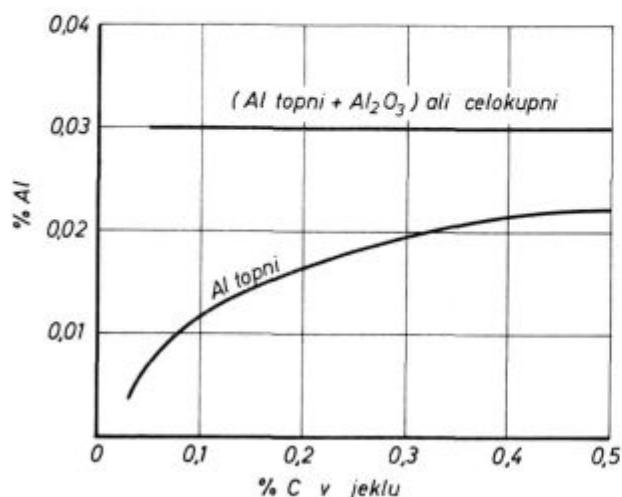


Diagram 1

Odvisnost kislinotopnega aluminija proti celokupnemu v odvisnosti od ogljika.

Diagram 1 shematično prikazuje, kakšen odnos imata celotni aluminij in kislinotopni aluminij v jeklu. Pri koncentraciji 0,03 % Al cel., bi naj bilo 2/3 Al top. in 1/3  $Al_2O_3$ . Vprašanje je, ali takšno razmerje vedno nastopa. Prav gotovo je tu mnogo drugih zakonov, ki lahko to razmerje spreminjajo v korist enega ali drugega. Verjetno pa je tako, da manjše koncentracije kisika omogočajo ugodnejše razmerje na stran kislinotopnega aluminija, večje koncentracije kisika pa v smeri aluminijevega oksida. Torej, pri jeklih z višjo koncentracijo kisika ali nižjim ogljikom je težje dobiti dovolj kislinotopnega aluminija kot pri jeklih, ki vsebujejo višji ogljik ter nižjo koncentracijo kisika.

Diagram 2 nazorno kaže, kako aluminij oksidira pri legiranju.

Diagram 3 kaže slično sliko, le da tu vidimo, kako oksidira aluminij glede na koncentracijo kisika v jeklu.

Jeklarski problem je torej v tem, kako doseči 0,02 % kislinotopnega aluminija v jeklu; torej legiranje aluminija metalurško pravilno rešiti, da nam ne oksidira preveč. Odločili smo se, da izberemo zaenkrat eno varianto, ki je dala že nekaj zadovoljivih rezultatov. Najbolj sigurna metoda je sicer aluminiranje taline v ponovco med evakuiranjem šarže. Vendar zaenkrat za naše pogoje degazacije jekla ni najbolj ekonomično, ker je kapaciteta evakuiranja še prenizka. Torej nam je pre-

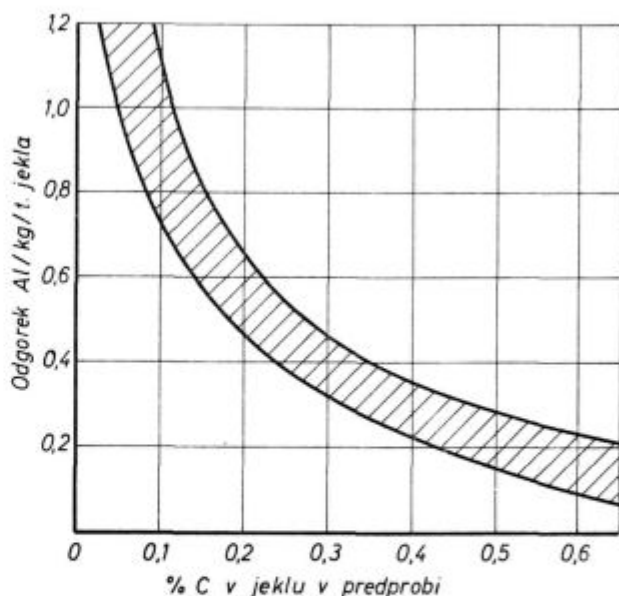


Diagram 2

Odgor aluminija v odvisnosti od koncentracije ogljika v jeklu v času legiranja v talino.

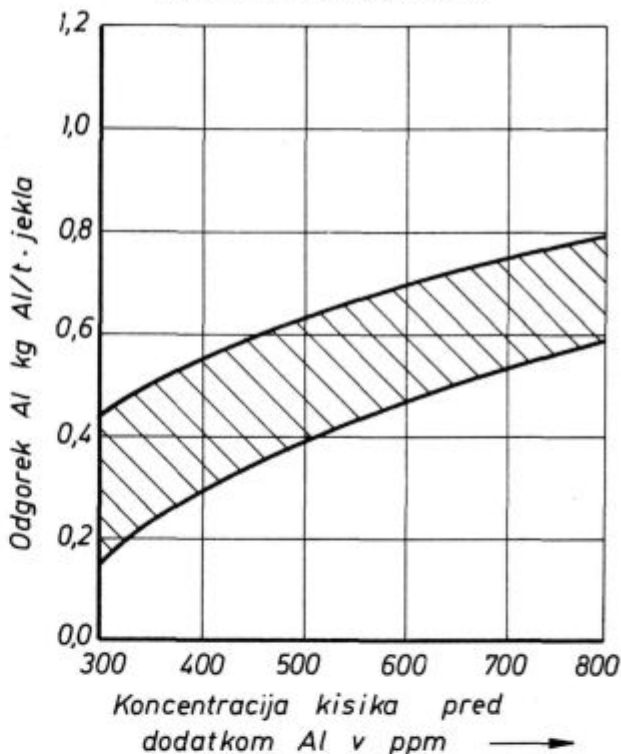


Diagram 3

Odgor aluminija v odvisnosti od koncentracije kisika pred dodatkom aluminija v peč.

ostala metoda brez degazacije jekla, vendar z uporabo argona za prepihanje taline v sami ponovci.

Potek metalurgije je bil naslednji:

šaržo se je privedlo v 30-t el. obločni peči do izpusta s približno koncentracijo ca. 0,02 % Al cel, nato se je talino prepihal z argonom v ponovci ca. 3–4 minute. Takoj je sledila proba na analizo celotnega aluminija. Analiza je bila možna, saj se

da narediti prej kot v 5 minutah na kvantometru. Tako se je na analizo čakalo, seveda s prekinitivjo pihanja z argonom. Ko je bila javljena kemična analiza na celokupni aluminij, se je računsko dodal Al na 0,03 %. Nato se je ponovno talina preprihovala z argonom ca. 3—4 minute. Po dveh nadaljnjih minutah se je šarža pričela liti sifonsko v kokile. Računati je skoraj s 15 minutami od preboda do začetka litja šarže v kokile. Ko pa se postopek upelje in ko se osvoji tehnika legiranja Al in časov čakanja, ni več treba dajati analize na Al med preprihovanjem taline z argonom.

Tako smo tudi v našem primeru uknili dajanja prob na kemično analizo celokupnega Al med pihanjem taline z argonom. Začeli smo dodajati konstantno količino aluminija, ga potopili s pomočjo droga skozi žlindro v talino. Naš dodatek aluminija je bil od 10 do 13 kg, za 30 ton taline, kar je bilo odvisno predvsem od kvalitete jekla oz. od odstotka ogljika v jeklu. Praksa je pokazala, da se zdaljšo uporabo metode more sigurno doseči željen kislinotopni aluminij v območju od 0,013 do 0,025 %. To pa je že garant za drobnno zrno jekla. Metoda je zelo zanesljiva in zagotavlja več kot 95 % šarž z drobnim avstenitnim zrnom.

Obdržati je bilo treba izdelavo teh šarž s pomočjo ene same žlindre (oksidne). Šaržo smo namreč preddezoksidirali s FeAl ali Al, dolegirali FeMn in FeCr ter FeSi. Bela žlindra (difuzijska dezoksidacija) ne nudi posebnih prednosti za čistočo jekla. Je pa metoda dveh žlinder mnogo dražja, dolgotrajna in za takšna masovna jekla neekonomična. Mogoče drži, da je možno na način dveh žlinder po klasični metodi izdelave doseči v vsoti vključkov nekoliko bolj čisto jeklo, v nobenem primeru pa ne dosežemo tako ugodne razporeditve ter sigurnosti nastopanja bolj drobnih vključkov, posebno globulitnih (D) in silikatnih (C). To da lahko uporabimo eno samo žlindro za izdelavo legiranih jekel, pa brez dvoma omogoča argon za preprihovanje taline skozi porozni čep v ponovci. Pri tem moramo posebno paziti na sestavo žlindre, ki naj bo dovolj tekoča, da se med preprihovanjem ne odkriva, kar bi imelo za posledico sekundarno oksidacijo taline s kisikom iz zraka. Ravno tako je pravilno uravnnavati količino dodanega argona skozi porozni čep v ponovco.

Ker je poznano, da previsoke koncentracije aluminija v jeklu, prevelika količina in oblika sulfidnih vključkov, povzročajo tudi trakavost, moramo šarži dodati samo toliko aluminija, kolikor ga zahteva meja kislinotopnega aluminija, ravno tako pa šaržo dovolj odžveplati tudi pod eno samo žlindro. Pozneje bomo ugotovili, da smo le morali uvesti za odžveplanje dodatno hitro taljivo žlindro po legiranju v peč FeMn, FeCr in FeSi, vendar je ta žlindra samo v majhnih količinah ter le kakih 10—15 minut v peči.

Poudariti je treba še eno slabo stran naših poizkusov. Namreč za preprihovanje taline z argonom bi morali imeti ustrezno obzidavo ponovce, vendar smo zaenkrat naredili poizkuse na naših

običajno zidanih ponovcah s šamotno opeko. Poizkušali pa bomo še s ponovco, ki bo imela v višini žlindre silimanitno ali kakšno drugo opeko z visokim  $Al_2O_3$ . Ravno tako bomo pri teh poizkusih uporabljali zamašne drogove, ki bodo v zgornjih delih zazidani z opeko visokega  $Al_2O_3$ . To bo imelo ugodne posledice na manjšo abrazijo oz. kemično reakcijo med žlindro in opeko, kar naj bo dodaten tehnoški ukrep za še boljše čistočo jekla.

V praktičnem delu te naloge smo torej opravljali poizkuse po metodi preprihovanja taline z argonom in vmesnega aluminiranja za doseg koncentracij kislinotopnega aluminija 0,013—0,025 % na kvalitetah EC in ECMo. Razne variante metalurgije izdelave jekla od klasičnih metod izdelave na dve žlindri do metod z eno žlindro smo preizkusili na 30-tonski el. obložni peči, kar v rezultatih pozneje tudi prikazujemo. Za nekatere od metod smo preizkusili tudi nekaj variant, ki so označene z A do K.

*Metoda I* je metoda z uporabo dveh žlinder in daljšo rafinacijo. Po njej smo že pred leti izdelovali cementacijska jekla. Vložek je običajen z dodatkom 5 % surovega železa ter dodatka nizko legiranih odpadkov do 0,5 % Cr v 1. probi, prav toliko tudi mangana. Ogljik naj bo v 1. probi za 30-tonsko el. obložno peč vsaj 0,4 % C višji od srednje meje zahtevane analize jekla kvalitete, ki jo izdelujemo. Torej, oksidacija naj bo vsaj za 0,4 % C. Šarža poteka z normalno oksidacijo plinastega kisika (brez žel. rude). Začetek oksidacije je pri 1570—1600° C. Normalno izkuhanje ca. 30 minut, potegnitev oksidne žlindre pri temperaturi 1630—1640° C. Na golo kopel sledi dodatek 150—170 kg SiMn za 30 ton. taline ter nova žlindra  $CaO + CaF_2$  (ca. 2 % od teže kovinskega vložka). Žlindra se obdela z dezoksidanti C + FeSi (prah—zdrob), nato se dolegira FeCr, ki mora biti v talini vsaj 40 minut, nato se doda FeMn in talina se vseskozi dezoksidira prek žlindre z drobnim FeSi + C + ev. CaO ter premešava z drogom (grebljico). Dodatek kosastega FeSi 10—15 minut pred izpustom, 2 do 3 minute pred izpustom taline se doda 0,7—1 kg Al/tono. Jeklo skupno z žlindro izteče iz peči pri temperaturi 1610—1630° C. V ponvo sledi dodatek 1 kg CaSi/tono jekla.

*Metoda II* je metoda z uporaba dveh žlinder, vendar je rafinacija krajša za vsaj polovico časa, torej traja samo še 30—40 minut. To je metoda legiranja vseh elementov na golo kopel brez predhodne dezoksidacije z aluminijem, ki se doda na koncu. Do potegnitve oksidne žlindre je ta način identičen s prvo metodo. Po potegnitvi žlindre se na golo kopel doda C, nato FeSi do 0,30 % Si, SiMn do 0,6 % Mn za Cr-Ni jekla, medtem ko za Cr-Mn jekla lahko še več mangana. Tudi FeCr se doda čim hitreje v kopel. Pri 1600° C se talina difuzijsko dezoksidira skozi novo narejeno žlindro iz  $CaO + CaF_2$  (1,5 % od teže metalnega vložka), vse dokler ne dobi rumenkasto-rjave barve. Nato se doda 0,7 kg Al/tono v peč tik pred iz-

pustom. V ponovco ne dodamo nobenih dodatkov. Temperatura preboda znaša 1590—1610° C.

*Metoda III* z varianto H. Šarža se normalno izdelava do konca oksidacije kot prejšnji dve metodi. V času začetka vleka žlindre je temperatura taline 1650° C (torej višja). Po potegnitvi 90 % žlindre, se doda ca. 170 kg FeMnSi/30 ton taline. Sledi bela žlindra v količini 2 % teže metalnega vložka ter dodatek FeSi do končne koncentracije. Takoj po dodatku FeSi sledi dodatek Al in na koncu po enourni rafinaciji ter obdelavi žlindre s C + FeSi prahom in legiranjem FeCr, FeMn sledi še ponovni dodatek 0,5 kg Al/tono. Izpust šarže poteka pri 1610° C do 1630° C. V ponovco se doda 1 kg CaSi/tono jeklove taline.

*Metoda IV* z variantami A, C, G zahteva preddezoksidacijo taline s FeAl. Postopek je identičen kot prej vse do konca oksidacije. Po potegnitvi polovice žlindre dodamo 2 kg FeAl/tono taline ter takoj nato FeMn + FeCr. Šarža se temeljito premešuje ter po 15—20 minutah izpusti v ponvco. Temperatura ob dodatku FeAl znaša 1660° C, pri izpustu pa 1640—1650° C. V ponovco se doda 1 kg CaSi/tono jekla, po potrebi za fino zrno še 0,5—0,7 kg Al/tono. Po odlitju se talina po 7—10 minutnem čakanju v livni jami sifonsko odlije.

*Metoda V* z variantami B, D, E, F je podobna kot IV, vendar s to razliko, da se v ponovco doda le 0,2 kg Al/tono za EC 80, ECMo 80, EC 60, medtem ko se za EC 100, ECMo 100, ne doda nič Al v ponovco. Šarža se prepriha z argonom skozi porozni čep v ponovci ca. 4 minute, nato pa se doda 10—13 kg Al/30 tonsko talino za dosego finega zrna ter ponovno piha z argonom 3—4 minute. Šarža se sifonsko vlija v kokile.

*Metoda VI* z variantama J, K je enaka kot prej do izkuhavanja po oksidaciji. Izkuhavanje je krajše. Temperatura po oksidaciji (izkuhavanju) je 1650—1670° C. Po delovanju dveh elektrod, izvršimo čim hitrejši vlek 80 % žlindre. Talina se preddezoksidira z dodatkom 1 kg Al/tono (na drogu). Obdržati je treba temperaturo čim višje. Na golo kopel se dolegira FeMn in FeCr, naredi se za 0,5 % teže vložka nove žlindre iz CaO + CaF<sub>2</sub> da je talina pokrita. Talina se izpusti pri temperaturi 1650—1660° C v ponovco — brez žlindre, katero se zadrži v peči. FeSi se doda v ponovco, doda se še 1,5 kg CaSi/tono taline, ki mora biti naenkrat dodan oziroma katerega se vrže ob 1/3 napolnjene ponovce pod curek jekla. Doseže se močna reakcija. Šarža se prepriha z argonom ter doda ca. 10 kg Al/30 ton za EC 100, ECMo 100 ter 13 kg Al/30 ton za EC 80, ECMo 80 kvalitete. Ponovno se piha z argonom 3—4 minute. Nato se počaka pred litjem kake 2—3 minute in vlija šaržo sifonsko v kokile.

*Metoda VII* z varianto I zahteva dezoksidacijo s prašnatimi dezoksidanti FeSi + Al, vpihanimi s komprimiranim zrakom po končani oksidaciji. Ravno tako tudi z vpihavanjem teh dezoksidantov s pomočjo argona. Zrak ali argon nista dala različnih rezultatov. Ker je argon dražji, smo ostali

pri komprimiranem zraku pri nadaljnjih poizkusih po tej metodi. Na splošno smo izgubili preveč Si in Al.

Komentar k tem metodam in njihovim variantam, bi bil na kratko ta:

K metodam I, II, III, IV, V, VI, VII nas je peljala teorija mehanizma dezoksidacije jekel z različnimi dezoksidanti. Zanimive so hitrosti izločanja dezoksidacijskih produktov ter oblike vključkov. Nadalje je zanimiva uporaba CaSi kot končnega dezoksidanta oz. regulatorja dezoksidacijskih produktov v sami ponovci, ki smo ga za dezoksidacijo uporabljali.

Po našem mnenju je *metoda I* — klasična — zastarela. Omogoča sicer poprečno zadovoljivo čistočo jekla, vendar se tu zelo radi pojavijo grobi tipi vključkov, globularnih oksidov ali silikatov, ki imajo za posledico lokalne napake, redke grobe vključke, ki se posebej vidijo na modrem lomu ali stopničastih probah. Metoda je dolgotrajna in draga, saj traja izdelava šarž vsaj 6 ur. Tega pa cena cementacijskega jekla več ne prenese.

*Metoda II* — legiranje na golo kopel vseh elementov razen aluminija je sicer krajša, saj omogoča izdelavo šarže v 4—4 in pol urah, vendar ima za posledico redko sredino ingotov, kjer se pogosto pojavljajo grobi vključki ter pri težjih ingotih medkristalne razpoke (pseudokosmiči), podobno kot pri metodi I.

*Metode III, IV, V, VI in VII* so zelo hitre metode. To je metalurgija taljenja v glavnem na eno žlindro. Trajanje šarž je 3 in pol do 4 ure. Metode se razlikujejo med seboj po načinu dezoksidacije in rafinacije. Prinašajo različno obliko tipov vključkov kot njihovo različno razporeditev. Simpatična je metoda VI z uporabo argona za preprihovanje taline v ponovci. Daje sigurno zrno, sorazmerno čisto jeklo z minimalnim kisikom po preprihovanju taline z argonom.

Ker pa je osnovni pogoj za doseganje čistega jekla efektna dezoksidacija taline, si oglejmo še nekaj podatkov, katere prinaša literatura s tega področja. Na podlagi raznih podatkov iz literature ter iz lastne prakse v metalurgiji dezoksidacije jekla smo šele prišli na praktične poizkuse z izdelavo šarž ter njihovo ocenitvijo.

## IZLOČANJE DEZOKSIDACIJSKIH PRODUKTOV

Dezoksidacija jeklovih talin ima namen vezati v jeklu koncentrirani topni kisik in ga prek v jeklu netopne spojine privedi do izločanja iz taline. To se dogaja pri pomirjenih jeklih s pomočjo končne dezoksidacije. Ko dodamo dezoksidacijska sredstva, nastali oksidi v tekočem jeklu niso več raztopljeni, ampak se zadržujejo kot emulzija ali suspenzija. Imajo nižjo specifično težo kakor tekoče jeklo, zato tudi tendenco izločanja ter plavanja proti površini taline — v žlindro. Pri dokončni dezoksidaciji moramo razlikovati dva momenta:

— končno reakcijo, s katero nastanejo dezoksidacijski produkti med kisikom, topnim v jeklu, in dezoksidacijskim sredstvom ter

— fizikalni mehanizem tvorbe in izločanja oksidnih vključkov.

S pomočjo takšne dezoksidacije dosežen čim nižji kisik v tekočem jeklu se da preračunati s pomočjo ravnotežnih reakcij. Tako sorazmerno hitro dosežejo ravnotežne pogoje.

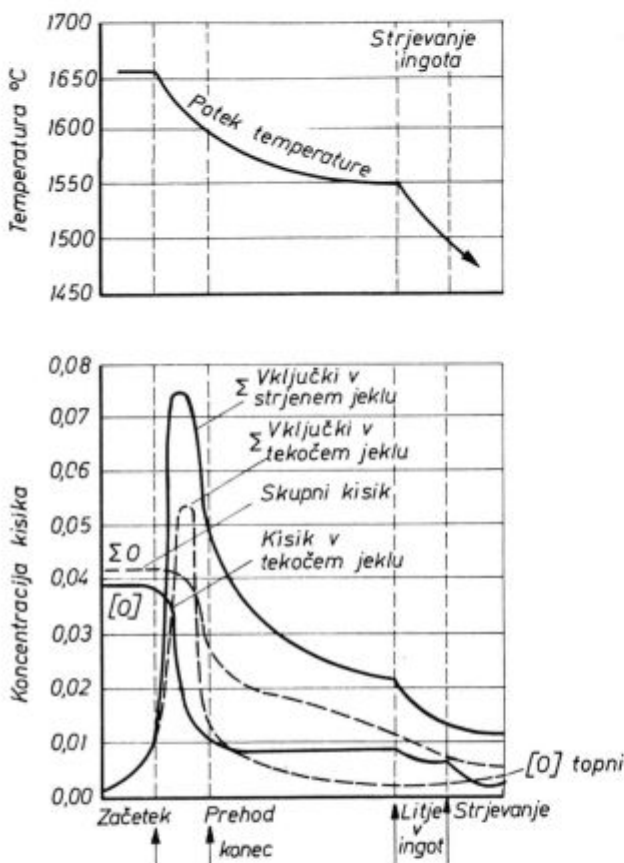


Diagram 4

Shematični prikaz poteka dezoksidacije jeklove taline.

Shematični diagram 4 kaže koncentracijo skupnega kisika taline ob koncu oksidacije 0,042 %, ki sestoji iz topnega kisika koncentracije 0,040 % in malega dela kisika, ki je vezan na netopne okside. Po preiskavah, ki jih navaja E. Plöckinger<sup>1</sup>, je del teh netopnih oksidov v talini nepomemben.

Z dodatkom dezoksidacijskega sredstva, v tem primeru 0,25 % Si, se zniža kisik taline hitro na vrednost ravnotežja 0,012 % O pri 1600° C. Ta vrednost se spreminja s padajočo temperaturo v ponovci ter končno v ingotu pri strjevanju. Končno prosti kisik v jeklu skoraj izgine. Velika količina vključkov se more izločiti že med izpustom šarže v ponovco ali če se šarža dezoksidira v peči, že v sami peči. Ostanek se izloča bolj počasi in ta nam povzroča ravno največ težav. Samo netopni oksidi se lahko izločajo, kot kaže shema-

tično črtkana linija v diagramu. Če vzamemo probo, npr. iz kopeli, ki vsebuje še 0,05 % suspendiranih oksidov, določimo v strjenem jeklu količino vključkov ca. 0,025 %. V teh 0,025 % vključkov je del primarnih 0,005 %, kateri je bil v tekočem jeklu in 0,020 % sekundarnih vključkov, ki so nastali pri strjevanju probe s pomočjo še preostalega topnega kisika v tekočem jeklu. Iz skice se torej vidi, da je 0,020 % vključkov sekundarnega izvora. Nadalje se vidi, da se količina vključkov znižuje zaradi še nadaljnega izločanja v ponovci kot tudi pri litju in strjevanju jekla v ingotu zaradi padanja temperature. Znižujejo se primarni pa tudi del sekundarnih vključkov (oksidov), saj se tudi ravnotežja s temperaturo spreminjajo. Računati je treba, da talina vsesava iz zraka dodaten kisik, ki povečuje koncentracijo sekundarnih oksidov. Iz diagrama jasno razberemo naslednje zahteve:

1. Tekoče jeklo naj ima v ponovci pred izlitjem v kokile čim nižjo vsebnost kisika v ravnotežju, da bi količina nastalih sekundarnih oksidov (vključkov) zaradi težkega izločanja dezoksidacijskih produktov v kokili med strjevanjem bila čim nižja.

2. Izločanje primarnih dezoksidacijskih produktov naj bo do začetka litja v kokile končano.

Prvi pogoj lahko dosežemo s pomočjo močnih dezoksidacijskih sredstev, če njih uporabo pogojujemo tehnološke zahteve izdelanega jekla. Drugi pogoj pa je tisti, katerega mora preštudirati vsaka jeklarna za vsako vrsto jekla, da doseže optimalno dezoksidacijo. Pri iskanju teh poti so se razvile mnoge diskusije, ki so razpravljale, ali je ugodnejše dezoksidirati jeklovo talino na grobe dezoksidacijske produkte ali na fine. Namreč, trdi se že dolgo, da veliki tekoči dezoksidacijski produkti lažje plavajo iz jeklove kopeli kot mali, če imajo enako specifično težo. Še obstaja mnenje, da se izločajo hitro oni vključki, ki imajo veliko koagulacijsko sposobnost, dalje, da morajo nastale oksidne faze v jeklovi talini biti tekoče. Oni oksidi, ki imajo po nastali dezoksidaciji visoka tališča, se ne izločajo ефектно. Zaradi teh mišljenj se v nekaterih jeklarnah še vedno uporablja dezoksidacija na mangansilikate, ker imajo zaradi svoje kemične sestave nizka tališča, ko nastopajo v jeklovi talini.

Pozneje so dognali Plöckinger, Rosegger<sup>2,3</sup> pri dezoksidaciji jeklove taline z aluminijem, da ravno nasprotno k prej omenjeni teoriji aluminijevi oksidi hitreje in efektneje splavajo iz taline kot silikati. Fischer in Wahlster<sup>4</sup> sta dognala, da nastopa ogromna razlika med primarnimi in sekundarnimi vključki pri dezoksidaciji s silicijem ter dokazala, da trdni silikati sploh ne nastopajo, ampak da so ti vključki tekoči in koagulirani. Izločajo se počasneje in potrebujejo za efektnejše izločanje premešavanje taline, kar jim omogoča zelo ugodno izločanje.

## TVORBA PRIMARNIH DEZOKSIDACIJSKIH PRODUKTOV

Poizkusi v laboratorijih so pokazali, da v nekaj sekundah po dodatku dezoksidacijskih sredstev za vsak dezoksidacijski element nastopajo oksidne faze in tipi oksidov, ki so pogosto drugačni kot oni, ki so jih opazili po jemanju prob iz ponovce. Imajo druge fizikalne lastnosti.

Taline, dezoksidirane s silicijem, dajejo takoj po dodatku silicija tekoče, dobro koagulirane steklaste vključke, ki kažejo močno homogenost (98 %  $\text{SiO}_2$ ), velikosti ca. 50 mikronov. Pri dezoksidaciji s titanom se tvorijo po zelo kratkem času veliki vključki. Sestava teh vključkov kot primarnih oksidov je iz različnih faz, ki so pod mikroskopom celo vidne. V njih se vidi metalno železo. Velikost vključkov je 150–200 mikronov. Ti vključki so dosedaj največji (primarni). Vsebujejo preko 90 %  $\text{TiO}_2$ .

Dezoksidacija z aluminijem je pokazala, da se do 30 sekund po dodatku aluminija tvorijo vključki, ki so znatno manjši, le v posameznih primerih pride do bolj grobih oblik. Vključki se izredno hitro izločajo (splavajo). Velikost teh je 30–50 mikronov. Analiza  $\text{Al}_2\text{O}_3$  je preko 97 %.

Dezoksidacija s cerom, ki ima kot oksid tališče šele pri 2600°C, daje še slabšo koagulacijsko sposobnost vključkov — primarnih oksidov. Velikost teh je 60–100 mikronov. Izločajo se zelo počasi.

Dezoksidacija s cirkonom, katerega oksid  $\text{ZrO}_2$  ima tališče pri 2700°C, se kot primarni oksid ne koagulira. Tvori samo fine vključke premera ca. 10 mikronov in 93 %  $\text{ZrO}_2$  v izolatu.

Dezoksidacija s silikomanganom daje vključke, podobne dezoksidaciji s silicijem, le da so vključki zaradi 20–30 %  $\text{MnO}$  nekoliko temnejše obarvani in ravno tako steklasti. Velikost je podobna kot pri silicijevih vključkih.

Koagulacija dobro tekočih silikatov z vsebnostjo  $\text{CaO}$  po dezoksidaciji s  $\text{CaSi}$  daje podobne vključke kot silicij in silikomangan, vendar se tu opaža v notranjosti primarnega oksida še druge faze. Velikost teh je 30–50 mikronov. Vsebujejo poleg  $\text{SiO}_2$  tudi ca. 6 %  $\text{CaO}$ . O uporabi  $\text{CaSi}$  za dokončno deoksidacijo — bomo še posebej razdonočno dezoksidacijo bomo še posebej razpravljali.

Dezoksidacija s  $\text{Ca-Al}$  se malo razlikuje od dezoksidacije s čistim aluminijem. Ta dezoksidant tvori bolj homogene vključke kot sam aluminij. Velikost teh je 25–40 mikronov. Analiza kaže ca. 90 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Njihova eksistenca je kratka, ker se kot aluminijevi zelo hitro izločajo.

Iz teh podatkov se da zaključiti, da zaradi nastopajoče eksotermne reakcije pri tvorbi oksidov tvorijo praktično skoraj vsi dezoksidacijski elementi razen cirkona tekoče dezoksidacijske produkte, če v njih ni preveč železa.

Praksa uporabe različnih dezoksidantov je pokazala, da imajo posamezni od prej omenjenih

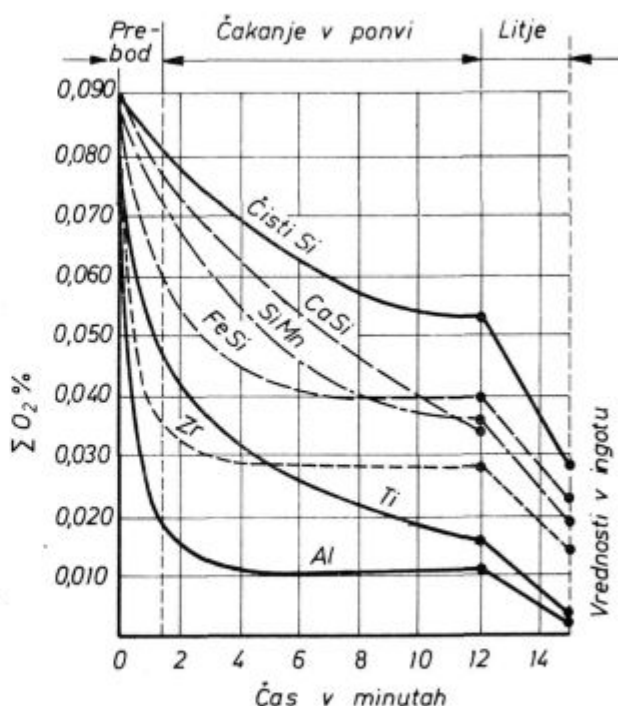


Diagram 5

Sprememba celokupnega kisika po dodatku različnih dezoksidacijskih sredstev.

različno dezoksidacijsko sposobnost in različno sposobnost izločanja primarnih oksidov pri dezoksidaciji. Diagram 5 shematično prikazuje, kako se izločajo dezoksidacijski produkti pri dezoksidaciji z omenjenimi dezoksidanti. Iz tega diagrama je razvidno, da je hitrost izločanja različna, s čimer se da sklepati na najefektnjši način dezoksidacije taline.

Če primerjamo potek izločanja po tem diagramu, sledi, da lahko glede na izločanje razdelimo dezoksidacijska sredstva v tri skupine:

1. Dezoksidacijska sredstva, ki v prvih minutah dezoksidacije slabo znižujejo kisik v jeklovni talini, pri katerih pa se še nadalje izloča kisik (v obliki primarnih oksidov) v času čakanja s ponovco v livni jami pred začetkom vlivanja v kokile. Sem prištevamo silicij ter druge, silicij vsebujoče dezoksidacijske legure, kot  $\text{SiMn}$  in  $\text{CaSi}$ .

2. Dezoksidacijska sredstva, ki neposredno po njihovi raztalitvi v jeklu vežejo pretežni del topnega kisika in tvorijo spojine v obliki hitro izločajočih primarnih oksidov iz jeklove taline. Daljše čakanje s ponovco ne prinese nobenega uspeha oz. bistvene spremembe. K tej skupini spadajo aluminijevi produkti, titanove legure, feroaluminij in kalcijaluminij.

3. Dezoksidacijska sredstva, ki kljub sorazmerno hitremu izločanju dela primarnih reakcijskih produktov povzročajo neugodne fizikalne lastnosti dezoksidacijskih produktov. Celo pri daljšem čakanju s ponovco ostane sorazmerno veliko celokupnega kisika. Sem spada cirkon.

Nadaljnji padec celokupnega kisika sledi še pri samem strjevanju taline v ingotu, kjer je splavanje oksidov še vedno mogoče.

Izločanje dezoksidacijskih produktov je tako popolno, da ostanejo v jeklu po nekaj minutah le še zelo majhni vključki velikosti ca. 2 mikrona. Grobi vključki splavajo. Pri cirkonu se to ne menja, vključki so od začetka do konca dezoksidacije male velikosti, vendar jih je manj kot pri drugačnih dezoksidacijah, ker jih en del splava.

Če sedaj sumiramo, kje lahko pričakujemo padec celokupnega kisika oz. izločanje oksidnih vključkov, najdemo to v štirih momentih dezoksidacije in vlivanja:

1. v času preboda neposredno po dodatku dezoksidantov,
2. pri čakanju s ponovco pred začetkom litja,
3. med vlivanjem jekla v kokile in
4. v vlitem ingotu do končne strditve.

Za izločanje neposredno po dodatku dezoksidantov pod točko (1), veljajo naslednji momenti:

Med izpustom je talina v turbulentnem premikanju, ko teče v ponovco. To turbulenco povzroči tok jekla v ponovco. V ponovci, ko je praktično že polna, lahko opazujemo premikanje in vretje taline še kake 3 minute. V tem času se talijo dezoksidanti, katere smo dodali na dno ponovce ali v curek jekla ob izteku iz peči. Sedaj se ustvarjajo reakcije med kisikom v talini in dodanimi dezoksidacijskimi elementi, nastajajo pa dezoksidacijski produkti.

Pri tem izločanju pa ne igra toliko vloge velikost vključkov, saj se mali Zr-oksidi ravno tako izločajo do gotove koncentracije, kot na primer veliki titanovi oksidi. Če bi veljalo pravilo, da se ob izlivu v ponovco izločijo najprej grobi dezoksidacijski produkti, protem bi se v prvi vrsti izločili silikati, ker so bolj grobi kot aluminati. To pa ni primer, saj je dokazano, da se izločijo aluminati že po treh minutah, ne glede na to, da so manjši, zelo hitro in tako temeljito, da jih ostane le še kakih 15 % od izhodne vrednosti. Medtem ko se silikatov v tako kratkem času izloči 50 %, jih ostane še 50 % v talini. Če mislimo, da se specifično lažji vključki (oksidi) prej izločijo, se motimo, ker je tudi na tem področju dokazano, da se specifično lažji  $\text{SiO}_2$  vključek, ki ima specifično težo le 2,0, počasneje izloča kakor aluminatni (oksid), ki je težji in ima specifično težo 3,8. Osnova izločanja leži na površinskih napetostih posameznih oksidov, ki so večje tedaj, ko v talini ostane manj prostega kisika po dezoksidaciji, to pa se zgodi pri dezoksidaciji taline z močnimi dezoksidanti kot Al, Zr, Ti.

V drugem obdobju izločanja vključkov v času, ko čakamo s polno ponovco od 3 do 12 minut, se preneha turbulentno premikanje taline. Jeklo je v ponovci samo že v rahlem premikanju, razen če se ne uporabi argon za turbulentno premikanje taline v ponovci. Brez argona povzroča rahlo pre-

mikanje termična konvekcija. V tem času se praktično izločajo samo veliki vključki. Mali vključki se izločajo zelo težko ali pa sploh ne, posebno če so njihove velikosti le kakih 10 mikronov. Torej sama toplotna konvekcija ne zadostuje več, da bi se mali vključki še lahko izločali. Zmanjšanje števila vključkov se pri malih aluminijevih in cirkonovih vključkih ne more več pojaviti, saj imajo ti vključki temperaturo tališča višjo, kot je ona v ponovci, kot trdni, pa se ne morejo več koagulirati. Podobno velja tudi za titanove vključke. Drugače pa se obnašajo čisti silikatni vključki ali vključki bogati s  $\text{SiO}_2$ . Oni se lahko še vedno izločajo oz. koagulirajo med čakanjem s ponovco.

Uspeh izločanja večjih dezoksidacijskih produktov (vključkov) je pogojen tem bolj takrat pri čakanju s ponovco, čim več je možnosti koagulacije nizkotopnih oksidov v večje oblike. Takšno obnašanje kaže dezoksidacija s silikomanganom.

Izločanje v tretjem in četrtem obdobju, pri litju jekla v kokile in pri strjevanju ingota je mogoče določiti skupno. Največjo zaslugo za to nadaljnje izločanje ima brez dvoma turbulentno gibanje taline med litjem, medtem ko je splavanje vključkov med strjevanjem ingota minimalno možno, ker rast kristalov to že močno preprečuje. V glavnem se tu izločajo grobi eksogeni vključki sekundarnega nastanka. Je pa možnost splavanja delno tudi za Zr in Al vključke v času začetka strjevanja v kokili. Tudi tu igra glavno vlogo turbulenca.

Ugotovili smo, da je turbulentna talina eden važnih (najvažnejših) pogojev za efektno izločanje vključkov (dezoksidacijskih produktov) iz jeklove taline. Pokazali smo štiri glavna obdobja, kjer lahko splavajo vključki. Če je to tako, zakaj bi ne dosegli še dodatnih možnosti znižanja kisika v jeklu oz. znižanje vključkov, če talino preprihomo v ponovci z argonom. Dosežemo dodatno turbulenco in nadaljnjo možnost znižanja vključkov.

Iz vseh teh razglabljanj se vidi, da je možno v obratu topilnice jeklo tako dezoksidirati, da se doseže minimalna koncentracija primarnih oksidov v jeklu, če se za dezoksidacijo izberejo efektne dezoksidanti. Ne smemo pa zanemariti dejstva, da vsaka najmanjša koncentracija ostalega prostega kisika oz. tudi kisika iz atmosfere povzroča sekundarno oksidacijo taline ves čas od zlitja iz peči do strjevanja ingota, kar ima za posledico različno količino sekundarno nastalih vključkov. Torej gre tudi skrb, da se talina čimbolj zaščiti pred zrakom iz atmosfere.

Sedaj smo govorili o čim večjem znižanju kisika v gotovem jeklu. To je seveda osnovni pogoj za čisto jeklo. Na področju študije nemetalnih vključkov oz. dezoksidacijskih produktov pa se bolj proučuje takšna dezoksidacija talin, ki nam omogoča doseči vključke samo določenih fizikalnih lastnosti, kateri so pri nadaljnji predelavi in v končnem proizvodu najugodnejši, posebno, kar se tiče same razporeditve.

Če še enkrat pogledamo krivulje izločanja vključkov, dobimo sliko, ki jo kaže diagram 6. Tu vidimo, da se najefektnейše izloča  $Al_2O_3$ , pri dezoksidaciji z aluminijem.

Mnenje mnogih metalurgov, Wahlster<sup>5,6</sup> da odigra pri končni dezoksidaciji tekočega jekla v ponovci važno vlogo tudi CaSi kot dezoksidant, je zanimivo ter odkriva posebno področje, ki ga je vredno upoštevati.

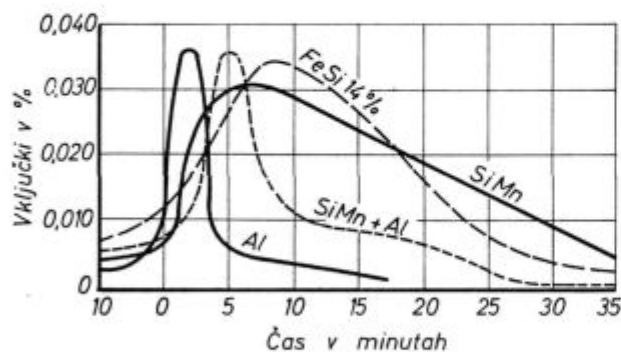


Diagram 6  
Količina vključkov v odvisnosti od časa po dodatku različnih dezoksidantov.

Omenili smo že, da so v glavnem sulfidi in oksidi vzrok za nevarne defekte v končnih jeklovih proizvodih. Ko se odločimo za funkcionalnost odkovka, valjanca ali ulitka, so predvsem važni: geneza, oblika, velikost in množina ter končna razporeditev vključkov. Tako ponovno vedno pridemo do dejstva, da kljub enaki kemijski sestavi, toplotni predelavi jekla, dobimo razlike v fizikalno-mehanskih lastnostih jekla.

Odločujoči vpliv imajo torej: število, velikost, razdelitev oksidov in sulfidov v jeklu.

Ker po končni dezoksidaciji jeklove taline le še ostane določena količina vključkov v jeklu, saj leži koncentracija kisika v tehnično pomirjenih talinah celo štirikrat višje, kot to kaže teoretični račun ravnotežja med raztaljenim kisikom in dezoksidacijskim elementom. Ti vključki zmanjšujejo mehanske sposobnosti jekla. Doseči moramo, da se ti vključki tako pojavljajo, da vplivajo na kvaliteto le v zeleni smeri.

Kot dezoksidacijski produkt igra kalcij posebno vlogo, če ga primerjamo z Al, Si ali Mn. Kalcij je v jeklovih talinah praktično netopljev in tvori pri temperaturah tekočega jekla pritisk, večji od ene atmosfere. Pri dodatku dezoksidantov na bazi kalcija izide iz taline vsaj del kalcija v obliki pare, ne da je prej posredoval kot dezoksidant. Ostanek tega elementa pa služi kot dezoksidacijsko sredstvo in prinaša s svojo netopnostjo jeklu določene kvalitete prednosti.

Praksa je pokazala, da se more pri dezoksidaciji s kalcijem doseči v ponovci dodatne ugodnosti:

1. Kisik se v jeklu zniža do nižjih vrednosti, kot jih omogoča normalna dezoksidacija brez CaSi.

2. Oksidi iz  $Al_2O_3$  (aluminati) se z dodatkom kalcija modificirajo in se izboljšajo pogoji izločanja vključkov s pomočjo večje koagulacije.

V praksi se postavlja zahteva, da se mora kisik najprej maksimalno znižati z glavnim dezoksidantom, le na ostanek kisika se vpliva z dodatkom CaSi. O uporabi CaSi se precej piše v ruski in japonski literaturi. Tudi M. Wahlster je sam veliko študiral vpliv CaSi na dezoksidacijo jekla ter na druge ugodnosti v jeklu.

Na poizkusih dezoksidacije s kalcijem je delal Cehanski<sup>7</sup>, in to na kvaliteti St 37.11 ter St 52. Uporabljal je leguro CaSiAl s ca. 15 % Al. Dodatki so znašali 1,5 do 2 kg/tono taline v curek jekla ob izpustu v ponovco.

Diagram 7 kaže, kako pada pogostost skupnih vključkov, silikati le rahlo naraščajo. A. Schröberl<sup>8</sup> trdi, da je pri 18/8 nerjavnem jeklu dosegel najboljšo čistočo z dodatkom 1,5 kg CaMnSi/tono v ponovco. Aluminij je dodal že pol ure pred izpustom taline. Tudi jekla za tračnice so pokazala pri dodatku CaSi najboljše lastnosti. Posebno pa se CaSi obnese pri kontinuiranem vlivanju, saj so vršili poizkuse celo z 2,2–3 kg CaSi/tono ter 0,3–0,5 kg Al/tono za dezoksidacijo.

V. Watanabe (navaja Wahlster<sup>6</sup>) je s sodelavci dognal:

1. Z dodatki CaSi se koncentracija kisika v jeklovi kopeli v 10–15 sekundah zniža na čim nižjo možno stopnjo. Kalcij se kot element takoj porabi.

2. Velikost degazacijskih produktov po dezoksidaciji s CaSi se poveča za dvakrat hitreje kot pri dezoksidaciji s FeSi.

3. Pri dezoksidaciji s FeSi rastejo vključki difuzijsko (počasi), pri dodatku CaSi pa se samo stečejo skupaj.

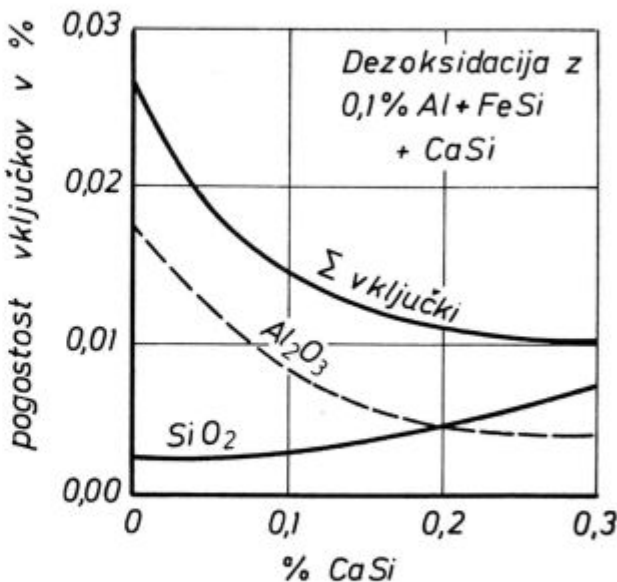


Diagram 7  
Vpliv dodatka CaSi za dezoksidacijo na padec količine vključkov v jeklu.



M. Wahlster<sup>6</sup> je preizkušal dodatek CaSi na 10-tonski in 100-tonski el. obločni peči. Izbral je jeklo sestave 0,13—0,17 % C, 0,35—0,40 % Si, 1,10—1,30 % Mn, max. 0,01 % P, max. 0,030 % S, min. 0,02 % Al. Žveplo pred izpustom je bilo 0,03 % v talini. Zlindro so po oksidaciji odstranili do 90 %. Temperatura preboda je znašala 1670° C. Po odlitju v ponovco je imelo jeklo takoj po izpustu iz peči temperaturo v ponovci 1620° C. Pri 10 t peči se je izpust izvršil v dve 5-tonski ponovci. Pol šarže se je v prvi ponovci dezoksidiralo s pomočjo potopne cevi, ki se je napolnila s CaSi in že prej obesila ob notranjo steno ponovce. Pri dezoksidaciji s 4 kg Si/tono taline in 1 kg Al/t, je dodatek CaSi variiral od 0,0—2,0 kg/tono. Enak poizkus je naredil na 100-tonski el. obločni peči, samo da je tam dolegiral CaSi s pomočjo visoko postavljene drče.

Na obeh pečeh so bili doseženi enaki rezultati. Ugotovil se je padec žvepla do 42 % (2 kg CaSi/tono). Ugotovljeno je, da del žvepla pade s pomočjo tvorbe Ca-Sulfida (CaS), del pa s pomočjo oksisulfidov, ki so nastali pri dolegiranju taline s CaSi, (diagram 8).

Analize kisika na gotovih proizvodih so pokazale, da je pri malih dodatkih CaSi 0,39 kg/tono in pri sicer enakih dodatkih FeSi in Al padec ki-

sika od 80 na 40 ppm. Večji dodatek CaSi še zniža kisik v jeklu, tako da ga dobimo pri dodatku 2 kg CaSi/tono samo še 26 ppm (diagram 9).

Pri raziskavah vplivov na čistost teh jekel so ugotovili interesantne rezultate, ko so uporabili CaSi za dezoksidacijo v ponovci. Pri St 52, ko se ni uporabil CaSi, je bila po izvednotenju ocena čistosti 250 (po Prüfblatt S. E. 1570 na 3000 mm<sup>2</sup> površine obrusa). Diagram 10 in 11. Vključki so

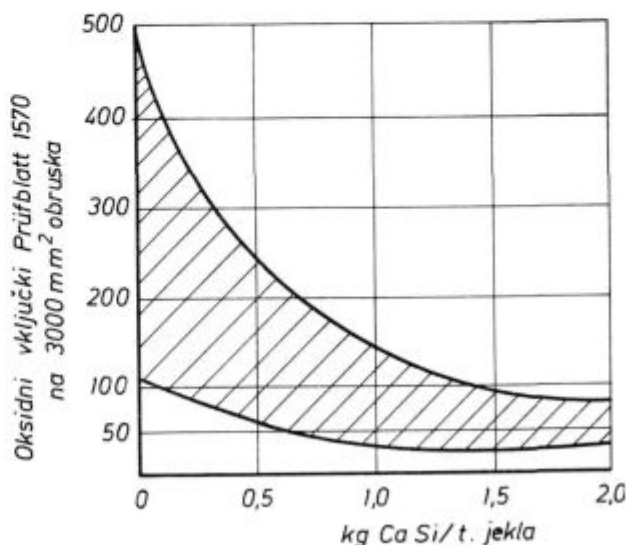


Diagram 10

Vpliv dodatka CaSi na oksidne vključke v jeklu.

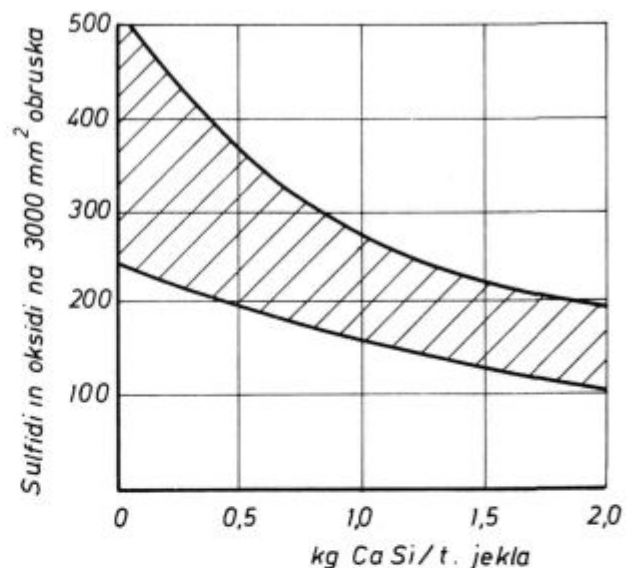


Diagram 11

Vpliv dodatka CaSi na sulfidne vključke v jeklu.

se nahajali v širokem območju od 105 do 500. Če se je dodal CaSi za dezoksidacijo, pa so se ti nahajali v območju 40—75 (2 kg CaSi/tono). Tudi velikost vključkov se ob dodatku CaSi zmanjša.

Iz prejšnjega razlaganja poizkusov sledi:

Vpliv CaSi oz. kalcija pri dezoksidaciji jeklove taline na odžvepljanje, čistost jekla in mehanske

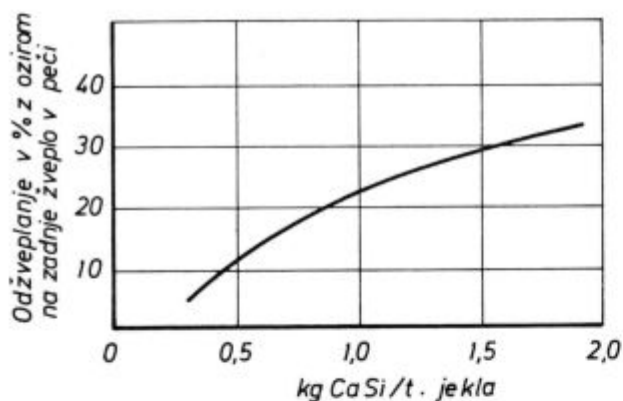


Diagram 8

Vpliv dodatka CaSi na odžveplanje glede na zadnje žveplo v predprobi.

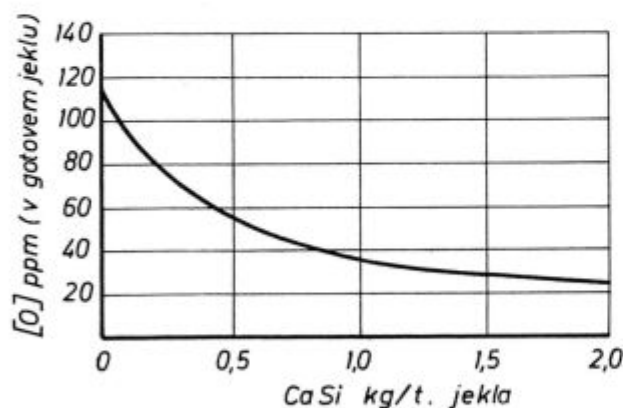


Diagram 9

Vpliv dodatka CaSi na pad kisika v jeklovem proizvodu.

lastnosti jekla, dognan pri poizkusih iz 10-tonske in 100-tonske el. obločne peči, je jasen ter nudi naslednje prednosti:

— Dodatek CaSi deluje na odžvepljanje taline ugodno. Po dodatkih 2 kg CaSi/tono jekla so dosegli do 43 % padca žvepla glede na izhodnega pred izpustom šarže.

— Kisik se v ponovci ni bistveno spremenil, pač pa se je znižal kisik v gotovih proizvodih v ingotu oz. jeklenem izdelku.

— Geneza vključkov je dala drugo obliko in sestavo, saj so določili v vključkih 3 do 10 % CaO. Tudi analiza na mikrosondi je pokazala, da posamezni veliki tipi vključkov vsebujejo celo do 50 % CaO. Takšni vključki se zelo hitro izločajo iz talin, že v nekaj minutah, kot primarni oksidi, zato se že po nekaj minutah na drugih vključkih najde le še 10—15 % CaO.

— Celotna čistoča na oksidih kakor tudi sulfidih se je izboljšala, saj je kalcij vplival v smeri zmanjšanja velikosti vključkov. Tudi razporeditev nemetalnih vključkov v gotovih proizvodih je bila ugodnejša.

— Izboljšana žilavost je bila posledica dezoksidacije s CaSi.

## II Del

### PRAKTICNI POIZKUSI NA 30-TONSKI ELEKTRO OBLOČNI PEČI

Po predhodni obdelavi teoretičnih izsledkov dezoksidacije ter predlaganih glavnih metod za jeklarsko izdelavo cementacijskega jekla (EC 80, EC 100, ECMo 80, ECMo 100) smo začeli izdelovati jekla po raznih metodah, pri tem pa smo težili k ekonomičnejšim.

Odločili smo se v glavnem za dve metodi izdelave tega jekla. Eno za valjavski format, drugo pa za kovaške težke odkovke. Pri tem pa želimo doseči velikost zrna po normah ASTM finejše od 5 za valjavski format, za odkovke pa vsaj finejše od 3. Namreč pri težkih odkovkih, kakor smo že omenili, da obstaja nevarnost slabe kovnosti pri previsokih koncentracijah aluminija.

### VREDNOTENJE REZULTATOV POSAMEZNIH METOD TER ŠARŽ IZDELAVE CEMENTACIJSKEGA JEKLA

Pri vrednotenju metod izdelave ter rezultatov poizkusov smo izhajali v glavnem s stališča, da prikazemo razliko med različnimi metodami izdelave cementacijskega jekla glede na metalurgijo taljenja, zrno kakor tudi na čistočo jekla. Po vsaki metodi nismo mogli delati (preizkusiti) enakega števila šarž, saj gre tu za 30-tonske šarže, kar je lahko usodno v praksi, posebno če bi nastalo preveč neuspele proizvodnje. Zato smo več šarž delali po onih metodah, pri katerih smo že prej smatrali,

da bomo z večjo sigurnostjo zadeli uporabnost cementacijskega jekla. Zato so rezultati, katere prikazujemo, rezultat različnega števila šarž za posamezne metode. Mišljenja smo, da mora biti cilj izdelati jeklo po oni metodi, ki bo pri največji ekonomičnosti nudila sigurnost izdelave dovolj čistega jekla.

Diagrami št. 12—16 kažejo ocene sulfidov, aluminatov, silikatov, globularnih oksidov in vsote vključkov.

Če pogledamo diagrame št. 12—16, vidimo, da sta metodi V in VI, kjer je uporabljen argon za preprihanje talin v ponovci, nekoliko ugodnejši, saj dajeta v verjetnostni mreži bolj strme linije. To pomeni, da je razsipanje rezultatov manjše.

Če si sedaj ogledamo posamezne tipe vključkov pri različnih metalurško-topilniških izdelavah jekla, dobimo naslednje rezultate: sulfidi, diagram 12.

Metoda IV, varianta A, po kateri se je uporabila samo ena (oksidna) žlindra s preddezoksidacijo 2 kg FeAl/tono taline, nadalje dodatek FeMn in FeCr takoj po aluminiranju, v ponovco pa 1 kg CaSi in 0,8 kg Al/tono jekla, brez preprihanja taline v ponovci z Ar, ima veliko sulfidov. Za naše pojme ni ugodna, ker nastopajo sulfidi od 1,9 do 2,7, kar je absolutno previsoko.

Metoda V, varianta B, kjer smo uporabili podoben postopek, le da smo šaržo z argonom preprihali v ponovci, daje sigurno drobno zrno in nekoliko ugodnejše ocene sulfidov. Sicer so še vedno visoki od 1,8 do 2,40, kar ni zadovoljivo.

Metoda IV, varianta C, je v glavnem identična metodi IV/A, kar se tiče same izdelave šarže. Tudi tu je uporabljena ena sama žlindra (oksidna), vendar smo tu dodali v ponovco 2 kg CaSi/tono ter 0,3 kg Al/tono, vendar pri predhodnem dodatku 2 kg FeAl/tono za preddezoksidacijo — v peči. Dodatek Al v ponovco 0,3 kg/tono je nekoliko prenizek in komaj še daje zadovoljivo zrno. Ena šarža je imela namreč zrno le 3—5 po ASTM. Sulfidi so sicer še vedno visoki, od 2,0 do 2,35. Krivulja je bolj strma. Šarža ni bila preprihana z argonom.

Metoda V, varianta D, kjer smo uporabili Ar ter legiranje Al za fino zrno jekla med preprihavanjem v ponovci ter visok dodatek CaSi v ponovco, 2 kg/tono, se sulfidi niso znižali. Odžvepljanje ni bilo ефекtno. Izdelano jeklo kaže po sulfidih slabo sliko od 2,00—2,65.

Metoda V, varianta E je postopek, po katerem so se šarže izdelale v glavnem na eno žlindro (oksidno), vendar se je pred dodatkom FeAl 2 kg/t 80 % žlindre odstranilo iz kopeli, dodalo se je 1 kg SiMn/tono, na golo kopel, nato še FeMn in FeCr ter končno v ponovco 1 kg CaSi/tono. Šarže so bile v ponovci preprihane z argonom, tako da je bilo po prvem 3-minutnem pihanju dodano 13 kg Al/30 ton taline za drobno zrno. Zrno je doseženo (ASTM > 5). Čistost po metodi E pri sulfidih ne daje ugodne slike, ker je razsipanje rezultatov od ene do druge šarže absolutno preveliko.

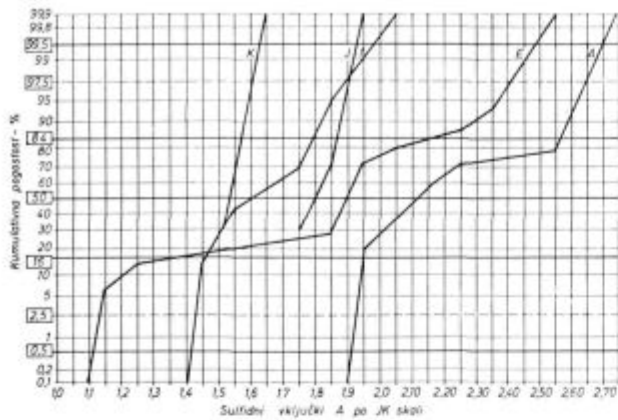


Diagram 12  
Ocene vključkov A po JK skali za šarže v odvisnosti od metode izdelave šarž.

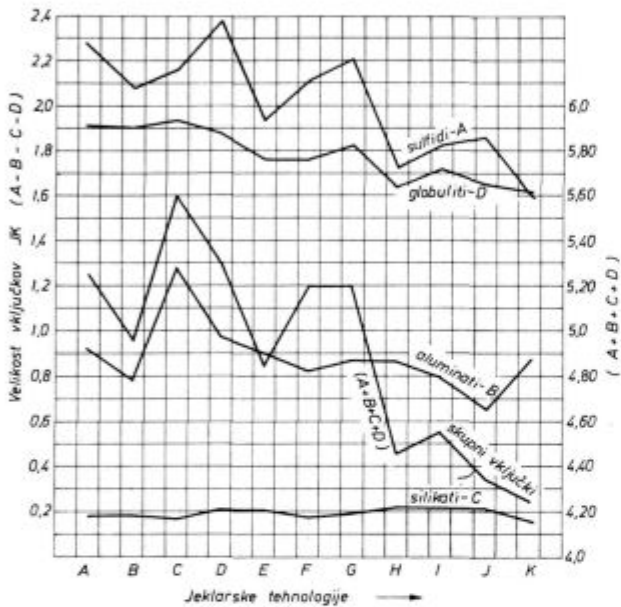


Diagram 13  
Vpliv jeklarske tehnologije na ocene vključkov po JK skali (A, B, C, D) in na vsoto vključkov (A + B + C + D).

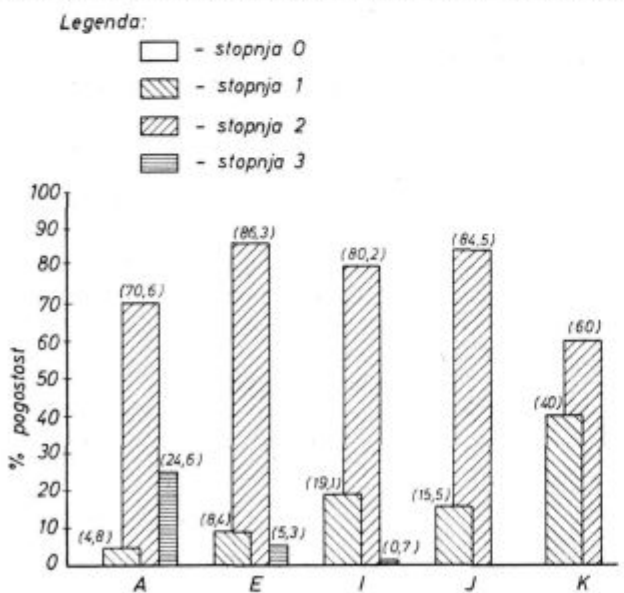


Diagram 14  
Vpliv jeklarske tehnologije na sulfidne vključke tipa A.

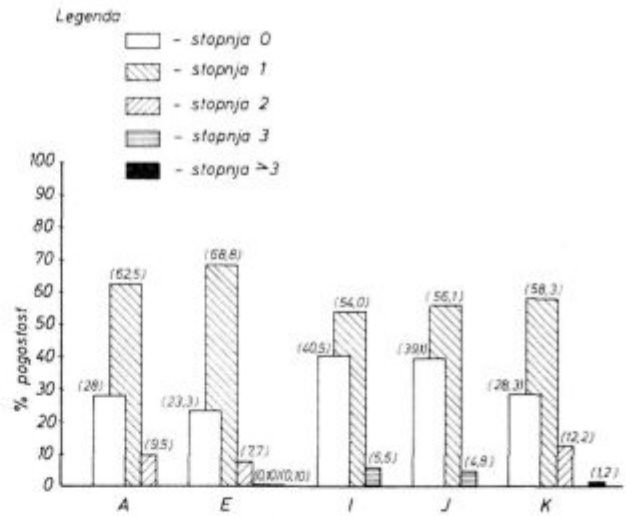


Diagram 15  
Vpliv jeklarske tehnologije na aluminatne vključke tipa B.

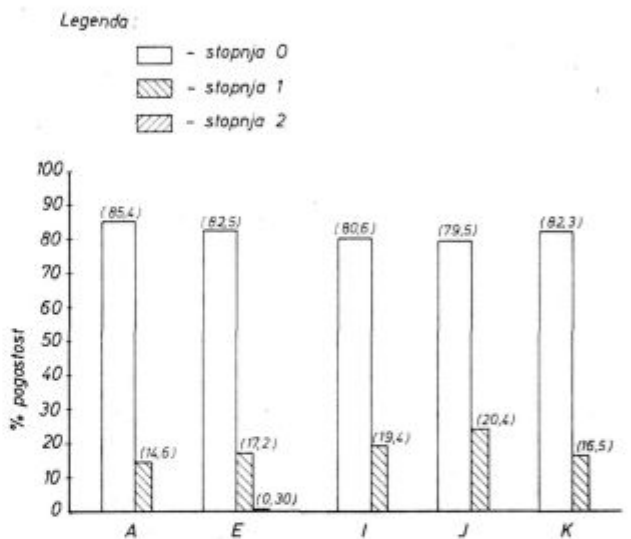


Diagram 16  
Vpliv jeklarske tehnologije na silikatne vključke tipa C.

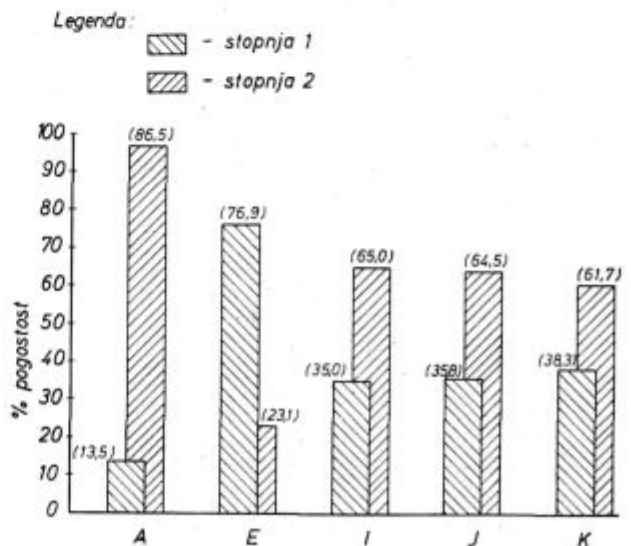


Diagram 17  
Vpliv jeklarske tehnologije na globularne oksidne vključke tipa D.

Nastopajo ocene od 1,1 do 2,55. Vendar lahko ugotovimo, da se po tej metodi le da narediti dovolj čisto jeklo po sulfidnih vključkih. Več kot polovica šarž ima sulfide pod 2.

Metoda V, varianta F, ki je bila metalurško delana tako, da se je na golo kopel po končni oksidaciji in potegnitvi ca. 80 % žlindre dodalo 2 kg FeAl/tono, 1 kg SiMn/tono jekla v peč, dalje FeMn in FeCr ter končno v ponovco še 1 kg CaSi/tono in 0,25 kg Al/tono jekla, med 8-minutnim preprihovanjem z argonom v ponovci še dodatek 13 kg Al/30 ton za drobno zrno, ni dala na sulfidih bistvenega izboljšanja. Razsipanje med šaržami je manjše, krivulja bolj strma. Metoda daje sulfide med 1,9 do 2,43. To je v poprečju previsoko, zato smo se lotili ponovne spremembe metalurgije.

Metoda IV, varianta G, izdelana na ta način, da se opusti argon za preprihovanje taline v ponovci, doda pa se za fino zrno več Al v ponovco. Ob izpustu pa v curek se doda 2 kg CaSi/tono ter 9 kg Al/30 tonsko šaržo. Sulfidni vključki po tej metodi dajejo ponovno močno razsipanje, med 2 in 2,45 kot vse metode brez argona. V poprečju so še vedno previsoki.

Metoda III, varianta H kaže na sulfidih močan napredek. To je metoda klasične bele žlindre oz. dveh žlinder, ki ima za posledico daljše trajanje šarže, kar ni ugodno, daje pa malo sulfidov. Po tej metodi se je na potegnjeno oksidno žlindro dodalo na golo kopel 170 kg SiMn/30-tonsko talino. Naredila se je nova žlindra ter dodatno dodal še FeSi do končne koncentracije zahtevane analize. FeSi se je dodajal vsaj 40 minut pred izpustom taline, to pa pomeni podaljšanje trajanja šarže vsaj za 1 uro. Sulfidi so se znižali in znašajo 1,6 do 2,05, kar je v poprečju ugodno. Zrno pa ni garantirano, ker je dodatek 10 kg Al v ponovco za 30 tonsko šaržo prenizek, šarža ni z argonom preprihana.

Metoda VII, varianta I je predrugačena metoda H, je hitrejša. Po tej metodi se je aluminij pihal v talino v obliki Al prahu s pomočjo komprimiranega zraka. Metoda je hitra, vendar je pihanje Al ter njegova vsebnost v kislinotopni obliki v veliki meri odvisna od funkcionalnosti mehaniziranega sistema za vprihavanje prašnega aluminija. Poprečno smo dosegli sulfide 1,4—2,05. Isto metodo smo poizkusili z vprihavanjem Al s pomočjo argona. Izgubili smo v obeh primerih precej Al in Si. Metodo preizkušamo naprej v posebni nalogi, vendar je praksa zaenkrat še komplcirana ter sorazmerno draga.

Metoda VI, varianta J, kaže pri sulfidnih vključkih max. 1,95. Čeprav smo po tej metodi naredili v začetku malo šarž, kaže metoda ugodno sliko. Jeklo je narejeno na eno črno žlindro, s potegnitvijo enega dela žlindre po oksidaciji, nato dodatkom 1,0 kg Al/tono taline, sledil je dodatek FeMn in FeCr, v ponovco smo dodali 80 kg FeSi in 50 kg CaMnSi na 30 ton taline. Preprihovanje taline z argonom in vmesnim dodatkom 11 kg Al/30 ton

za drobno zrno. Drobno zrno je bilo doseženo. Večji dodatek CaSi oz. CaMnSi daje ugodnejše sulfide. Sulfidi so v mejah 1,7—1,95 bala, to pa je že pod balom 2, kar je bila naša začetna želja. Za samo 6-kratno stopnjo predelave ingota je to že ugodno. Tudi to metodo smo spremenili (modificirali) ter se odločili za dodatek FeSi v peč, ne v ponovco. Tako nastala metoda VI, varianta K, je pokazala najboljše rezultate, zato smo jo preizkusili z uporabo argona in brez uporabe argona za preprihovanje talin v ponovci. Ker smo dosegli v obeh primerih najboljše pogoje, smo metodo K vključili v nadaljnji tehnološki program redne proizvodnje cementacijskega jekla v vseh elektro obločnih pečeh v železarni Ravne. Razsipanje rezultatov je minimalno (1,52 do 1,65) bala prve poizkusne šarže. Metoda je v glavnem metalurško zelo hitra. Uporaba samo oksidacijske žlindre ter majhen dodatek hitro taljive žlindre po dodatku Al za preddezoksidacijo. Žlindro se po oksidaciji odstrani iz kopeli ca. 80 %, nato se legira 1 kg Al/tono taline ter še 6 kg SiMn/tono, nadalje se legira FeCr, po nadaljnjih 5 minutah še FeSi. Na te dodatke so dodani pri temperaturi taline ca. 1660—1670° C še hitrotaljiva žlindra iz 100 kg CaO + 50 kg CaF<sub>2</sub> + 10 kg CaSi ali FeSi (zdroba). Po raztalitvi te male količine žlindre, ki je ca. 0,5 % od teže taline, se talino premeša ter izpusti skupno z žlindro v ponovco. V curek se doda samo še 1,5 kg CaSi/tono. Aluminij se v ponovco ne dodaja, ampak šele med pihanjem z argonom po prvih 3 minutah preprihavanja. Dodatek Al znaša 13 kg na 30-tonsko šaržo. To zadostuje za dosego avstenitnega zrna > ASTM 5.

Ker je ta metoda dala najboljše rezultate na sulfidih, in kot bomo videli tudi pri drugih tipih vključkov, smo metodo preizkusili tudi brez uporabe argona, saj se lahko dogodi, da nam argona primanjkuje. Tudi tak način, ki je zahteval legiranje aluminija v ponovco od 0,5—0,7 kg/tono taline, je dal zadovoljive rezultate. Dosega žvepla pod 0,020 %. Pri metodi K pa moramo doseči čim nižje odžvepljanje za znižanje sulfidnih vključkov, ker metoda K omogoča izdelavo šarž v zelo kratkem času, manj kot 4 ure od šarže do šarže, to pa je le maks. 70 % od klasičnega načina izdelave, je metoda izredno rentabilna.

Ogledali smo si sulfidne vključke pri vseh preizkušanih metodah. Sedaj si oglejmo še druge tipe vključkov, ki so prikazani v tabeli 1.

Aluminati (B), silikati (C) in globularni oksidi (D) kažejo pri različnih variantah različna območja in vrednosti. Tudi tu se vidi prednost metod J in K, kar posebno potrjuje zadnja kolona vsote vključkov.

Celoten pregled ocen vključkov pri posameznih metodah podaja diagram št. 13.

Naslednjo primerjavo dajemo v diagramih in tabelah za porazdelitev ocen za 30 pregledanih mest na obrusu. Diagrami št. 14, 15, 16 in 17 kaže-

Tabela 1 — Območja in vrednosti nastopanja vključkov.

Varianta izdelave jekla	sulfidi A	aluminati B	silikati C	gl. oksidi D	vsota vključkov A + B + C + D
1	2	3	4	5	6
A	1,90—2,74	0,67—1,30	0,15—0,25	1,90—2,00	4,55—6,25
B	1,80—2,40	0,60—1,17	0,15—0,22	1,68—2,00	4,30—5,35
C	2,00—2,35	1,20—1,30	0,14—0,18	1,76—2,00	5,55—5,68
D	2,00—2,65	0,94—1,00	0,20	1,85—1,90	5,17—5,66
E	1,10—2,55	0,55—1,13	0,14—0,26	1,57—1,95	4,25—5,63
F	1,90—2,43	0,67—0,90	0,15—0,20	1,70—1,80	4,75—4,95
G	2,00—2,45	0,93—1,20	0,18—0,25	1,77—1,90	4,98—5,48
H	1,60—2,05	0,65—1,00	0,18—0,27	1,60—1,70	4,20—4,75
I	1,40—2,05	0,53—0,10	0,10—0,30	1,60—1,85	4,50—4,65
J	1,70—1,95	0,55—0,90	0,17—0,29	1,50—1,84	4,15—4,55
K	1,52—1,65	0,75—1,05	0,12—0,21	1,45—1,75	3,95—4,50

Tabela 2 — Procentna sestava vključkov

Metode jeklarske tehnologije	šarž Stevilo	Vključki tipa A v % stopnje				Vključki tipa B v % stopnje				Vključki tipa C v % stopnje				Vključki tipa D v % stopnje			
		0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
A	14		4,8	70,6	24,6	28,0	62,5	9,5		85,4	14,6			13,5	86,5		
B	14		2,2	91,8	5,9	31,8	64,3	3,6	0,3	86,5	13,3	0,15		0,9	10,1	89,0	
C	3		3,3	76,6	20,0	7,7	62,2	28,3	1,6	81,7	18,3			6,1	93,9		
D	3		2,7	59,5	37,8	25,0	65,5	8,9	0,7	86,1	13,9			8,9	91,1		
E	15		8,4	86,3	5,3	23,3	68,8	7,7	0,10	82,5	17,2	0,30		76,9	23,1		
F	3		5,0	75,5	19,5	30,0	60,0	8,3	1,1	82,3	17,7			18,8	81,2		
G	4		0,5	79,5	20,0	10,0	58,5	27,6	3,8	83,9	16,1			15,7	84,3		
H	7		36,1	63,5	0,25	23,3	62,2	12,5	1,7	78,0	22,0	0,25		35,3	64,7		
I	6		19,1	80,2	0,7	40,5	54,0	5,5		80,6	19,4			35,0	65,0		
J	7		15,5	84,5		39,1	56,1	4,8		79,5	20,47			35,5	64,5		
K	3		40,6	59,4		28,3	58,3	12,2	1,2	82,3	16,5			38,3	61,7		
25 T peč	12		18,6	81,1	0,3	30,7	62,6	6,7		86,5	13,5			31,8	68,2		
10 T peč	10		15,1	75,6	9,3	21,5	63,0	14,6	0,7	86,8	13,2			39,5	58,5		

jo, kako so se pogostosti stopnje posameznih tipov vključkov spreminjale po posameznih metodah izdelave jekla.

Diagram za tip vključkov A (sulfidi) kaže, da se je število grobih vključkov zmanjševalo od metode do metode. V glavnem pri zadnjih dveh metodah J in K, so padli vključki tipa A stopnje 2, naraslo pa je število vključkov tipa A stopnje 1. Tip A, stopnje 3 skoraj popolnoma izgine. Diagram za tip vključkov B kaže, da zadnje tri metode kažejo porast vključkov stopnje 0, padec stopnje 2, stopnja 3 je konstantna, medtem ko pada stopnja 1.

Diagram za tip vključkov C (silikati), se bistveno ni spreminjal po raznih metalurških metodah izdelave jekla, vendar se tudi tu vidi, da je tip C vključkov stopnje 0 narastel, padel pa je tip C stopnje 1.

Diagram za tip vključkov D (globuliti) najbolj nazorno kaže, kako najbolj nevaren tip globulitov v enojkah narašča, medtem ko v dvojkah pada. Ta slika je ugodna za čistočo jekla in kaže, da metode H, I, J in K dajejo že zelo ugoden rezultat.

Isto sliko nam kaže tabela št. 2, kjer lahko vidimo še rezultate ostalih karakteristik izdelanih šarž.

#### **METALOGRAFSKI PREGLED JEKEL ZA CEMENTACIJO, IZDELANIH PO ENAJSTIH RAZLIČNIH JEKLARSKIH TEHNOLOGIJAH**

Če se povrnemo k razlagi prejšnjih diagramov velikosti vključkov tipov A, B, C, D (14, 15, 16, 17 in tabeli 2), moramo poudariti, da smo laboratorijsko ocenili 79 različnih šarž jekla za cementacijo, izdelanega na 30-tonski elektroobložni peči. Ocenjevali smo:

- nemetalne vključke po J. K. skali,
- velikost avstenitnega zrna po skali ASTM E 112 za ocenjevanje velikosti avstenitnega zrna ter
- modri lom po metodi I.A.S.

Probe za ocenjevanje teh količin so bile vzete iz valjanih gredic kvadrat 90 mm. Gredice so bile valjane iz ingotov OKGV 255 (poprečno kvadrat 230 mm), to je le šestkratna predelava.

Nemetalne vključke smo ocenjevali na vzdolžnih belih brusih. Pri skoraj vseh poizkusnih šaržah smo ocenili nemetalne vključke na dveh brusih. En brus je pripadal glavi ingota, drugi pa nogi ingota. Na vsakem brusu smo ocenili po 30 vidnih polj pri 100-kratni povečavi na optičnem mikroskopu. Rezultate smo podali na dva načina:

— Za vsak brus smo določili aritmetično sredino 30 pregledanih polj za posamezne tipe vključkov A, B, C, D, po J. K. (Jernkontoret) in vsoto srednjih vsebnosti A + B + C + D za vsak posamezni metalografski brus.

— Za vsako metodo jeklarske tehnologije (A — K) in za skupno število šarž vsake metode smo za posamezne tipe vključkov po J. K. skali (A, B, C, D), določili pogostost posameznih stopenj (0, 1, 2, 3, 4) in to izrazili v odstotkih. Delno to prikazujemo že na diagramih št. 14, 15, 16, 17 in v tabeli št. 2.

S tem smo želeli povečati občutljivost ocen za medsebojno primerjavo jeklarskih metod. Podajanje srednjih vrednosti in vsote vključkov po J. K. namreč ni dovolj občutljivo, ker ne pokaže dovolj razlik med vključki posameznih stopenj. Za primer vzemimo vključke tipa B pri jeklarski tehnologiji A. Ocenili smo 14 šarž z 28 metalografskimi obrusi. Ker smo na vsakem brusu ocenili 30 vidnih polj, smo imeli za vključke tipa B samo pri tehnologiji A skupaj 840 ocen, pri čemer je bilo:

28,0 % ocen s stopnjo 0,
62,5 % ocen s stopnjo 1,
9,5 % ocen s stopnjo 2
100,0 %

Te pogostosti posameznih stopenj, izraženih v odstotkih, smo podali v »procentualni tabeli vključkov« št. 2 in diagramih za posamezne tipe vključkov.

Rezultati metalografskih preiskav na avstenitno zrno in modri lom so pokazali, da je velikost avstenitnega zrna zadovoljiva. Vse šarže, ki so imele grobo avstenitno zrno, niso vsebovale zadostne količine aluminija, ki zagotavlja fino zrno. Vse šarže z grobim zrnem so vsebovale celokupni Al nižji od 0,014 %. Iz tega sledi, da je tudi topni aluminij bil prenizek, ta je potreben za drobno zrno. Če še nadalje analiziramo, zakaj je ponekod Al nizek, ugotovimo, da imajo v glavnem samo one šarže nizek kislinotopni aluminij, katere smo izdelali brez uporabe argona za prepričevanje v ponovci. To pomeni, da je legiranje Al brez uporabe argona za prepričevanje nesigurno ter rezultat premočnega vpliva posameznikov, ki šaržo vodijo. Torej lahko mirno trdimo, da je za veliko sigurnost doseganja finega zrna argon za prepričevanje taline v ponovci zelo koristen.

Iz do sedaj pregledanih brusov se tudi vidi, da samo nizko poprečje (A + B + C + D) vključkov še ne vodi k zadovoljivim rezultatom kvalitete cementacijskega jekla. Videli smo, da so metode z višjim poprečjem dale mnogo boljše slike modrega loma kakor nekatere metode z nižjim poprečjem nemetalnih vključkov. Torej velikost, razporeditev in morfologija vključkov igrajo tu glavno vlogo.

Poizkusi so bili končani, ko smo se za nadaljnjo tehnologijo odločili. Izbrali smo tehnologiji J in K za nadaljnjo uporabo v proizvodnji cementacijskih jekel. Obe tehnologiji ob koncu članka navajamo.

Predno pa smo se odločili za uporabo tehnologije J in K, smo za sigurnost uporabe preizkusili tehnologijo K (brez uporabe argona), ker nam argona za prepričevanje jekla v ponovci včasih primanjkuje.

Tabela 3 — Rezultati metalografskih preiskav za 10-tonsko peč

Sarža	Kvalit.	Modri lom	Vključki po J. K. skali					Najslabše ocenjeno m.	zrno	Al cel	Al kisl
45432	EC 100	G v redu	2.20	0.93	0.10	1.53	4.76	3 2 1 2	5—6	0.053	0.028
		N izceje v sr.	1.96	1.10	0.10	1.66	4.82	3 3 1 2			
45433	EC 100	G v redu	2.07	0.90	0.17	1.59	4.73	3 2 1 2	7	0.053	0.033
		N v sr. moč. iz.	2.00	0.90	0.10	1.50	4.50	3 3 1 2			
45345	EC 60	G v redu	1.63	1.30	0.20	1.70	4.83	2 3 1 2	5	0.015	0.014
		N v redu	1.53	1.03	0.26	1.80	4.62	2 2 1 2			
45441	EC 80	G v redu	2.53	0.90	0.10	1.50	5.03	3 2 1 2	5	0.013	0.007
		N v redu	2.20	0.80	0.10	1.96	5.06	3 2 1 2			
45454	EC Mo 100	G v redu	1.73	0.90	0.16	1.63	4.42	2 2 1 2	5—7	0.060	0.021
		N rah. iz. v sr.	1.60	0.83	0.16	1.80	4.39	2 2 1 2			
45455	EC Mo 100	G v redu	1.79	0.67	0.10	1.63	4.19	2 1 1 2	6—7	0.059	0.019
		N 2 2 2 3	1.80	0.69	0.17	1.53	4.19	2 1 3 2			
45456	EC Mo 100	G 2 2 2 2	2.23	1.09	0.13	1.40	4.85	3 2 1 2	6	0.046	0.015
		N 2 3 2 2	2.23	0.93	0.13	1.33	4.62	3 4 1 2			
45458	EC Mo 100	G 2 2 1 2	1.86	1.23	0.10	1.40	4.59	2 2 1 2	6	0.040	0.008
		N 2 2 2 2	1.90	1.00	0.10	1.50	4.50	2 2 1 2			
45461	EC Mo 100	G v redu	1.90	0.86	0.20	1.76	4.72	2 1 1 2	6	0.050	0.020
		N v redu	1.77	1.10	0.16	1.70	4.73	2 2 1 2			
45463	EC Mo 100	G v redu	2.06	0.66	0.13	1.63	4.48	3 2 1 2	6	0.041	0.014
		N 2 2 2 3	2.00	0.83	0.13	1.60	4.56	2 2 1 2			

Tabela 4 — Rezultati preiskav za 30-tonsko peč

Sarža	Kvalit.	Modri lom	Vključki po J. K. skali					Najslabše ocenjeno m.	zrno	Al <sub>cel</sub>	Al <sub>kisl</sub>
24551	EC 80	G v redu	1.76	0.86	0.33	1.72	4.67	2 2 4 2	5—6	0.031	0.013
		N 1 1 1 1	1.73	0.70	0.16	1.73	4.32	2 2 1 2			
24553	EC 80	G v redu	1.90	0.76	0.10	1.60	4.36	2 1 1 2	6	0.027	0.025
		N rahl. iz. v sr.	1.80	0.73	0.10	1.77	4.40	2 2 1 2			
24554	EC 80	G v redu	1.89	0.60	0.10	1.79	4.38	2 1 1 2	5—6	0.024	0.019
		N rahl. iz. v sr.	1.53	0.57	0.13	1.73	3.96	2 2 1 2			
24560	EC 80	G v redu	2.00	0.90	0.13	1.53	4.56	2 2 1 2	5—6	0.026	0.013
		N v redu	1.89	1.00	0.13	1.64	4.66	2 2 1 2			
24561	EC 80	G v redu	1.93	0.83	0.10	1.70	4.46	2 2 1 2	6	0.048	0.031
		N v redu	1.76	0.80	0.13	1.73	4.42	2 1 1 2			
24562	EC 80	G v redu	1.90	0.70	0.10	1.70	4.40	2 1 1 2	5—6	0.044	0.039
		N rahl. iz. v sr.	1.60	0.83	0.26	1.73	4.42	2 2 1 2			
24566	EC 100	G 2 2 2 1	2.00	0.99	0.20	1.53	4.72	2 2 1 2	6	0.030	0.026
		N 2 2 2 2	1.89	1.13	0.16	1.53	4.71	2 2 1 2			
24567	EC 100	G v redu	1.99	1.06	0.13	1.50	4.68	2 2 1 2	6	0.028	0.018
		N 2 2 1 1	1.99	1.16	0.16	1.60	4.91	2 2 1 2			
24570	EC 100	G v redu	1.80	0.60	0.13	1.69	4.22	2 1 1 2	6—7	0.032	0.019
		N v sr. izceje	1.76	0.70	0.13	1.70	4.29	2 2 1 2			
24580	EC 80	G v redu	1.69	0.69	0.10	1.87	4.35	2 2 1 2	6	0.031	0.022
		N v redu	1.63	0.50	0.10	1.83	4.06	2 1 1 2			
24587	EC 80	G v redu	1.60	0.43	0.13	1.63	3.79	2 2 1 2	4—5	0.021	0.006
		N 2 1 2 2	1.70	0.47	0.13	1.70	4.00	2 2 1 2			
24591	EC Mo 100	G v redu	2.00	0.63	0.10	1.60	4.33	3 2 1 2	7	0.069	0.016
		N 2 2 2 1	2.00	0.60	0.13	1.80	4.53	3 2 1 2			

Izdelali smo 12 šarž po tehnologiji K v 30-tonski el. obločni peči ter 10 šarž v 10-tonski el. obločni peči. Rezultate navajamo v nadaljevanju s pomočjo tabele 3 in 4. Edina slaba stran opustitve argona pri tehnologiji K je, da se Al nahaja v zelo različnih koncentracijah kljub enakim dodatkom, vendar nam še garantira drobno avstenitno zrno jekla. Po teh 22 šaržah smo se dokončno odločili za bodočo uporabo metode K v redni proizvodnji.

Iz tabel 23, 24 je razvidno, da se metoda K z dovolj veliko sigurnostjo lahko uporabi tudi brez uporabe argona v redni proizvodnji cementacijskega jekla.

Predno smo se odločili za uporabo metode J in K v redni proizvodnji cementacijskega jekla, smo si predočili tudi približen *izračun mehanizma dezoksidacije* za šaržo št. 24 250, izdelano po metodi K.

### MEHANIZEM DEZOKSIDACIJE ŠARŽE ST. 24 250, (J)

Ker je število vključkov oziroma pogostost nastopanja vključkov odvisno od prostega kisika v jeklu, smo preračunali primer mehanizma dezoksidacije za eno od izdelanih kvalitet. To je šarža EC 80, št. 24 250.

Popolnoma točno primerjavo o pravilnem izračunu bi morali primerjati pozneje z analizo kisika, to je končno izdelanem jeklu in bi lažje sklepali na pravi izračun mehanizma dezoksidacije. Kljub temu pa se v tem izračunu vidi, do katere koncentracije prostega, preostalega kisika je možno vezati kisik na dezoksidante po metodi uporabe argona in vmesnega dodatka 0,4 kg Al/tono za fino zrno.

Pri tej šarži smo imeli naslednje pogoje:

Žilavenje s kisikom je v času skupno 60 minut dalo žilavilno hitrost okrog 0,66 % C/60 minut, kar znaša 0,011 % C/minuto. Ta hitrost se smatra za normalno. Pri žilavenju je bil skupni kisik okrog 0,055 %, kar potrjujejo razne raziskave pri podobnih kvalitetah. Vezani kisik iz 0,006 %  $Al_2O_3$  in 0,008 % SiO — pa je približno 0,007 %. Produkt  $C \times O$  je  $0,16 \times 0,048 = 0,0077$ , kar je normalna koncentracija.

Normalno izkuhavanje znaša okrog 27 minut, kar je sicer nekoliko kratko, saj se kisik še ni približal ravnomočnostni porazdelitvi, vendar to ne more biti škodljivo pri takšni količini dodanega Al za preddezoksidacijo. Smatra se namreč, da je za efektno znižanje kisika potrebna njegova visoka koncentracija pred dodatkom aluminija in visoka temperatura, to pa je bilo doseženo pri tej šarži.

Izračun prostega kisika po izkuhavanju sledi formuli:

$$O = K_1 \times 1/C \times 1/t$$

Vsebnost prostega kisika po izkuhavanju je torej:

$$0,130 \times 1/0,16 \times 1/27 = 0,03 \%$$

Do te vsebnosti kisika pridemo tudi na podlagi dosedanjih študijev oz. diagramskih prikazov, kjer je produkt  $C \times O$  po izkuhavanju v času 27 minut okrog 0,0047 in kisik =  $0,0047/0,16 = 0,029 \%$ . (Če bi izkuhaval nekoliko dalj časa, recimo 35 minut, bi dobili kisik 0,023 % namesto 0,03 po 27 minutah izkuhavanja.) Po izkuhavanju bo SiO<sub>2</sub> okrog 0,006 %, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> okrog 0,003 %. Po izkuhavanju šarže je sledila preddezoksidacija z dodatkom 0,1 % Al (ali 1 kg Al/tono) in to ustreza vsebnosti topnega Al okoli 0,019 %. Po 13 minutah, kar je bilo časa do izpusta taline, se je znižal topni aluminij na približno 0,01 do 0,012 %.

Če sedaj pogledamo odnos med kisikom v talini pred dodatkom aluminija v talino pred izpustom, je slika naslednja:

skupni kisik pred izpustom 0,5 × skupni kisik pred dodatkom Al. Skupni kisik pred izpustom taline: =  $0,5 \times (0,003 + 0,004) = 0,017 \%$ . Do zgoraj navedene koncentracije skupnega kisika v talini pred izpustom pridemo tudi na podlagi mehanizma dezoksidacije:

z 0,011 % topnega Al je ravnotežna količina prostega kisika okrog 0,0026 %. Razlika (0,03 manj 0,0026) = 0,027 % O reagira z Al, pri čemer nastane okrog 0,056 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Ta količina Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> se zelo hitro izloči v obsegu okrog 60 %, kar je za normalne temperaturne pogoje in mešanje taline normalno. V talini torej ostane pred izpustom  $40/100 \times 0,056 + 0,003 = 0,025 \%$  Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Skupni kisik znaša torej  $0,012 + 0,003 + 0,0026 = 0,017 \%$ , kar se s prejšnjim statističnim odnosom dobro ujema.

V ponovco pride torej talina z 0,025 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,006 % SiO<sub>2</sub>, 0,0028 % O (FeO + MnO) in sledovi Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>.

V ponovco je dodano skupno 0,29 % Si oziroma v šarži smo našli 0,3 % Si. Ta količina je v ravnotežju z 0,0068 % prostega kisika. Torej se teoretično (ker je v talini pred izpustom samo 0,0026 % prostega kisika) ne morejo tvoriti dezoksidacijski produkti. Skupno tvorjena količina SiO<sub>2</sub> znaša 0,006 % (iz peči), ki se v času izpusta 2 minut izloči okrog 45 %-no in 0,007 % SiO<sub>2</sub> pride iz ognjeodporne obloge ponovce in žleba; skupno nastane torej 0,01 % SiO<sub>2</sub>.

V času izpusta pride do intenzivnega mešanja taline v ponovci in delež izločanja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> zaradi zelo ugodne visoke temperature bo v tem času okrog 70 %. V skupnem času do pričetka pihanja argona, to je okrog 5,5 minut, bo obseg izločanja Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> okrog 78 %. V talini bomo torej pred pričetkom pihanja argona imeli 0,0055 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0,01 % SiO<sub>2</sub>, 0,0026 % O (FeO + MnO) in okrog 0,0003 % C kot Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Redukcija SiO<sub>2</sub> ni možna zaradi prenizke vsebnosti Al topnega. Skupni kisik v talini pred pričetkom pihanja argona bo v koncentracijo ca. 0,01 %. Če predpostavimo, da bi ne bilo pihanja z argonom in tudi ne dodatka 11 kg Al v talino v ponovci med pihanjem argona, potem bi bila slika kinetike tvorbe in izločanja primarnih oksidov naslednja:



h kalkularanemu skupnemu kisiku 0,01 % pride na eni strani neznamen dodatek kisika zaradi sekundarne oksidacije Al v curku taline, na drugi strani pa se v skupnem času 8—10 minut do pričetka litja v kokile poveča obseg izločanja  $Al_2O_3$  na okrog 82 %. Skupni kisik v izdelani šarži bi bil okrog 0,009 %.

Ce predpostavimo, da bi bil izreden dodatek 11 kg Al tik pred izpustom oziroma med izpustom v ponovco, potem bi znašala vsebnost topnega Al v šarži okrog 0,014 do 0,016 %, ravnotežna količina kisika okrog 0,002 %, redukcija 0,01 %  $SiO_2$  preko Al bi se izvedla do okrog 0,004 %, pri čemer bi nastalo dodatno 0,007 %  $Al_2O_3$  in pri sekundarni oksidaciji curka taline bi prišlo do dodatne tvorbe  $(1,9 \times 0,019 - 0,015) = 0,007$  %  $Al_2O_3$ . Skupno se tvori  $0,025 + 0,007 + 0,007 + 0,003 = 0,042$  %  $Al_2O_3$ .

Pri 82 % obsegu izločanja bi ostalo v talini okrog 0,008 %  $Al_2O_3$ . Vključki bi imeli približno naslednji sestav: 0,008 %  $Al_2O_3$ , 0,004 %  $SiO_2$ , 0,002 % O (FeO + MnO) in 0,0003 % O kot  $Cr_2O_3$ . Skupni kisik bi potem znašal 0,0083 % (ca. 83 ppm).

Glede na novo tehnologijo se izvede okrog 5,5 minut (konkretno za to šaržo) pihanje taline v ponovci z argonom. To prepihanje se izvede, ko je vsa talina v ponovci. Faza odplinjevanja pri ca. 2,5 atm. pritiska argona traja ca. 3 minute, takoj po tem pihanju sledi dodatek 11 kg Al/30 tonsko šaržo, katerega se z drogom potopi skozi žlindro v talino ponovce. Ta dodatek v količini 0,36 kg Al/tono bistveno spremeni celotno sliko kinetike v naslednjem smislu:

dodatek 0,36 Al/tono nudi v talini 0,018 % topnega aluminija, oziroma v talini v ponovci  $0,018 \times 1,3 = 0,024$  % topnega Al, ki je v ravnotežju z okrog 0,001 % prostega kisika. Razlika  $(0,0026 - 0,001) = 0,0016$  % O reagira z Al, pri čemer nastane 0,0034 %  $Al_2O_3$ .

Zaradi visokega aluminija pride do redukcije do  $SiO_2$  na okoli 0,003 %, pri čemer nastane dodatno 0,0079 %  $Al_2O_3$ . Pri sekundarni oksidaciji curka nastane  $1,9 \times (0,024 - 0,018) = 0,018$  %  $Al_2O_3$ , dodatno. Skupno nastane torej  $0,025 + 0,0079 + 0,018 = 0,051$  %  $Al_2O_3$ .

V skupnem času  $2 + 3,5 + 3 = 8,5$  minut (čas izpusta + čas do pričetka pihanja z argonom + čas pihanja argona) znaša delež izločanja  $Al_2O_3$  okrog 85 %.

Nekovinski vključki v talini v ponovci po dodatku 0,36 kg Al/tono oziroma pred pričetkom pihanja druge faze argona so naslednjega sestava:

0,007 %  $Al_2O_3$ , 0,003 %  $SiO_2$ , 0,001 % O kot (FeO + MnO), 0,0003 % O kot  $Cr_2O_3$ . Skupni kisik v vključkih bi torej bil v koncentraciji 0,006 %.

S spremenjeno dezoksidacijsko prakso bi torej bilo doseženo znižanje kisika za okrog 25 do 30 %, kar je za kvalitetna jekla vsekakor velikega pomena. Seveda je potrebno pripomniti, da pri tej analizi nismo upoštevali, da bi pri sicer standardni praksi bila navzoča tudi difuzijska dezoksidacija, lahko pripomnimo, da nudi mehanizem dezoksidacije večjega števila šarž EC 80, pri katerih je bila

difuzijska dezoksidacija, poprečno doseženo vsebnost skupnega kisika med 0,0058 do 0,0065 %.

Z drugo fazo pihanja argona pri 1—1,5 atm. ca. 3 minute, to je faza čiščenja, pa se slika še dodatno spremeni, in sicer na ta način:

obseg izločanja  $Al_2O_3$  se zaradi ugodnih pogojev temperature poveča na 90 do 92 %,  $SiO_2$  v vključkih se zniža na poprečno 0,0010—0,0015 %, delež plinske dezoksidacije FeO + C znaša v ugodnih primerih pri višjem aluminiju okrog 30 %, pri nižjem aluminiju pa celo do 50 %. Iz navedenih dejstev bi sledila naslednja slika kinetike tvorbe in izločanja primarnih oksidov.

Skupno nastali  $Al_2O_3$  je praktično enak, to je 0,051 %. Torej bo v vključkih  $8/100 \times 0,051 = 0,004$  %  $Al_2O_3$ , 0,001 %  $SiO_2$ , 0,0007 % O (FeO + MnO) 0,0003 %  $Cr_2O_3$ . Skupni kisik bi znašal okrog 0,0035 do 0,004 %.

K temu bi bilo treba še pripomniti naslednje: — Čim večji je topni aluminij, tem boljša je redukcija  $SiO_2$ .

Torej bi bilo verjetno pravilneje dodati aluminij med izpustom taline v ponovco in nato prepihati talino z 2,5 atm. argonom 3 minute ter takoj 1,5 atm. argonom 3 minute, ne pa šele med obema fazama pihanja argona. Na ta način bi namreč prej prišlo do redukcije  $SiO_2$  in do manjše količine prostega kisika in seveda do manjše tvorbe  $Al_2O_3$ , zato pa do bolj čistega jekla že pred dodatkom argona.

— Dodatek aluminija 0,36 % kg/tono, katerega prakticiramo dodajati med pihanjem argona, bi se lahko znižal na 0,2—0,3 kg/tono, ker pri obdelavi taline z argonom dosežemo optimalne rezultate že pri 0,01 do 0,014 % topnega aluminija.

— Vprašanje je, ali je to garant za dosego finega zrna, če imamo le 0,01 % Al topnega. To še ni dokazano, zato bi ta druga metoda z 0,01 % do 0,014 % Al topnega bila ugodnejša za težke kovaške bloke, kjer je previsoka koncentracija topnega aluminija nevarna zaradi prečnih razpok, ki jih povzročajo preveč aluminijevega nitrida, kateri je nevaren že pri koncentraciji Al, topnega nad 0,02 %.

### RENTABILNOST PROIZVODNJE CEMENTACIJSKEGA JEKLA PO METODI J IN K

Po tej metodi je potrebno dodatno uporabljati le Ar za prepihanje talin v ponovci.

Za 30-tonsko šaržo porabimo ca. 110 litrov argona na eno tono jekla. Cena argona znaša 240 Ndin na 6.000 litrov, kar znaša 0,04 Ndin/liter. Pri uporabi 110 l na 1 tono jekla znaša to:

110 × 0,04 . . . . .	4,40 Ndin
investicije . . . . .	0,02 Ndin
porozni kamen . . . . .	0,25 Ndin
Simteck vezivo . . . . .	0,02 Ndin
Skupno: . . . . .	4,69 Ndin
	na tono

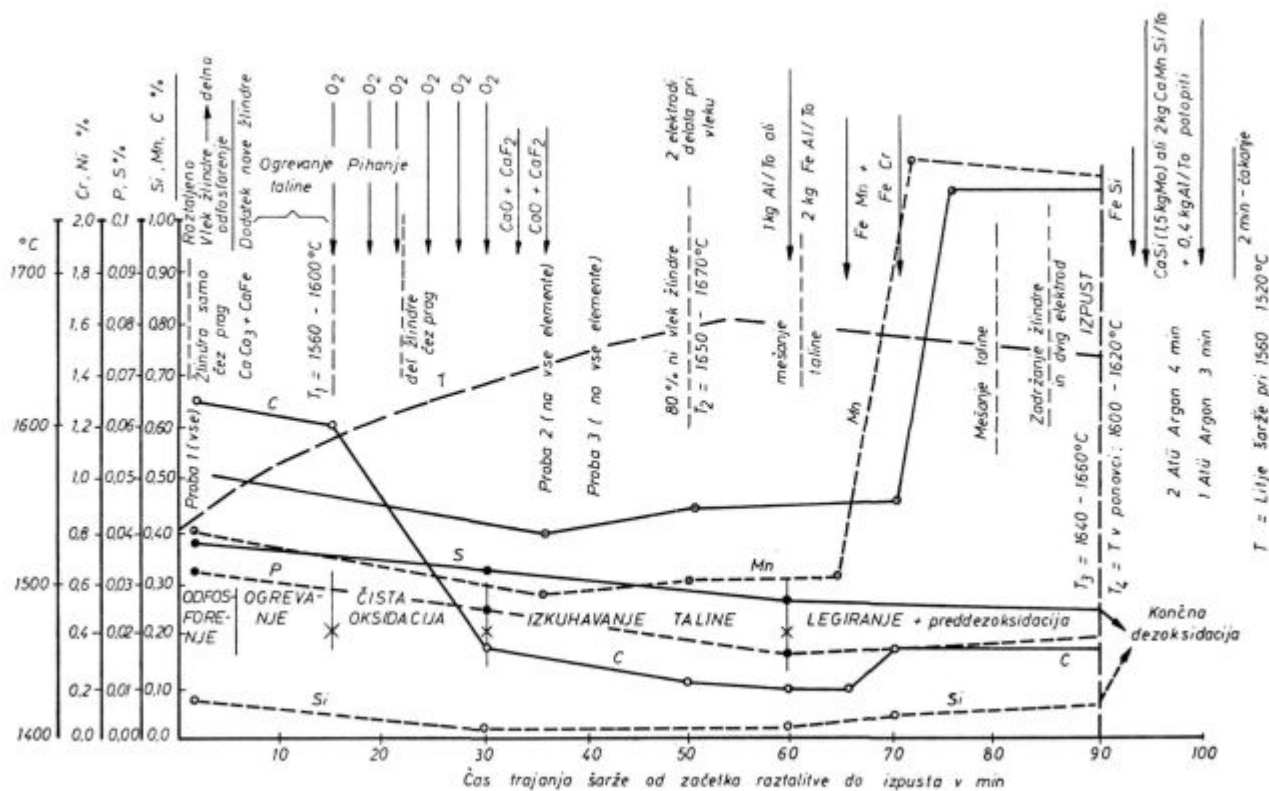


Diagram 18  
Potek izdelave šarže po varianti J

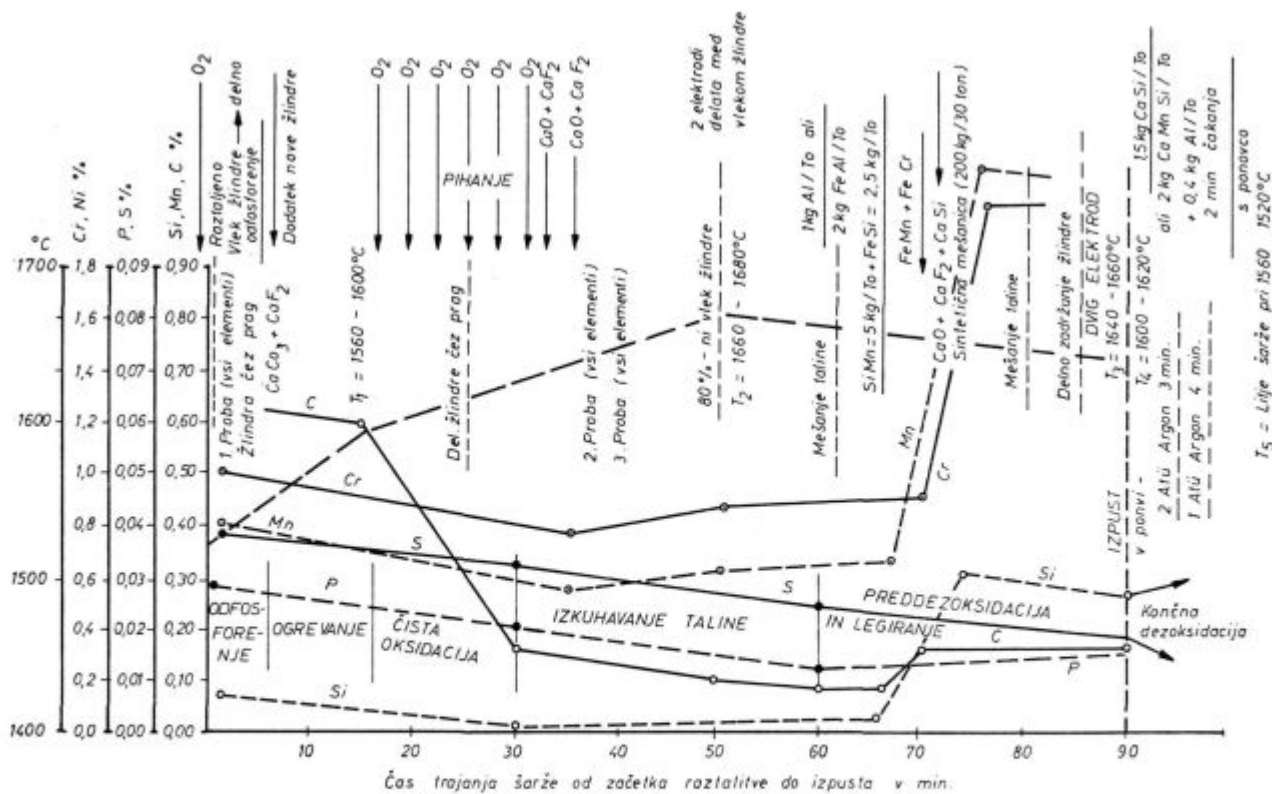


Diagram 19  
Potek izdelave šarže po varianti K

Zaradi izrednega skrajšanja trajanja taljenja po metodah J in K se znižajo fiksni stroški izdelave jekla, delno tudi variabilni stroški. Če samo nekaj od teh stroškov upoštevamo (amortizacijo, investicijsko vzdrževanje, vodstvo, obresti in osebni dohodki), znižamo ceno jekla že za 34,81 Ndin na tono. Če od tega odštejemo stroške argona, smo takoj pri 1 toni izdelanega jekla po K metodi prihranili ca. 30 Ndin, kar znaša pri 15 000 tonah proizvodnje cementacijskega jekla že prihranek 450 000 Ndin poleg čistejšega jekla.

Tu nismo vračunali nobenih izpadlih šarž, katere smo prej zaradi nedoseženih lastnosti morali dati v sekundarno proizvodnjo ali celo v izmeček.

Torej, metoda se brez dvoma rentabilno obnese.

### **PREDPIS IZDELAVE CEMENTACIJSKEGA JEKLA PO METODI »J« IN »K«**

Diagrama poteka šarž št. 18 in 19 na garantirano zrno kažeta, kako poteka izdelava cementacijskega jekla, izdelanega v 30-tonski električni obločni peči.

Obe metodi »J« in »K« sta pokazali od vseh enajstih preizkušenih najbolj ugodne rezultate. Med seboj se metodi zelo malo razlikujeta. Metoda »K« je v glavnem malo izboljšana metoda »J«, saj se razlikuje od metode »J« le v tem, da se za ugodnejše odžvepljanje uporabi posebej pripravljena žindra, ki ima nalogo, da po legiranju šarže z Al oz. FeAl dodatno deluje na talino v smislu odžvepljanja. Žindra je sestavljena iz  $\text{CaO} + \text{CaF}_2 + \text{FeSi}$  (ali  $\text{CaSi}$ ) v drobno zmleti ali fino kosasti obliki. Ima lastnosti hitre raztalitve ter zaščiti talino. Doda se pred legiranjem FeCr in FeMn. Istočasno ima nekaj prostega CaO za dodatno odžvepljanje. Na ta način se lahko doseže pri majhnem (10-minutnem) podaljšanju šarže dodatno odžvepljanje; žveplo želimo doseči pod 0,020 %.

Postopek izdelave je v tem, da se vzame vložek običajen kot po navadi: staro železo, legirani odpadki, grodelj, tako da v vložku ni več kot 0,5 % Cr in približno toliko mangana. Vložek se raztali, delno se potegne žindra, nato se naredi nova žindra za oksidacijo. Šarža se zagreje na 1560° C minimalno ter nato piha s kisikom (oksidacija). Po končani oksidaciji se ca. 20 minut izkuhava. Izkuhavanje naj ne preseže 35 minut, ker se bi izgubilo preveč časa na trajanju šarže. Odstrani se 80 % žindre pod istočasnim delovanjem zadnjih dveh elektrod. V času prenehanja izkuhavanja naj bo temperatura okoli 1650° C ali nekaj več. Sledi dodatek 1 kg Al/tono do 1,5 kg Al/tono ali pa 2—2,5 kg FeAl/tono. Nadalje legiramo 5 kg SiMn/tono + 2,5 kg FeSi/tono ter FeMn + FeCr. Takoj dodamo že prej izdelano sintetično žindro, katero pustimo delovati ca. 10—15 minut med premešavanjem žindre in taline. Šarža je pripravljena za izpust v ponovco. Žindra, ki ne vsebuje FeO (razen malih koncentracij), se lahko

spusti skupno z jeklom v ponovco, da dosežemo še dodatno odžvepljanje. Skupna količina žindre naj bo ca. 200 kg na 30 ton taline.

V curek jekla v ponovco dodamo 1,5 kg CaSi/tono ali lahko tudi toliko CaMnSi.

Šarža se čimprej izlije v ponovco zaradi čim manjše sekundarne oksidacije, nato se prepihuje v ponovci z argonom ca. 4 minute pri 2—3 atm. pritiska. Sledi dodatek 0,3—0,4 kg Al/tono taline s pomočjo droga v ponovco. Nadalje moramo še 3 minute pihati z Ar pod pritiskom 1—2 atm. (flotacija). S tem je šarža izdelana in uporabna za litje v kokile po že znanih metodah.

Po metodah »J« in »K« lahko izdelamo vse šarže kvalitete EC 60, EC 80, EC 100, ECMo 80, ECMo 100, ECN 15, ECN 200, ECN 15, 25, 35. To pa so v glavnem grupe cementacijskih jekel, ki jih izdelujemo.

Za težke kovaške bloke nad 3 tone se predpis toliko spremeni, da se končni dodatek Al med pihanjem argona nekoliko zniža. Dodatek znaša le še 0,20—0,30 kg Al/tono jekla.

### **ZAKLJUČEK**

Pod strogo kontrolo se je izdelalo preko 100 šarž, v glavnem na 30-tonski električni obločni peči. Šarže so bile izdelane po enajstih metodah, od katerih se v svoji tehnologiji principiarno razlikuje šest. Druge metode se razlikujejo med seboj le v manjših dopolnitvah oz. izmenjavah.

Rezultati poizkusov, ki so bili v članku obrazloženi ter diagramsko oz. tabelarično prikazani, so postopoma vodili k boljši čistoči, finejši zrnatosti cementacijskega jekla kakor tudi k večji proizvodnji.

Poizkusi so se vršili na kvalitetah EC, ECMo in ECN, vendar zaradi lažjega pregleda in statistike smo obravnavali v članku le Cr-Mn in Cr-Mn-Mo jekla. Postopoma smo prikazovali spremembe metod izdelave jekla in končno izdelali metodo, ki nam nudi dovolj ugodne pogoje za čistočo in zrnatost. Vse te pogoje smo pokazali:

- v čistoči jekla (vključki: sulfidi, aluminati, silikati, globularni oksidi in skupni vključki),
- v avstenitnem zrnu (po normah ASTM),
- v hitri izdelavi šarž (povečanju produktivnosti),
- v nizkem izmečku (sigurnosti izdelave).

Ker so razne metode dajale prednosti raznim tipom vključkov, smo izbrali oni dve metodi, ki sta zadovoljili zahteve vseh vrst vključkov. To sta metodi »J« in »K«.

Za drobno avstenitno zrno smo izbrali metodo preprihovanja talin v ponovci s plinastim argonom ter aluminiranja taline v ponovci med preprihovanjem argona. S tem smo z veliko sigurnostjo uspeli doseči koncentracijo kislinotopnega aluminija med 0,012 in 0,03 %, kar pa je garant za doseganje drobnega zrna.

Ugotovili smo dodatni padec kisika med prepihovanjem taline za ca. 20—30 % in tudi boljši izplen dodanega aluminija. Nadalje smo ugotovili da zadostuje že 0,010 % topnega aluminija za zahtevano drobno zrno.

Ugotovljeno je, da je potrebna temperatura taline ob času preddezoksidacije v peči ca. 1650° C, ob izpustu pa toliko visoka, da ima talina v ponovci pred začetkom pihanja vsaj 1600° C.

Metodi »J« in »K« omogočata dosego čistega jekla na vključke. Posebno metoda »K« nudi tudi ugodno razporeditev ter obliko vključkov vseh tipov po J K, (A, B, C, D).

Ob tej priložnosti bi se zahvalili inž. M. Velikonji, Reinstahl — Hattingen in dipl. inž. A. Prešernu, Metalurški inštitut — Ljubljana za sodelovanje.

#### Literatura

1. Plöckinger E., M. Wahlster: Untersuchungen über die Bildung und Abscheidung von Desoxidations — Produkten. Stahl u. Eisen 80 (1960), št. 10, stran 659—669.
- 2., 3. Plöckinger E., R. Rosegger: Desoxidation und technologische Eigenschaften beruhigter Thomasstähle. Stahl

u. Eisen 77 (1957), št. 11, stran 701—714 in št. 12, stran 798—804.

4. Fischer W. A., M. Wahlster: Untersuchungen über die Abscheidungsgeschwindigkeit primärer Desoxidationsprodukte aus Eisenschmelzen. Archiv des Eisenhüttenwesens 28 (1957), št. 10, stran 601—609.
5. Wahlster M.: Gedanken zur heutigen Stahlerzeugung. Radex — Rundschau št. 2 (1969), stran 465—477.
6. M. Wahlster, A. Choudury in H. Knahl A.: Freissmuth, Die Wirkung Kalziumhaltiger Legierungen auf Desoxidation, Entschwefelung und mechanische Eigenschaften von Feinkornbaustahl. Radex — Rundschau št. 2 (1969), stran 478—494.
7. M. I. Cehanskij: Vlijanje kompleksnogo raskislenia na metaličeskiye vlučenia v malouglerodistoi stali. Stal' št. 9 (1962), stran 798—799.
8. A. Schöberl, W. Holzgruber: Die Desoxidation von Chromlegierten Stählen mit Kalziumhaltigen Legierungen. Radex — Rundschau št. 2 (1969), stran 501—507.
9. E. Förster, H. Richter: Über Keimbildungsvorgänge bei der Entstehung von Desoxidationsprodukten. Radex — Rundschau št. 2 (1969), stran 518—523.
10. A. Schöberl, W. Holzgruber, H. Raisky: Ein Beitrag zur Desoxidation von Chrom-Nickel-legierten Einsatzstählen. Radex — Rundschau, št. 5 (1964), stran 251—265.
11. A. Schöberl, W. Holzgruber, E. Kahler: Verbesserung der Güte von austenitischen Chrom-Nickel-Stählen durch Desoxidationsmassnahmen.

#### ZUSAMMENFASSUNG

Es wurden über 100 Schmelzen der niedrig legierten Einsatzstähle im 30 t Elektroofen erschmolzen. Bei der Stahlherstellung wurden 11 verschiedene Technologien angewendet, die sich eine von der anderen in grösseren oder kleineren Modifikationen unterscheiden. Im fertigen Stahl haben wir verschiedene Stahleigenschaften wie das Primärkorn, nichtmetallische Einschlüsse und anderes untersucht. Die Versuchsergebnisse welche im Artikel in Tabellen und Diagrammen dargelegt sind, haben uns nach und nach zu einer besseren Reinheit und zu einem feineren Primärkorn der Einsatzstähle geführt.

Unsere Aufgabe war es die folgenden Stahleigenschaften und Produktionsparameter zu verbessern:

- die Reinheit des Stahles (Verminderung der Nichtmetallische Einschlüsse)
- das primäre Austenitkorn
- die Steigung der Ofenleistung
- Die Verminderung des Abfalles (weniger Fehlschmelzen).

Mit den verschiedenen Methoden haben wir auch verschiedene Ergebnisse erzielt. Nach der einen war der Stahl reiner in Hinsicht der sulfidischen Einschlüsse, nach der anderen in Hinsicht der oxydischen oder tonerdehaltigen Einschlüsse. Zuletzt haben wir zwei Methoden aus gesucht, welche im ganzen einen reinen Stahl zu Folge

hatten. Sie sind mit »I« und »K« gekennzeichnet. Für die Technologie dieser zwei Methoden wurden technologische Vorschriften ausgearbeitet.

Zu derselben Zeit wurden ähnliche Versuche durchgeführt um ein feineres Austenitkorn zu erhalten. Es wurde eine Methode ausgewählt, die uns mit einer grössten möglichen Sicherheit ein feines Primärkorn im Einsatzstahl gewährleistet. Diese Methode benötigt ein 6 bis 7 Minuten langes Durchblasen der Schmelze mit Argon. Argon wird durch einen Spülstein im Boden der Pfanne durchgeblasen. Während des Spühlens mit Argon wird Aluminium in die Pfanne in solcher Menge gegeben, welche von 0,013 % bis 0,025 % Aluminium im Stahl und damit auch ein feines Austenitkorn gewährleistet. Wir haben festgestellt, dass die mit Argon gespülten Schmelzen eine kleinere Menge von Säurelöslichen Aluminium benötigen als die nichtgespülten Schmelzen, um garantiert ein Korn von ASTM 5 zu erhalten. Alle Schmelzen wurden im Ofen mit Aluminium vordesoxidiert.

Nach der beiden Verfahren »I« und »K« haben wir einen reinen Stahl wie auch ein feines Primärkorn, wie auch eine günstige Verteilung der einzelnen Typen der nichtmetallischen Einschlüsse erreicht. Deshalb sind diese Methoden für die Erzeugung der Einsatzstähle im Hüttenwerk Ravne eingeführt worden.

#### SUMMARY

More than 100 batches of the carburising steel (CrMn, CrMnMo — low-alloyed) were made in a 30 t electric arc furnace. Various steel characteristics were analyzed as primary austenitic grain, non-metallic inclusions, etc. Batches were melted by 11 various metallurgical technological methods. The methods differed in smaller or bigger modifications. Results of the experiments, cited in the paper as tables and diagrams led gradually to better purity and finer primary grain of the carburising steel.

The set task demanded improvements in the following items:

- purity of steel (non-metallic inclusions: sulphides, aluminates, silicates, spheroidal oxides),
- austenitic primary grain of steel,
- greater furnace efficiency (greater output),
- small rejection (minimal number of unsuitable batches).

Different methods gave different results. By some of them steel purer in sulphide inclusions, by the others purer in spheroidal oxides or aluminate inclusions was obtained. Finally two methods were chosen which gave

puer steel on the whole. They were marked as »J« and »K«. For the technology of these two methods technological prescriptions were worked out.

Similar experiments were simultaneously carried out in order to obtain fine austenitic grain. A technological method was found which enables to produce carburising steel with fine grain with great certainty. The method demands 6 to 7 minute blowing of steel melt in the ladle by gaseous argon. Argon is blown through a porous stone, mounted on the ladle bottom. By adding aluminium into the ladle during the argon blowing, so that soluble Al

reached 0.013 to 0.025 %, fine austenitic grain is obtained with a great certainty. It was found that batches which were blown by argon did not need so high soluble aluminium content as those which were not blown by argon but also fine grain over ASTM 5 is guaranteed. All melts were predeoxidized by aluminium in the furnace.

Methods »J« and »K« gave good results for purity of steel, for primary austenitic grain, and had also very favourable distribution of individual types of inclusions, therefore they were introduced in the regular production programme of carburising steel in Ravne Ironworks.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для исследования взято свыше 100 плавков (CrMn, CrMnMo), низколегированной стали для цементации произведенных в электрической дуговой печи. Оценка стали относилась на примарное аустенитное зерно, неметаллические включения и пр. Выплавка велась по 11 разным методам металлургической технологии. Эти методы несколько отступали между собой в более или менее отклонением модификаций. Результаты этих опытов, которые в форме диаграмм и таблиц поданы в работе, постепенно дали возможность произвести цементационную сталь высшей чистоты и с мелкозернистым примарным аустенитом.

Отмеченная задача требовала следующие улучшения: 1. чистоту стали (неметаллические включения, сульфиды, алюминаты, силикаты, глобулярные окиси), 2. аустенитное примарное зерно стали, 3. увеличение производительности печи и 4. низкий брак (чем меньше неуспешных плавков).

Разные способы плавки дали разные результаты. В некоторых случаях сталь была чище что касается сульфидных включений, в другом случае было меньше глобулярных окисей или алюминатных включений итд. В результате выбраны два метода которые в целом дали самую чистую сталь. Для этих плавков

которые означены с буквами »J« и »K« приготовлены технологические правила.

Параллельно велась выплавки стали с целью получения мелкозернистого аустенита. Выбран такой технологический метод, на основании которого присутствие мелкозернистого аустенита загарантировано. Этот способ требует чтобы расплавленную сталь продували в ковше в течении 6—7 мин. с аргонем. Аргон вдувают посредством пористого камня который находится на дне ковша. С добавкой алюминия на содержание 0.013—0.025 % расплавленного в стали во время продувания аргона в ковше с большой надёжностью получена плавка с мелкозернистым аустенитом.

Опыты указали, что плавки которые продуты с аргонем не требуют высокого содержания отпленного алюминия а, несмотря на это, мелкое зерно аустенита по таблицы ASTM свыше 5 также загарантировано.

Предварительно все плавки были раскислены с алюминием. Методы »J« и »K« дали в результате сталь хорошей чистоты, с мелкозернистым примарным аустенитом, с соответствующим распределением отдельных видов включений. Эти способы нашли промышленное применение в металлургическом цехе Zelezarna Ravne (Югославия).