

Uporaba s CaAl polnjenje žice pri izdelavi jekel za hladno masivno preoblikovanje

A. Šteblaj^{*1}; B. Koroušič^{**2}; J. Arh^{*1};
E. Bricelj^{*1}; M. Mencinger^{*1}

UDK: 669.046.558.6:669.14.018.26
ASM/SLA: D8n, D9r, D9q, E25q, CNm, 9—51

Izdelava in vlivanje jekel za hladno masivno preoblikovanje na napravi za kontinuirno vlivanje gredic kv. 135 mm. predstavlja zahtevno tehnološko nalogo. Kemična sestava jekla, glej tabelo 1, je specifična saj so to jekla, ki so pomirjena samo z aluminijem in praktično brez silicija (max. 0.05 %). Zato se občasno pojavljajo aluminatni vključki, ki povzročajo probleme pri vlivanju. Po drugi strani je njihov nastop v jeklu nezaželen, ker se pojavljajo kot gnezda v gredici. Zato, da bi nastale aluminatne vključke modificirali v obliko, ki negativno ne vpliva na vlivanje in kvaliteto vlite gredice, smo obdelali talino s CaAl polnjeno žico. V ta namen smo izdelali šest poskusnih talin na 70 t EOP in prve rezultate teh preiskav podajamo v tem članku.

UVOD

Železarna Jesenice ima poleg ploščatega programa tudi obsežen okrogli program v količini ca. 100.000 t na leto. V tej količini zavzemajo jekla za masivno preoblikovanje s ca. 20.000 t gotove proizvodnje v obliki vlečene žice in palic pomembno mesto. Tovrstna jekla imajo izredno visoko duktilnost, kar omogoča izdelavo končnih izdelkov s hladnim preoblikovanjem.

KEMIČNA SESTAVA IN SPECIFIČNE LASTNOSTI IZDELAVE JEKLA ZA MASIVNO PREOBLIKOVANJE

Jeklo izdelujemo v treh kvalitetah, ki se med seboj ločijo samo po vsebnosti ogljika. Po sestavi tovrstna jekla

spadajo med maloogljikna jekla s smerno kemično sestavo, navedeno v tabeli 1. Vsebnost spremljajočih oligoelementov (po dolgoletnih izkušnjah v Železarni Jesenice) je strogo omejena, saj vsota Cu + Cr + Ni + Sn ne sme presegati 0.50 %.

Specifika tehnologije izdelave je predvsem v tem, da je jeklo pomirjeno z aluminijem in so predpisane meje 0.025—0.050 %. Pri tem je potrebno poudariti, da se jeklo vliva na napravi za kontinuirno vlivanje, kjer je znano, da visoka vsebnost aluminija v talini običajno predstavlja določene probleme pri vlivanju. Za uspešno vlivanje na kontinuirni napravi je potrebno izdelati čisto jeklo s čim manj nekovinskih vključkov in še ti morajo biti modificirani.

Jeklo je izdelano po duplex postopku EOP — VOD. V EOP opravimo odfosforenjenje in oksidacijo C, Si in delno Mn in ogrevanje taline na dokaj visoko prebodno temperaturo (ca. 1770 °C). Vso nadaljnjo izdelavo in obdelavo jekla izvedemo v VOD napravi. Kljub temu, da naredimo prebod taline skoraj brez oksidacijske pečne žilindre, imamo talino nepomirjeno in zato pride ob dodatku aluminija v ponovco pri preobodu do močnega odgorevanja aluminija in s tem do tvorbe aluminatnih nekovinskih vključkov. Količine aluminatnih vključkov so tolikšne, da jih tudi z rafinacijsko žilindro in obdelavo v vakuumu ne moremo dovolj odstraniti iz taline jekla. Predvsem neugodna je njihova struktura, gnezda aluminatnih vključkov, katere zasledimo v kontinuirni vliti gredici in tudi v

Tabela 1: Smerne kemične sestave jekel za hladno masivno preoblikovanje

Table 1: Direction chemical compositions of steels for cold mass forming

Kvaliteta	Vsebnost elementov (%)										
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Al	Sn	Ni	N ₂
JMP 05	0.06	max. 0.05	0.20 0.40	max. 0.020	max. 0.015	max. 0.15	max. 0.20	0.025 0.050	max. 0.020	max. 0.020	max. 0.15
JMP 10	0.06 0.10	max. 0.10	0.20 0.40	0.020	0.015	0.15	0.20	0.025 0.050	0.020	0.15	0.010
JMP 15	0.12 0.16	max. 0.010	0.20 0.40	0.020	0.015	0.15	0.20	0.025 0.050	0.020	0.15	0.010

*1 Anton Šteblaj, dipl. ing. met. Železarna Jesenice, 64270 Jesenice

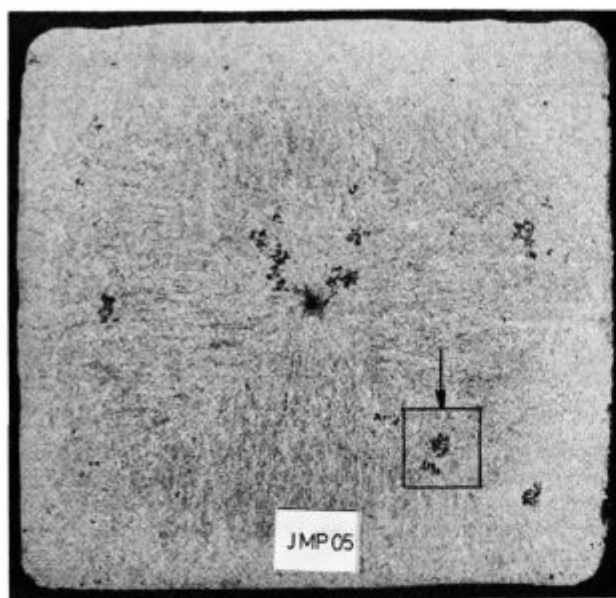
*2 J. Arh, E. Bricelj, M. Mencinger — Železarna Jesenice

** B. Koroušič — Metalurški inštitut, 61000 Ljubljana, Lepi pot 11

** Originalno objavljeno: ZŽB 24(1990)3

Rokopis prejet: maj 1990

predelanem stanju. Tako gnezdo aluminatnih vključkov vidimo iz makro posnetka lužilne ploščice na **sliki 1**.



Slika 1:

Gnezda aluminatnih nekovinskih vključkov v kontinuirno vlti gredici kv. 135 mm.

Fig. 1

Clusters of aluminate nonmetallic inclusions in continuously cast 135 mm square billet

Metalografske preiskave na optičnem in elektronskem mikroskopu so potrdile našo predpostavko, da imamo opravka s čistimi aluminatnimi vključki. Mikro posnetki so vidni na **sliki 2 in 3**.



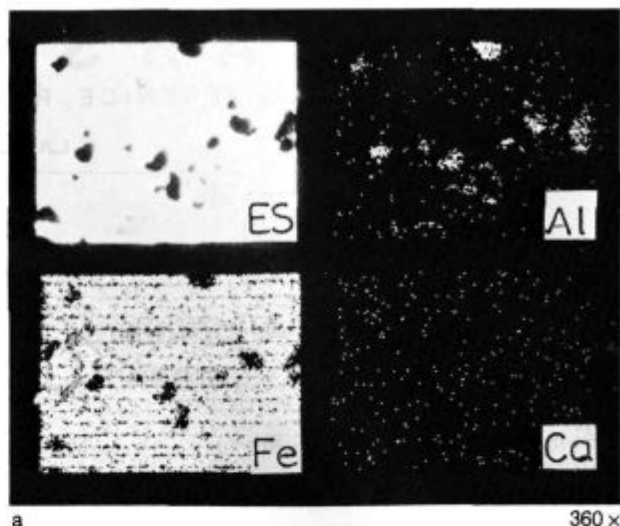
Slika 2:

Izgled aluminatnih nekovinskih vključkov v kontinuirno vlti gredici kv. 135 mm. (pov. 500 ×)

Fig. 2

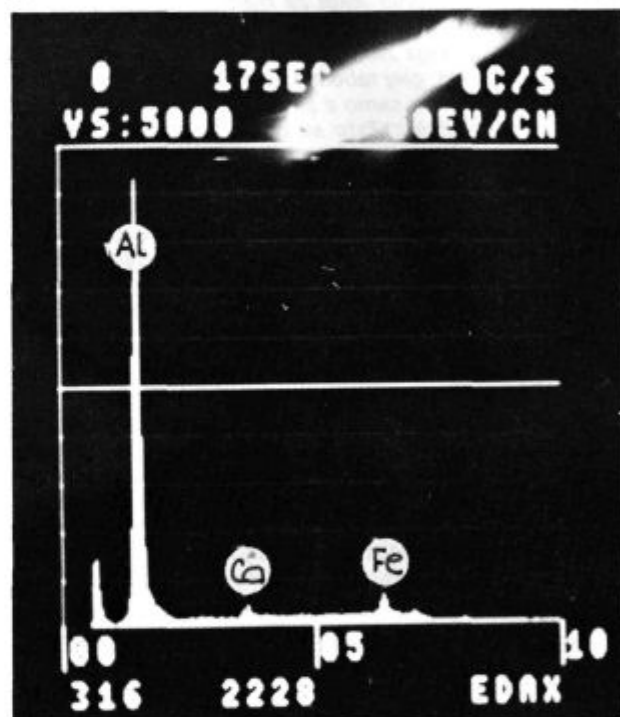
Appearance of aluminate nonmetallic inclusions in continuously cast 135 mm square billet (magn. 500 ×)

Železarna Jesenice je kot prva železarna v Jugoslaviji uvedla v redno proizvodnjo stroj za injektiranje polnjenih žic v tekoče jeklo. Danes modifikacija aluminatnih vključ-



a

360 ×



b

Slika 3:

a) Elektronska slika in specifični rentgenski posnetki za Al, Fe in Ca (pov. 360 ×)

b) Analiza nekovinskih vključkov z EDAX-om

Fig. 3

a) Electron image and specific X-ray pictures for Al, Fe, and Ca (magn. 360 ×)

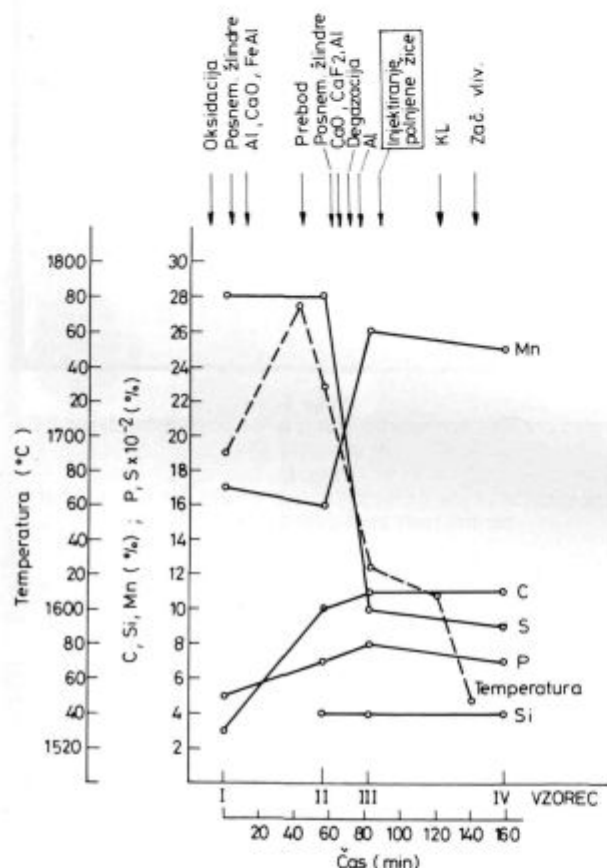
b) Analysis of nonmetallic inclusions with EDAX

kov s CaSi polnjeno žico ni tehnološki problem, ampak predstavlja osnovo novo vpeljane tehnologije. Zato smo metodo modifikacije vključkov pri izdelavi jekel za hladno masivno preoblikovanje imeli za že osvojeno tehnologijo. Pa vendarle ni bilo tako. Če se povrnemo nekoliko nazaj in imamo pred očmi kemično sestavo jekla, vidimo, da smo omejeni s silicijem na maks. 0.05 %.

Torej uporaba CaSi, ki vsebuje ca. 60–70 % Si, ne pride v poštev. Prav to pa je tisto, kar nas je vodilo, da uporabimo za modifikacijo s CaAl polnjeno žico.

UVAJANJE TEHNOLOGIJE INJEKTIRANJA

Za poizkuse smo uporabili polnjeno žico firme »TROSTBERG«, premera $\varnothing$ 9 mm. Kot polnilo smo imeli CaAl, in sicer je teža polnila 88 g/m polnjene žice. Pri tem je v 1 m polnjene žice delež Ca 27 g in Al 61 g. V enem kolutu je ca. 3 000 m žice, v žici ca. 263 kg polnila. Shematičen prikaz tehnologije izdelave jekla je na **sliki 4**. Po tej tehnologiji je bilo izdelanih šest poizkusnih talin.



Slika 4:

Shematičen prikaz tehnologije izdelave jekla za hladno masivno preoblikovanje

Fig. 4

Schematic presentation of steelmaking technology for steels for cold mass forming

DOBLJENI REZULTATI

Končne kemične sestave izdelanih poizkusnih talin so vidne iz **tabele 2**.

Tabela 2: Končne kemične sestave poizkusnih talin

Table 2: Final chemical compositions of test melts

Talina	Kemična sestava (%)					
	C	Si	Mn	P	S	Al
1	0.04	0.01	0.30	0.010	0.007	0.037
2	0.04	0.01	0.29	0.010	0.010	0.045
3	0.04	0.01	0.30	0.011	0.013	0.048
4	0.03	0.02	0.28	0.008	0.011	0.040
5	0.04	0.01	0.21	0.009	0.009	0.045
6	0.04	0.01	0.30	0.013	0.011	0.043

Količine, injektirane CaAl polnjene žice po posameznih talinah, so bile naslednje, **tabela 3**.

Tabela 3: Tehnološki parametri injektiranja polnjenih žic pri poizkusnih talinah

Table 3: Technological parameters of injecting filled wire into test melts

Talina	CaAl (m)	Polnilo (kg/t)	Ca (kg/t)	Al (kg/t)	Talina (t)
1	625	0.764	0.234	0.529	72
2	650	0.794	0.243	0.550	72
3	500	0.637	0.195	0.442	70
4	370	0.434	0.133	0.300	74
5	680	0.842	0.258	0.584	71
6	600	0.743	0.228	0.515	71
$\bar{X}$	571	0.702	0.215	0.487	72
S	116	0.148	0.045	0.103	1.4

V **tabeli 4** prikazujemo vsebnosti Al, S in podatke o temperaturi taline v odvisnosti od časa injektiranja polnjene žice. Čas injektiranja polnjene žice je bil štiri minute.

Tabela 4: Aluminij, žveplo in temperatura taline pred injektiranjem polnjene žice in po njem

Table 4: Al, S, and temperature before and after injecting filled wire

Talina	Al ₁ (%) ^{*)}	Al ₂ (%) ^{**)}	T ₁ (°C)	T ₂ (°C)	S ₁ (%)	S ₂ (%)
1	0.025	0.037	1634	1609	0.011	0.007
2	0.023	0.045	1642	1615	0.013	0.010
3	0.033	0.048	1630	1610	0.017	0.013
4	0.030	0.040	1627	1610	0.013	0.011
5	0.023	0.045	1642	1604	0.011	0.009
6	0.034	0.048	1640	1610	0.013	0.011
$\bar{X}$	0.028	0.044	1636	1609	0.013	0.010
S	0.005	0.004	6	4	0.002	0.002

^{*)} pred injektiranjem žice

^{**)} po injektiranju žice

Prirastek aluminija:

Količina polnila v mejah 0.4–0.8 kg/t taline je vezana na zelo močno reakcijo v času injektiranja žice. Posledica tega je velika kontaktna površina taline s plinsko fazo, kar vodi do relativno velikega odgora aluminija. Na **sliki 5** a vidimo prirastek aluminija med injektiranjem, ki kaže vsebnost aluminija pred injektiranjem in po njem.

Povprečni izkoristek Al = 32 ± 7 %, kar je za to tehnologijo relativno malo.

Odžveplanje taline

Na **sliki 5 b** je prikazano odžveplanje taline v času injektiranja žice. Količina injektiranega Ca je bila približno enaka vsebnosti žvepla v talini, to je ca. 200 g/t taline. Na osnovi izkušenj drugih raziskovalcev pri jeklih, ki imajo od 100–200 ppm žvepla, ob dodatku take količine Ca lahko pričakujemo, da se bo precejšnja količina Ca vezala na žveplo. Prav zato lahko pričakujemo tudi tvorbo CaS v kombinaciji z Mn, Fe in Al oksidi.

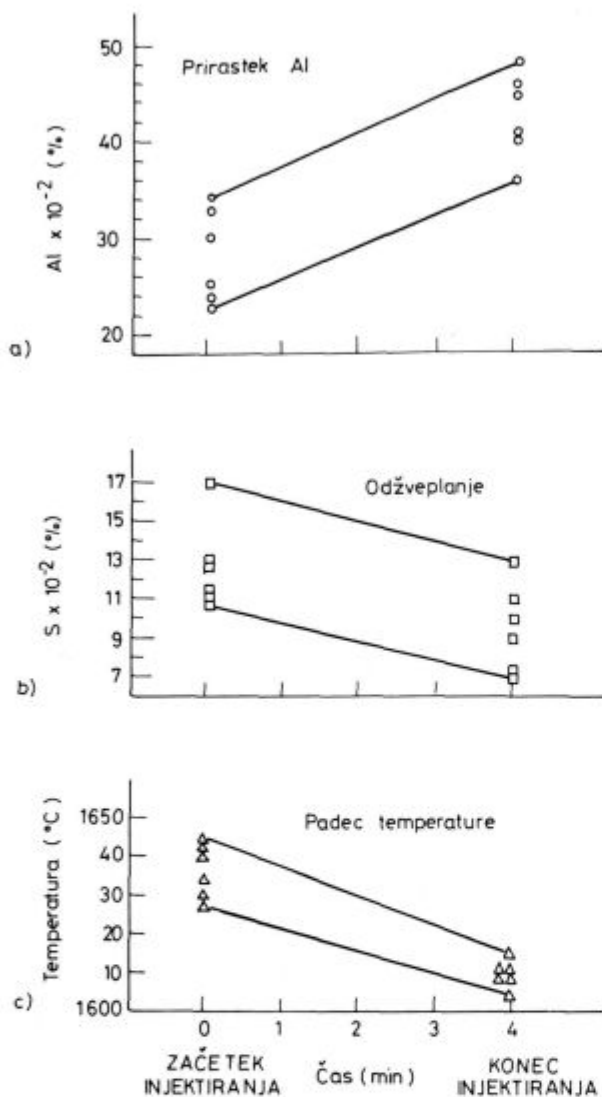
Stopnja odžveplanja je precejšnja, 24 ± 4 %, in je prav gotovo rezultat reakcije žvepla in Ca ter razžveplanja preko žindre zaradi močnega mešanja taline.

Padec temperature

Na **sliki 5 c** vidimo spremembo temperature taline kot posledico injektiranja polnjene žice. Obdelava podatkov kaže, da gre za padec temperature 6–7 °C/minuto, kar je izredno veliko za tako velike ponovce (cca. 72 t taline). Običajno so pri taki ponovci padci od 1–1.5 °C/mi-

nuto. To samo potrjuje vizuelno ocenitev, da je bila reakcija med talino in polnjeno žico izredno burna.

Na slikah 5a, 5b in 5c so grafično prikazane prej omenjene odvisnosti.



Slika 5:

Grafičen prikaz sprememb tehnoloških parametrov kot posledica injektiranja polnjene žice

Fig. 5

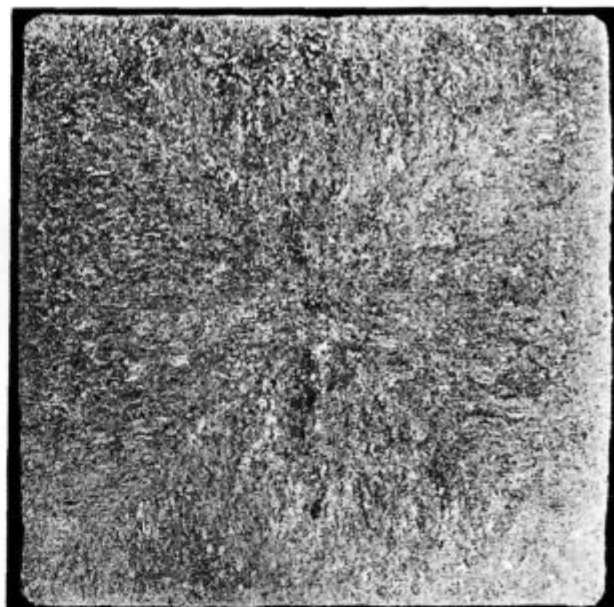
Graphical presentation of changed technological parameters as a consequence of injecting filled wire

METALOGRAFSKE PREISKAVE OBDELANIH TALIN

Na **sliki 6** je makro posnetek lužilne ploščice, kjer je bila izvršena modifikacija in ni več vidnih gnezd alumina-tnih nekovinskih vključkov.

Preiskave na optičnem mikroskopu so pokazale, da smo v nekaterih poizkusnih talinah dosegli popolno, v nekaterih delno modifikacijo, pri eni talini pa modifikacija ni bila uspešna. Mikroposnetki vseh treh tipov so na **slikah 7, 8 in 9**.

Tipi dobjenih nekovinskih vključkov so bili preiskani z vrstičnim elektronskim mikroskopom; rezultati so prikazani na **slikah 10, 11 in 12**.



Slika 6:

Izgled preseka kontinuirno vlite gredice po obdelavi taline s Ca-Al polnjeno žico

Fig. 6

Appearance of the cross section of continuously cast billet after the melt treatment by CaAl filled wire



Slika 7:

Popolnoma modificirani nekovinski vključki (pov. 200 x)

Fig. 7

Completely modified nonmetallic inclusions (magn. 200 x)



Slika 8:

Delno modificirani nekovinski vključki (pov. 200 x)

Fig. 8

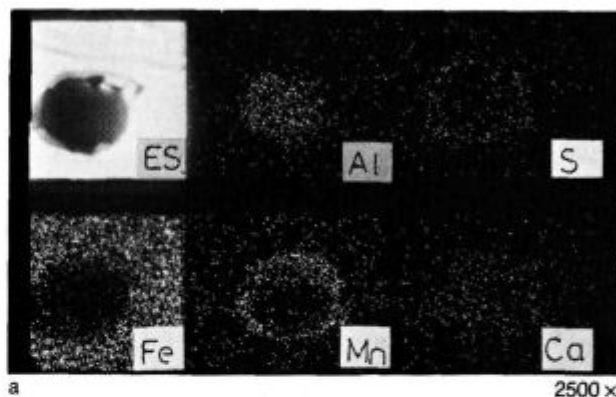
Partially modified nonmetallic inclusions (magn. 200 x)

**Slika 9:**

Nemodificirani nekovinski vključki (pov. 200 x)

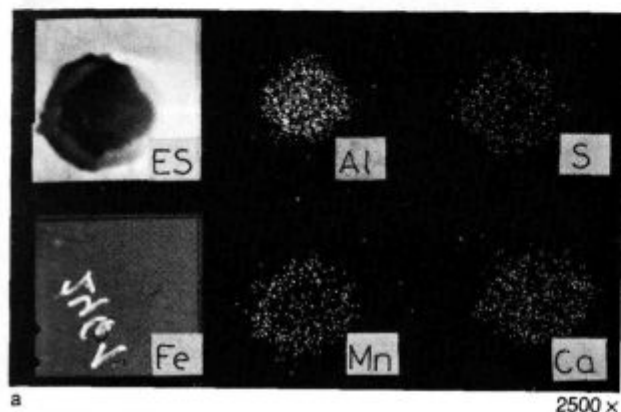
Fig. 9

Not modified nonmetallic inclusions (magn. 200 x)



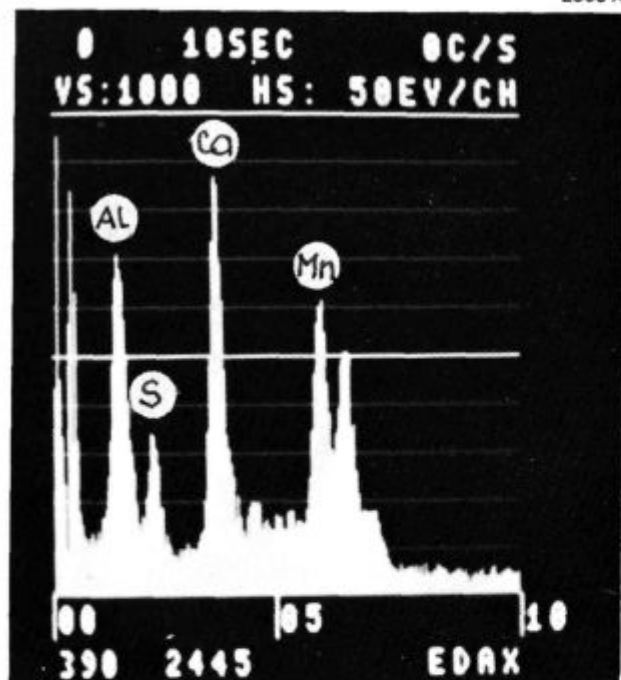
a

2500 x



a

2500 x



b

Slika 10:

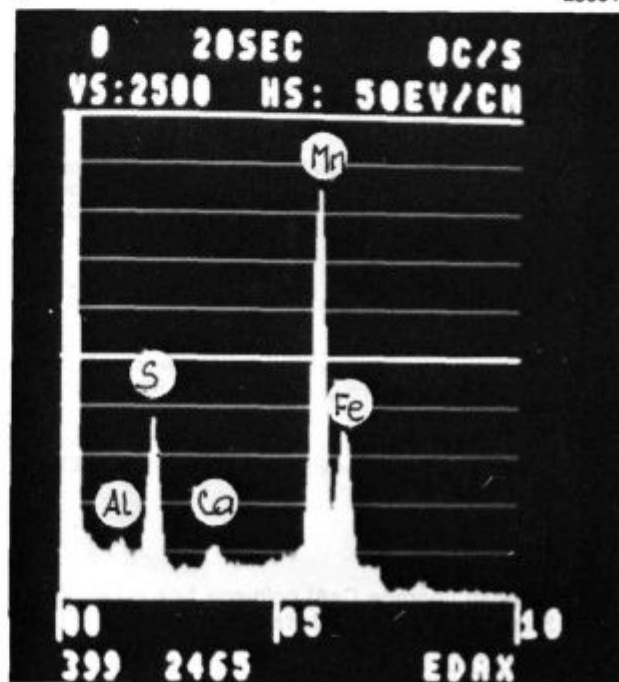
a) Elektronska slika in specifični rentgenski posnetki za Al, S, Fe, Mn in Ca pri popolni modifikaciji

b) Analiza nekovinskih vključkov z EDAX-om

Fig. 10

a) Electron image and specific X-ray pictures for Al, S, Fe, Mn, and Ca at complete modification

b) Analysis of nonmetallic inclusions with EDAX



b

Slika 11:

a) Elektronska slika in specifični rentgenski posnetki za Al, S, Fe, Mn in Ca pri delno uspešni modifikaciji

b) Analiza nekovinskih vključkov z EDAX-om

Fig. 11

a) Electron image and specific X-ray pictures for Al, S, Fe, Mn, and Ca for partially successful modification

b) Analysis of nonmetallic inclusions with EDAX

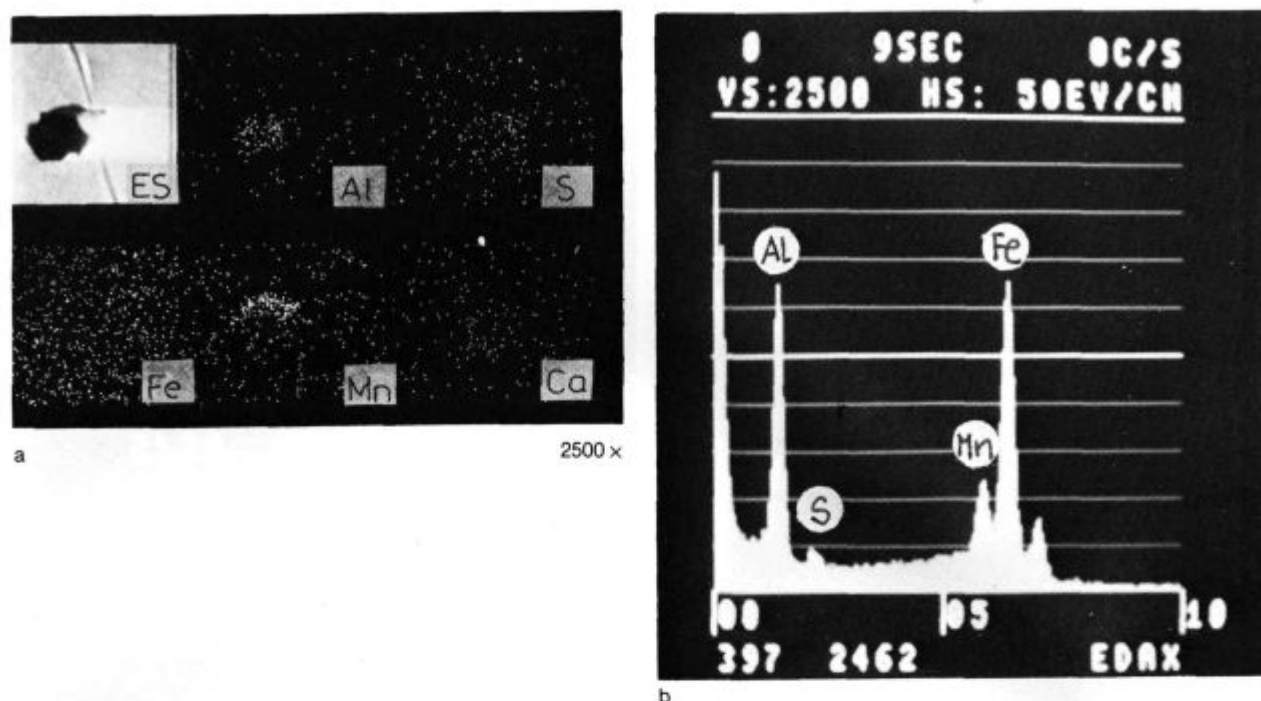
Ocena čistoče poizkusnih talin

Čistoča poizkusnih talin je bila ocenjena po JK skali. Dobljeni rezultati so prikazani v tabeli 5.

Tabela 5: Čistoča poizkusnih talin, ocenjena po JK skali**Table 5: Purity of test melts estimated by Jernkontoret test**

Talina	Sulfidi A	Aluminati B	Silikati C	Oksidi C	Σ
1	0.20	0.20	0.00	1.80	2.20
2	0.20	0.00	0.00	1.80	2.00
3	0.20	0.00	0.00	1.80	2.00
4	0.20	0.60	0.00	1.40	2.20
5	0.20	0.00	0.00	1.60	1.80
6	0.20	0.20	0.00	1.80	2.20

 $\bar{X} = 2.07$ $S = 0.16$



Slika 12:

- a) Elektronska slika in specifični rentgenski posnetki za Al, S, Fe, Mn in Ca pri neuspeli modifikaciji
b) Analiza nekovinskih vključkov z EDAX-om

Fig. 12

- a) Electron image and specific X-ray pictures for Al, S, Fe, Mn, and Ca in unsuccessful modification
b) Analysis of nonmetallic inclusions with EDAX

ZAKLJUČKI

1. Možnosti uporabe CaAl polnjene žice pri obdelavi jekla v železarni Jesenice in doseženi rezultati kažejo, da je kontrola aluminija v talini možna v predpisanih mejah. Zato se da tudi aluminatne vključke modificirati. V bodoče bo pri nadaljnjem razvoju te tehnologije potrebno natančno opredeliti izhodno stanje taline, optimalno sestavo žilindre in izhodne vsebnosti žvepla.

2. Tehnologija je primerna za železarno Jesenice, in sicer za jekla z nizko vsebnostjo silicija, pri katerih je uporaba CaSi polnjene žice popolnoma izključena.

3. Ker so to prvi rezultati injektiranja z žico, polnjeno s CaAl, menimo, da je potrebno količino dodatka še optimizirati.

V žici se nahaja Ca in Al v čistem elementarnem stanju (ni spojine med Ca in Al) in zato prehod Ca iz taline v plinsko stanje spremlja burna reakcija, kar vodi do močnih temperaturnih padcev.

4. Čistoča jekla po obdelavi s CaAl polnjeno žico povsem ustreza zahtevam tujega in domačega trga.

ZUSAMMENFASSUNG

Erzeugung und Giessen von Stählen für die Kaltmassivumformung an der Knüppelstranggießanlage ist eine anspruchsvolle technologische Aufgabe. Aus der chemischen Zusammensetzung, siehe Tofel 1, ist ersichtlich, dass diese Stähle nur mit Aluminium beruhigt sind (Si = max 0,05 %). Aluminateinschlüsse sind eine Begleiterscheinung bei dieser Erzeugung und damit verbundene Schwierigkeiten beim Giessen. Andererseits sind diese im Stahl unerwünscht da sie in Form von Ne-

stern in Knüppeln auftreten. Um die entstehenden Aluminateinschlüsse in eine für das Giessen und die Stahlqualität selbst unschädliche Form zu bringen sind die Schmelzen mit CaAl Fülldraht behandelt worden.

Es sind sechs Versuchsschmelzen in einem 70 t Lichtbogenofen erzeugt worden und die Ergebnisse sind in diesem Artikel dargestellt.

SUMMARY

Making and casting steel for cold mass forming in the set-up for continuous casting of 135 mm square billets represents a demanding technological task. Chemical composition of steel (Table 1) is a specific one since those steels are killed only by aluminium, containing practically no silicon (max. 0.05 %). Thus periodically aluminate inclusions appear which cause problems in casting. On the other hand, their presence in steel is unde-

sired since they form clusters in the billets. In order to transform the formed aluminate inclusions into the shape which has no negative influence on the casting process and on the quality of cast billet the melt was treated by the CaAl filled wire. For this purpose six test melts were prepared in the 70 t EAF and the first obtained results of this investigation are presented in this paper.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изготовление и литье стали для холодной массивной деформации с помощью устройства непрерывного литья заготовок кв. 135 мм, представляет собой сложную технологическую задачу. Химический состав стали (см. таб. 1) специальный, так как эти виды стали стабилизированы только алюминием и фактически не содержат силиция (не более чем 0,05 %). Поэтому иногда образуются алуминатные включения, вследствие чего усложняется процесс литья. Их наличие в

стали нежелательно, так как они в заготовке образуются как гнезда. Для того чтобы образовавшиеся алуминатные включения модифицировались таким образом, чтобы они отрицательно не влияли на процесс литья и качество литой заготовки, расплав обрабатывается проволокой, заполненной CaAl. В этих целях изготавливается 6 испытательных расплавов на 70 т ЕОП — первые результаты указаны в настоящей статье.