

Vpliv kemijske sestave in načina izdelave nepomirjenega jekla na čistočo pri toplovaljanih trakovih

DK: 669.141.241.4
ASM/SLA: ST-d, 4-53

Arh Joža, B. Stocca, M. Piščanec, H. Zupan
Železarna Jesenice

F. Vodopivec T. Lavrič — Metalurški Inštitut —
Ljubljana

Izdelava nepomirjenega jekla je zahtevna. Potrebno je poznati dogajanja v peči med izlitjem jekla iz peči v ponev in med vlivanjem. Članek obravnava celo vrsto tehnoloških vplivov na čistočo jekla v obliki toplo valjanega traku, od sestave jekla ob raztalitvi, pred prebodom jekla iz peči, končne sestave, temperature jekla, raznih načinov vlivanja in podobno. Na koncu je predlagana takšna sestava jekla, ki naj bi zagotavljala čim manj nekovinskih vključkov v jeklu.

UVOD

Kvaliteta nepomirjenega jekla je v veliki meri odvisna od kuhanja jekla v kokili. Obvladovanje kuhanja je zato bistven pogoj za izdelavo neoporečnega izdelka. Pogojuje pa tudi poznavanje vseh veličin, ki vplivajo na izkuhavanje jekla.

Pod dobro kvaliteto razumemo dovolj debel in čist zunanji rob, ki daje pri nepomirjenem jeklu na slabo in traku zdravo površino brez površinskih napak in zadovoljivo notranjo čistočo. Izkušnje kažejo, da površinskih napak, ki izvirajo iz preplitvih plinskih mehurjev, ne moremo odstraniti niti s flemanjem in v najslabšem primeru je takšen izdelek lahko izmeček. Zato je predvsem treba proizvajati bloke, ki nimajo mehurjev na površini, da zagotovimo neoporečno površino na slabo in traku. Na drugem mestu pa so ukrepi, ki vplivajo na fizikalno čistočo jekla.

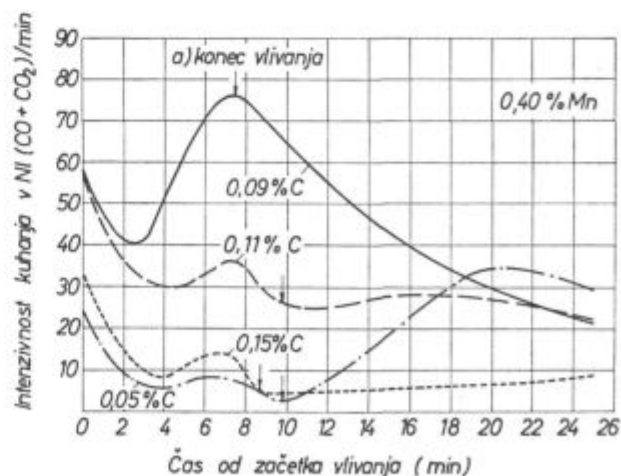
VPLIV KEMIJSKE SESTAVE IN TEMPERATURE JEKLA NA IZKUHAVANJE V KOKILI IN NA KVALITETO POVRŠINE

Obvladovanje procesa kuhanja jekla v kokili pri vlivanju je bistven pogoj za doseganje zadostne globine plinskih mehurjev v bloku in dobre površine trakov kakor tudi zadovoljive mikročistoče jekla.

Vpliv kemijske sestave jekla na kuhanje v kokili je že dolgo znan. Jeklarji vedo iz izkušenj, da se da nepomirjena jekla vlivati kvalitetno le, če je njihova kemijska sestava v določenih analiznih mejah. Kuhanje samo se da na enostaven način

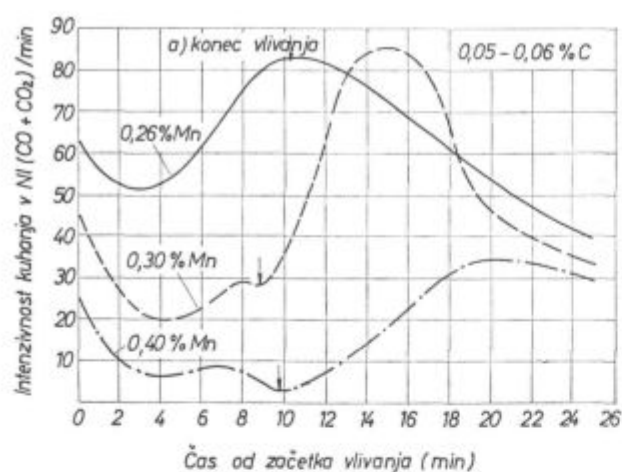
meriti tako, da merimo količino plinov, ki se razvijajo pri kuhanju². Iz diagramov na sliki 1 in 2 je razviden vpliv ogljika in mangana na intenzivnost kuhanja, ki je prikazana v NI sproščenega plina CO in CO₂ za skozi lijak vlite bloke.

Iz slike 1 je razvidna intenzivnost kuhanja v odvisnosti od ogljika pri konstantni vsebnosti mangana. Na sliki 2 pa je prikazana odvisnost intenzivnosti kuhanja od vsebnosti Mn pri konstantnem ogljiku. S sliko vidimo, da nepomirjeno jeklo z nizko vsebnostjo Mn in C močno kuha že ob koncu vlivanja in da je ob naraščajočem Mn in C kuhanje vedno manj intenzivno, maksimum izločanja plinov pa je premaknjen vedno bolj od konca vlivanja. Upoštevati pa moramo, da veljata diagrama za kuhanje brez pristopa zraka ob zaprti kokili in da je kuhanje pri odprti kokili intenzivnejše. Rečemo lahko, da padanje koncentracije ogljika, oziroma naraščanje koncentracije kisika pospešuje kuhanje, medtem ko naraščanje vsebnosti mangana zmanjšuje količine izločenega CO, ker se oksidira v MnO. Iz naših izkušenj tudi vemo, da jeklo, ki vsebuje 0,05 ali manj ogljika in do 0,35 % Mn in je izdelano v SM peči in vlito



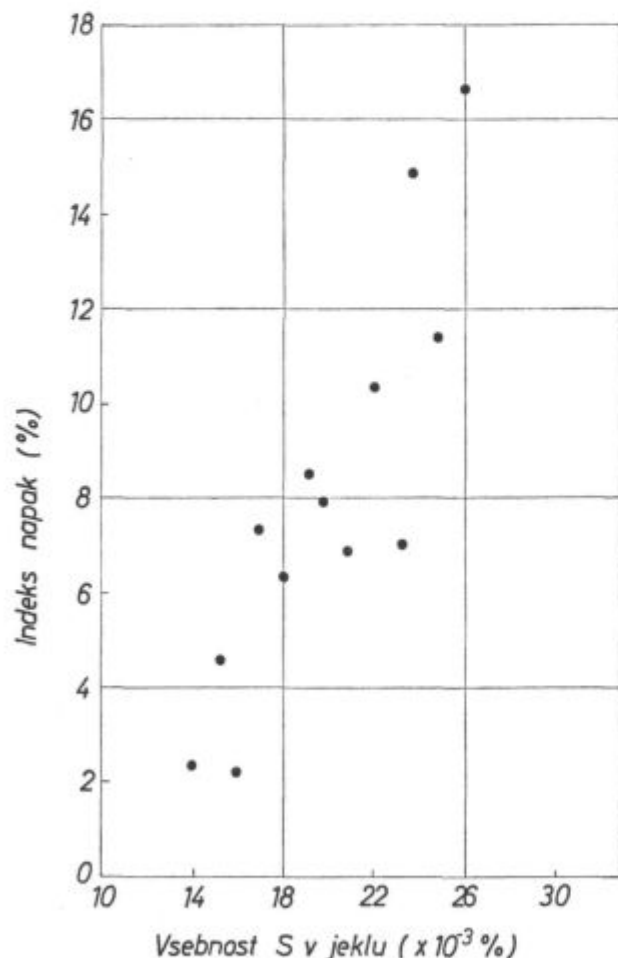
Slika 1
Vpliv ogljika na intenzivnost kuhanja pri konstantni vsebnosti mangana pri vlivanju od spodaj³.

Fig. 1
Influence of carbon on the rimming intensity at the constant manganese content when bottom cast³.



Slika 2
Vpliv mangana na intenzivnost kuhanja pri konstantni vsebnosti ogljika pri vlivanju od spodaj.

Fig. 2
Influence of manganese on the rimming intensity at the constant carbon content when bottom cast.



Slika 3
Vpliv vsebnosti žvepla v nepomirjenem jeklu na delež površinskih napak na trakovih.

Fig. 3
Influence of sulphur content in the rimming steel on the amount of surface defects on strips.

skozi lijak, tako močno kuha, da proces vlivanja zelo težko reguliramo.

Žveplo močno vpliva na intenzivnost kuhanja, ker zmanjšuje difuzijo ogljika in kisika v CO mehurčke in tako preprečuje njihovo rast. Naraščanje vsebnosti žvepla v jeklu preprečuje razvijanje plina CO, ki kakor pri pomirjenem jeklu povsem preneha, ko vsebnost žvepla doseže nekaj desetink procenta.

Skladno s tem ima žveplo močan vpliv na kvaliteto površine, oziroma na delež površinskih napak 1), 3).

Na sliki 3 vidimo, da s padanjem žvepla v jeklu močno pada tudi delež površinskih napak na trakovih. Podobno in v enakem smislu vpliva tudi mangan.

Japonci¹ so ugotovili močno odvisnost med vsebnostjo žvepla in dodanim aluminijem. Čim nižje je žveplo v jeklu, tem večji mora biti dodatek aluminija.

Poleg žvepla ima pri določeni sestavi nepomirjenega jekla za globoko vlečenje najmočnejši vpliv na kuhanje v kokili in na površinske napake temperatura jekla^{1,3}. Visoke temperature jekla imajo za posledico višje vsebnosti kisika, zakasnelo strjevanje in penjenje, kar vse slabo vpliva na kvaliteto površine.

Temperatura kokile, kot se zdi, nima nobenega vpliva na intenzivnost kuhanja jekla v kokili^{2,3}. Ruski podatki pa navajajo, da ima visoka temperatura kokil za posledico tanjšo zunanjo skorjo, oziroma mehurje bližje površini.

Lastne raziskave

Z opisanimi raziskavami smo imeli namen ugotoviti, v kolikšni meri vplivata kemijska sestava in način izdelave na mikročistočo jekla. Za raziskave jekla smo izbrali jekla različne kemijske sestave od 0,04 do 0,15 % C in 0,24 do 0,57 % Mn in različnim razmerjem Mn : C je od 2,26 do 9,5. Vlivali smo pod različnimi pogoji, in sicer smo večji del jekla vsake šarže vlili normalno skozi lijak v odprte kokile. Za primerjavo smo na enem ali dveh blokih posneli žlindro, druga dva pa smo imeli pokrita od začetka vlivanja, oziroma med kuhanjem, po en ali dva bloka pa smo vlili z vrha.

S postopno regresijo smo hoteli dobiti vrstni red vplivnih faktorjev na mikročistočo jekla. Za raziskavo smo zajeli naslednjih dvanajst vplivnih faktorjev:

1. C₂ — vsebnost ogljika pred prebodom
2. Mn₂ — vsebnost mangana pred prebodom
3. S₁ — vsebnost žvepla ob raztalitvi
4. C_K — ogljik v končni sestavi
5. Mn_K — mangan v končni sestavi
6. S_K — žveplo v končni sestavi
7. C/h — hitrost razogljčenja

8. Mn/C — razmerje mangan skozi ogljik vključkov
10. A + C — vsota plastičnih nekovinskih vključkov
11. B + D — vsota oksidnih nekovinskih
12. skupna — vsota vseh nekovinskih vključkov

Rezultati preiskav:

I. analiza:

Vrstni red vplivnih elementov na vsebnost vključkov (A + C)

1. % Mn pred prebodom (—) 18,8 % korel.
2. Mn/C (+) 3,0 %
3. Temp. preboda (—) 2,6 %
4. % S po raztalitvi (+) 1,9 %
5. % C pred prebodom (+) 1,7 %

Skupni % korelacije 28,0

II. analiza:

Vrstni red vplivnih elementov na vsebnost vključkov (B + D)

1. % C pred prebodom (—) 23,9 % korel.
2. % S po raztalitvi (—) 10,2 %
3. % Mn pred prebodom (—) 2,0 %
4. Mn/C (+) 0,7 %
5. Temp. preboda (—) —

Skupni % korelacije 36,9

III. analiza:

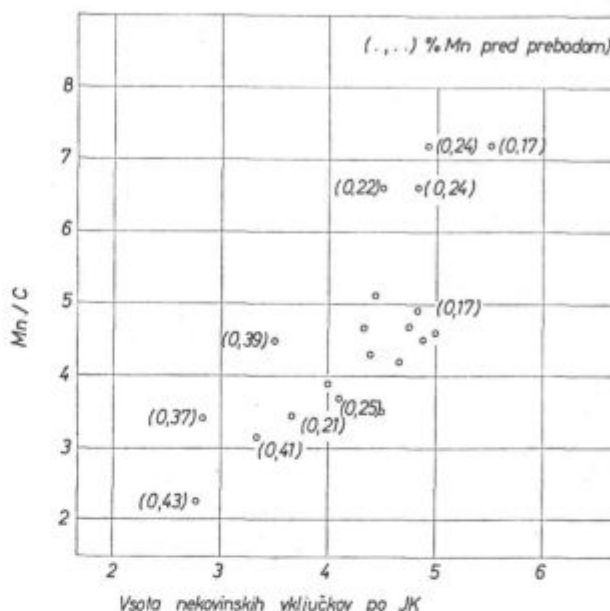
Vrstni red vplivnih elementov na skupno vsebnost vključkov (A + C), (B + D)

1. % Mn pred prebodom (—) 53,5 % korel.
2. Mn/C (+) 13,1 %
3. % S po raztalitvi (—) 2,5 %
4. Temp. pred prebodom (—) 2,7 %
5. C pred prebodom (—) 1,9 %

Skupni % korelacije 73,7

Analiza je pokazala, da posamezni elementi iz končne kemijske sestave šarže nimajo nikakršnega vpliva na količino nekovinskih vključkov, temveč le potek izdelave šarže. Tretja analiza kaže, da je najbolj izrazit vpliv načina izdelave na skupno vsebnost nekovinskih vključkov. Najbolj vpliven element je % Mn pred prebodom, saj pojasnjuje 53,5 % vseh vplivov. Njegov vpliv je negativen. Čim manjša bo vsebnost Mn pred prebodom, tem večja bo količinanekovinskih vključkov in obratno. Drugi vplivni element je razmerje Mn : C iz končne sestave, ki pozitivno vpliva na vsebnost vključkov in pojasnjuje 13 % vseh vplivov. Vsebnost žvepla po raztalitvi, ogljika pred prebodom

in temperatura jekla pred prebodom pa pojasnjujejo približno 7 % nadaljnjega vpliva na skupno vsebnost vključkov. Zanimivo je, da hitrost oksidacije ogljika ne vpliva na skupno vsebnost nekovinskih vključkov.



Slika 4

Vpliv razmerja Mn/C iz končne analize in vsebnosti Mn pred prebodom na vsoto nekovinskih vključkov po JK.

Fig. 4

Influence of Mn/C ratio in the final product and Mn content before tapping on the total amount of non-metallic inclusions according to JK scale.

Na sliki 4 prikazujemo vpliv najbolj vplivnih elementov, to je vsebnosti Mn pred prebodom in razmerje Mn : C v izdelanem jeklu, na vsoto nekovinskih vključkov po JK. Najčistejše jeklo smo dobili na traku kvalitete Č 03 V Rog in Č 0371 Kovinar, kjer je razmerje Mn : C najnižje in vsebnost Mn pred prebodom najvišja in obratno. Pri kvaliteti Č 0147 HVT se giblje razmerje Mn : C pri preiskanih šaržah od 3,7 do 7,2, v povprečju pa 5,25. Ugotavljamo, da je sestava nepomirjenega jekla za HVT neugodna in da lahko pričakujemo izboljšanje čistoče le pri spremembi sestave v smislu teh ugotovitev.

Vpliv različnih načinov vlivanja jekla na čistočo

Nekatere od poskusnih šarž smo vlili na razne načine, da bi ugotovili, če imajo le-ti kakšen vpliv na čistočo jekel. Razen normalnega vlivanja skozi lijak v kokilo OK 650 pri odkriti površini jekla smo na dveh blokih posneli žilindro, ki se nabira na površini, po dva bloka smo vlivali v pokrito kokilo ves ča vlivanja in kuhanja, po dva bloka smo pokrili po končanem vlivanju, dva pa smo vlili z vrha.

Jeklo pri kuhanju v kokili reagira z velikimi količinami kisika iz zraka, ki ga porablja za oksidacijo ogljika in izhaja iz jekla kot CO in za oksidacijo železa in mangana, pri čemer se tvori žlindra, ki v večji ali manjši količini plava na površini.

Če dostop zraka zapremo, tako da kokilo pokrijemo, jeklo izkuha le s kisikom, ki ga prinese s seboj iz peči. Pokazalo se je, da je kisika v samem jeklu v ponvi premalo za dobro kuhanje. Jeklo je v kokili raslo zaradi preslabotne reakcije ogljika s kisikom, površinski mehurji so bili bliže površini in robovi trakov na nogi hrapavi ali raztrgani.

Obratni učinek dosežemo, če žlindro s površine posnamemo. Jeklo odkrijemo, ga izpostavimo vplivu zunanjega zraka in dosežemo intenzivno kuhanje. Zunanja homogena skorja bloka je debelejša in površina trakov lepša.

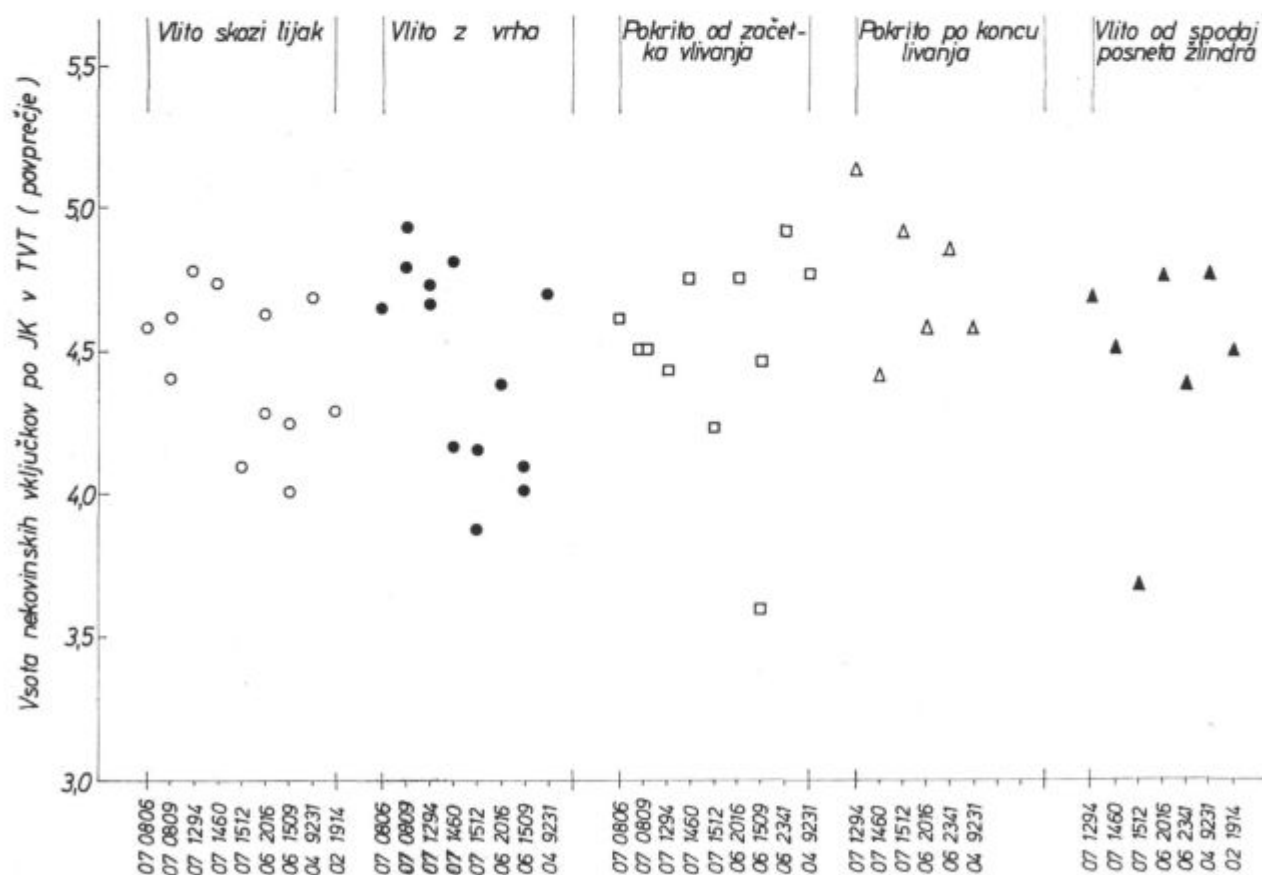
Vsi ti različni ukrepi pri vlivanju pa na čistočo jekla nimajo nobenega zakonitega vpliva.

S slike 5 se vidi, da ni nobene bistvene razlike v čistoči jekla v primerjavi z vlivanjem skozi lijak.

Niti vlivanje z vrha niti posnemanje žlindre in pokrivanje jekla med vlivanjem in kuhanjem nimajo značilnega vpliva na mikročistočo jekla.

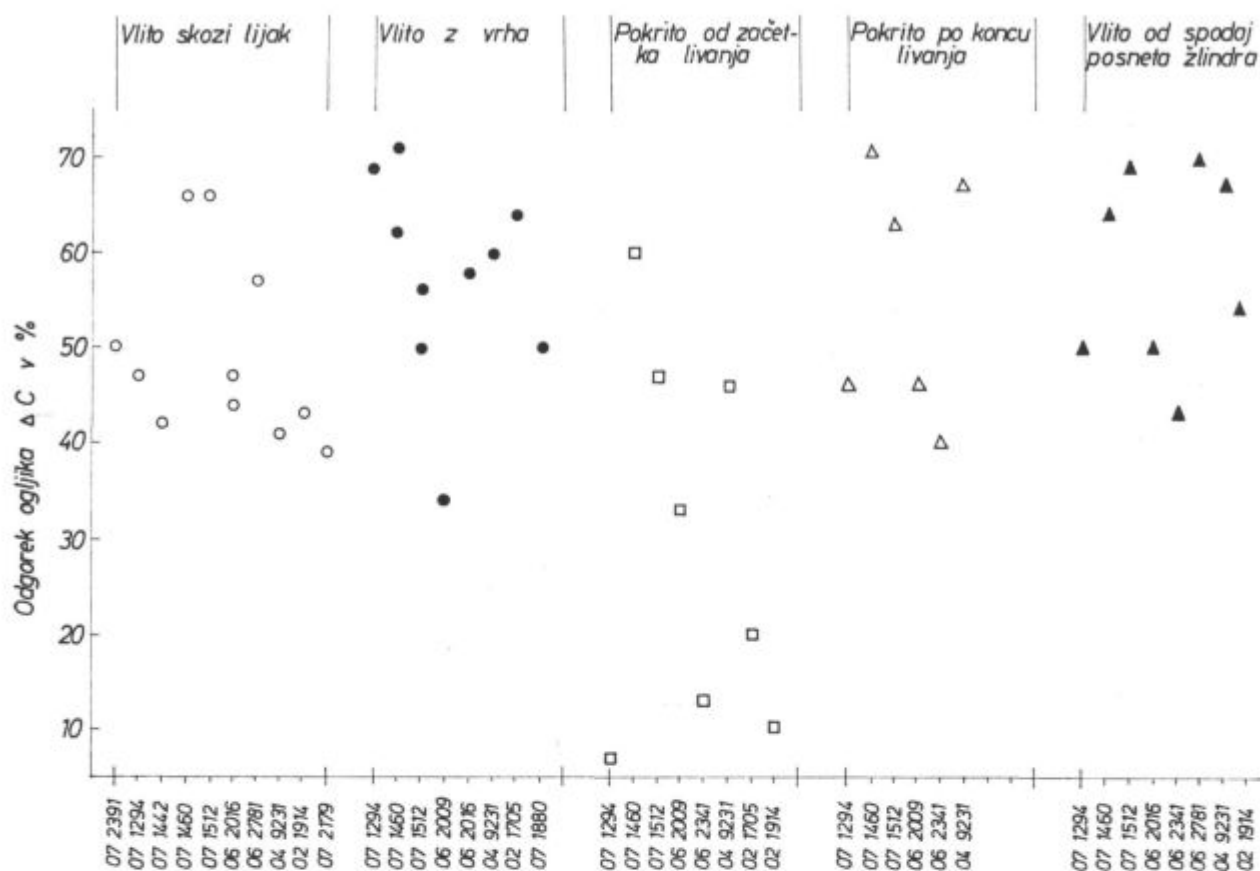
Odgor elementov ogljika in mangana med kuhanjem v kokili

Pri kuhanju v kokili odgorevajo ogljik, mangan in železo. Kolikšen je odgor, je odvisno predvsem od trajanja kuhanja in od dostopa zraka v kokilo. Najmanjši odgorek imamo, če jeklo blokiramo z Al ali Si, s čimer kuhanje zaustavimo. Manjši odgorek imamo, če vlivamo v pokrite kokile. Tudi velika količina žlindre na površini prepreči dostop zraka do jekla. Ker jeklo kuha, vse dokler ga ne pokrijemo, je pravi trenutek za pokrivanje izredno važen. Čim dalj pustimo jeklo kuhati, čim kasneje pa pokrijemo, večji bo odgorek. Najboljše razmere za enakomerno pokrivanje so pri vlivanju z vrha v eni vrsti. Pri vlivanju skozi lijak po več blokov naenkrat so razmere slabše, ker pač ne moremo pokriti vseh blokov naenkrat. Razmere v naši livni jami so glede tega neugodne, zato so med posameznimi bloki pri eni šarži v odgorku in izcejah velike razlike.



Slika 5
Odvisnost med vsoto nekovinskih vključkov po JK in različnimi načini vlivanja pri različnih šaržah.

Fig. 5
Relationship between the total amount of non-metallic inclusions according to JK scale and the various ways of casting of different batches.



Slika 6

Odvisnost med odgorkom ogljika (ΔC) in različnimi načini vlivanja pri različnih šaržah.

Fig. 6

Relationship between the carbon loss (ΔC) and various ways of casting different batches.

Na sliki 6 je prikazan odgorek ogljika (ΔC) pri različnih šaržah za razne načine vlivanja. Od povprečnega odgorka, ki se giblje okrog 50 %, močnejše odstopajo le bloki, ki so bili pokriti ves čas vlivanja in kuhanja. Jeklo v tem primeru izkuha le s kisikom, ki ga prinese s seboj in je tako lahko ta odgorek zelo nizek. Odgorek ogljika je nekoliko večji pri vlivanju z vrha, ker je na površini manj žilindre in boljši dostop kisika do jekla. Podobne razmere imamo, če žilindro posnamemo, kuhanje je boljše in odgorek večji.

Na sliki 7 pa prikazujemo porazdelitev ogljika vseh preiskanih šarž v šaržni analizi (a) in v vroče valjanem traku (b). Ogljik v vroče valjanem traku (b) je srednja vrednost vseh analiz iz začetka, sredine in konca z roba in sredine traku.

Kar 62 % vseh šarž je imelo v končni sestavi od 0,04 do 0,07 % ogljika, to je v območju, ki je predpisano za hladno valjane trakove v kvaliteti globoki vlek. V vroče valjanih trakovih z maks. 0,07 % C v šaržni analizi so vse vrednosti za ogljik < 0,04 % C. 73 % vse h vrednosti je < 0,035 % C, 53 % vseh vrednosti pa je < 0,030 % C.

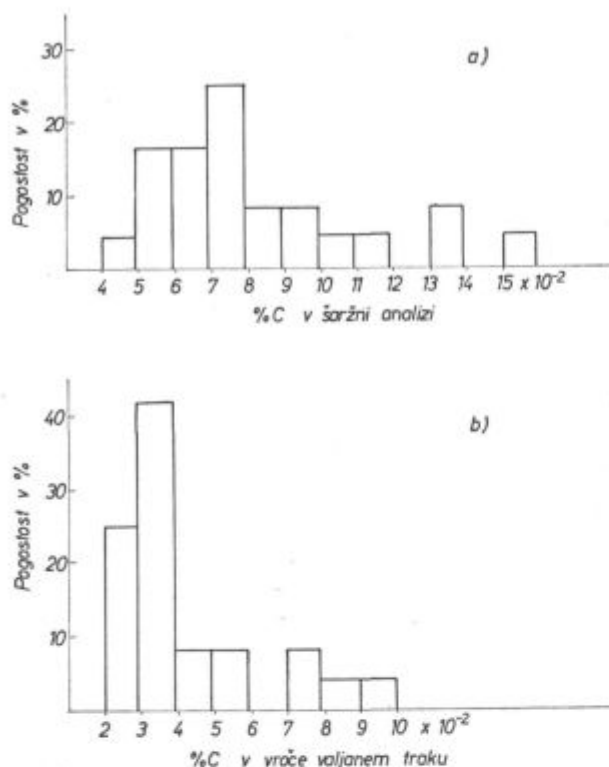
Odgorek mangana (ΔMn) na splošno znaša od 0,01 do 0,06 %, v povprečju pa 0,035 %. Glede na

vsebnost Mn v končni sestavi predstavlja ta odgorek približno 10 % izgubo Mn, ki kot MnO preide v žilindro.

Glede na to, da je v vroče valjanem traku pri kvaliteti Č 0147 HVT z največ 0,07 % C v končni sestavi vsebnost ogljika v vroče valjanem traku pod 0,04 %, polovica vseh vrednosti pa celo pod 0,03 % C, se lahko vprašamo, če je tako nizka predpisana vsebnost ogljika v šaržni analizi zares potrebna. Ugotovili smo že, da je tako jeklo mnogo bolj nečisto kot jeklo z višjim % ogljika. Vlivanje takšnega nizkoogljiknega jekla z ogljikom pod 0,06 % je težje, možnost preoksidacije jekla v peči je večja.

Slika 8 prikazuje primerjavo v vsebnosti ogljika v šaržni analizi med tujimi trakovi (8 a), ki jih predelujemo v naši železarni, in domačimi (8 b) pri kvaliteti Č 0147 za globoko vlečenje.

Vidimo, da tuji proizvajalci izdelujejo jeklo v kvaliteti Č 0147 HVT z višjo vsebnostjo ogljika. To pa je sestava, ki zagotavlja lažje obvladanje postopka vlivanja in ki zagotavlja tudi boljšo čistočo jekla. Razmerje Mn : C je pri teh jeklih v mejah od 2,8 do 5,7, v povprečju pa 3,82.



Slika 7

Primerjava v porazdelitvi ogljika vseh preiskanih šarž
a) v šaržni analizi in
b) v vroče valjanem traku, kjer je %C srednja vrednost
vseh analiz iz glave sredin in noge iz roba in sredine traku.

Fig. 7

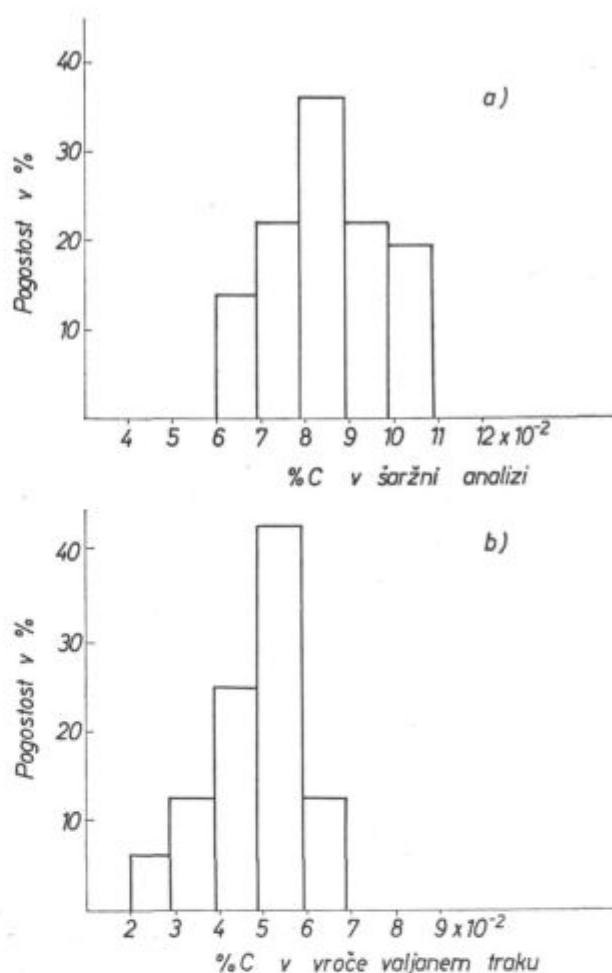
Comparison of carbon distribution in all the tested batches
a. in the batch analysis

b. in the hot rolled strip where %C represents the mean
value of analyses of the beginning, centre, and the end
of strip taken on the edge and in the centre.

Dve poskusni šarži, ki smo jih izdelali namen-
sko z 0,09, oziroma 0,10 % C v končni sestavi, sta
potrdili prejšnje ugotovitve (glej sl. 4) o vplivu
razmerja Mn : C na čistočo.

RAZMERJE MED OGLJIKOM, MANGANOM KISIKOM V JEKLU PRI VLIVANJU IN V VROČE VALJANEM TRAKU

Ta razmerja so prikazana na sliki 9 za analize
kisika, ogljika in mangana iz curka jekla pri vli-
vanju (končna analiza) in iz slike 10 za analize
kisika, ogljika in mangana iz vroče valjanega
traku, posebej za rob in sredino. V diagramih je
vrisana ravnotežna krivulja po P. Nillesu za Fe —
C — O sistem⁴. Srednje vrednosti za kisik sicer
sledijo ravnotežni krivulji, vendar pa je raztros
posameznih vrednosti tako velik, da le na osnovi
kemijske sestave taline ne moremo z gotovostjo
določiti oksidacijske stopnje jekla niti v peči niti
v ponvi in ne v bloku. Upoštevati tudi moramo,
da se posamezne vrednosti za kisik pri eni šarži
od peči do bloka, oziroma valjanca močno spre-



Slika 8

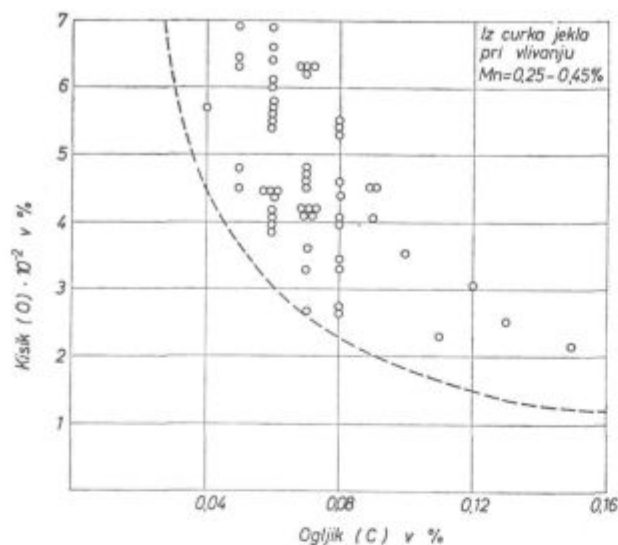
Primerjava vsebnosti ogljika v šaržni analizi
a) med tujimi trakovi, ki jih predelujemo v naši železarni
b) domačimi pri kvaliteti C 0147 za globoko vlečenje.

Fig. 8

Comparison of carbon content in the batch analysis
a. foreign strips which are worked in our steelworks
b. all analyses of the beginning, centre, and the end of strip
taken on the edge and in the centre.

minjajo in da visoke vsebnosti kisika v peči, ozi-
roma v curku jekla ne pogojujejo tudi visokih
vsebnosti kisika v valjancu. Za praktično izdelavo
jekla to pomeni, da le na osnovi poznavanja vseb-
nosti kisika v peči ni mogoče s korekturo v ponvi
(Al) doseči optimalne oksidacijske stopnje, ki je
potrebna za dobro vlivanje.

Kisik, ki je v jeklu v ponvi v prenasajenem
stanju (sl. 9), se namreč že v prvih minutah strje-
vanja v kokili odstrani preko plinske faze z oglji-
kom do take mere, da ga celo v preostanku taline,
to je na področju največjih izcej v glavi in sredini
bloka, ne najdemo v bistveno večjih količinah
(sl. 10), čeprav ves čas vlivanja in izkuhavanja
dotekajo v jeklo preko površine znatne količine
kisika iz zraka. Vsebnosti kisika v vroče valjanem
traku so z izjemo največjih izcej nižje od ravno-
težnega stanja za posamezne vsebnosti ogljika.

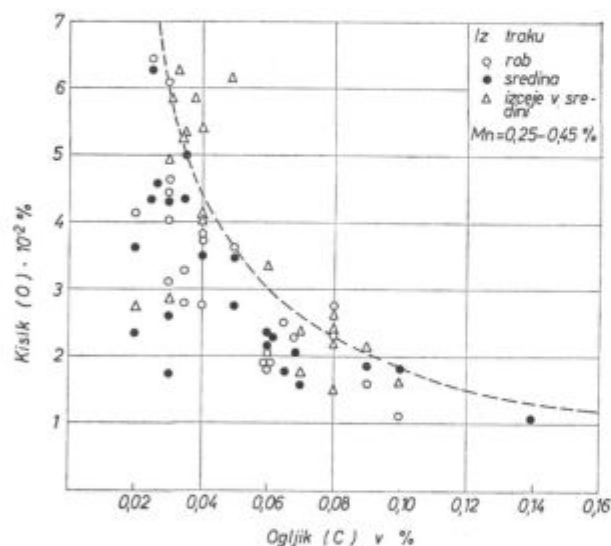


Slika 9

Razmerje med kisikom, ogljikom in manganom v curku jekla po vlivanju.

Fig. 9

Relationship between the oxygen, carbon, and manganese content in the jet of molten steel after casting.



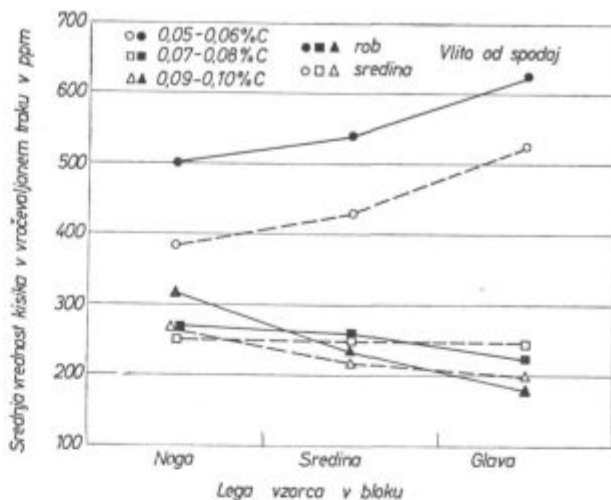
Slika 10

Razmerje med kisikom, ogljikom in manganom v vroče valjanem traku.

Fig. 10

Relationship between the oxygen, carbon, and manganese content in the hot rolled strip.

Na sliki 11 so prikazane srednje vrednosti kisika, odvisno od lege vzorca v bloku, posebej za rob in posebej za sredino traku za tri različne vrednosti ogljika v šaržni analizi. Vidimo, da je rob zaradi tega, ker se hitro strdi, zelo nečist. Ta razlika je posebno očitna pri mehkem jeklu z 0,05 do 0,06 % C, saj posamezne vrednosti na robu dosega preko 2000 ppm kisika. Navedeno se prav dobro ujema z mikročistočo, ki je pri tej sestavi najslabša. Jekla z nad 0,07 do 0,10 % C vsebujejo



Slika 11

Primerjava srednjih vrednosti za kisik pri različnih vsebnostih ogljika v šaržni analizi odvisno od lege vzorca v traku za rob in sredino.

Fig. 11

Comparison of mean values of oxygen content for various carbon contents in the batch analysis depending on the position of the taken sample in the strip, separately for the edge and the centre.

v povprečju znatno manj kisika. Tudi razlike med robom in sredino so manjše. V glavi in v sredini pa je vsebnost kisika na področju največjih izcej večja kot na robu traku. Jeklo je najčistejše med zunanjim robom in področjem največjih izcej.

KVALITATIVNA IN KVANTITATIVNA ANALIZA VKLJUČKOV V NEPOMIRJENEM JEKLU⁵

Nekovinski vključki so v jeklu lahko različnega izvora:

1. kot dezoksidacijski produkti nastali pri nepomirjenem jeklu zaradi dodatka feromangana in aluminija za korekturo vsebnosti kisika;
2. kot eksogeni vključki od obzidave ponve, izlivka, lijaka in kanalske opeke;
3. kot žlindra, ki nastaja na meji strjevanja in zaradi oksidacije z zunanjim zrakom med kuhanjem v kokili;
4. kot sekundarni izločki, ki se tvorijo med strjevanjem.

V nepomirjenem mehkem jeklu prevladujejo po številu med strjevanjem sekundarno izločeni nekovinski vključki. Te nekovinske vključke lahko analitično zajamemo z analizo celotnega kisika in analizo žvepla. Vsebnost teh dveh je lahko merilo za onesnaženost jekla.

Nas je pri tem delu zanimala mikrostruktura vključkov in eventualni vpliv tehnologije izdelave na sestavo le-teh. To nalogo je opravil Metalurški institut v Ljubljani na vzorcih jekla, ki smo jih vzeli v procesu izdelave, to je med rafinacijo, iz

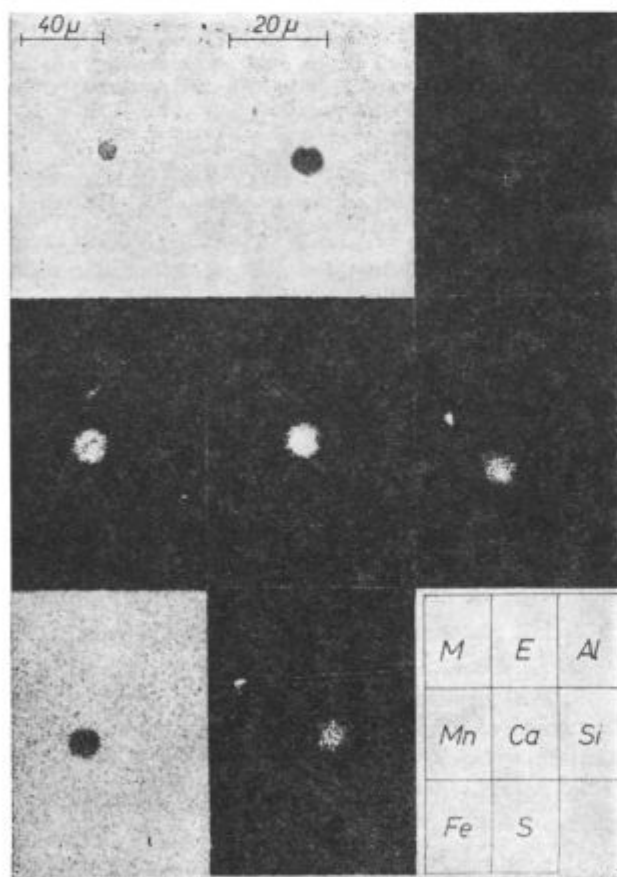
bloka in valjanca. V času rafinacije smo vzorce jemali tako, da smo jeklo iz zajemalke še nepomirjeno vlili na jekleno ploščo, kjer se je v trenutku strdilo. Preiskani bloki so bili vlti sifonsko — od spodaj — in preiskave vključkov so bile izvršene z elektronsko mikroanalizo in še z mokro mikroanalizo izolata, ki naj bi dala povprečne sestave vključkov.

1. Elektronska mikroanaliza

Sestava vključkov v nepomirjenem jeklu se bistveno razlikuje od vključkov v pomirjenem jeklu. Glavni sestavini vključkov v nepomirjenem jeklu sta oksida MnO in FeO. To predvsem velja za čas izdelave jekla v peči. V tem času so vključki zelo majhni, še ne koagulirani po sestavi, trdna raztopina oksidov mangana in železa, deloma tudi oksisulfidi, večinoma z majhnim deležem kromovega oksida. Razmerje med MnO in FeO je v

teh vključkih različno, pri nekaterih prevladuje MnO, pri drugih FeO. MnO se večinoma giblje od 20 pa do 70 %, FeO pa niha v širših mejah od 20 do 100 %. Predvsem v vzorcih, ki so bili vzeti v času raztalitve, najdemo več vključkov, ki so sestavljeni pretežno ali v celoti iz FeO. Na koncu žilavenja, to je preden jeklo izpustimo iz peči pri vsebnosti ogljika od 0,05 % do 0,10 %, so vključki bolj homogeni. V njihovi sestavi prevladuje FeO. Na sliki 12, 13 in 14 prikazujemo sestavo takšnih vključkov.

V strjenem bloku, oziroma v valjancu se sestava nekovinskih vključkov spremeni. Morfološko

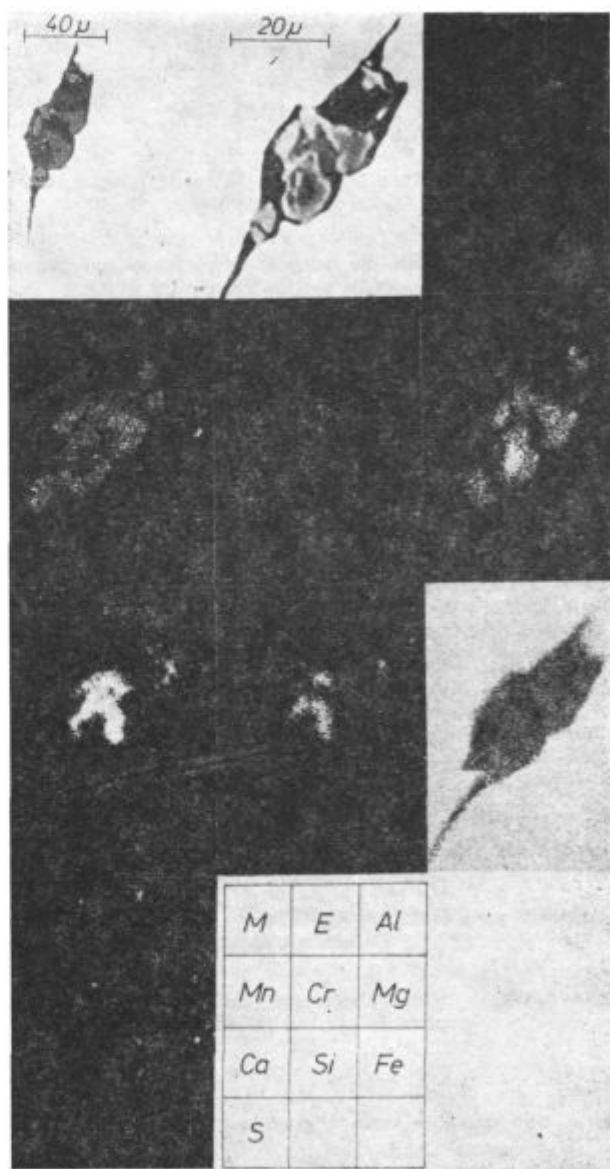


Slika 12

Na tem in na naslednjih posnetkih pomenijo: M — mikroskopski posnetek; E — elektronski posnetek; Al, Mn, Si, itd. — specifični X posnetek za označeni element. Krogličast vključek MnCa silikata s primesjo sulfida.

Fig. 12

Spheroidal inclusion of manganese-calcium silicate with addition of sulphide (M — microphotograph, E — electron picture, Al, Mn, Si, etc. — specific X-ray pictures for single elements).

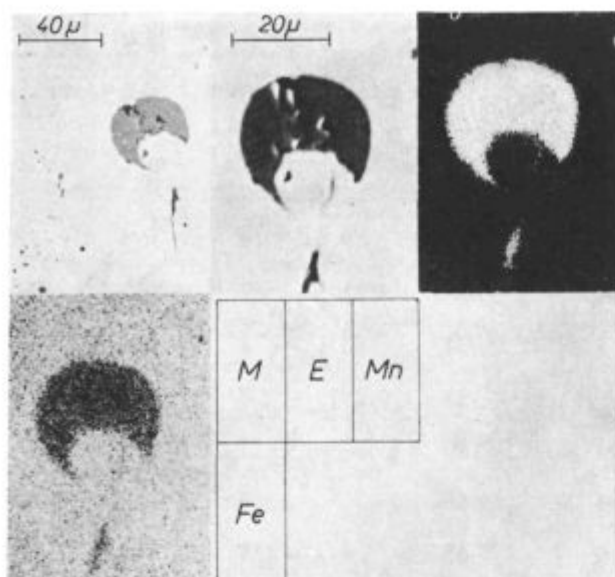


Slika 13

Zraščen večfazni oksidni vključek, v katerem najdemo Mn, Mg, Ca, Si in sled sulfida.

Fig. 13

Intergrown more-phase oxide inclusion containing Mn, Mg, Ca, Si, and S traces.



Slika 14
Vključek MnFe oksida.
Fig. 14
Inclusion of MnFe oxide.

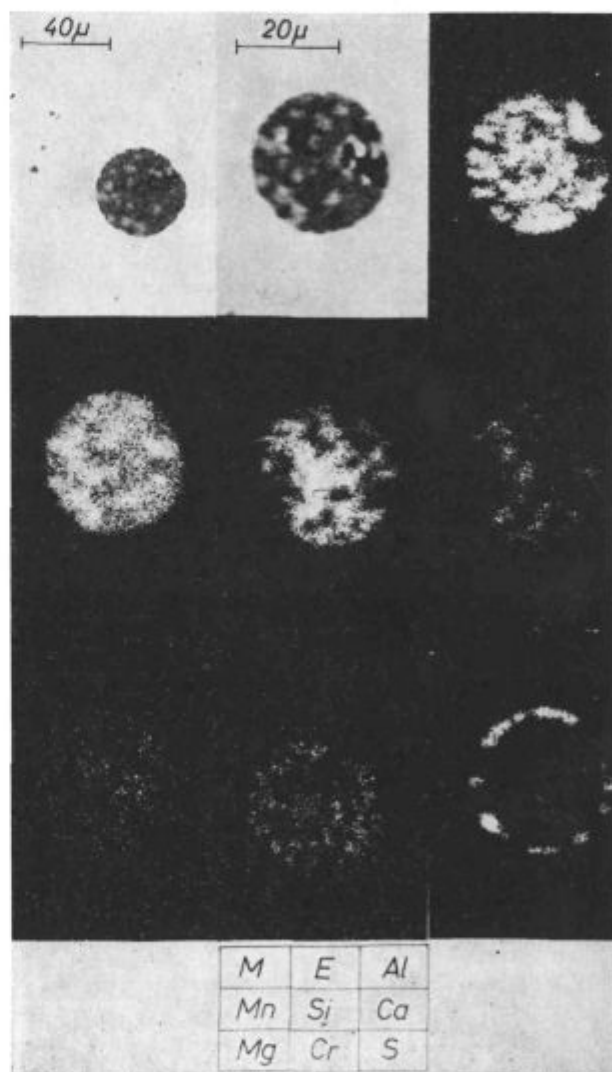
in po sestavi so zelo heterogeni. So večji, večinoma zraščeni iz več faz, sekundarno med strjevanjem izločenih vključkov in vključkov eksogenega izvora, predvsem šamota. Delež FeO je v teh vključkih znatno nižji; v večini primerov od 3 do 20 %, v manjših primerih tudi 30 do 40 % in v zelo redkih 80 ali 90 %. FeO se je namreč po reakciji z ogljikom med kuhanjem v kokili razkrojil. Najdemo pa tudi posamezne vključke čistega Al_2O_3 , ki izvirajo iz dodatka aluminija med vlivanjem.

Na slikah 15, 16, 17 in 18 je prikazanih nekaj značilnih nedeformiranih vključkov iz vogalnega preizkušanca, vzetega na nogi bloka. Vključki s slike 15 in 16 so okrogli, zraščeni iz poligonalnih ali zaobljenih temnejših in svetlejših zrn v temnosivi prosojni osnovi. Osnova vključkov je manganov silikat s precej Al_2O_3 ali manganov aluminosilikat z različno sestavo. Ta faza vsebuje stalno količino FeO in malo CaO. Poligonalni zrastki, ki so temnejši od osnove, so galaksitnega tipa (manganov aluminat), vsebujejo nekoliko FeO in do 15 % Cr_2O_3 . Vključek na sliki 17 je sestavljen iz temnega galaksita z nekaj FeO in sledovi kromovega oksida. Svetli in okroglasti vložki so faze MnO FeO in zmes manganovega silikata in sulfida. Na sliki 18 vidimo lep primer okroglega vključka, ki je sestavljen iz galaksita, manganovega silikata z majhno količino Al_2O_3 in zrnom skoraj čistega Al_2O_3 .

Slika 19 prikazuje mehanizem tvorbe vključkov v kokili pri reakciji med dodanim aluminijem in kalcij-manganovimi silikati.

Vključka na sliki 20 in 21 sta tipična primerka galaksita (manganov aluminat) v osnovi Mn sili-

kata. Takšni zrnati vključki so izrazito neugodni predvsem v jeklih za hladno valjane trakove, ker so vzrok mnogih površinskih napak, luskin in podobno. Nastanejo po reakciji manganovega silikata z dodanim aluminijem v kokili, če je aluminij dodan pri vlivanju. Pogosti so tudi zaradi deformacije razpotegnjeni vključki temno sive barve aluminosilikatnega tipa, kakršen je na sliki 22. Tudi sliki 23 in 24 predstavljata endogene vključke galaksitne narave. Nastopajo posamezno ali v nizih — oblatih (slika 24). Plastični del teh vključkov sestavlja fina zmes manganovega sulfida in silikata. Ovalni razpotegnjeni konci vključkov na sliki 23 so manganov oksisulfid.



Slika 15
Krogličast oksidni vključek, v katerem najdemo zrastke MnCr Al oksida v osnovi MnCa silikata. Ob površini so drobni sulfidni zrastki.

Fig. 15
Spheroidal oxide inclusion in which intergrown MnCrAl oxide in MnCa silicate matrix can be found. Fine intergrown sulphides are seen on the surface.

Tabela 1

Vzorec vključek	ob raztalitvi B 1		pred prebodom B 3			od vrha vlito B 6			iz bloka	
	MnO	FeO	MnO	FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	FeO	Al ₂ O ₃	CaO
1	1	99	26	70	4,0	54	19	9	16,5	1,5
2	31	69	18	80	2	58	22	7	8	5,0
	33,5	66,5	27,5	68,5	4	31	15	8	46	—
3	1,2	98,8	30	66,5	3,5	58	29	8	4,0	1,0
4	7	93	25	71	4	89	—	11	—	—
5	8,5	91,5	23,5	72	4,5	60	31	9	—	—
6			22,5	74	4,5	65	4	11	19,5	0,5
			21,5	74,5	4,0	53	5	13	29	—
7 vključki			21,5	74,5	4	36	3	7	54	—
vsebujejo						64	14	16	5	1
8 nekaj						44	7	8	40	1
kroma in						51	27	7	14	1
9 sled			vključki			35	2	7	55	1
žvepla			vsebujejo			43	22	7	25	3
10			tudi sled			38	—	7	55	—
			žvepla			52	32	9	5	2
11						62	25	11	1,5	0,5
						67	21	12	—	—
12						61	10	7	22	—
13						39	36	7	14	4
14						65	21	11	2	1
15						91	—	9	—	—
						26	59	9	5	1
						32		11	57	
16						86	—	14		
17						77		23	—	—
						42	35	5	16	2
						42	5	1	43	7
						49	29	8	6	8
18						85	—	15		

Tabela 2

Vključek	I. proba 0,18 % C			pred prebodom 0,05 % C			valjanec			
	MnO	H 1 FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	H 4 FeO	Cr ₂ O ₃	MnO	SiO ₂	H 7 (S2) FeO	Al ₂ O ₃
1	47	51	2	38	61,5	0,5	37	—	7	56
2	47	51,5	1,5	42	57	—	38	—	9	53
3	46,5	52	1,5	41	59	4	36	—	8	56
4	42,5	56	1,5	13	86	1	37	—	9	56
				12,5	87	0,5	49	4	8	39
5	38	60,5	1,5	38	60	2	38	7	6	50
6	42,5	56	1,5	40	57,5	2,5	36	—	8	56
7	51	47,5	1,5	27,5	70,5	2	34	—	11	55
8	49	49	2	35,5	63,5	1	34	—	8	56
10	48	2,5	49,5	18	81,5	0,5	71	—	8	21
11				4,5	95	0,5	34	—	6	60
12	vzorec			18,5	80,5	1,0	34	—	8	58
13	vsebuje tudi			35,5	63,5	1,0	34	—	9	57
14	posamezne			29,5	68,5	2	34	—	8	58
15	oksisulfidne			42	55,5	2,5	36	—	9	55
16	vključke						33		10	57
17							32		10	58
18							93	—	7	—

Galaksitni vključki vsebujejo do 8 % Cr₂O₃

V tabeli 1 in 2 prikazujemo dva primera kvantitativne mikroanalize vključkov na vzorcih, ki so bili vzeti ob raztalitvi, pred prebodom in iz bloka jekla. Sestava vključkov iz bloka v tabeli 1 se ujema s sliko 15 in 16, v tabeli 2 pa s sliko 22 in 23, vzeto iz valjanca.

Tabela 3

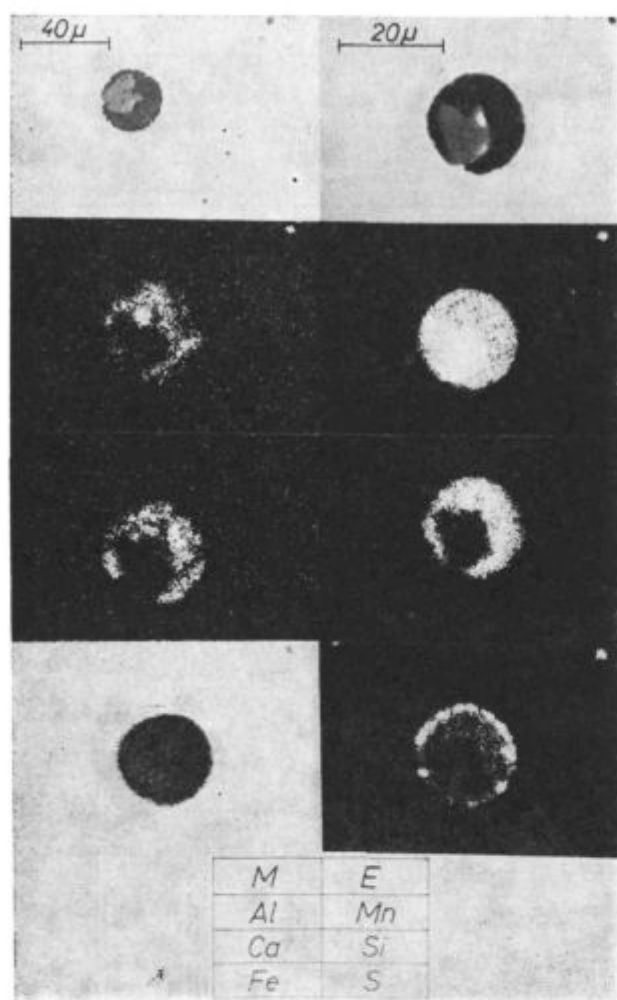
	ob raztalitvi		pred prebodom		v bloku odnosno valjancu		žlindra v glavi bloka	
	x	s	x	s	x	s	x	s
FeO	77,3	21,2	59,2	5,9	10,3	8,3	28	7
MnO	23,3	18,3	34,7	16,1	49,7	16,7	49	4
SiO ₂	—	—	—	—	19,6	11,8	15	4
Al ₂ O ₃	—	—	—	—	30,7	22,4	6	2

V tabeli tri pa prikazujemo povprečno sestavo vključkov ob raztalitvi pred prebodom in v bloku, oziroma v valjancu s povprečno sestavo žlindre v glavi bloka pri 0,30 do 0,40 % Mn v jeklu.

Odstopanja v sestavi vključkov so zelo velika, kar priča o veliki heterogenosti sestave.

2. KEMIJSKA EKSTRAKCIJA OKSIDNIH VKLJUČKOV IZ NEPOMIRJENIH JEKEL

Kemijska ekstrakcija oksidnih vključkov iz nepomirjenih jekel je zvezana z nekaterimi težavami. Oksidni vključki v nepomirjenih jeklih so v glavnem heterogene steklaste mase, ki sestojijo iz velikega števila komponent. Pri visokih temperaturah se raztapljajo s sulfidi drugi v drugem in so zato tudi po ohladitvi taline sestavljeni iz dela oksida in dela sulfida, kar se kemijskim potom ne da več ločiti. Pri kemijskem raztapljanju se lahko



Slika 16

Krogličast vključek, v katerem je zrno Mn oksida zraščeno v osnovi Mn silikata, ki je na posameznih mestih bogata z Al in Ca. Ob površini so drobni sulfidni zrastki.

Fig. 16

Spheroidal inclusion in which a Mn oxide grain is intergrown in the Mn silicate matrix rich in Al and Ca on some spots. Fine intergrown sulphides are seen on the surface.

razkrojijo oksidi, predvsem MnO, če so pogoji preostri, ali obratno, če so premili, lahko na račun karbidov, sulfidov in nitridov dobimo previsoke vrednosti za okside. Po drugi strani pa pri raztapljanju v brom — metanolu, odvisno od vsebnosti silicija v jeklu lahko izpade več ali manj nezaželenih silicijskih kislin, tako da so vrednosti za SiO_2 lahko nezanesljive.

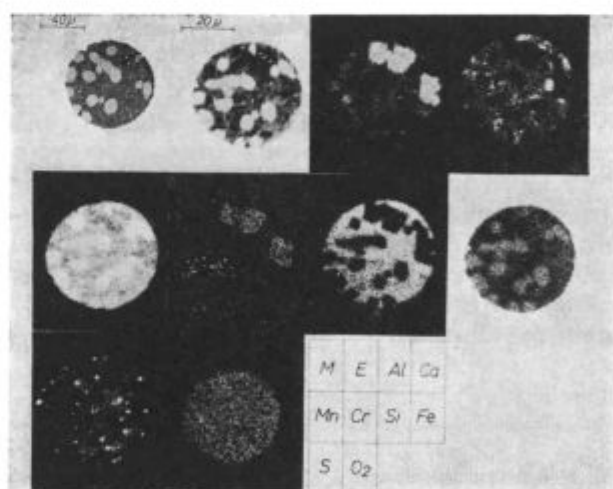
REZULTATI

Za izolacijo oksidnih vključkov je bila uporabljena metoda raztapljanja v brom — metanolu. Pri kemijski analizi izolatov so nastale velike razlike v vsebnosti SiO_2 pri dveh paralelnih določitvah na istem vzorcu. Možno je, da gre za veliko

nehomogenost v razporeditvi silikatnih vključkov v majhnih vzorcih. Rezultati kemijske izolacije in analize pa so v primerjavi s sestavo, dobljeno z elektronsko mikro analizo, previsoki. Poizkusi izpiranja silicijske kisline s 3 % raztopino natrijevega karbonata niso dali najboljših rezultatov, ker smo z izpiranjem izgubili deloma druge oksidne komponente. Iz primerjave med vsebnostjo celotnega kisika v analiziranih vzorcih in kisika, ki je izračunan iz sestave izolata, lahko ugotovimo, da pride na izolirane vključke samo približno 1/3 kisika, kot ga v jeklu pokaže direktna analiza. To je znak, da kemijski postopek še ni zanesljiv. Rezultati, čeprav relativni, so kljub temu zanimivi. V tabeli 4 prikazujemo povprečno analizo vključkov v jeklu pri petih različno izdelanih šaržah. (Tabela 4).

Vse analize ob raztalitvi in pred prebodom so narejene na nepomirjenih vzorcih, ki so bili odliti iz zajemalke na jekleno ploščo in so brez dodatka silicija ali aluminija. Vzorci iz bloka ali valjanca so prav tako nepomirjeni z eventuelnim dodatkom aluminija, kolikor ga je bilo dodano med vlivanjem.

Primerjava vsote vseh nečistoč v valjancu, oziroma bloku pove, da je najslabša najbolj nečista šarža 07 0806, ki je vлита skozi lijak in blokirana z aluminijem. Ta šarža je tudi raztalila z nizkim ogljikom, hitrost oksidacije je bila majhna, temperatura jekla visoka, zato so tako FeO, MnO in Al_2O_3 prisotni v znatno večji količini kakor v drugih šaržah. Pri najboljši, t.j. 07 0548, ki je vлита skozi lijak in pokrita s pokrovi, je kar $4 \times$ manj



Slika 17

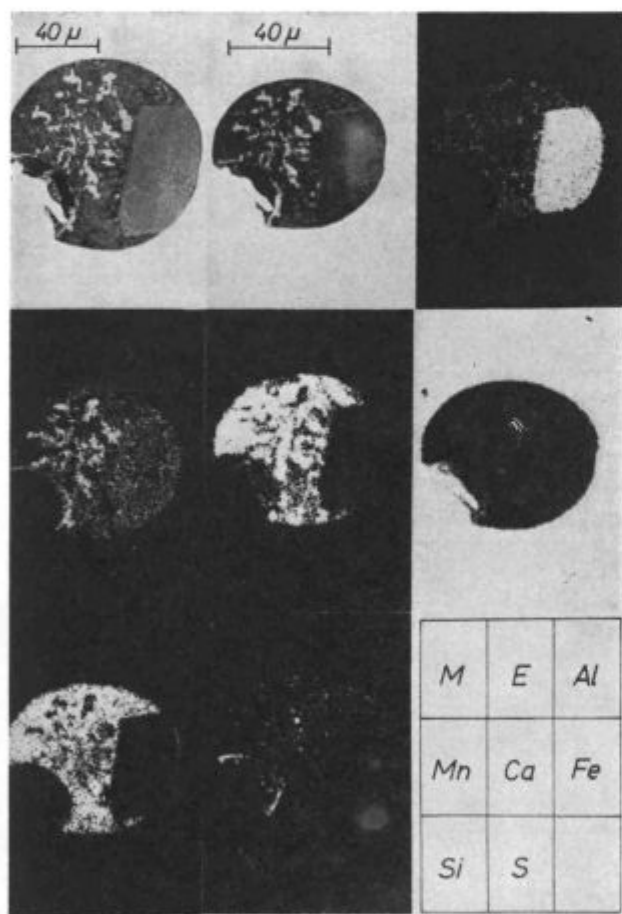
Krogličast kompleksni vključek iz osnove Mn silikata, ki ima precej Ca, Fe in Ca ter zrastkov MnFe oksida, MnCrAl oksida in sulfidnih zrn. Nekaj sulfida je dispergirano tudi v silikatni osnovi.

Fig. 17

Spheroidal complex inclusion in which MnFe oxide, MnCrAl oxide, and sulphide grains are intergrown in the Mn silicate matrix containing Ca, Fe, and Ca. Some sulphide is dispersed in the silicate matrix.

Tabela 4:

Šarža	vrsta probe	C		hit. oks.		%		ppm O	način vliv.
		Mn	% C/h	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MnO	FeO		
070578	ob raztalitvi	1.11	.31	1.09	.0058	.001	.010	170	od vrha
	pred prebodom	.08	.25		.005	.0034	.010	400	blok. Al
	iz bloka	.05	.30		.003	.0021	.027	280	blok. Al
070548	ob raztalitvi	1.45	.34	1.10	.0015	.001	.0047	170	od spodaj
	med rafinacijo	.84	.36		.0017	.001	.006	150	od spodaj
	pred prebodom	.15	.22		.0021	.0047	.014	410	pokrito s pokrovi
	iz valjanca	.07	.33		.0026	.0047	.012	190	
029978	ob raztalitvi	.25	.15	.22	.002	.0075	.018	420	od vrha
	pred prebodom	.05	.30		.003	.0075	.015	510	od vrha
	iz bloka	.05	.35		.002	.015	.016	700	blok. Al
	iz valjanca	.05	.35		.003	.011	.015	450	
061191	pred prebodom	.08	.32	.54	.001	.011	.016	480	od spodaj
	iz valjanca	.06	.54		.002	.0047	.021	320	pokrito
070806	ob raztalitvi	.18	.30	.16	.001	.002	.012	—	od spodaj
	iz valjanca	.05	.32		.002	.017	.031	—	blok. Al



Slika 18

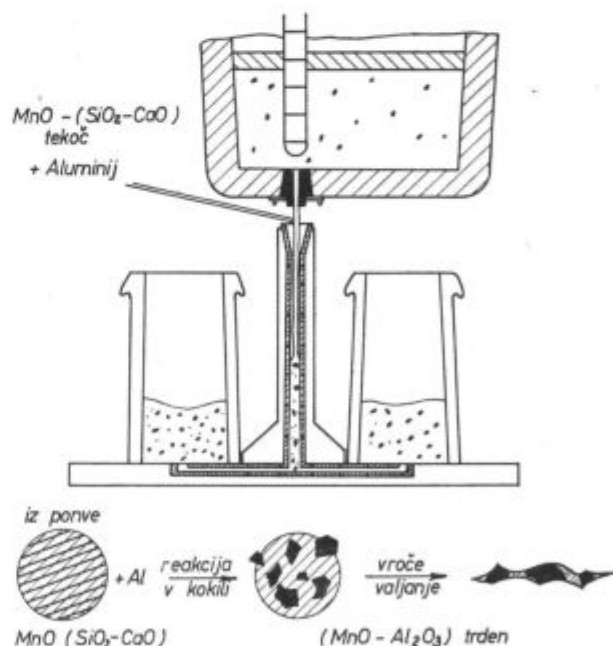
Ovalni vključek je bil pri pripravi obruska poškodovan ob levem spodnjem robu. V vključku je večje zrno MnAl oksida zraščeno z osnovo MnCa silikata, ki vsebuje tudi nekaj Al in drobne dendritne zrastke MnFe oksida.

Fig. 18

Oval inclusion was damaged on the left lower edge during the sample preparation. A bigger MnAl oxide grain is intergrown with the MnCa silicate matrix containing some Al and fine intergrown MnFe oxide particles which have dendritic shape.

oksidnih vključkov. Tudi je bila sicer ta šarža dobro izdelana. Oksidacijska hitrost je bila velika, šarža ni bila preoksidirana.

Rezultati kemijske analize vključkov se prav dobro ujemajo z metalografsko oceno vključkov po JK. Tako ima šarža 07 0806 ugotovljeno zelo veliko število oksidnih vključkov (B + D), ki dosegajo celo vrednosti 6,5.

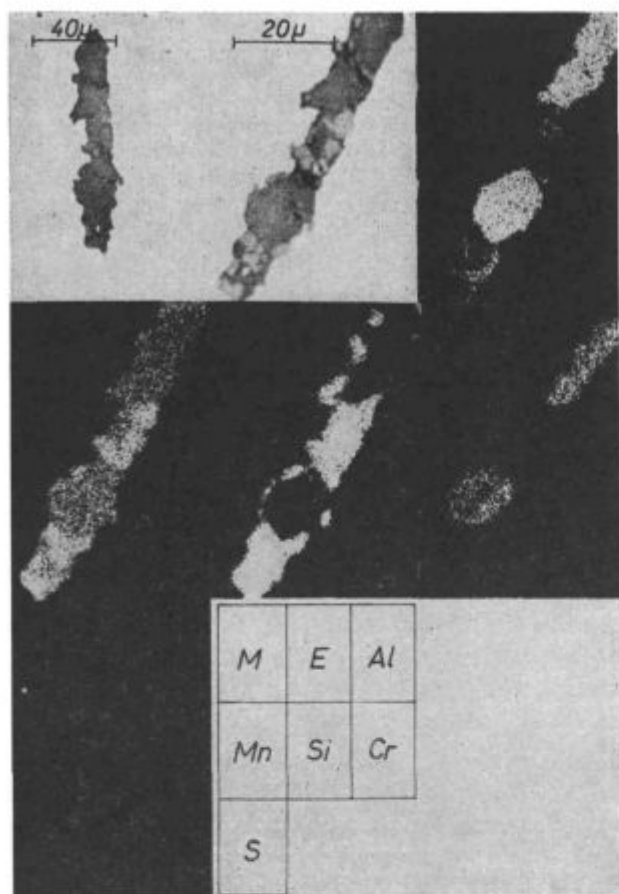


Slika 19

Mehanizem tvorbe vključkov v kokili pri reakciji med dodanim aluminijem in kalcij-mangnovimi silikati.

Fig. 19

Mechanism of formation of spinel inclusions during the reaction in mould between the added aluminium and the CaMn silicates being brought from the ladle.



Slika 20

Zračen vključek iz zrn MnCrAl oksida in Mn silikata, ki vsebuje tudi malo Al.

Fig. 20

Intergrown inclusion of MnCrAl oxide and Mn silicate containing some Al.

SiO_2 je v vseh vzorci prisoten v majhni količini. Iz tehnoloških podatkov ni mogoče ugotoviti kakršnekoli odvisnosti SiO_2 v jeklu od hitrosti oksidacije.

Zaključek

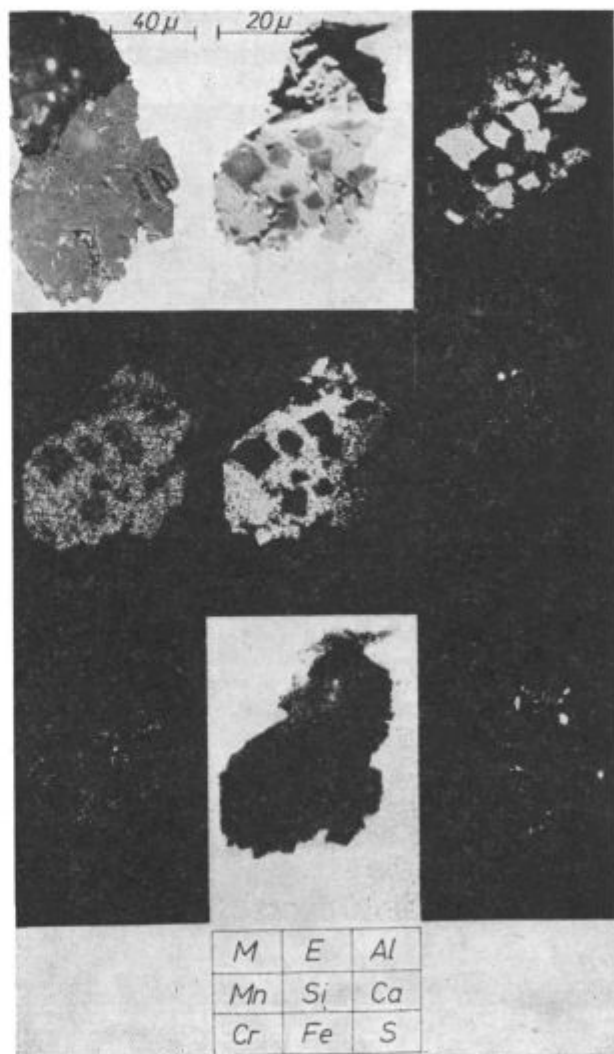
Preiskali smo vrsto možnih tehnoloških ukrepov z ozirom na čistočo, nepomirjenega jekla v vroče valjanem traku, iz česar lahko naredimo naslednje zaključke:

1. Obvladanje procesa kuhanja jekla v kokili pri vlivanju je bistven pogoj za doseganje zadostne globine plinskih mehurjev v bloku in dobre površine trakov, (kakor tudi zadovoljive mikročistoče jekla. Proces kuhanja pa lahko obvladamo le, če ima jeklo za to primerno sestavo.

2. S postopno regresijo 12 vplivnih tehnoloških faktorjev smo ugotovili, da ima najmočnejši vpliv na vsoto nekovinskih vključkov v jeklu % Mn v jeklu pred izlitjem šarže iz peči v ponev. Njegov vpliv je negativen. Čim večja bo količina Mn,

manjša bo količina nekovinskih vključkov v jeklu. To z drugimi besedami pomeni, da grodelj z nizko vsebnostjo mangana, ki ima za posledico nizko vsebnost Mn v času izdelave jekla v peči, neugodno vpliva na čistočo jekla.

3. Na drugem mestu je po pomembnosti razmerje med Mn in C v izdelanem jeklu. Vpliv tega razmerja je pozitiven (glej sl. 4). To pomeni, čim višje bo to razmerje, bolj bo jeklo nečisto in obratno. Iz te druge ugotovitve tudi sledi, da je sestava našega jekla v smislu dobre čistoče neugodna. Razmerje Mn:C se giblje pri dosedanjih analizah jekla Č 0147 HVT, ki so zajete v tej preiskavi od 3,7 do 7,2 in v povprečju 5,35. Za doseganje dobre čistoče jekla pa je zaželeno, da je razmerje Mn:C manjše od 4,3.

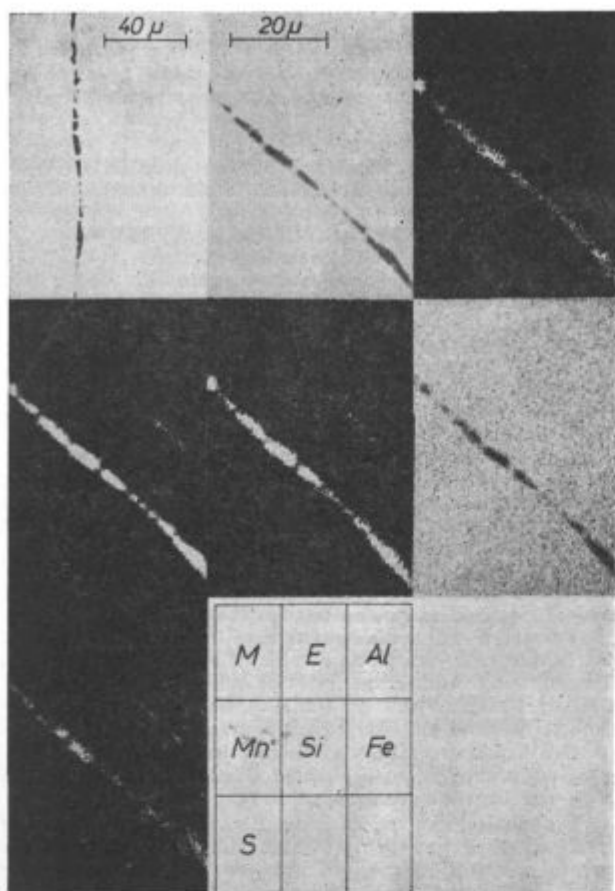


Slika 21

Zračen vključek iz zrn Al oksida in osnove Mn silikata. V zrnih Al oksida sta tudi Mn in Cr, v silikatu pa Ca in sled sulfida.

Fig. 21

Intergrown inclusion of Al oxide grains and Mn silicate matrix. Al oxide grains contain also Mn and Cr, and the silicate matrix some Ca and traces of S.



Slika 22

Vključek MnAl silikata, ki se je pri predelavi razdelil na kose. V vključku je dispergiran Mn sulfid.

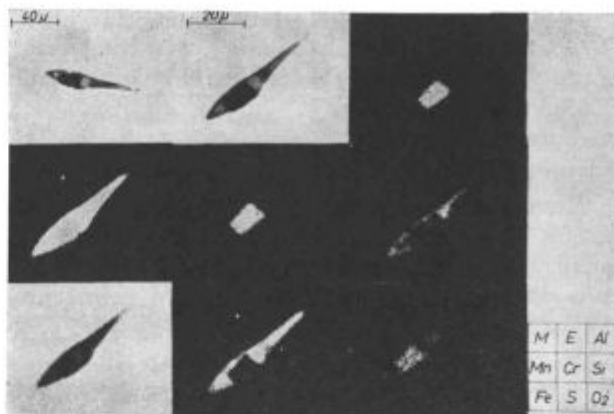
Fig. 22

MnAl silicate inclusion which was broken during working. Mn sulphide is dispersed in the inclusion.

4. Jeklo z nizko vsebnostjo ogljika, 0,06 % in manj, se da v peči enostavno izdelati, ker pač pihamo kisik, dokler ne preneha kuhati. S tem pa smo v veliki nevarnosti, da jeklo preoksidiramo. Zelo težko ali skoraj nemogoče pa je takšno mehko jeklo dobro vlit, ker so nihanja v vsebnosti kisika pri nizkem ogljiku (slika 9 in 10) velika in je proces kuhanja v kokili težko obvladati. To seveda velja za vlivanje skozi lijak.

Jekla z vsebnostjo ogljika 0,06 % in manj so zaradi preoksidacije zelo nečista. Vsebnost kisika je v primerjavi z jeklom z 0,07 do 0,10 % C neprijemno višja, zlasti je nečist rob (slika 11), kjer zaradi množice oksidnih vključkov posamezne vrednosti dosega 2000 in več ppm kisika.

5. Vse poskusne šarže smo vlivali skozi lijak in z vrha. Pri vlivanju skozi lijak smo po dva bloka imeli pokrita ves čas vlivanja, po dva samo med kuhanjem. Pri skozi lijak vlitih blokih smo tudi posnemali žlindro. Iz slike 5 se vidi, da vsi ti ukrepi nimajo značilnega vpliva na mikročistočo jekla. Razlika se je pokazala le pri odgoru ogljika.

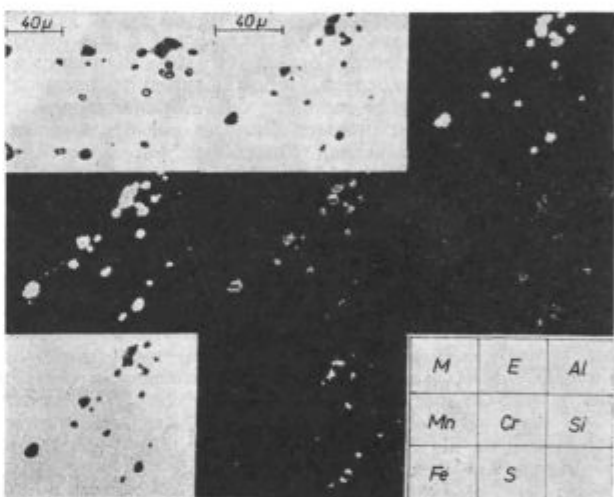


Slika 23

Temno zrno Mn oksida ter svetle kroglice Mn sulfida v silikatno-sulfidni osnovi.

Fig. 23

Dark Mn oxide grain and bright Mn sulphide spheroids in the silicate-sulphide matrix.



Slika 24

Zrna MnCrAl oksida zraščeni z drobnejšimi zrnji Mn sulfida. V posameznih oksidnih zrnih je sled Si.

Fig. 24

MnCrAl oxide grains intergrown with finer Mn sulphide grains. Single oxide grains contain traces of Si.

Če je jeklo pokrito ves čas vlivanja in kuhanja in ni v stiku z zunanjim zrakom, je odgorek manjši. Kisik, ki ga jeklo prinese s seboj, pa navadno ne zadošča za dobro kuhanje, zato taki bloki večinoma rastejo, mehurji pa so bližje površini. Delež površinskih napak je pri teh trakovih večji.

Tudi posnemanje žlindre iz glave bloka ne prispeva k boljši čistoči jekla. Pač pa s posnemanjem žlindre dosežemo, ker talino odkrijemo zraku, zelo živahno kuhanje in zanesljivo vlivanje, ker ni možna kasnejša reakcija jekla z žlindro.

6. Odgorek ogljika v povprečju znaša pri skozi lijak vlitih in odprto izkuhanih blokih okrog 50 %, mangana pa 10 %.

7. Kvalitativna in kvantitativna analiza vključkov, predvsem z elektronsko mikro analizo, je dala zanimive in primerljive rezultate, ki se skladajo s tehnologijo izdelave in kažejo na prednosti, oziroma slabe strani določene sestave in načina izdelave jekla.

Kemijska ekstrakcija vključkov je v nepomirjenem jeklu težja kot v pomirjenem. Rezultati (analize) so manj zanesljivi in v večji meri odstopajo drug od drugega. V medsebojni primerjavi

posameznih šarž pa tudi kemijska analiza vključkov prav jasno pokaže prednosti ali slabosti nekoga tehnološkega postopka.

Literatura:

1. Y. Saito, K. Nanjo: Nischin Steel Tech. Rep. 1970 (23) 38
2. F. Reinders, P. Hammerschmied Stahl und Eisen (90) 1970, 18, 945
3. Donald E. Dorney Journal of Metals Julij 1970, 42
4. H. J. Langhammer, H. G. Geek Stahl u. Eisen (87) 1967, 719
5. Poročilo metalurškega inštituta v Ljubljani, naloga 104, oktober 1973 — Vodopivec, Lavrič

ZUSAMMENFASSUNG

Die Güte des unberuhigten Stahles ist im grossen Masse von dem Auskochen in der Kokille abhängig. Das Beherrschen des Auskochens ist deswegen eine wesentliche Bedingung zur Erzielung genügender Tiefe der Randblasen im Block und einwandfreier Bandoberfläche, sowie auch für einen genügenden Reinheitsgrad des Stahles.

In dieser Arbeit haben wir eine Reihe möglicher technologischer Einflussgrössen untersucht, welche den Reinheitsgrad des unberuhigten Stahles in Form des Warm gewalzten Bandes beeinflussen können, mit dem Ziel, die besten Bedingungen für reinen Stahl, für Tiefziehzwecke zu schaffen. Die Regressionsanalyse zwölf verschiedener technologischer Einflussgrössen zeigte, dass der Mangan-gehalt vor dem Abstich den grössten Einfluss auf den Gesamtgehalt der nichtmetallischen Einschlüsse hat. Je grösser ist der Mangan-gehalt vor dem Abstich, desto besser ist der Reinheitsgrad des Stahles. An zweiter Stelle der Bedeutung nach ist das Verhältnis zwischen Mn und C im fertigen Stahl. Der Einfluss dieses Verhältnisses ist positiv (siehe Bild 4). Das bedeutet, je grösser dieses Verhältnis ist, um so unreiner wird der Stahl, und umgekehrt. Zur Erzielung eines guten Reinheitsgrades ist es erwünscht, das Verhältnis $Mn : C$ niedriger als 4.3 zu halten. Der Kohlenstoffgehalt im fertigen Stahl soll nicht niedriger als 0.07 % sein. Bei niedrigem Kohlenstoffgehalt besteht eine grosse Gefahr, den Stahl zu überfrischen. Ein solcher Stahl lässt sich aber gar nicht gut, oder nur schwer vergiessen, da die Schwankungen im Sauerstoff-gehalt bei niedrigem Kohlenstoff (siehe Bilder 9 und 10) sehr gross

sind, so dass das Auskochverhalten in der Kokille nur schwer zu bewältigen ist. Das gilt freilich für das steigende Giessen.

Der Stahl mit einem Kohlenstoffgehalt von 0.06 % und weniger ist wegen der Überfrischung sehr unrein. Der Sauerstoffgehalt ist im Vergleich mit dem Stahl von 0.07 bis 0.10 % Kohlenstoffgehalt unvergleichbar höher (siehe Bild 11), besonders unrein ist der Rand.

Verschiedene technologische Einflüsse beim Vergiessen des Stahles wie das Abdecken der Kokillen während des Giessens und Auskochens, das Abschlacken des Blockes und das Giessen von oben (fallend), haben keinen bezeichnenden Einfluss auf den Reinheitsgrad.

Der Kohlenstoffabbrand beträgt bei den steigend vergossenen und offen ausgekochten Blöcken durchschnittlich 50 % und der Manganabbrand 10 %.

Die quali- und quantitative Elektronenmikroanalyse der Einschlüsse hatte interessante und vergleichbare Resultate ergeben, welche gut mit der Herstellungstechnologie übereinstimmen und auf die Vor- und Nachteile einer bestimmten Zusammensetzung und Stahlherstellungstechnologie deuten.

Die chemische Isolation der Einschlüsse aus unberuhigtem Stahl ist schwieriger als aus dem beruhigten. Die Ergebnisse sind weniger zuverlässig und weichen im grösseren Masse voneinander ab. Im gegenseitigen Vergleich der Schmelzen zeigt auch die chemische Analyse der Einschlüsse Vor- und Nachteile eines technologischen Verfahrens ganz gut.

SUMMARY

Quality of rimming steel depends a great deal on the rimming action of steel in the mould. Controlled rimming is an essential condition for obtaining sufficient depth of blow-holes in the ingot and a good surface of strips, as well as satisfactory micropurity of steel. In this research numerous possible technological measures for obtaining satisfactory purity of rimming steel in a hot rolled strip were studied in order to determine the best conditions for better purity of the deep drawing steel. By gradual regression the amount of Mn in steel before tapping (into the ladle) was found to have the greatest influence on the amount of non-metallic inclusions in steel among the twelve influential technological parameters. The greater amount of Mn the smaller will be amount of non-metallic inclusions in steel. The second most important parameter is the ratio $Mn:C$ in the manufactured steel. The higher is this ratio the less pure will be steel (Fig. 4). Therefore the ratio should be lower than 4.3 if a good purity of steel is to be obtained. Carbon content in the manufactured steel should not be lower than 0.07 %. At such low carbon contents a danger exists that the steel will be overoxidized, and such a mild steel is very difficult or nearly impossible to be cast because the variations of oxygen content at low carbon content are

great (Figs. 9 and 10) and the rimming action can hardly be controlled. These deductions are valid for the bottom pouring.

Steel with 0.06 % C or less is very impure due to over-oxidation. Oxygen content in steel is much higher than in steel with 0.07 to 0.10 % C (Fig. 11), especially the rim is very impure.

Various technological measures like covering the mould during pouring and the rimming action, skimming the slag, and the top casting have very small influence on the micropurity of steel.

Average carbon loss is about 50 %, and manganese loss is 10 % in bottom poured and freely rimmed ingots.

Qualitative and quantitative analysis of inclusions mainly by electron microanalysis gave interested and comparable results which are in agreement with the technology of manufacturing, and they show the advantages and disadvantages of single chemical compositions and of methods of steel manufacturing. Chemical extraction of inclusions in the rimming steel is more difficult than in the killed one. Results are less reliable and discrepancies are greater. In mutual comparison of batches also chemical analysis of inclusions indicates the advantages and disadvantages of single technological methods.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Качество кипящей стали главным образом зависит от процесса кипения расплава в изложнице. Поэтому от умения владеть процессом кипения представляет собой существенное условие для получения слитков с довольно глубокими пузырями газов, и хорошей поверхности полос и удовлетворительной микрочистоты. В работе исследовали целый ряд возможных технологических мер что касается чистоты кипящей стали в горяче катаных полосах с целью определить самые лучшие условия для получения более чистой стали применения при глубокой вытяжки. С применением постепенной регрессии из 12-ти важных технологических факторов установили, что самое большое влияние на сумму неметаллических включений оказывает содержание Mn в стали до его выпуска (перед выпуском стали из печи в ковш). Чем содержание Mn в расплавленном металле выше, тем меньше содержание неметаллических включений в стали. По важности на втором месте отношение между Mn и C в изготовленной стали. Влияние этого отношения положительное (смотри рис. 4). Это значит, что чем отношение Mn : C больше тем чистота стали хуже и наоборот. Для получения стали хорошей чистоты желательно чтобы это отношение было меньше от 4,3. Содержание углерода в изготовленной стали не должно быть ниже 0,07 %. При низком содержании углерода существует опасность что произошло переокисление стали. В таком случае разливка мягкой стали очень затруднительна и часто почти невозможна. Причина этого в том, что при низком содержании углерода (см. рис. 9 и 10) очень

большие колебания содержания кислорода и осложнён процесс кипения стали в изложнице.

Кроме этого сталь с содержанием углерода от 0,06 % и ниже вследствие переокисления недостаточно чиста.

Содержание кислорода в стали при сравнении с сталью с содержанием 0,07—0,10 % C значительно больше (рис. 11); в особенности очень плохая чистота кромок.

Различные технологические меры при разливки как н. пр. покрытие изложницы в время литья и кипения, вычерпывание шлака и лифы сверху не имеют существенного влияния на микрочистоту стали. Угар углерода при разливке слитков снизу вверх при открыто кипящих слитков составляет прибл. 50 %, также 10 % Mn.

Качественный и количественный анализ включений главным образом при применении электронного микроанализа дал достопримечательные результаты хорошего сравнения, которые согласуются с технологией выработки стали и указывают также на преимущества и на отрицательные стороны что касается состава и производства кипящей стали.

Химическая экстракция включений из кипящей стали в сравнении с спокойной сталью более затруднительная. Результаты менее надёжны и в большинстве случаев между собой не согласуются. Также химический анализ включений при сравнении отдельных плавов указывает на преимущества или слабые стороны технологического процесса.