

Tehnološke in praktične izkušnje pri kontinuirnem vlivanju jekel z vsebnostjo aluminija na petžilni napravi za gredice z ravno kokilo

UDK: 669.183.2:669.14.018.295:621.746.047

ASM/SLA: STc, D9-q

Jože Arh, Marjan Demšar,
Anton Mlakar, Miran Debelak

Izvršili smo preiskave vpliva različnega načina dezoksidacije z uporabo kalcijevih zlitin in obdelave jekla s CaSi v ponovci na mašenje izlivkov. Z določanjem celokupnega kisika, določanjem mikročistoče in analizo vključkov v primerjavi s številom čiščenj izlivka v ponovci s kisikom, smo ugotavljali vpliv posameznih parametrov izdelave jekla na mašenje izlivkov. Glavna vplivna faktorja, ki vplivata na intenzivnost mašenja sta vsebnost aluminija v jeklu in izkoristek aluminija pri dezoksidaciji. Poseben poudarek je dan SM jeklu, ki zaradi specifičnega načina izdelave in prisotne oksidne žilindre ni najbolj primerno za izdelavo jekel, ki so pomirjena z aluminijem za kontinuirno vlivanje.

UVOD

Železarna Jesenice je integralna železarna z zelo pestrim proizvodnim in kvalitetnim programom. Približno 30 % celotne proizvodnje surovega jekla predelamo v gredice oziroma žico in profile. Med temi proizvodi so po količini in kvaliteti najpomembnejša jekla za patentirano žico z vsebnostjo aluminija od 0.025 do 0.050 %, potem jekla za žico za varjenje v atmosferi CO₂, jekla za verige, za vijake in matice, jekla za hladno masivno preoblikovanje in podobna. Precejšen del te proizvodnje zavzemajo tudi avtomatna jekla legirana z žveplom in svincem, ki pa jih ta čas še ne moremo vlivati kontinuirno. Poudariti moramo tudi, da pretežni del jekla dobimo iz SM jeklarne in le manjši del iz elektro jeklarne. Presek gredic

znaša 135 mm kv. Večino jekel vlijemo po zaprtem sistemu s potopljenimi izlivki. Delež odprtega vlivanja znaša le 5 %. Naš zelo zahteven kvalitetni program je bil tudi razlog, da smo se odločili za napravo z ravno kokilo. Dosedanje dve in polletne izkušnje kažejo, da je bila naša odločitev glede tega pravilna.

2. PROBLEMI KONTINUIRNEGA VLIVANJA SM JEKLA

Železarna Jesenice spada med tiste redke železarne kjer vlivamo kontinuirno SM jekla. Ta kombinacija tehnologije nam povzroča mnogo težav. Težave so še toliko večje, ker gre za kvalitetna z Al pomirjena jekla, ki jih vlivamo v razmeroma majhen kvadrat kokile.

Najhujši problemi so:

— omejena možnost regulacije temperature v SM peči

— velike količine žilindre

— neenakomerni pogoji pri prebodu

Visoka temperatura jekla in žilindre in dolg čas zadrževanja jekla v ponovci so praktično onemogočili uporabo šamotne obzidave ponovc. Potrebno je bilo mnogo razvojnega dela, da smo rešili najhujše probleme in sicer z:

— vpeljavo drsnih zapiral

— dolomitne obzidave ponovc in

— ogrevanjem ponovc

Ostal je problem z žilindro, ki ga zaradi zastarelosti obrata in tehnologije verjetno ne bomo mogli uspešno rešiti.

Pri šaržah, ki pridejo iz elektro jeklarne navedenih težav ni ker je jeklo narejeno po dvožlindrnem postopku in ker doseganje dovolj visokih temperatur ni problematično.

3. PROBLEM MAŠENJA IZLIVKOV PRI KONTINUIRNEM VLIVANJU JEKEL Z VSEBNOSTJO ALUMINIJA OD 0.025 DO 0.050 %

Jeklo, ki vsebuje aluminij in je izdelano po nekem standardnem postopku nujno vsebuje večjo ali manjšo količino nekovinskih vključkov tipa Al_2O_3 . Med ognjestalno oblogo in talino in žlindro in talino se stalno vzpostavlja medsebojno ravnovesje tako, da lahko napravimo čisto jeklo le pri povsem določenih pogojih in to če so ponovce obzidane z dolomitno ali visokoaluminatno obzidavo in če talina ni pokrita z oksidacijsko žlindro. Pri normalnih pogojih pa je jeklo, ki je izdelano v SM peči vedno pokrito z večjo ali manjšo količino oksidacijske žlindre. V jeklu, ki je v ponovci pomirjeno z aluminijem bomo imeli poleg določene količine aluminija neko količino nekovinskih vključkov tipa Al_2O_3 neglede na to kakšna je obzidava ponovce. Pri vlivanju takšnega jekla se vključki, ki so v jeklu, ali ki nastanejo pri reakciji med v jeklu raztopljenim aluminijem in ognjestalnim materialom obzidave, če je ta šamotna, ali izlivka, izloča na stenah izlivka v ponovci kakor tudi v vmesni ponovci in le-te lahko v zelo kratkem času zamašijo, tako da se tok jekla popolnoma prekine. Mehanizem tega mašenja je že precej raziskan, zato na tem mestu ne bomo navajali podrobne razlage.

Zaradi mašenja je treba izlivke v ponovci zelo pogosto čistiti s kisikom, da vlivanje lahko sploh poteka. Če pa se zamašijo izlivki v vmesni ponovci pa je vlivanja konec.

Jasno je, da se jeklo s pogostim čiščenjem s kisikom močno onečisti. Močna je tudi reoksidacija curka, ki ga prav zaradi potrebe po rezanju ne moremo zaščititi.

Ko smo se na Jesenicah pred petimi leti pripravljali na gradnjo naprave za kontinuirno vlivanje gredic teh problemov še nismo poznali. Razvoj na področju vlivanja jekel z vsebnostjo aluminija v gredice majhnih presekov se je v teh letih šele začel. Omenjeni problemi in pa rešitve so bili javnosti prvič predstavljeni na prvi Scaninject konferenci junija 1977 na Švedskem.

Jeklarji smo bili na Jesenicah postavljeni pred težko nalogo kako zmanjšati težave z mašenjem izlivkov. Poskuse smo vršili v treh smereh

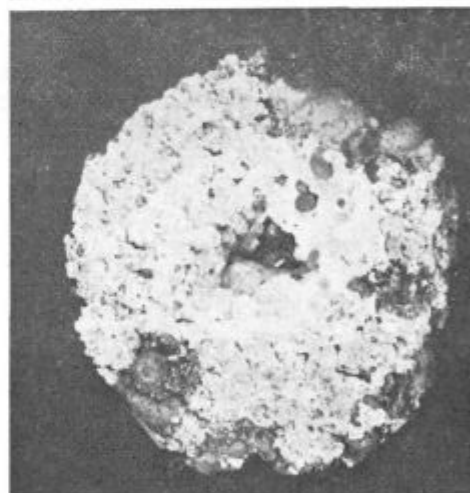
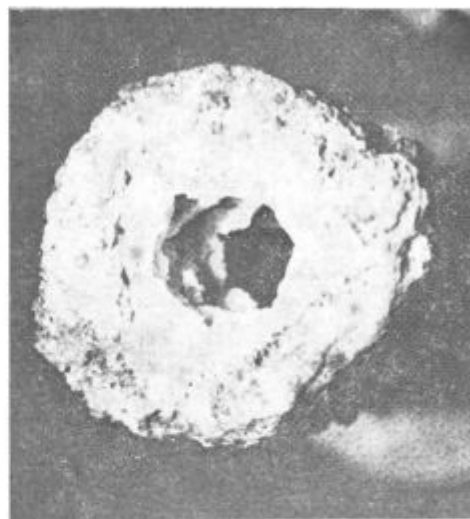
— poskusi napraviti bolj čisto jeklo odnosno spremeniti naravo nekovinskih vključkov

— poskusi uvajanja različnih materialov za izlivke drsnega zapirala

— poskusi obdelave jekla z uvajanjem CaSi v ponovci

Naj takoj povemo, da smo mašenje izlivkov v vmesni ponovci dovolj dobro rešili z uvajanjem majhnih količin argona skozi zamašne drogove.

Zgodi pa se, na srečo ne prepogosto, da je mašenje izlivkov vmesne ponovce tako močno, da ga tudi z uvajanjem argona skozi zamašni drog ne moremo preprečiti. Izlivki se povsem zapro in vlivanje se samo prekine. Primer tako zamašenega izlivka kaže slika 1.



Slika 1

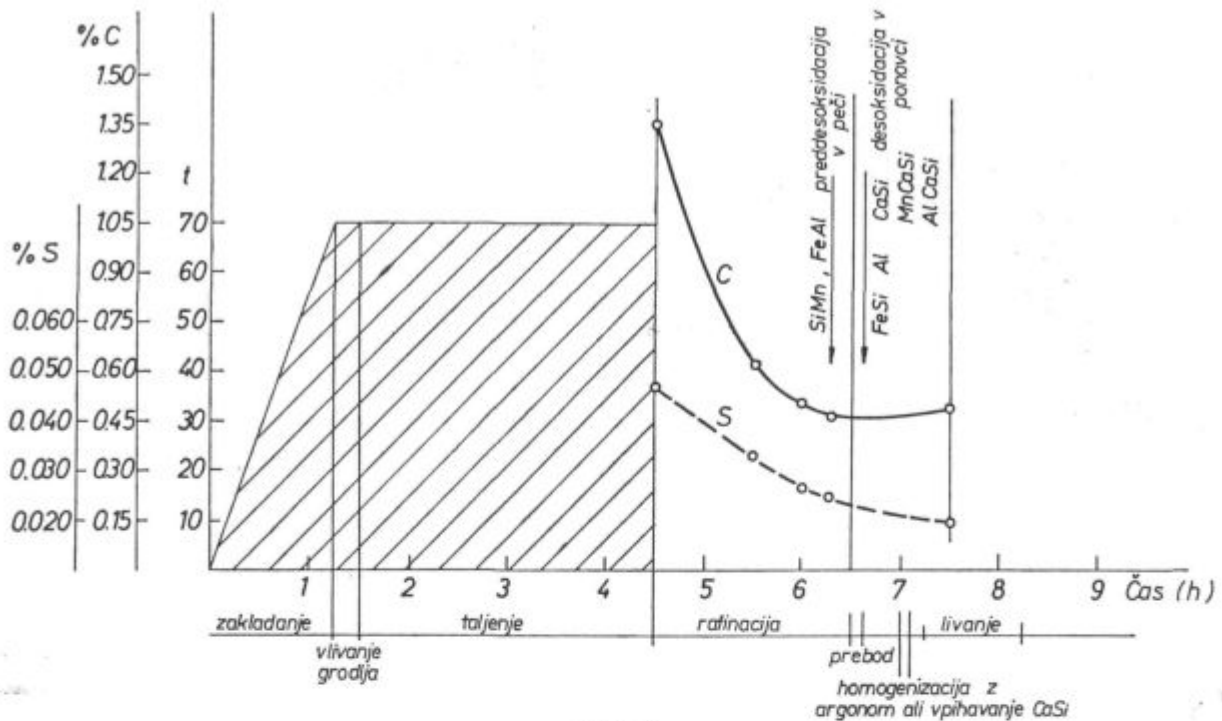
Primeri zamašenega potopljenega izlivka iz vmesne ponovce \varnothing 35 mm

Fig. 1

Examples of stuffed immersed nozzle \varnothing 35 mm in the intermediate ladle

Vzrok za to je predvsem v močni reoksidaciji curka jekla, ki teče iz ponovce. Zaradi potrebe po stalnem čiščenju izlivka v ponovci pa curka ne moremo učinkovito zaščititi.

Tako ves čas rešujemo le en problem in to mašenje v izlivkih drsnega zapirala v ponovci.



Slika 2
Shematski prikaz izdelave jekla v SM peči

Fig. 2
Flowsheet of manufacturing steel in open-hearth furnace

4. IZDELAVA JEKLA V SM PEČI

Izdelava jekla je shematsko prikazana na sliki 2, kemijska sestava obravnavanih vrst jekel pa v tabeli 1.

Tabela 1: Kemijska sestava jekel za patentirano žico v %

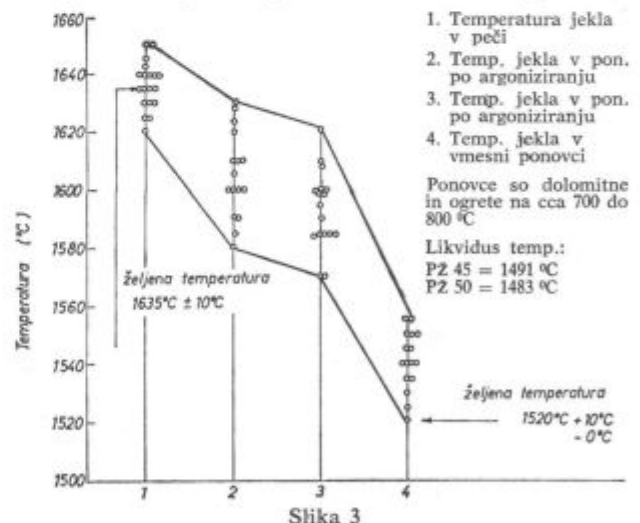
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Sn	Al
PZ 45	.45								
	.49								
PZ 50	.50								
	.54								
PZ 55	.55	.15	.55	maks.	maks.	maks.	maks.	maks.	.030
	.59	.25	.70	.035	.035	.12	.20	.020	.050
PZ 60	.60								
	.64								
PZ 65	.65								
	.69								

Kovinski vložek sestoji iz 50 % starega železa in 50 % grodlja. Takšna sestava vložka zagotavlja dovolj visok procent ogljika ob raztalitvi, ki v času žilavenja omogoča normalni dvig temperature jekla do prebodne temperature in dovolj intenzivno kuhanje taline.

Temperatura jekla v peči pred prebodom je 140 do 150° C nad likvidus temperaturo. Doseganje teh razmeramo visokih temperatur pa je možno

le v dobro delujočih pečeh in pri dovolj dolgem kuhanju taline.

Potek temperature jekla od peči do vmesne ponovce prikazuje slika 3. Značilen je visok raztros temperature jekla v ponovci in v vmesni ponovci.



Slika 3
Potek temperature jekla od peči do vmesne ponovce

Fig. 3
Variation of steel temperature from the furnace to the intermediate ladle

Preddeoksidacijo v peči smo izvajali pred uvedbo kontinuirnega vlivanja s silikomanganom, dezoksidacijo v ponovci pa s ferosilicijem in aluminijem.

Po sedANJI tehnologiji uporabljamo za predde-
zoksidacijo feroaluminij v količini ca 1 kg Al/t
jekla kot desulfurant pa še kalcij-silicij.

5. POSKUSI IZDELAVE JEKEL ZA PATENTIRANO ŽICO ZA KONTINUIRNO VLIVANJE Z UPORABO KOMPLEKSNIH DEZOKSIDANTOV

5.1. Namen in program poskusov

Namen poskusov je bil ugotoviti, če se z ukrepi
dezoksidacije da vplivati na zmanjšanje mašenja
izlivkov »šmiranja« v ponovci. Na voljo nismo
imeli veliko možnosti zato smo program skrčili na:

- dezoksidacijo jekla s kosovnim MnCaSi v
ponovci pri prebodu
- dezoksidacijo jekla s kosovnim CaSi v po-
novci pri prebodu
- dezoksidacijo jekla s kosovnim AlCaSi v
ponovci pri prebodu

Značilno za kalcij je visok parni tlak pri tem-
peraturi tekočega jekla, ki znaša pri čistem Ca
okoli 10 bar. Parni tlak Ca pada, če je ta vezan na
eno ali več kovin. Izkoristek Ca v zlitini CaSi je
slab pod 10 %, ker Ca hitro izpari in zgori v CaO,
ki ga vidimo kot gost bel dim. Izkoristek Ca je
večji v zlitini MnCaSi in AlCaSi.

5.2. Izdelava poskusnih šarž

Vse šarže smo izdelali na SM pečeh 02, 03, 06
in 07 od katerih lahko jeklo transportiramo na
kontinuirno livno napravo. Zaradi majhne proiz-
vodnje teh jekel v času poskusov in majhnih koli-
čin kompleksnih dezoksidantov število poskusnih
šarž ni bilo veliko.

V tabelah 2, 3 in 4 prikazujemo rezultate po-
skusov najprej za MnCaSi nato za CaSi in nazad-
nje za AlCaSi.

Pri vseh šaržah smo v peči preddezoksidirali
s feroaluminijem in silikomanganom. V ponovci
pa smo dezoksidirali s ferosilicijem in aluminijem.
Kompleksne desoksidante pa smo dodajali v več
porcijah ves čas dokler ni pritekla žindra. S po-
vršine taline smo skušali odstraniti čim več žlin-
dre tako, da smo jo z žilindrno banjo izrinili preko
roba.

Obzidava ponovc je dolomitna.

Pri vlivanju smo šteli kolikokrat smo morali
čistiti izlivke s kisikom, kar je navedeno tudi v
tabelah.

Poskusi so pokazali, da dajeta MnCaSi pred-
vsem pa AlCaSi nekoliko boljše rezultate v pri-
merjavi s CaSi. Predvsem lahko to trdimo za
AlCaSi, ki smo ga uporabili le polovico količine
CaSi odnosno MnCaSi. Poudariti pa moramo, da
pri nobenem od teh poskusov količina aluminija

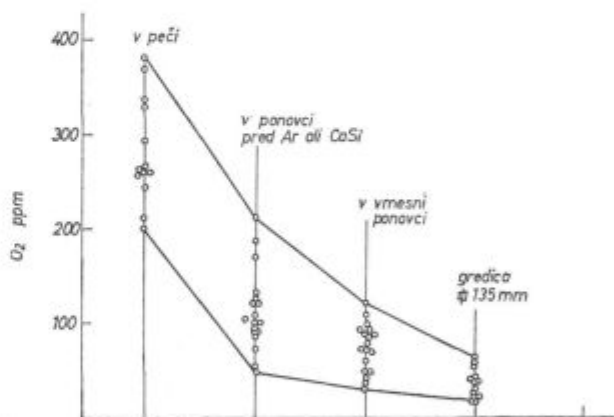
v jeklu ni bila ekstremno visoka. Iz vsakdanje
prakse namreč vemo, da količina aluminija v
jeklu dosega in presega 0.050 % in da je v takih
primerih treba čistiti izlivke s kisikom tudi 20 x
ali še več.

5.3. Preiskave izdelanih šarž

Iz tabel 2, 3 in 4 vidimo, da je število čiščenj
izlivkov v ponovci s kisikom različno. Dogodi se
tudi, da nekatere šarže kljub visoki vsebnosti alu-
minija ne »šmirajo«, izlivki se torej ne mašijo in
čiščenje s kisikom ni potrebno. Sklepamo lahko,
da je takšno jeklo, ki ne »šmira« bolj čisto od
tistega, ki »šmira«, če sta sicer podobne kemijske
sestave. Zanimalo nas je torej če se da z analizo
skupnega kisika v tekočem jeklu in v gredici in z
mikroskopskimi preiskavami čistoče ugotoviti raz-
like med različnim ponašanjem jekla pri vlivanju.

5.3.1. Gibanje skupnega kisika v jeklu

Na sliki 4 prikazujemo gibanje celokupnega ki-
sika pri jeklu PZ 45 in PZ 50 od peči do gredice.
V tabeli 5 pa podajamo primerjavo vsebnosti
skupnega kisika pri različni dezoksidaciji jekla in
sicer v ponovci pred prepihanjem z argonom, v
vmesni ponovci, v kontinuirno vlti gredici in pre-
valjani gredici 17.5 mm kv.



Slika 4
Gibanje celokupnega kisika pri jeklu PZ 45 in PZ 50 od
peči do gredice

Fig. 4
Variation of total oxygen in PZ 45 and PZ 50 steel between
the furnace and the billet

Tabela 5:

	ΣO pred Ar		ΣO vmes. pon.		ΣO gr. 135 mm kv.		ΣO gr. 17.5 mm kv.	
	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S	\bar{x}	S
MnCaSi	62	9.5	72	17.2	52	18.3	50	15.0
CaSi	92	39.4	77	19.8	52	22.4	56	23.4
AlCaSi	88	1.4	56	10.0	82	18.9	54	6.4

Tabela 2:

Št. šarže	Kval.	Preddeoksidad. v peči				Dezoksidad. v ponovci				Končna sestava				Vsebnost S		Stopnja odžvepl. v %		Temperatura °C		
		FeAl	SiMn	FeMn	MnCaS	FeSi	Al	t	Rezanje n/uro	C	Si	Mn	P	S	Al	ob rast.	pred preb.	med skup. preb.	v peči	po arg.
02 7420	PZ 55	150	250	—	200	140	45	71	2	.56	.16	.017	.022	.010	.049	.019	55	1625	1595	1535
02 7426	PZ 45	250	250	—	200	160	35	67	4	.44	.26	.025	.022	.037	.065	.026	66	1630	1609	1540
02 7429	PZ 50	250	300	—	200	140	40	67	5	.50	.20	.018	.020	.014	.070	.026	71	1625	1580	1550
03 6957	PZ 45	230	300	—	200	160	50	69	7	.44	.27	.019	.017	.032	.050	.020	66	1630	1580	1550
06 8628	PZ 45	100	300	—	200	150	80	70	7	.48	.25	.013	.025	.020	.050	.026	50	1635	1590	1540
07 8512	PZ 55	200	200	—	200	140	50	—	—	.57	.17	.009	.017	.013	.044	.020	64	1620	1586	—

Tabela 3:

Št. šarže	Kval.	Preddeoksidad. v peči				Dezoksidad. v ponovci				Končna sestava				Vsebnost S		Stopnja odžvepl. v %		Temperatura °C		
		FeAl	SiMn	FeMn	CaSi	FeSi	Al	t	Rezanje n/uro	C	Si	Mn	P	S	Al	ob rast.	pred preb.	med skup. preb.	v peči	po arg.
02 7445	PZ 70	200	250	—	200	130	40	72	4 x	.72	.30	.015	.019	.019	.063	.022	70	1630	1590	1540
02 7467	PZ 45	150	—	—	150	130	60	59	6 x	.44	.29	.016	.016	.022	.038	.020	58	1635	1580	1505
02 7498	PZ 45	250	250	—	200	100	60	66	12 x	.46	.23	.013	.021	.021	.075	.024	72	1620	1590	1545
06 8690	PZ 45	250	200	—	200	100	50	79	5 x	.43	.35	.022	.018	.037	.055	.025	67	1625	1585	1530
07 8618	PZ 40	—	250	300	200	150	90	78	6 x	.43	.24	.027	.024	.024	.066	.035	64	1640	1610	1560
07 8640	PZ 50	200	300	—	200	150	70	76	8 x	.52	.30	.017	.020	.027	.055	.025	64	1640	1595	1515
03 7356	PZ 65	200	250	200aff	200	70	80	67	7 x	.67	.24	.021	.022	.027	.042	.022	48	1640	1590	1515
03 7386	PZ 60	200	200	200	170	60	80	67	6 x	.62	.14	.012	.018	.023	.077	.021	75	1620	—	1480
03 7418	PZ 55	200	200	200	180	70	75	76	0 x	.58	.13	.009	.022	.009	.064	.030	65	1630	1590	1535
07 8932	PZ 45	200	300	50	200	70	80	81	5 x	.45	.18	.016	.018	.020	.052	.022	65	1620	1600	1560
07 8970	PZ 70	200	200	250	200	70	80	78	7 x	.70	.23	.009	.019	.026	.052	.024	64	1620	1575	1520

Tabela 4:

Št. šarže	Kval.	Preddeoksidad. v peči				Dezoksidad. v ponovci				Končna sestava				Vsebnost S		Stopnja odžvepl. v %		Temperatura °C		
		FeAl	SiMn	FeMn	CaSi	FeSi	Al	t	Rezanje n/uro	C	Si	Mn	P	S	Al	ob rast.	pred preb.	med skup. preb.	v peči	po arg.
02 7886	C 1531	200	300	—	100	200	60	72	4 x	.47	.19	.016	.026	.023	.051	.024	49	1635	1595	1515
02 7901	C 1430	200	300	—	100	180	70	69	4 x	.37	.26	.018	.019	.043	.077	.026	75	1630	1600	1530
03 7459	PZ 45	200	200	—	100	180	60	66	4 x	.47	.22	.024	.023	.030	.053	.028	57	1620	1605	1510

poprečno 4 x
x̄ = 62.5 %

Nihanja v vsebnosti celokupnega kisika so zelo velika kar se kaže iz velikosti standardnega odklona. Vendar pa primerjava vrednosti za posamezne šarže s potrebnim številom čiščenj s kisikom ne kaže nabene prave odvisnosti.

5.3.2. Vpliv aktivnega kisika v jeklu na intenzivnost mašenja izlivkov

Meritve aktivnega kisika smo vršili istočasno z jemanjem vzorcev za celokupni kisik, to je v ponovci pred homogenizacijo z argonom in v vmesni ponovci. Število meritev je bilo močno omejeno zaradi pomanjkanja merilnih sond. Za meritve uporabljamo sonde tipa FOX (Cr/Cr₂O₃).

Rezultate navajamo v tabeli 6 le za dezoksidacijo z MnCaSi, kjer so rezultati popolni.

Tabela 6:

	C	Si	Mn	P	S	Al	O _a v (ppm)		
							pred Ar	vmes. pon.	rez. n/uro
02 7420	.56	.16	.60	.017	.022	.010	7.9	15.3	2
02 7426	.44	.26	.75	.025	.022	.037	13.4	4.6	4
02 7429	.50	.20	.73	.018	.020	.014	—	8.7	5
03 6957	.44	.77	.65	.019	.017	.032	10.9	3.6	7
06 8628	.48	.25	.74	.013	.025	.020	2.4	3.5	7
07 8512	.57	.17	.59	.009	.017	.013	4.6	9.0	5

Meritve potrjujejo le, da je vsebnost aktivnega kisika odvisna od stopnje dezoksidacije.

Sicer pa je tekočnost jekla v obratni odvisnosti od stopnje dezoksidacije.

Vsi dosedanja rezultati in vsakdanja praksa kažejo le, da je neposredna zveza med vsebnostjo aluminija v jeklu in nagnjenostjo k mašenju izlivkov.

5.3.3. Preiskave mikročistoče in narave nekovinskih vključkov

Kontrola mikročistoče po načinu JK spada med redne preiskave jekel za patentirano žico, ki jo določamo na polproduktu, to je 17.5 mm kv.

V tabeli 7 podajamo pregled mikročistoče po JK za preizkane šarže. Pri tem vrednost pod A predstavlja velikost in število sulfidnih nekovinskih vključkov, vrednost pod D pa aluminatnih nekovinskih vključkov.

Primerjava s tabelami 2, 3 in 4 kaže, da obstoji zveza med skupno čistočo in še posebno med številom aluminatnih nekovinskih vključkov in številom potrebnih čiščenj izlivkov s kisikom. Seveda moramo upoštevati, da je tudi število čiščenj s kisikom relativno število, saj je odvisno od subjektivne ocene delavca, ki to delo izvaja.

Tabela 7:

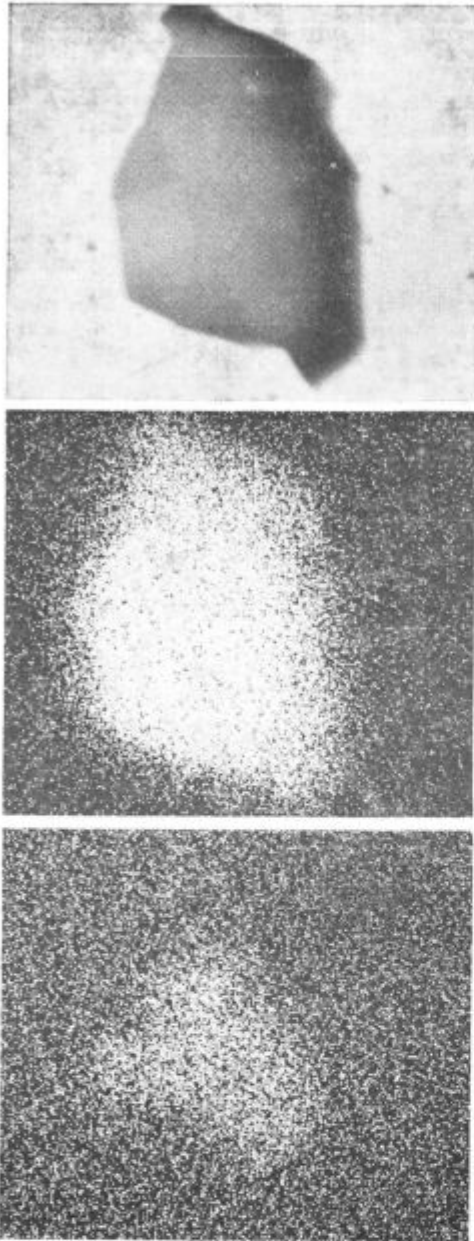
Št. šarže	A	B	C	D	Vsota
MnCaSi					
02 7420	1.96	0.24	0.00	1.74	3.94
02 7426	2.30	0.06	0.10	1.72	4.18
02 7429	2.16	0.06	0.00	1.58	3.80
03 6957	2.22	0.04	0.00	1.70	3.96
06 8628	2.58	0.00	0.00	1.68	4.26
	$\bar{x} = 2.24$			$\bar{x} = 1.68$	$\bar{x} = 4.03$
	S = 0.20			S = 0.05	S = 0.17
CaSi (kosi)					
02 7445	2.16	0.10	0.00	1.32	3.58
02 7467	2.12	0.12	0.00	1.78	4.02
02 7498	2.02	0.24	0.40	1.60	4.26
07 8640	2.28	0.03	0.00	1.78	4.09
03 7356	1.88	0.00	0.00	1.55	3.43
03 7386	2.36	0.38	0.00	1.34	4.08
03 7418	2.52	0.30	0.00	1.32	4.14
07 8932	2.42	0.00	0.04	1.38	3.84
07 8970	2.00	0.02	0.00	1.64	3.66
	$\bar{x} = 2.19$			$\bar{x} = 1.52$	$\bar{x} = 3.90$
	S = 0.20			S = 0.18	S = 0.27
AlCaSi					
02 7886	2.50	0.26	0.00	1.50	4.26
02 7901	2.84	0.00	0.00	1.32	4.16
03 7459	2.56	0.04	0.00	1.48	4.08
	$\bar{x} = 2.63$			$\bar{x} = 1.43$	$\bar{x} = 4.16$

Raziskave številnih avtorjev, ki so raziskovali mehanizem zapiranja izlivkov npr. S. K. Saxena s sodelavci,¹ so pokazale, da je predvsem potrebno v osnovi spremeniti morfologijo oksidnih nekovinskih vključkov — aluminatov v kalcijeve aluminatate, ki so v nasprotju z aluminati pri temperaturi vlivanja jekla tekoči, da se izognemo mašenju izlivkov. Preiskave nekovinskih vključkov z elektronsko mikroanalizo so pokazale, da se z uporabo CaSi in drugih kompleksnih kalcijevih zlitin tudi v veliki količini do 0.6 kg Ca/t v kosovni obliki pri preobodu ne da spremeniti morfologije aluminatnih nekovinskih vključkov v taki meri, da bi to bistveno vplivalo na livne lastnosti.

Da pa tudi pri uporabi CaSi in drugih kompleksnih Ca zlitin pride do spremembe narave nekovinskih vključkov v Ca aluminatate kažejo slike 5.

6. POSKUSI Z UPORABO IZLIVKOV RAZLIČNIH KVALITET S CILJEM DOSEČI ZMANJSANJE MAŠENJA LE-TEH V DRSNEM ZAPIRALU

Vrsta materiala iz katerega je narejen izlivek vpliva na pojav mašenja izlivkov. Ti problemi so



ES
Al
Ca

Slika 5

Modificiran nekovinski vključek po obdelavi jekla s kompleksnimi Ca zlitinami

Fig. 5

Modified non-metallic inclusion after treating steel with complex Ca alloys

poznani že od klasičnega vliivanja. Vpliv izlivka je dvojen in sicer vpliva na eni strani materiala npr. SiO_2 v izlivku reagira z aluminijem v jeklu, na drugi strani pa vpliva izlivek s svojo toplotno

prevodnostjo. Čim bolj odvaja toploto bolj se mašijo izlivki.

Ves ognjestalni material za izlivke v drsnih zapiranih je od firme Didier. Uporabljamo različne vrste izlivkov z različno vsebnostjo Al_2O_3 in različno vzdržnostjo. Na izbiro tipa izlivka vpliva predvsem vrsta jekla, ker so jekla z različno kemično sestavo različno erozivna.

Normalno uporabljamo naslednje vrste izlivkov:

	PZ 12—PZ 30		% Al_2O_3		PZ 30—PZ 70		% Al_2O_3
notranji izlivek	Sanit 065/4 051/1	ali	90	Ø	Sanit K 340	Ø	45
zunanji izlivek	Sanit 051/1		80	Ø	Sanit K 340	Ø	45

	notranji izlivek	Al_2O_3	Ø	zunanji izlivek	Ø	% Al_2O_3
1. Sanit K 340 TSV	45—48	50	40	Sanit 051/1	40	
2. Grasanit C 6 — 360	56—58	50	45	Fermal 320	45	37—40
3. Rexal 153 DSV	92 MgO	50	40	Fermal 320	40	
4. Sanit 065/4	90	60	40	Fermal 320	40	

ZrO vložkom

Skupno s firmo Didier smo z namenom zmanjšati mašenje izlivkov preizkusili še naslednje vrste izlivkov:

Sanit K 340 TSV, ki je prepojen s terom je pri prvem vliivanju popolnoma preprečil mašenje. Toda že pri drugem vliivanju, ko je ogljik v izlivku izgorel smo morali ponovno čistiti s kisikom.

Izlivki tipa Grasanit in Rexal niso dali boljših rezultatov.

Najboljši rezultat smo dobili z izlivki Sanit 065/4 s cirkonoksidnim vložkom. Kasnejše preskave so pokazale, da je bil dober rezultat bolj posledica čistejšega jekla (skupni kisik pod 50 ppm) in manjše vsebnosti aluminija. Vzdržnost teh izlivkov pa je bila zelo dobra od 8 do 16 livanj odvisno od potrebe po čiščenju s kisikom.

Poskusi z različnimi vrstami izlivkov so pokazali, da pri naših razmerah z izbiro izlivkov ne moremo preprečiti mašenja izlivkov. Pri vseh izlivkih ne glede na vsebnost Al_2O_3 odnosno SiO_2 smo lahko opazovali močno mašenje če je v jeklu več kot 0.020 % Al.

7. POSKUSI OBDELAVE JEKLA Z UVAJANJEM CaSi V PONOVCU

Niti z različnimi načini dezoksidacije niti z uporabo različnih vrst izlivkov nismo uspeli preprečiti mašenja izlivkov. Posamezni primeri, ko teče jeklo iz ponovce kljub normalni vsebnosti aluminija neovirano (brez šmiranja) so plod slučajnosti in zelo majhnega odgora aluminija, ki ima za posledico čisto jeklo.

Ker pa normalna proizvodnja ne more temeljiti na slučajnostih smo se odločili za poskuse obdelave jekla s prašnatim CaSi v ponovci. Metalurški inštitut iz Ljubljane je namreč dobil napravo firme Paulus s katero smo napravili opisane poskuse.

Z vpihovanjem CaSi globoko v jeklo (ca 2 m) dosežemo visok izkoristek kalcija, visoko stopnjo odžveplanja in spremembo morfologije nekovinskih vključkov.

Pri naših poskusih smo vpihovali od 1 do 2.5 kg CaSi na tono jekla, dočim znaša dodatek kosovnega CaSi pri normalnem delu 3 kg/t. Pri vseh poskusih smo dosegli odlično livnost brez potrebe po čiščenju izlivka s kisikom. To pa pomeni, da je možno uvesti zaščito curka jekla s keramičnimi izlivki in preprečiti reoksidacijo jekla pri iztoku iz iz glavne ponovce v vmesno ponovco.

Podatki o poskusih so zbrani v tabeli 8. Odlična livnost pri teh poskusnih šaržah je posledica spremembe sestave aluminatnih nekovinskih vključkov. Al_2O_3 daje s CaO pri zadostni količini kalcija v jeklu tekoče kalcijeve aluminatne, ki lažje kaogulirajo ter izplavajo v žilindrno in ne mašijo izlivkov. Merilo za to je vsebnost kalcija v jeklu.

Odvisnost tekočnosti jekla od vsebnosti kalcija po znanem Hiltyjevem diagramu² prikazuje slika 6. Šrafirano področje z vsebnostjo Ca od 40 do 60 ppm predstavlja naše poskusne šarže.

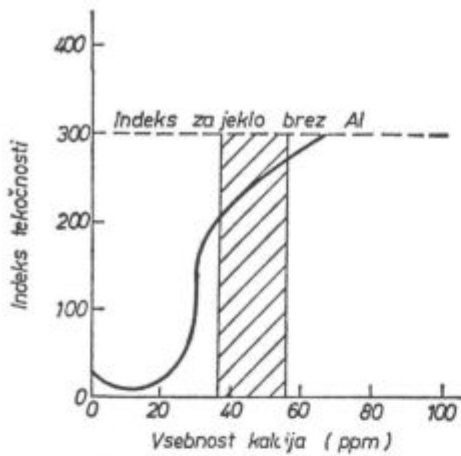
CaSi smo vpihali pod oksidno žilindro, ki smo jo delno odstranili in zatrdili tako, da smo zmanjšali njeno aktivnost. Redukcija fosforja in mangana je pri teh višje ogljičnih jeklih neznatna in ne vpliva bistveno na kemično sestavo jekla.

Odlični rezultati glede livnih lastnosti, ki smo jih dobili z obdelavo jekla s CaSi so dali pobudo za postavitev industrijske naprave, ki je sedaj v gradnji.

Tabela 8:

Št. šarže	Kval.	Preddesoksid. v peči				Dezoksidac. v ponovci				Končna sestava				Vsebnost S		Stopnja odžvep. pred v % skup. v pon.		Temperatura po vmes. pih. CaSi		ponov. A		
		FeAl	SiMn	FeMn	CaSi	CaSi	FeSi	Al	Pihan CaSi	t	C	Si	Mn	P	S	Al	ob rast.	pred. pih.	v peči		1630	1530
02 7508	PZ 45	200	300	200	—	100	50	60	65	.47	.22	.58	.012	.018	.022	.052	.022	65	18	1630	—	1530
02 7547	KV 35	200	200	50	—	180	60	90	70	.35	.30	.69	.021	.021	.023	.067	.021	69	—	1640	1588	1550
02 2560	C 1530	200	—	—	40	160	25	60	61	.48	.21	.83	.028	.027	.011	.060	.029	55	7	1635	1585	1535
06 8775	PZ 65	250	—	180	140	100	65	90	72	.61	.26	.70	.022	.013	.017	.047	.026	72	50	1640	1598	1540
06 8778	PZ 45	250	—	80	—	170	75	140	72	.49	.26	.76	.028	.017	.022	.078	.028	78	40	1645	1600	1570
06 8781	PZ 45	200	—	80	—	180	80	70	77	.47	.26	.65	.022	.022	.029	.072	.034	69	35	1635	1568	1530
03 7589	PZ 55	200	150	30	180	60	70	70	64	.52	.26	.57	.009	.022	.030	.082	.029	74	24	1635	1590	1540
02 8042	PZ 60	200	250	50	100	80	80	80	64	.63	.19	.71	.017	.010	.041	.032	.015	69	33	1640	1580	1530
10 0476	C 1431	150	200	—	—	50	30	145	58	.41	.48	.77	.024	.012	.018	.060	.028	80	57	1685	1590	1540

$\bar{x} = 70.6 \%$



Slika 6

Vpliv Ca v jeklu na tekočnost po Hilfy-ju; šrafirano področje predstavlja vrednosti naših poskusov

Fig. 6

Influence of Ca in steel in the fluidity by Hilfy; shadowed area represents values of own experiments

7.1. Preiskave mikročistoče in narave nekovinskih vključkov

Pregled mikročistoče šarž, ki so bile obdelane s CaSi v ponovci, podajamo v tabeli 9.

Primerjava s tabelo 7 kaže, da je pri teh jeklih predvsem manj sulfidov kar se sklada z nižjo vsebnostjo žvepla pri teh šaržah.

Nekovinski vključki so delno modificirani. Pri višji vsebnosti žvepla še vedno najdemo razpotegnjene manganove sulfide, kot je prikazano na primeru šarže 06 7547 z 0.021 % S na sliki 7.

Popolno modifikacijo sulfidov nekovinskih vključkov dosežemo šele pri zelo majhni vsebnosti žvepla pod 0.007 %. Pri tako nizkem žveplu v jeklu razpotegnjenih manganovih sulfidov v žici ni več opaziti. Kolikor še ostane žvepla se nahaja kot ovoj kalcijevega sulfida kakor je razvidno iz slike 8.

Tabela 9:

St. šarže	Končna sestava v %						Vsebnost kisika (ppm)					
	C	Si	Mn	P	S	Al	pred Ar	v vmesni ponvi		gredica		
							O	O _a	O	O _a	135 kv.	17.5 kv.
CaSi (vpihan)												
02 7508	.47	.22	.58	.012	.018	.022	90	—	55	—	54	50
02 7560	.35	.30	.69	.021	.021	.023	71	5.79	42	5.18	64	71
02 6560	.48	.21	.83	.028	.027	.011	85	7.6	70	16.9	53	68
06 8775	.61	.26	.70	.022	.013	.017	70	—	37	—	46	29
06 8778	.49	.26	.76	.028	.017	.022	109	36.1	62	10.9	31	54
06 8781	.47	.26	.65	.022	.022	.029	125	18.2	88	4.46	60	41
03 7589	.52	.26	.57	.009	.022	.030	124	—	115	—	—	—
02 8042	.63	.19	.71	.017	.010	.041	141	—	69	—	—	—
10 0476	.41	.48	.77	.024	.012	.018	53	—	43	—	—	—

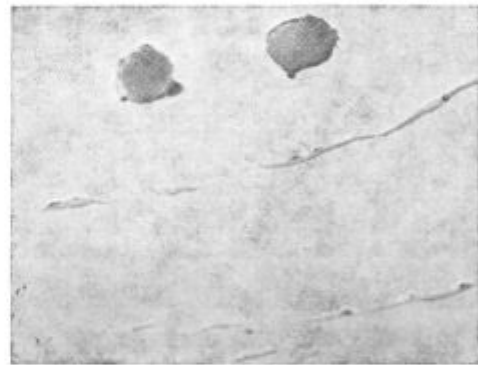
Pri naših poskusih pa to ni bil naš cilj, ker razpotegnjeni vključki MnS v žici za patentiranje niso škodljivi. Zato žvepla pod 0.012 % niso potrebna.

Naš cilj — dobro livnost pa smo s tem dosegli.

8. OCENA OPISANIH POSKUSOV IN DOSEDANJE IZKUŠNJE KONTINUIRANEGA VLIVANJA JEKEL ZA PATENTIRANO ŽICO Z VIŠJO VSEBNOSTJO ALUMINIJA

Iz opisanih poskusov in dosedanjih dvoletnih izkušenj pri vlivanju jekel za patentirano žico lahko napravimo naslednje zaključke:

Izdelava z aluminijem pomirjenih jekel v SM pečeh za kontinuirno vlivanje gredic majhnih presekov ni ugodna. Tehnološka ovira je predvsem velika količina žlindre, ki ostane na jeklu.

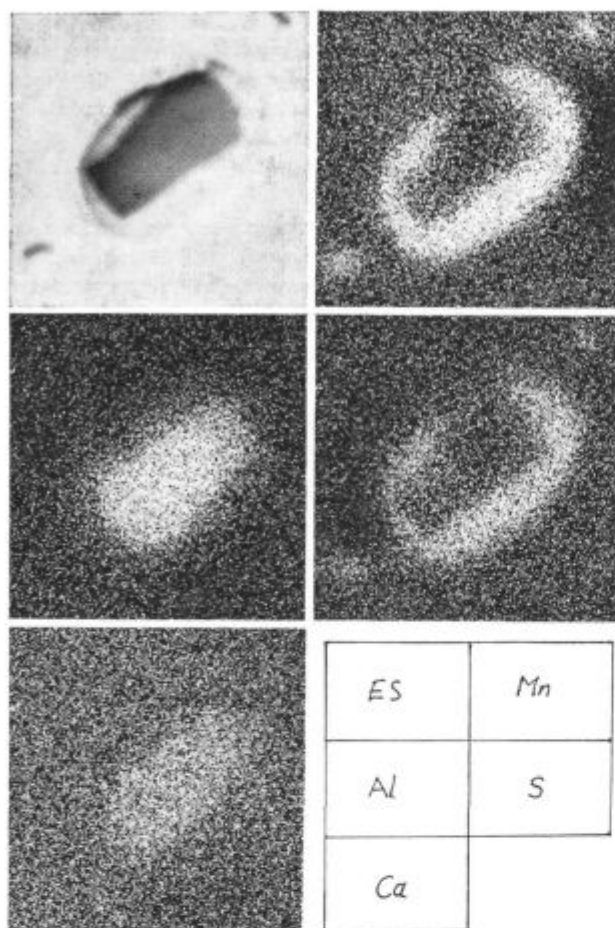


Slika 7

Primer modificiranega vključka in razpotegnjenega manganovega sulfida po obdelavi s CaSi pri širši 06 7547, S = 0,021 %

Fig. 7

Example of modified inclusion and stretched manganese sulphide after treatment with CaSi in the 06 7547 melt, S = 0.021 %



Slika 8

Primer modificiranega vključka po vpihovanju CaSi pri šarži 06 8775 — PZ 6 T

Fig. 8

Example of modified inclusion after blowing CaSi into 06 8775 — PZ 65 melt

Z uporabo CaSi, MnCaSi in AlCaSi v kosovni obliki pri desoksidaciji v ponovci tudi v velikih količinah do 4 kg/t oziroma do 1.2 kg Ca/t ni mogoče doseči tolikšne spremembe narave nekovinskih vključkov v Ca aluminat, da bi se bistveno izboljšala livnost jekla. Izkoristek Ca je tako slab, da ga v jeklu nismo zasledili.

Livnost lahko izboljšamo le če jeklo, ki je pomirjeno z aluminijem (min. 0.020 % Al) obdelamo s CaSi v ponovci. Za doseganje dobre livnosti zadošča že 1 kg CaSi/t pri čemer zasledimo od 40 do 60 ppm Ca v jeklu (glej sliko 6). Navedeno velja za jekla z 0.40 % C navzgor, če smo odstranili večji del žlindre, ostanek pa zatrdil.

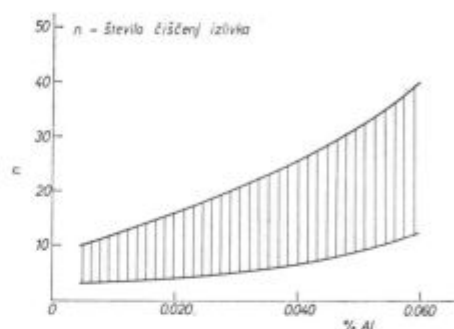
Pri maloogljičnih jeklih pa je potrebna popolna odstranitev oksidne žlindre, če ne pride do nekontrolirane redukcije P in Mn iz žlindre.

Jeklo je lahko dobro livno, če je dovolj čisto. Celokupni kisik mora biti pod 50 ppm. Izdelava čistega jekla pa je doslej bolj plod slučajnosti. Oksidna žindra, homogenizacija jekla v ponovci

z argonom skozi kopje od zgoraj povzroča večji odgor aluminija in onečiščenje jekla. Če je odgor aluminija manjši od 60 % so dane možnosti, da bo jeklo dovolj čisto.

Pri maloogljičnih jeklih (PZ 12, Č 1220) je odgor aluminija od 70 do 80 %. Če pa so dani pogoji, da se jeklo očisti aluminatnih vključkov, skupni kisik je pod 50 ppm, tudi dosežemo dobro livnost.

Največji vpliv na livnost oziroma na mašenje izljev ima vsebnost aluminija v jeklu. Le to lahko poenostavljeno prikažemo na način kakor ga kaže slika 9.



Slika 9

Medsebojna odvisnost med vsebnostjo aluminija in številom čiščenj izliva s kisikom

Fig. 9

Mutual relationship between the aluminium content and the number of nozzle openings by oxygen

Mašenje potopljenih izljev v vmesni ponovci

Za mašenje potopljenih izljev v vmesni ponovci veljajo enaki zakoni kakor za glavno ponovco. Z uvajanjem argona skozi zamašne drogove direktno v curek jekla pa to mašenje dovolj dobro preprečujemo. Zgodi pa se, da je mašenje izljev v vmesni ponovci tako močno, da ga s samim argonom ne moremo preprečiti. Razlog za ta pojav je verjetno v premočni sekundarni oksidaciji curka jekla ko teče nezaščiten iz glavne v vmesno ponovco.

9. PREIZKAVE HOMOGENOSTI JEKLA

9.1. Makroskopske preiskave

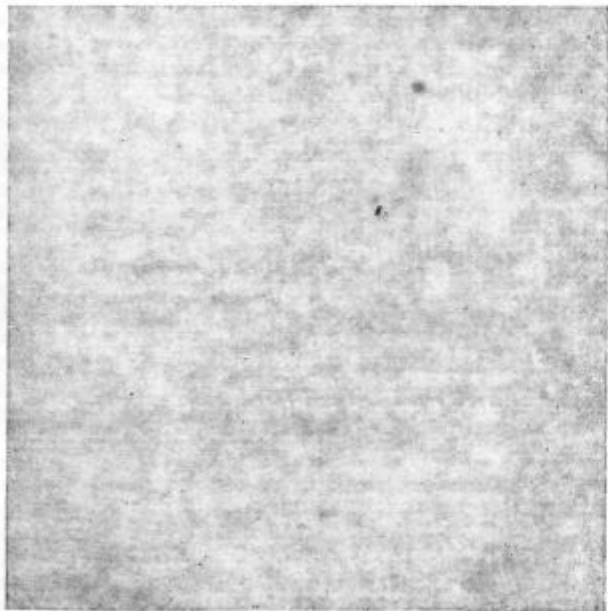
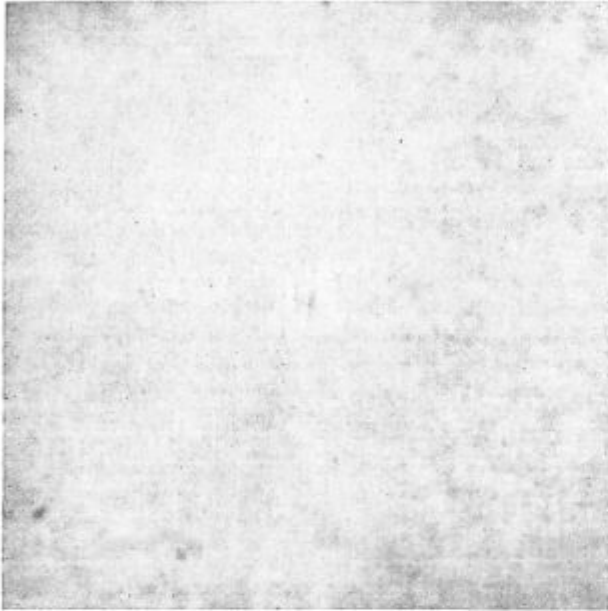
Notranja homogenost jekla, ki je definirana z velikostjo lunke s centralno poroznostjo, razpokami, vključki žlindre in livnega praška je pomembna za kvaliteto odlitih gredic za sposobnost nadaljne predelave in za lastnosti jekla.

Notranjo homogenost kontroliramo z Baumanovim odtisom in z makrojedkanjem. Omenjene preiskave delamo na skobelnem ali tudi na brusnem odrezku gredice.

Za redno kontrolo delamo le Baumanov odtis na žveplo, ki dovolj nazorno pokaže porazdelitev in količino sulfidnih vključkov in druge napake kot so mehurčki, lunke, razpoke in podobno.

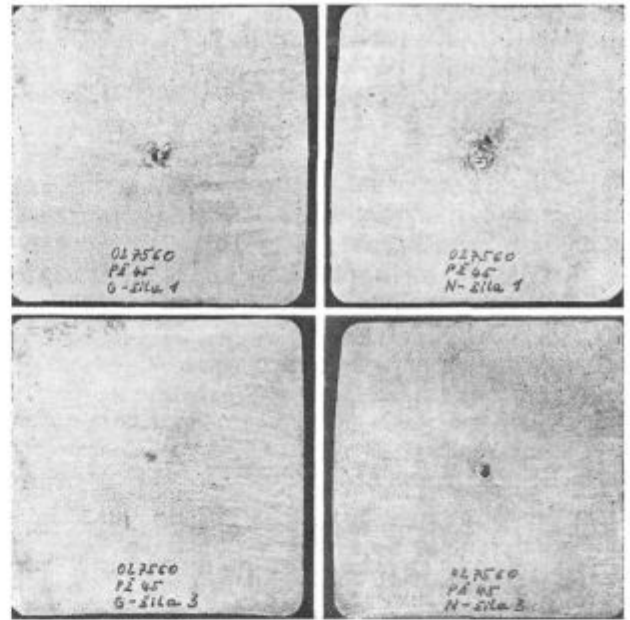
Za odkrivanje notranjih napak predvsem homogenosti oziroma poroznosti, razpok vključkov žlindre ali livnega praška in makrostrukture pa je najboljše makro jedkanje.

Na sliki 10 prikazujemo dva Baumanova odtisa dveh vrst jekel in sicer PZ 50 z 0.025 % S in VAC 60 za varjenje pod CO₂ z 0.012 % S, na sliki 11 pa tipičen primerek makrojedkanih plošč nekega jekla za patentirano žico.



Slika 10
Baumanov odtis dveh vrst jekel
zgoraj: S = 0,012 %
spodaj: S = 0,025 %

Fig. 10
Baumann print of two steel
Above: S = 0.012 %
Below: S = 0.025 %



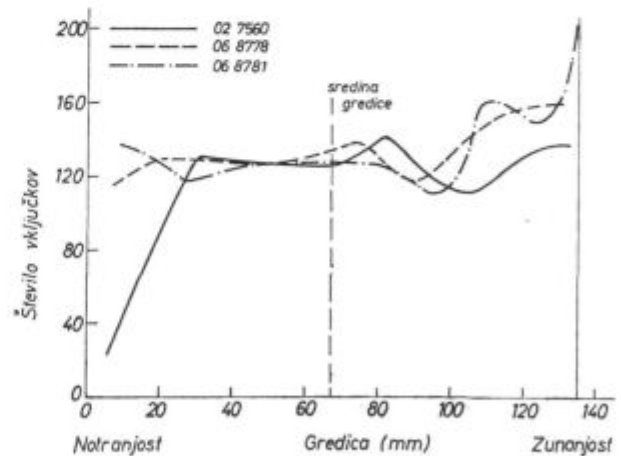
Slika 11
Primer makrojedkanih vzorcev

Fig. 11
Example of macroetched samples

9.2. Preiskave porazdelitve nekovinskih vključkov po preseku gredice

Za kvaliteto kontinuirno vlite gredice je zelo pomembna porazdelitev nekovinskih vključkov po preseku od notranjega radiusa k zunanemu.

Na sliki 12 je predstavljena porazdelitev nekovinskih vključkov po preseku za štiri šarže in sicer za jeklo, ki smo ga v ponovci obdelali s CaSi.



Slika 12
Porazdelitev nekovinskih vključkov po preseku gredice

Fig. 12
Distribution of non-metallic inclusions in the billet cross-section

ZAKLJUČKI

Iz doseganjih dvoletnih izkušenj vlivanja z aluminijem pomirjenih jekel lahko napravimo naslednje zaključke:

SM peč ni najbolj primeren agregat za izdelavo jekel z vsebnostjo aluminija od 0.020 do 0.050 % za kontinuirno vlivanje gredic majhnih presekov predvsem zaradi problema mašenja izlivkov tako v glavni kot v vmesni ponovci ter zaradi potrebnih višjih temperatur, ki jih le s težavo dosegamo.

Izdelava s Si in Mn pomirjenih jekel za odprto vlivanje kakor tudi vlivanje samo ne predstavlja posebnih težav z izjemo visokih temperatur v peči, ki morajo biti v mejah od 1660 do 1670° C.

Če izdelamo jeklo v električnih obločnih pečeh po dvožlindrnem postopku potem mašenja izlivkov praktično ni. Tudi doseganje visokih prebodnih temperatur ne predstavlja nobenih težav.

Z uporabo kompleksnih kalcijevih zlitin pri prebodu ni mogoče bistveno izboljšati livnosti jekla.

Mašenje izlivkov je v največji meri odvisno od vsebnosti aluminija v jeklu in od izkoristka aluminija pri dezoksidaciji.

Livnost lahko učinkovito izboljšamo le z obdelavo jekla s CaSi v ponovci vendar je treba pri tem odstraniti večji del žlindre in ostanek zatrditi.

Homogenizacija taline v ponovci s prepričanjem jekla skozi kopje od zgoraj ni dobra, ker vpliv mešanja ne sega do dna in ker pride zaradi močnega mešanja žlindre in taline do oksidacije taline z žlindro.

Kvaliteta jekla je kljub temu, da curka jekla iz ponovce do vmesne ponovce ne moremo zaščititi v poprečju dobra, tako v pogledu skupnega kisika, mikro in makročistoče in plastičnih lastnosti pri vročem valjanju in hladnem vlečenju.

Prepričani smo, da bo obdelava jekla s CaSi v ponovci z napravo, ki je v gradnji izboljšala livnost do take mere, da bo mogoče zaščititi curka jekla iz ponovce in tako izboljšati čistočo in homogenost jekla.

Literatura

1. S. K. — Saxena in sodelavci. Scandinavian Journal of Metallurg 7 (1978) 126—133.
2. D. C. Hilty: ISIJ/ASM international symposium on the inference of Metallurgy on Machinability, Tokyo, 26. sept. 1977.

ZUSAMMENFASSUNG

Im Hüttenwerk Jesenice wird etwa 30 % der Gesamtstahlproduktion in Knüppel und weiter zu Draht und Stabstahl verarbeitet. Unter diesen Erzeugnissen sind an erster Stelle die Stähle für patentierte Drähte mit einem Aluminiumgehalt von 0.025 bis 0.050 % und Stähle für das Schweißen unter CO₂ Schutzgasatmosphäre. Der grösste Teil der Schmelzen wird deswegen nach dem geschlossenen System mit Tauchröhren vergossen.

Das grösste Problem beim Giessen dieser Stahlsorten stellt das Zuschmieren der Ausgüsse in der Pflanze wie auch in der Zwischenpfanne dar.

Die unmittelbare Ursache für das Zuschmieren der Ausgüsse ist das Ansetzen der Aluminiumoxydanschlässe an den Wänden der Ausgüsse, was im äussersten Fall bis zu einer vollkommenen Verstopfung des Ausgusses führt.

Die durchgeführten Untersuchungen hatten das Ziel die Möglichkeit einer Beeinflussung der Reinheit des Stahles, der Zusammensetzung, der nichtmetallischen Einschlässe und der Vergiessbarkeit zu untersuchen.

Die bisherigen zweijährigen Erfahrungen beim Giessen aluminiumhaltiger Stähle mit einem Aluminiumgehalt von 0.020 bis 0.050 % in Knüppel 135 mm 4 kt und die durchgeführten Untersuchungen zeigen folgendes:

— der SM Ofen ist für die Erzeugung von Stählen für das Stangiessen von Knüppeln nicht am besten geeignet, vor allem wegen der nötigen hohen Abstichtemperaturen. Die spezifische Erzeugungsart und die grossen Mengen oxydischer Schlacke machen die Erzeugung genügend

reinen Stahles für ein einwandfreies geschlossenes Giessen nicht möglich.

— durch die Desoxydation mit komplexen Calciumlegierungen beim Abstich ist es nicht möglich die Giessbarkeit erheblich zu verbessern.

— die Anwendung der Ausgüsse verschiedener chemischer Zusammensetzung hat keinen erheblichen Einfluss auf die Vergiessbarkeit.

— das Zuschmieren der Ausgüsse ist im grössten Umfang von Aluminiumgehalt im Stahl und vom Aluminiumausbringen bei der Desoxydation abhängig.

— die Vergiessbarkeit des Stahles kann nur durch die Calciumbehandlung des Stahles in der Pflanze wirkungsvoll verbessert werden. Es ist jedoch nötig den grössten Teil der Schlacke zu entfernen und den Rest abzusteifen.

— die Homogenisierung der Schmelze in der Pflanze mit Argon durch eine Lanze von oben ist nicht gut, da der Mischeffekt nicht bis zum Boden reicht und durch die Reaktion zwischen Schlacke und Stahl der Stahl zu stark oxydiert wird.

— die Stahlqualität ist hinsichtlich des mikroskopischen und makroskopischen Reinheitsgrades im Durchschnitt gut.

— durch die Einführung der Calciumbehandlung von Stahlschmelzen nach dem Ausbau der im Bau befindlichen Anlage und der Giessstrahlabschirmung von der Pflanze zum Verteiler, werden Bedingungen geschaffen, die Reinheit des Stahles zu verbessern.

SUMMARY

About 30 % of total steel production in Jesenice Ironworks is processed into billets. Among those steels the most important is the steel for patented wire with 0.025 to 0.050 % aluminium and the steel for CO₂ welding. Most steel is cast in closed system with an immersed nozzle.

The most serious problem in casting these steels is stuffing of the nozzles in the ladle, i. e. in the pouring and the intermediate ladle.

The nozzles are stuffed due to the precipitation of aluminium oxide on the nozzle walls which finally can cause the complete stopping of casting.

The investigations were made to find the influence and the importance of various deoxidation methods in achieving better purity of steel, and how the changed composition of non-metallic inclusions can reduce the stuffing effect.

Experiences in continuous casting of steel with 0.020 to 0.050 % aluminium into 135 mm square billets and the investigations in the last two years show:

— open-heart furnace is not a very suitable set-up for manufacturing steel for continuous casting, mainly due problems in obtaining sufficient high tapping temperatures of steel. Specific way of manufacturing and great

amounts of oxide slag do not allow to obtain sufficiently pure steel for the closed system of casting.

— Application of complex calcium alloys during the tapping does not essentially improve the castability of steel.

— Stuffing of nozzles mainly depends on the aluminium content in steel and on the aluminium yield in the deoxidation process.

— Steel castability can be effectively improved only by treating the steel with CaSi in the ladle, but previously the greater amount of slag must be removed and the rest solidified.

Melt homogenizing in the ladle by the lance top blowing is not efficient since the stirring effect does not reach the bottom, and intensive stirring of melt and slag causes oxidation of melt by the present slag.

Steel quality with the respect to the homogeneity of macro- and micro-purity is generally good.

Introduction of the steel treatment with CaSi in the ladle in the set-up which is built and by bottom blowing and jet protection between the ladle and the intermediate ladle will further improve the steel quality.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В металлургическом заводе Железарна Есенице приблизительно 30 % от совокупного производства сырой стали изготовляется в форме заготовок.

В этом количестве по качеству преобладает сталь для изготовления патентованной проволоки с содержанием алюминия от 0,025 до 0,050 % и сталь для сварки в атмосфере CO₂. Значит, главным образом литье стали выполняется при применении закрытой системы с погруженными выпусками.

Самый сложный вопрос при разливе этих сталей представляет закупоривание выпусков в ковше, а также и в промежуточном ковше. Непосредственная причина закупоривания выпускных отверстий представляет осаждение окиси алюминия на стенках выпусков, что в крайнем случае приводит до полного закупоривания и прекращения разлива.

Выполненными опытами авторы стремились определить насколько с различными способами раскисления можно повлиять на повышение чистоты, отн. на изменение состава неметаллических включений и, таким образом, уменьшить появления закупоривания.

Выполненные до сих пор двухлетние исследования непрерывного литья стали с содержанием от 0,020 до 0,050 % алюминия в форме заготовок 135 × 135 мм₂ показали следующее:

— СМ-печь не представляет собой агрегат соответствующий для изготовления сталей непрерывным литьем главным образом

из-за затруднений достижения необходимых высоких выпускных температур стали. Специфический способ изготовления и большое количество окислительного шлака не дают возможность изготовлению достаточно чистой стали закрытого литья.

— Применение комплексных сплавов кальция при выпуске не дает существенного улучшения литейных свойств стали.

— Закупоривание выпускных отверстий зависит главным образом от содержания алюминия в стали и от использования алюминия при процессе раскисления.

— Литейные свойства стали можно улучшить с обработкой стали с CaSi в ковше, но необходимо устранить большую часть шлака.

Гомогенизация расплава в ковше с продуванием стали при помощи копы сверху не рекомендуется, так как перемешивание не достигает дна ковша, также что вследствие интенсивного перемешивания шлака и расплава получается раскисление расплава с шлаком.

Качество стали, что касается гомогенности макро и микро включений в среднем удовлетворительно.

С обработкой стали с CaSi в ковше в установке, которая теперь в упомянутом металлургическом заводе сооружается, а также продуванием стали со дна ковша и защитой струн ковша до промежуточного ковша, авторы этой работы мнения, что улучшить качество стали удастся.