

Evolucija sestave nekovinskih oksidnih vključkov med taljenjem jekla Č. 1730 v elektropeči

DK: 669.14.018.463; 669.187
ASM/SLA: L 21 e; 9-69

F. Vodopivec in B. Ralić

Z analizo na elektronskem mikroanalizatorju smo spremljali evolucijo sestave nekovinskih vključkov oksidnega tipa med procesom izdelave ogljikovega jekla v elektropeči. Vzorci so bili vzeti ob različnih fazah tehnološkega postopka izdelave jekla. Analize kažejo, da so v večini primerov v staljenem jeklu vključki kompleksne sestave. Največ vsebujejo aluminija, pa tudi mnogo kalcija in precej magnezija. Silikatni in alumosilikatni vključki so v jeklu le v vzorcih, ki so bili vzeti iz jekla neposredno po oksidaciji s kisikom in po dodatku ferolegur, ki vsebujejo silicij. V vseh vzorcih so zelo pogosti oksidno sulfidni vključki, v katerih je v oksidnem delu vezan aluminij, kalcij in magnezij, v sulfidnem pa predvsem kalcij in redkeje mangan.

1. UVOD

Sestava nekovinskih vključkov je poleg sestave taline osnovni pokazatelj o reakcijah, ki potekajo v tekočem jeklu med postopkom njegove izdelave. Spremembe v sestavi taline je mogoče slediti z analizami po utrjenih kemijskih postopkih ali z avtomatičnimi analitskimi napravami, ni pa mogoče tako hitro analizirati nekovinskih vključkov. Poznane so sicer različne metode za analizo nekovinskih vključkov v jeklu, vendar so prav vključki, katere najdemo v jeklu med njegovo izdelavo, take sestave, da ne prenesejo brez škode poznanih postopkov izolacije po elektrolitski ali drugačni metodi, zato mikroanaliza izolata ne daje prave slike o sestavi vključkov, marveč je poprečno vsebnost komponent, ki so kemijsko dovolj obstojne, da se pri izolaciji ne razgradijo. Pravo sestavo vključkov je mogoče določiti le s pomočjo elektronskega mikroanalizatorja na metalografskih obruskov. Vendar je potrebno tudi te pripraviti s skrbjo, da pri brušenju ali poliranju ne bi prišlo do izluženja manj obstojnih sestavin.

Spremembe v celotni količini vključkov je mogoče vrednotiti na osnovi vsebnosti kisika in

žvepla, saj ni verjetno, da bi bila ta dva elementa lahko v ohlajenem jeklu raztopljena v pomembni količini.

V delu smo se omejili na raziskavo oksidnih vključkov. Vzorke smo vzeli v železarni Jesenice med izdelavo šarže jekla tipa vrste Č. 1730. Zaporedje jemanja vzorcev je navedeno v tabeli 1, v tabeli 2 so navedene povprečne kemijske sestave. Vsebnosti kisika, dušika, magnezija in kalcija so bile določene na metalurškem inštitutu, ostale podatke smo povzeli po šaržnem kartonu.

Tabela 1 — Vrstni red jemanja vzorcev

	ura
1. Po raztalitvi	0
2. Po oksidaciji s kisikom ter dodatkih rude, jedavca in apna	1
3. 20 minut po dodatkih feromangana, silikomangana, ferosilicija, aluminija in karburita	1 ⁴⁵
4. 15 minut po dodatkih apna, jedavca, karburita in kalcijasilicija	2 ¹⁰
5. 15 minut po odvzemu vzorca 4	2 ²⁵
6. 20 minut po dodatkih feromangana in aluminija	2 ⁵⁰
7. Iz ponovce po odlitju prve plošče.	

2. MIKROSKOPSKE PREISKAVE VZORCEV IN ANALIZE NA ELEKTRONSKEM MIKROANALIZATORJU

Vzorec 1. Oksidni vključki so siva zrna, anizotropna pri opazovanju v dvakrat polarizirani svetlobi in optično homogena ali ne. Večinoma so vključki osamljeni (slika 1), redko so v manjših skupinah. Vključki so aluminijev oksid, vsebujejo pa tudi vedno nekaj kalcija in magnezija ter so često zraščeni z manganovim sulfidom.

Bolj so redke sive neprosojne kroglice. Nekatere so optično enofazne, druge pa so zraščene s prej opisanimi zrni. Analiza na mikroanalizatorju je pokazala, da so kroglice dvojne sestave. Nekatere so manganov alumosilikat (slika 2), ki je brez kalcija, druge pa so kalcijev alumosili-

Franč Vodopivec je diplomirani inženir in doktor metalurških znanosti in samostojni raziskovalec na metalurškem inštitutu v Ljubljani

Boško Radić, višji tehnik na metalurškem inštitutu v Ljubljani

Tabela 2 — Sestava vzorcev

Vzorec	C	O	Si	Mn	Al _t	Al _{net}	N	Ca	Mg	S
1	0,71	0,0056	0,19	0,51	0,002	0,0023	0,0128	0,001	0,004	0,036
2	0,20	n. d.	0,02	0,15	0,002	0,001	0,0084	0,001	0,005	0,039
3	0,60	0,0042	0,27	n. d.	0,037	0,0036	0,0123	0,001	0,012	0,019
4	0,61	0,0044	0,31	0,57	0,031	0,0018	0,0123	0,003	0,002	0,015
5	0,62	0,0054	0,28	0,57	0,024	0,0019	0,0112	0,002	0,002	0,015
6	0,62	0,0042	0,28	n. d.	0,021	0,0018	0,0110	0,003	0,002	0,015
7	0,67	0,0043	0,33	0,65	0,022	0,0022	0,0138	0,003	0,003	0,007

 Al_t — vsebnost topnega aluminija

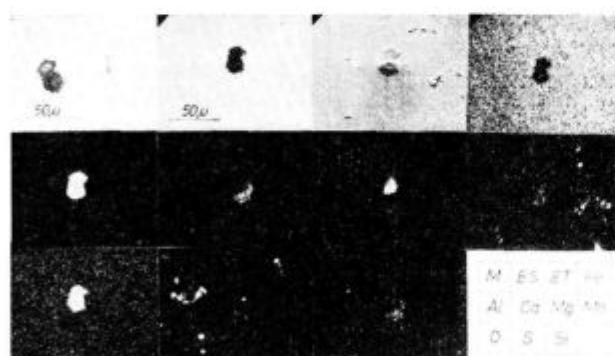
 Al_{net} — vsebnost netopnega aluminija

Tab. 3 — Vrste nekovinskih vključkov

Vzorec	Al oksid	Ca-alum.	Mg-alum.	Ca alumosil.	Mn alumosil.	Opomba
1	+, Ca, Mg, Si	+	+	+, Mg, S	+, S	
2					+, S	
3	+, Ca, Mg	+, Mg, S	+, Ca			
4		+, Mg, S, Si	+, Ca, S		+	
5	+, Mg, Si	+, Mg, Si	+			
6	+, Mg, Si, S	+, Mg	+			
7	+, Ca, Mg, Si, S	+, Mg, S			+, Ca, Mg, S	

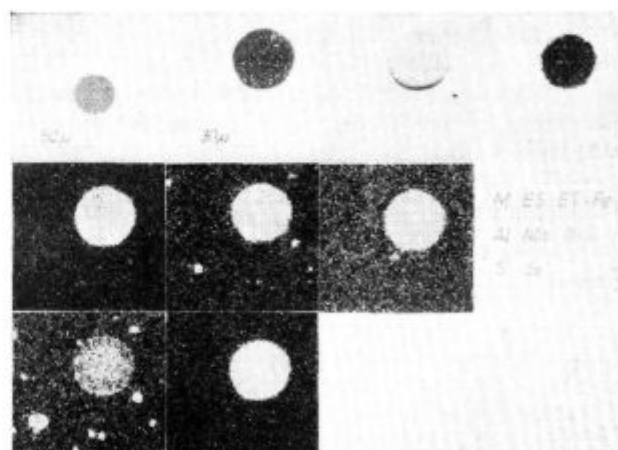
+ Vzorec vsebuje vključke te vrste

Simboli pri znaku + pomenijo, da vsebujejo vključki navedene elemente v manjši količini.



Slika 1, Vzorec 1

Zrnati oksidni vključek; — V tej in naslednjih slikah pomenijo M-mikrosposnetek; ES in ET — elektronski posnetek sestave in topografije; Fe, Al, Ca itd — specifični x posnetki za različne elemente

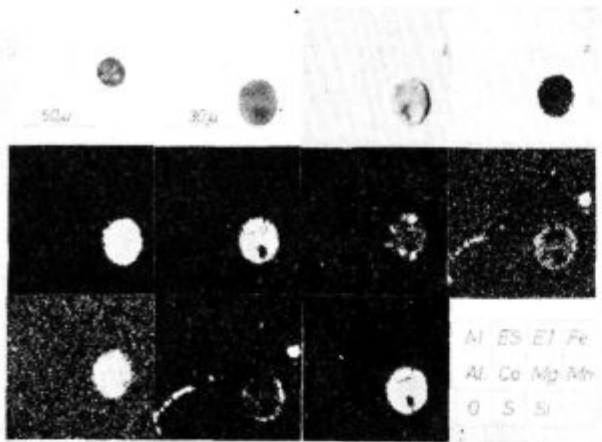


Slika 2, Vzorec 1

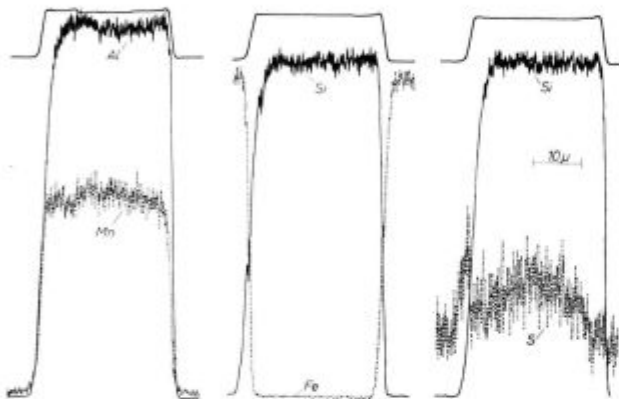
Krogličasti silikatni vključek

kat (slika 3). Te vsebujejo tudi nekaj mangana in žvepla, ki pa sta često zbrana ob površini. Na osnovi analize v mikroanalizatorju ni mogoče opredeliti, kako je ta element vezan v srednjem delu vključkov. Najverjetneje ni raztopljen, ampak je v obliki sulfidne faze fino dispergirana v oksidni matici.

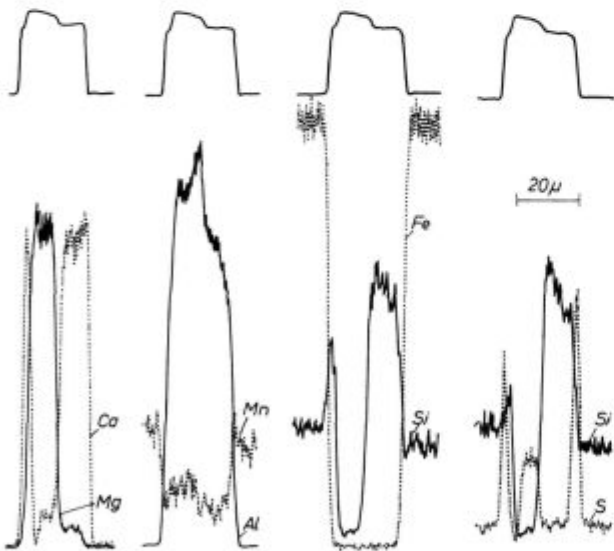
Na slikah 4 in 5 vidimo porazdelitev sestavnih elementov, razen kisika, po črti preko sredine obeh vrst vključkov. V alumosilikatu so sestavni elementi sorazmerno enakomerno porazdeljeni. V vključku, ki vsebuje tudi kalcij in magnezij, pa



Slika 3, Vzorec 1
Krogličasti silikatni vključek



Slika 4

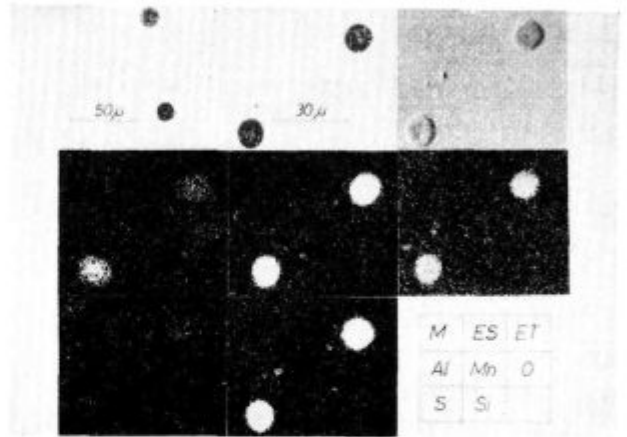


Slika 4 in 5

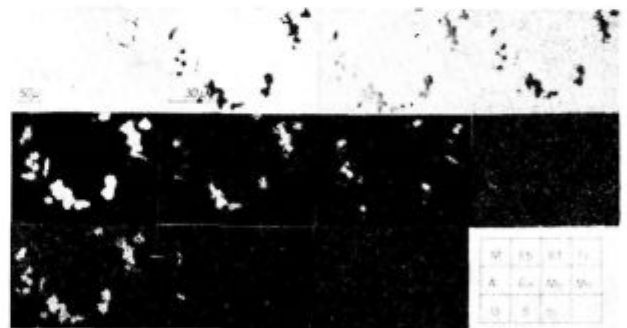
Porazdelitev sestavnih elementov razen kisika po črti preko sredine vključkov takega tipa kot so prikazani na Sl. 2 in 3

je razdelitev sestavnih elementov zelo neenakomerna, vendar je mogoče razločiti, da se vežejo skupaj magnezij, kalcij, silicij in aluminij, žveplo pa je vezano s kalcijem.

Vzorec 2. Oksidni vključki so večinoma krogličaste oblike. Kroglice so prozorne, prosojne ali neprosojne in pokažejo značilni križ v polarizirani svetlobi ali ga ne pokažejo. To ni značilno samo za silikatne vključke (1), ampak tudi za krogličaste vključke aluminijevega oksida, ki vsebujejo nekaj mangana ali železa. Zato se njihovo tališče toliko zniža, da so staljeni v staljenem jeklu. Vključki so manganov silikat, vsebujejo pa tudi več ali manj aluminijevega oksida (slika 6). Pogosto so v vključkih tudi značilna poligonalna siva zrna aluminijevega oksida. V vključkih nismo našli kalcija in magnezija.



Slika 6, Vzorec 2
Okrogla silikatna vključka

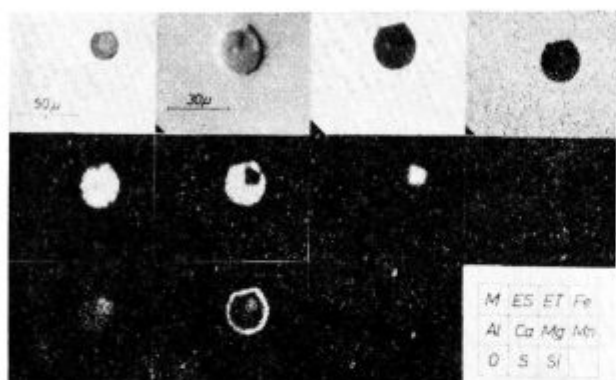


Slika 7, Vzorec 3
Skupina zrnatih vključkov

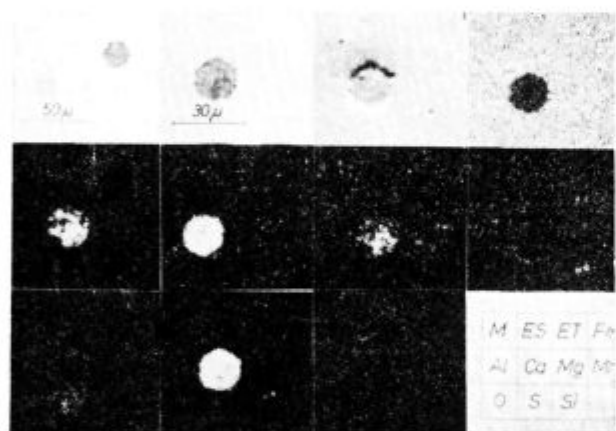


Slika 8, Vzorec 3
Krogličasti kompleksen vključek

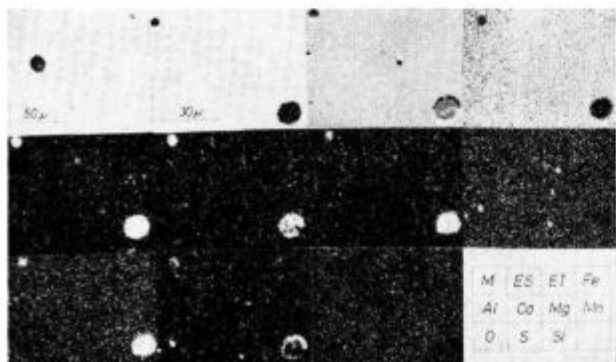
Vzorec 3. Vključki imajo različno obliko. Posamezne skupine optično homogenih sivih zrn so oksidi aluminija in kalcija ali aluminija in magnezija (slika 7). V polarizirani svetlobi so vključek anizotropni ali inertni. Enako sestavo imajo tudi osamljena zrna. Vključki nimajo silicija, mangan pa vsebujejo le, če so zraščeni s sulfidom. V jeklu so še številne sive bolj ali manj prosojne kroglice ali kapljice. Optično so enofazne ali dvofazne, v polarizirani svetlobi pa inertne, anizotropne ali pa pokažejo rumen odsev. Kroglice so kalcijev alu-



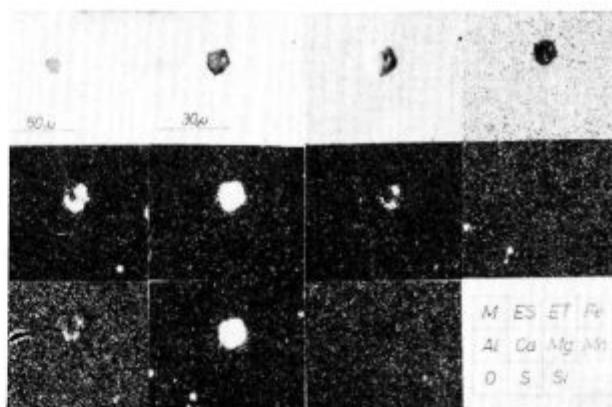
Slika 9, Vzorec 4
Krogličasti kompleksen vključek



Slika 10, Vzorec 4
Kompleksen oksidno-sulfidni vključek

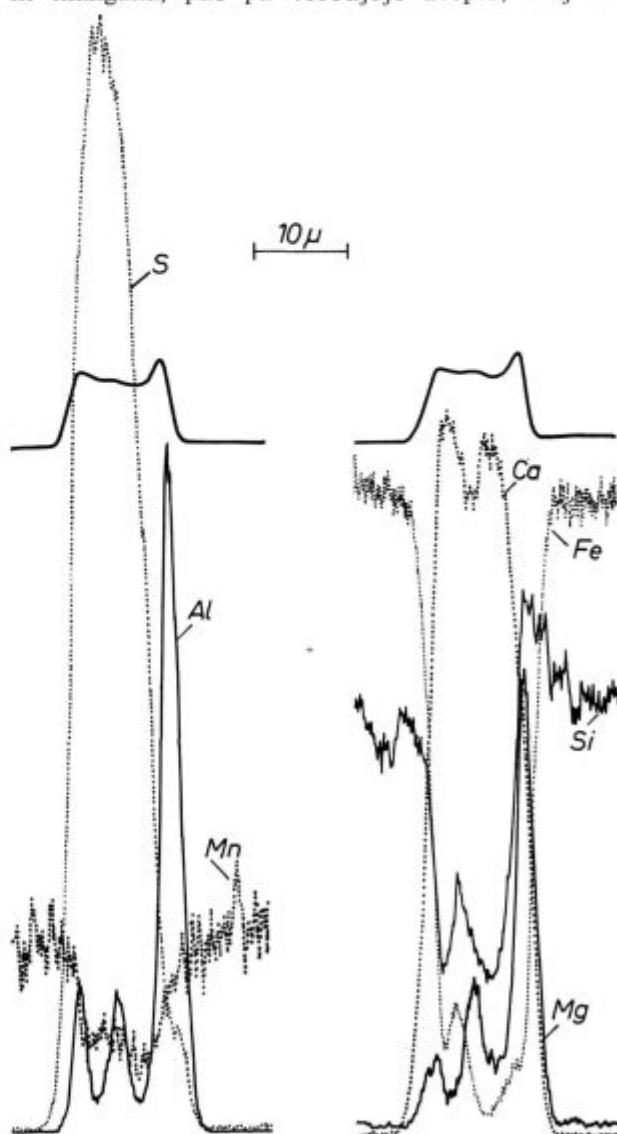


Slika 11, Vzorec 5
Oksidni vključek



Slika 12, Vzorec 5
Kompleksen oksidno-sulfidni vključek

minat z malo magnezija, zraščena siva zrna pa so magnezijev aluminat (slika 8). V njih ni silicija in mangana, pač pa vsebujejo žveplo, verjetno



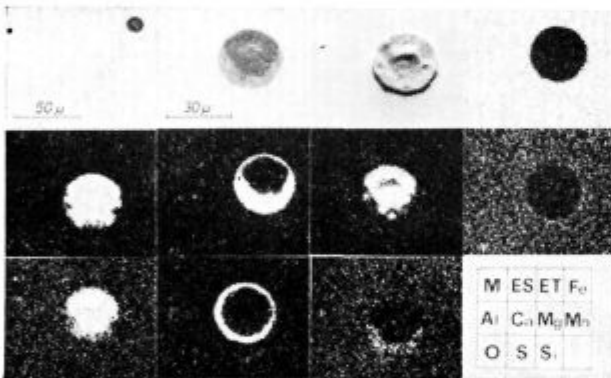
Slika 13
Porazdelitev sestavnih elementov po črti preko sredine vključka take vrste kot ga prikazuje Sl. 12

v obliki fine sulfidne disperzije v aluminatni matici. Pogosto je žvepla več v vencu ob površini. Tudi na tem mestu v vključkih ni mangana. Obogatitev žvepla na površini kaže, da je aluminatna faza precej reaktivna.

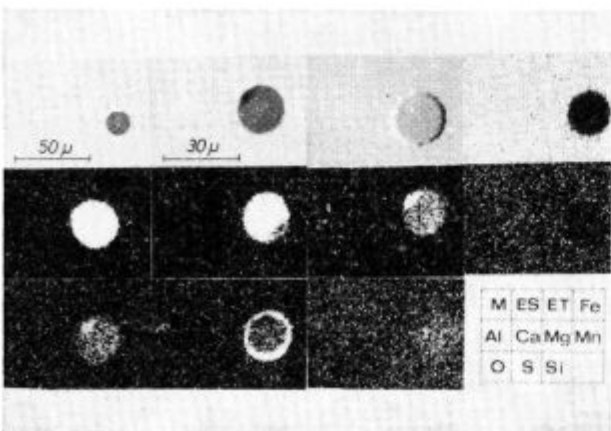
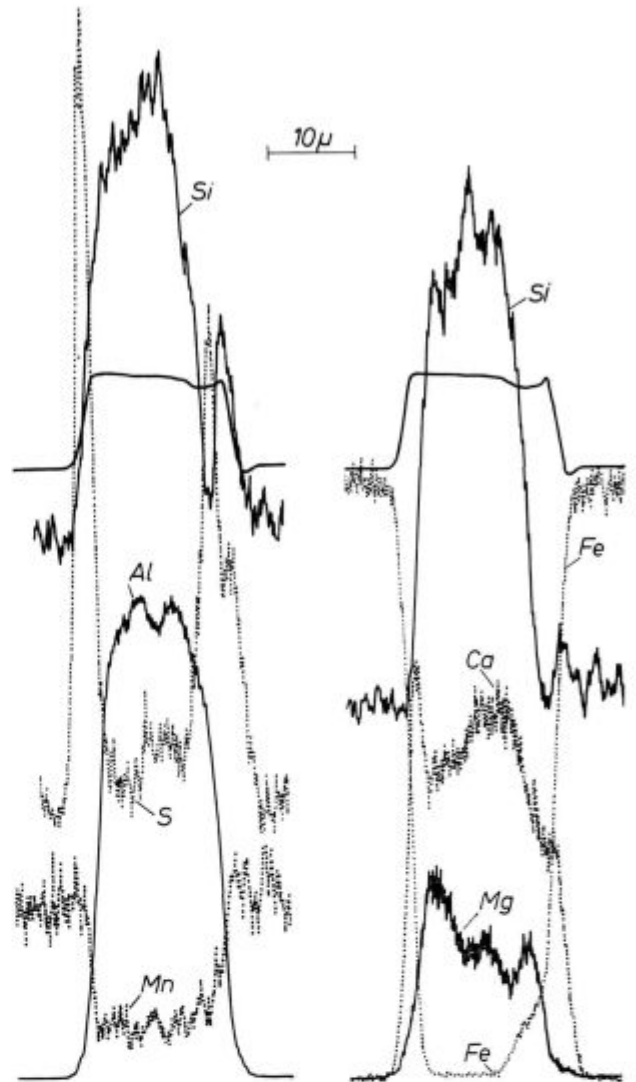
Vzorec 4. Ta vzorec vsebuje okrogle, bolj ali manj prosojne vključke temnosive barve, ki so bolj ali manj anizotropni v polarizirani svetlobi.

Ce so optično aktivni, pokažejo značilen rumen odsev kalcijevega aluminata. Često so zraščeni z zrnji magnezijevega aluminata ali aluminijevega oksida (slika 9). Take vključke najdemo tudi kot osamljena zrna. V vključkih ni silicija in mangana, tega najdemo le v zrnih, ki so zraščena z manganovim sulfidom. V optično enofaznih vključkih najdemo žveplo večinoma obogateno v vencu ob površini. Pogosto naletimo na okroglaste tvorbe (slika 10), ki so optično večfazne in so zrastki sulfidne in oksidne faze. Oksidna faza vsebuje aluminij, kalcij in magnezij, sulfidna pa verjetno le kalcij. Tudi v takih vključkih ni mangana in silicija.

Vzorec 5. Vsebuje številne drobne sive kroglice, ki pokažejo značilni križ pri opazovanju pod navzkrižnimi nikoli. V teh vključkih so aluminij, kalcij in magnezij. Vključki nimajo silicija in mangana, žveplo pa le v vencu ob površini (sli-



Slika 14

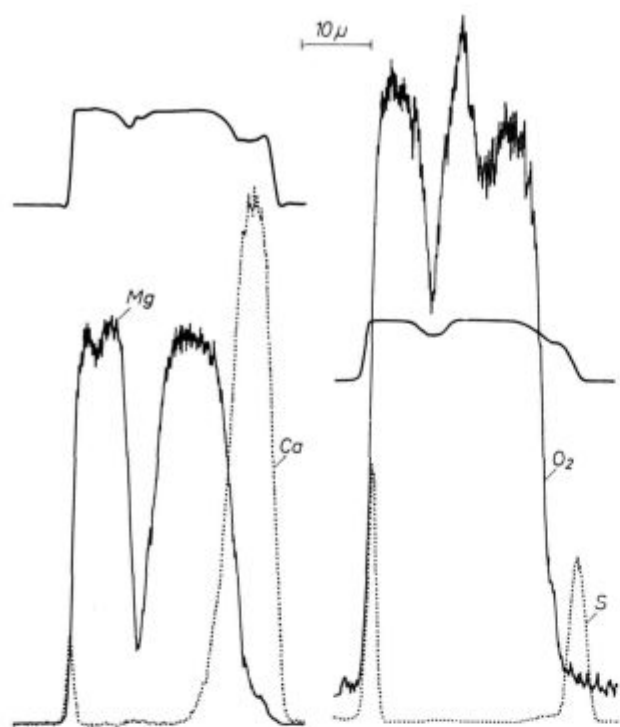
Slika 14 in 15, Vzorec 6
Krogličasti vključki

Slika 16

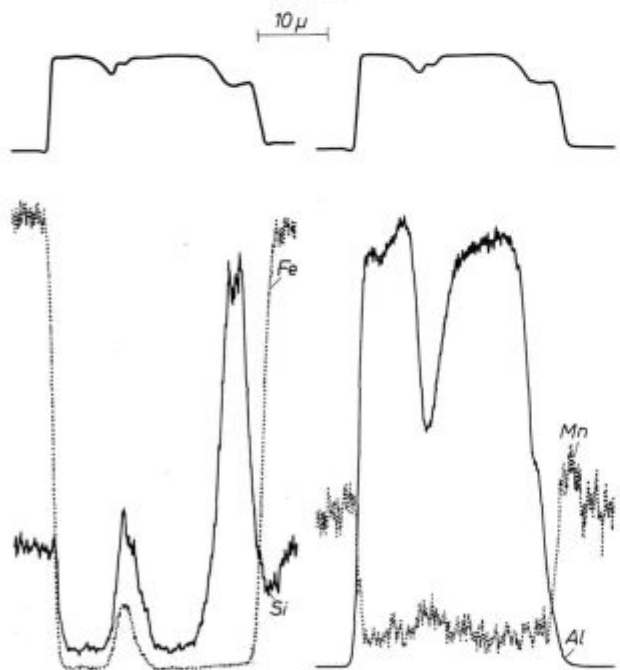
Porazdelitev sestavnih elementov po vodoravni črti čez središče vključka na sl. 15

ka 11). Posamezni okroglasti vključki pokažejo v polarizirani svetlobi le rumen odsev. Najdejo se tudi dvofazni vključki, katerih večino sestavlja kalcijev sulfid in so značilni z zrnji aluminijevega oksida ali aluminata kalcija in magnezija (slika 12). Često sta obe fazi zraščeni v kroglastih tvorbah z nagubano površino. Na sliki 13 vidimo profil koncentracije pri prehodu čez vključek, katerega večina je iz kalcijevega sulfida. Razločno vidimo, da ima vključek manj silicija in mangana kot kovina ter da sta skupaj magnezij in aluminij.

Vzorec 6. Vključki imajo krogličasto obliko. Majhne kroglice imajo gladko površino, večje pa nagubano. Prve so prosojne in v polarizirani svetlobi pokažejo značilni križ, večje pa so inertne ali pokažejo le rumen odsev. V vseh vključkih najdemo iste elemente: aluminij, kalcij in magnezij ter sled silicija (slika 14 in 15). Poligonarna zrna so magnezijev aluminat. V vključkih ni mangana, žveplo pa je v notranjosti samo v sledovih, več ga



Slika 17



Slika 17 in 17a

Porazdelitev sestavnih elementov po pokončni črti preko sredine vključka na Sl. 14

je v vencu ob površini. Na sliki 16 vidimo razdelitev elementov na vodoravni črti preko vključka na sl. 15, sliki 17 in 17a pa kažeta razdelitev elementov po vertikali čez sredino vključka na sl. 14. Obe sliki lepo dopolnjujeta podatke o sestavi, katere je mogoče razbrati iz X posnetkov.

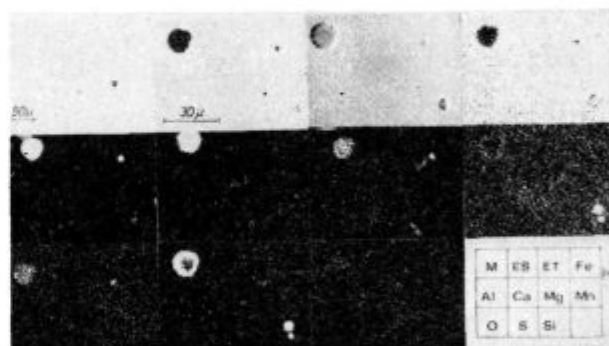
Vzorec 7. Drobne prosojne kroglice pokažejo v polarizirani svetlobi križ in so manganov alumin...

silikat. Večje kroglice križa ne pokažejo tako jasno, so enake narave, pogosto so zraščene z zrni aluminijevega oksida (slika 18) in vsebujejo sledove kalcija, magnezija in žvepla. Redkejši so krogličasti vključki kalcijevega aluminata, ki vsebujejo nekaj magnezija in silicija, so brez mangana, žveplo pa je obogateno v vencu poleg površine (slika 19). Redki so večji skupki vključkov aluminijevega oksida. V teh zrastkih so sledovi kalcija, silicija, magnezija in žvepla. (slika 20). Podobni vključki se držijo sten por in mikrolunckerjev (slika 21), vendar imajo v splošnem več mangana in silicija.



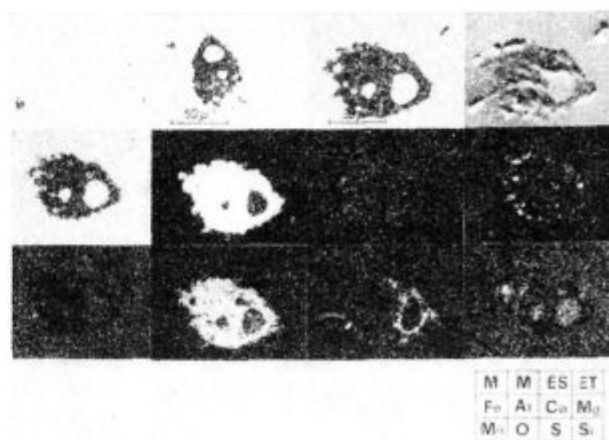
Slika 18, Vzorec 7

Kompleksni krogličasti vključek



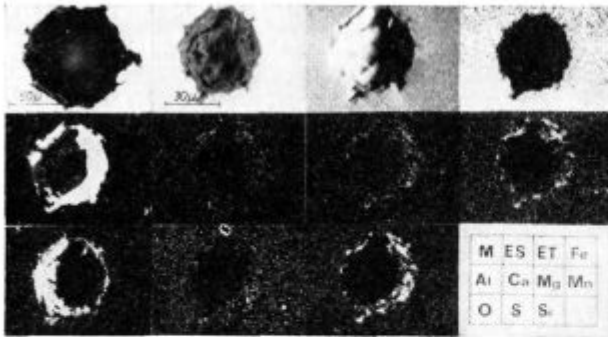
Slika 19, Vzorec 7

Kroglasti vključek



Slika 20, Vzorec 7

Zrastek vključkov aluminijevega oksida



Slika 21, Vzorec 7
Vključki ob stenah pore

3. KRATKA ANALIZA REZULTATOV

V tabeli 3 smo zaradi preglednosti rezumirali rezultate analiz z elektronskim mikroanalizatorjem. Takoj po raztaljenju vsebuje jeklo vključke več vrst: aluminijev oksid, čist in vezan s kalcijem in magnezijem, ter kalcijev in manganov alumosilikat. Prisotnost tako različnih vključkov je dokaz za intenzivne reakcije v jeklu. Po oksidaciji najdemo v jeklu le vključke manganovega alumosilikata. To kaže, da so bili vključki drugih vrst odstranjeni v žlindro. Vključki manganovega silikata so nastali pri vpihovanju kisika in so se navzeli aluminija v stiku z vključki, bogatimi s tem elementom, ki so bili v jeklu že od prej ali pa so prišli iz izlužene ognjevarne obloge.

Praden je bil vzet vzorec 3, so bile v jekleno talino dodane različne ferolegure. Zanimivo je, da kljub dodatku mangana in silicija v vključkih ni teh dveh elementov, marveč le aluminij, kalcij in magnezij. Lahko sklepamo, da so se vključki prvih dveh elementov hitro reducirali ali pa splavali v žlindro; kalcij izhaja iz apna in kot magnezij mogoče tudi iz obloge peči. Sledeči dodatek ferolegur povzroči spet nastanek vključkov manganovega alumosilikata, ostajajo vključki aluminatne narave, ne najdemo pa vključkov aluminijevega oksida. To je lahko slučajen rezultat, saj take vključke najdemo v prejšnjem in v naslednjem vzorcu, mogoče pa je tudi, da so se vključki aluminijevega oksida porabili za nastanek vključkov manganovega alumosilikata. V naslednjih dveh vzorcih se sestava vključkov ne spremeni bistveno, v zadnjem vzorcu pa ne najdemo več vključkov magnezijevega aluminata. Mogoče vključki te vrste hitreje splavajo v talino od vključkov kalcijevega aluminata. Na osnovi oblike in velikosti sklepamo, da so vključki manganovega alumosilikata v zadnjem vzorcu okludirana žlindra, ker v jeklo ni bilo dodanega ničesar, kar bi lahko povzročilo njihov nastanek. Odstranitev iz taline vključkov kalcijevega aluminata in vključkov aluminijevega oksida, katere najdemo v vseh preiskanih vzorcih, je počasna ali pa taki vključki neprestano nastajajo.

Podatki v tabeli 2 povedo, da se globalna vsebnost kisika z izjemo faze oksidacije, v vzorcih bistveno ne razlikuje, kar pomeni, da se bistveno tudi ne spreminja skupna količina nekovinskih vključkov oksidne narave v jekleni talini. Od vzorca tri naprej ostaja konstantno majhna tudi vsebnost magnezija v jeklu. Ta vsebnost je približno iste velikosti kot vsebnost netopnega aluminija. To bi kazalo, da je v oksidnih vključkih enako aluminija kot magnezija. Menimo, da ta analitski rezultat ni zanesljiv. Podobno kot za magnezij velja tudi za vsebnost kalcija v nekovinskih vključkih, vendar ocena ni tako zanesljiva, ker se kalcij veže v oksid, oziroma aluminat in v sulfid, analitično pa ni mogoče ločiti kalcija, vezanega v eni ali drugi obliki.

SKLEP

Z analizo v elektronskem mikroanalizatorju smo opredelili vrste vključkov, oziroma glavne sestavne elemente vključkov oksidnega tipa v vzorcih jekla, ki so bili vzeti iz taline v različnih sekvencah tehnologije jekla Č.1730 v elektropeči v železarni Jesenice.

Rezultati kažejo, da vsebuje jeklo ves čas podobne vključke, in sicer vključke aluminijevega oksida s primesmi kalcija in magnezija in aluminatne teh dveh elementov. Vključki aluminijevega oksida in magnezijevega aluminata imajo vedno zrnato obliko, kar kaže, da niso bili staljeni v tekočem jeklu, kalcijevi aluminati pa so predvsem krogličaste oblike, znak, da so bili v jeklu staljeni. Ti vključki vsebujejo pogosto nekaj magnezija, zelo redko silicij, zelo pogosto pa žveplo. Tega elementa je običajno zelo malo v notranjosti vključkov, močno pa je obogaten v prstanu ob površini. Naletimo pa tudi na zrastle, kjer je v oksidnem delu aluminij, kalcij in magnezij, v sulfidnem pa le kalcij. Manganov sulfid je zraščan z oksidnimi vključki le, če so ti iz aluminijevega oksida. Vključke kalcijevega alumosilikata, ki so bili v jeklu staljeni, smo našli le v vzorcu, ki je bil iz taline vzet po raztalitvi. Vključke manganovega silikata ali silikoaluminata smo našli le v vzorcih, ki so bili iz taline vzeti po oksidaciji in po dodatku ferolegur, ki vsebujejo silicij in mangan. Verjetno se taki vključki hitreje kot drugi izločijo v žlindro. Zanimivo je, da lahko vsebuje alumosilikatni vključek tudi žveplo, verjetno v obliki fine disperzije sulfidne komponente v oksidni osnovi.

Literatura

F. Vodopivec, *Železarski zbornik* 6, 1972, št. 4, str. 215 do 229

Zahvaljujemo se UJZ v Beogradu, ki je materialno omogočilo izvedbo tega dela in dipl. ing. Ravniku iz Železarne Jesenice, ki nam je priskrbel vzorec.

F. Vodopivec in B. Ralić

ZUSAMMENFASSUNG

Durch die Mikrosondenuntersuchung haben wir die Einschlussarten bzw. die Hauptbestandteile der oxydischen Einschlüsse an Stahlproben, welche zu verschiedenen Zeiten der Erschmelzung eines Kohlenstoff-Vergütungsstahles C 1730 im Lichtbogenofen des Hüttenwerkes Jesenice entnommen worden sind, bestimmt.

Die Ergebnisse zeigen, dass der Stahl während der Schmelzzeit ähnliche Einschlüsse enthält und zwar Einschlüsse des Aluminiumoxydes mit Beimengen von Kalzium und Magnesium und Aluminaten dieser zwei Elemente. Einschlüsse von Aluminiumoxyd und Magnesiumaluminat haben immer körnige Form, woraus geschlossen werden kann, dass diese im flüssigen Stahl nicht geschmolzen waren. Kalzium-aluminat sind hauptsächlich kugelförmiger Form, ein Zeichen, dass sie im Stahl geschmolzen waren. Diese Einschlüsse enthalten oft etwas Magnesium, sehr selten Silizium und sehr oft Schwefel. Diesen Element gibt es wenig im inneren der Einschlüsse während deren

Oberfläche mit Schwefel sehr angereichert ist. Man trifft aber auch auf Verwachsungen, wo im oxydischen Teil, Aluminium, Kalzium und Magnesium zu finden sind, im sulfidischen aber nur Kalzium. Mangansulfid ist mit oxydischen Einschlüssen verwachsen, wenn diese aus Aluminiumoxyd bestehen. Einschlüsse von Kalziumalumosilikat, welche im Stahl geschmolzen waren, haben wir nur in der Probe gefunden, welche aus dem Ofen nach dem Einschmelzen entnommen worden ist. Einschlüsse von Mangansilikat oder Silikoaluminat haben wir nur in den Proben gefunden, welche aus der Schmelze nach der Oxydationszeit und nach dem Legieren mit Silizium und Mangan genommen worden sind. Wahrscheinlich scheiden diese Einschlüsse schneller wie andere in die Schlacke aus. Es ist interessant, dass ein alumosilikater Einschluss auch Schwefel enthalten kann, wahrscheinlich in einer fein dispergierten sulfidischen Komponente in oxydischer Grundmasse.

SUMMARY

Types of inclusions and the main constituents of the oxide type inclusions in steel samples taken from the melts in various sequences during manufacturing C. 1730 steel in the electric arc furnace in Jesenice Ironworks were determined by analysis with the electron micro-analyzer.

The results show that the steel contains similar inclusions all the time, i. e. inclusions of aluminium oxide with additions of calcium and magnesium, and the aluminates of these two elements. The inclusions of aluminium oxide and magnesium aluminate have always sharp edges indicating that they were never dissolved in molten steel while calcium aluminates are mainly rounded which means that they were dissolved in steel. The latter inclusions often contain some magnesium, very seldom silicon, but quite often sulphur. This element is usually very rare

inside the inclusions but very enriched in the shell around it. Also aggregates were found containing aluminium, calcium, and magnesium in the oxide part of the inclusion, and only calcium in the sulphide part. Manganese sulphide was aggregated with the oxide inclusion only if it was aluminium oxide. Inclusions of calcium aluminate which were dissolved in steel were found only in the sample which was taken from the melt after the charge melted in the furnace. The inclusions of manganese silicate or silicoaluminate were found only in the samples which were taken from the melts after oxidation and addition of the ferro-alloys containing silicon and manganese. Probably these inclusions precipitate into slag faster than the others ones. It is interesting that an alumosilicate inclusion can contain also sulphur probably in a form of a dispersed sulphide component in an oxide matrix.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При производстве цементуемой стали марки С-1730 в электродуговой печи Металлургического завода Есенице исследовали при помощи анализа в электронном микроанализаторе составные элементвключений оксидного типа. Исследованию подвергали образцы взятые последовательным отбором в течении процесса плавления. Результаты показали, что в течении производства сталь содержит всё время включения похожих типов, т. е. включения окиси алюминия с примесью кальция и магния и алюминаты этих двух элементов. Включения окиси алюминия и алюминаты магния имеют всегда зернистую форму; это указывает, что эти включения не были расплавлены в стали. Наоборот, алюминаты кальция имеют главным образом шарообразную форму, что указывает, что эти включения были расплавлены в расплавленном металле. Эти включения часто содержат немного магния, очень редко кремний а часто даже серу. Обыкновенно серы внутри включения очень мало, но на внешнем кольце по-

верхности включения концентрация серы гораздо больше. Обнаружены также сцепления в которых в оксидной части находятся алюминий, кальций и магний, а в сульфидной части только кальций. Сульфид марганца сцеплен с оксидными включениями только тогда, если их состав представляет оксид алюминия. Включения алюмосиликата кальция, которые были расплавлены в стали, обнаружены лишь в образце которого взят после расплавления металлического всада в печи. Включения силиката марганца или алюмосиликатов марганца обнаружены только в образцах взятых из расплавленного металла после окисления и после введения ферросплавов которые содержат кремний и магний; возможно, что эти включения в шлак быстрее чем включения других типов т. е. другого состава. Надо отметить, что включения алюмосиликатов могут содержать также серу, возможно в форме тонкой дисперзности сульфидной компоненты в оксидной основной массе.