

Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna

UDK: 669.18:620.18

669.046.558

ASM/SLA: D11r, AD-r

Vasilij Prešeren, V. Macur, A. Rodič

2. del: VPLIV KOMBINACIJE ALUMINIJA IN TITANA TER KALCIJ-BARIJ-SILICIJA IN REDKIH ZEMELJ

Opisano je določevanje optimalne vsebnosti kombinacije aluminija in titana ter kalcij-barij-silicija in redkih zemelj za doseganje drobnozrnatega avstenitnega zrna.

Prikazan je vpliv kombinacije omenjenih elementov na čistost jekla in pojasnjeno spreminjanje čistosti jekla glede vsebnosti in razporeditve posameznih vrst nekovinskih vključkov.

Vse primerjave so izdelane v enakih pogojih, dobljeni rezultati pa so podani v obliki, ki je primerna za direktno uporabo pri industrijski izdelavi cementacijskih jekel z zahtevano velikostjo avstenitnega zrna in predpisanimi mehanskimi lastnostmi.

1. UVOD

V prvem delu tega članka smo poročali¹ o vplivu aluminija in titana na velikost avstenitnega zrna in ugotovili smo, da obstaja linearna odvisnost velikosti zrna od vsebnosti topnega aluminija in titana. Taka kombinacija omogoča, da lahko dosežemo drobno zrno tudi tam, kjer odpove afinacijski učinek premajhnih ali prevelikih vsebnosti aluminija.

Ker pa je znano, da je omejena uporaba titana za doseganje drobnega zrna zaradi tvorbe grobih titanovih oksidov in nitridov, smo poskušali nastale nekovinske vključke reducirati in razdrobiti z dodatkom močnih dezoksidacijskih, oziroma redukcijskih elementov, kot sta elementa kalcij in barij v zlitini kalcij-barij-silicij in elementi redkih zemelj v zlitini cer — »mish« metala.

Poskusi ugotavljanja omenjenih učinkov so bili del raziskovalne naloge², v kateri smo določali vplivne parametre na velikost zrna pri izdelavi cementacijskih jekel v električnih obločnih pečeh.

Da bi lahko ugotavljali vplive omenjenih parametrov, smo ustvarili konstantne pogoje v pogledu vsebnosti ostalih elementov v jeklu (vključno dušik in kisik) ter temperature jekla ter izdelali statistične analize vpliva spreminjanja vsebnosti aluminija, titana, kalcij-barij-silicija in redkih zemelj. Poleg vpliva teh elementov na velikost avste-

nitnega zrna smo zasledovali tudi njihov vpliv na vsebnost in obliko nekovinskih vključkov. V nadaljevanju bomo opisali izdelavo poskusov in opravljene statistične ter metalografske analize.

2. Izdelava poskusov

Da bi eliminirali tehnološke vplive in vplive ostalih elementov v jeklu, smo vse kombinacije izdelali na eni talini jekla, kvalitete Č. 4320, ki smo jo izdelali v 10-tonski električni obločni peči. Po udarimo naj, da smo tako dosegli, da je bila v izhodnem jeklu vedno enaka količina kisika in dušika.

Po oksidaciji smo talino v peči ogreli na 1900 K in jeklo izlili iz peči v prekucno livarsko ponev, ne da bi jeklo dezoksidirali. Iz te ponve, v kateri je bilo ca. 1000 kg jekla, smo v male livarske ponve pretakali po 20 kg jekla, dodajali različne količine modifikatorjev in jeklo odličali v 20-kilogramске kokile kvadratnega preseka. Kokile so bile postavljene v dve vrsti po 25 kokil. V prvo vrsto smo dodajali različne količine aluminija, titana in kalcij-barij-silicija, v drugo vrsto pa različne količine aluminija, titana in redkih zemelj. Količine dodatkov so razvidne iz tabel 1 in 2.

Dodatke smo izbrali tako, da jih je možno aplicirati tudi v praksi:

— Al	do 0,050 %
— Ti	do 0,200 %
— CaBaSi	do 4 kg/t
— redke zemlje	do 2 kg/t

Kljub težavam zaradi hitrega ohlajanja jekla v malih ponvah, nam je uspelo odliti vseh 50 vzorcev. Narejena kemijska analiza jekla je pokazala pravilnost dodajanja elementov in homogenost taline.

Ingote po 20 kg smo prekovali na okrogli prečez Ø 30 mm in vzeli naslednje vzorce jekla:

1. v dolžini po 20 mm za kemično analizo
2. izrez prečnega obrusa za določanje velikosti avstenitnega zrna po Mc Quaid Ehnu in metalografsko analizo vzorcev
3. izrez vzorca za določevanje žilavosti DVM
4. vzorce za trgalni poskus
5. vzorce za določevanje prekaljivosti »Jominy« poskus

Tabela 1: Taline modificirane z dodatki aluminija, titana in CaBaSi

		11	22	33	44	55	dodatek FeTi (g)
		0	1	2	3	4	kg CaSi/t
Dodatki Al (g)	0	1	2	3	4	5	
		Al _k = 0,001	Al _k = 0,007	Al _k = 0,005	Al _k = 0,002	Al _k = 0,001	
		Ti = 0,030	Ti = 0,040	Ti = 0,100	Ti = 0,060	Ti = 0,070	
		zrno 1—5	zrno 1—5	zrno 1—5	zrno 1—5	zrno 4—6	
		6	7	8	9	10	
Al _k = 0,004	Al _k = 0,014	Al _k = 0,012	Al _k = 0,009	Al _k = 0,016			
Ti = 0,040	Ti = 0,070	Ti = 0,067	Ti = 0,130	Ti = 0,113			
zrno 1—6	zrno 1—6	zrno 1—7	zrno 6	zrno 7			
6	6	11	12	13	14	15	
		Al _k = 0,024	Al _k = 0,017	Al _k = 0,031	Al _k = 0,026	Al _k = 0,049	
		Ti = 0,050	Ti = 0,040	Ti = 0,120	Ti = 0,180	Ti = 0,200	
		zrno 1—7	zrno 1—7	zrno 1—7	zrno 1—7	zrno 7	
		16	17	18	19	20	
Al _k = 0,033	Al _k = 0,015	Al _k = 0,036	Al _k = 0,047	Al _k = 0,049			
Ti = 0,030	Ti = 0,050	Ti = 0,100	Ti = 0,230	Ti = 0,120			
zrno 1—7	zrno 2—7	zrno 7	zrno 7	zrno 7—8			
13	13	21	23	24	25		
		Al _k = 0,040	Al _k = 0,068	Al _k = 0,031	Al _k = 0,041	Al _k = 0,055	
		Ti = 0,030	Ti = 0,071	Ti = 0,110	Ti = 0,140	Ti = 0,240	
		zrno 7—8	zrno 7—8	zrno 4—8	zrno 7—8	zrno 7—8	

Tabela 2: Taline modificirane z dodatki aluminija, titana in redkih zemelj

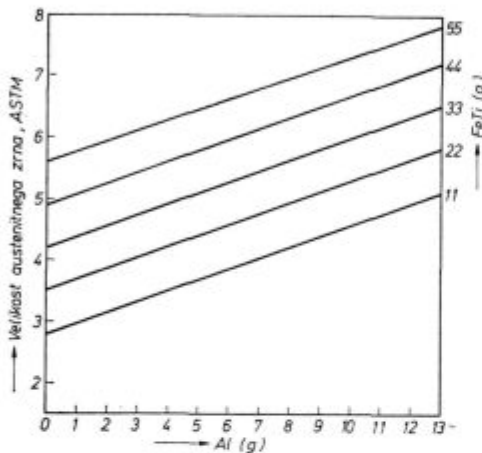
		11	22	33	44	55	dodatki FeTi (g)
		0	0,5	1,0	1,5	2,0	kg Cer-mish metala
Dodatki Al (g)	0	26	27	28	29	30	
		Al _k = 0,014	—	Al _k = 0,007	Al _k = 0,010	Al _k = 0,012	
		Ti = ∅	—	Ti = 0,050	Ti = 0,070	Ti = 0,110	
		zrno 2	—	zrno 2—5	zrno 1—7	zrno 8	
		31	32	33	34	35	
Al _k = 0,002	Al _k = 0,020	Al _k = 0,021	Al _k = 0,013	Al _k = 0,029			
Ti = ∅	Ti = 0,060	Ti = 0,082	Ti = 0,070	Ti = 0,160			
zrno 1—2	zrno 1—6	zrno 7	zrno 1—6	zrno 8			
6	6	36	37	38	39	40	
		Al _k = 0,014	Al _k = 0,038	Al _k = 0,023	Al _k = 0,032	Al _k = 0,036	
		Ti = ∅	Ti = 0,060	Ti = 0,060	Ti = 0,120	Ti = 0,140	
		zrno 1—6	zrno 2—6	zrno 2—7	zrno 7	zrno 8	
		41	42	43	44	45	
Al _k = 0,022	Al _k = 0,031	Al _k = 0,030	Al _k = 0,025	Al _k = 0,026			
Ti = 0,030	Ti = 0,040	Ti = 0,070	Ti = 0,064	Ti = 0,130			
zrno 1—6	zrno 1—6	zrno 8	zrno 7—8	zrno 7—8			
13	13	46	47	48	49	50	
		Al _k = 0,045	Al _k = ∅	Al _k = 0,039	Al _k = 0,044	Al _k = 0,047	
		Ti = ∅	Ti = 0,010	Ti = 0,063	Ti = 0,150	Ti = 0,130	
		zrno 1—8	zrno 1—4	zrno 1—7	zrno 7—8	zrno 8	

3. Velikost primarnega zrna

Analiza zrnatosti posameznih vzorcev je razvidna iz tabel 1 in 2. S statistično analizo dobljenih podatkov pa smo ugotovili linearno odvisnost velikosti avstenitnega zrna od vsebnosti aluminija in titana. Slika 1 to odvisnost prikazuje; zanimivo pa je, da smo s temi poskusi potrdili ugotovitve o linearni odvisnosti vpliva titana in aluminija pri analizi izdelave industrijskih talin, o čemer smo poročali v prvem delu članka.

$R = 0,710$
 $R^2 = 0,505$
 $S_y = 1,402$
 $P > 99,9\%$
 $N = 50$

izračunana enačba:
 zrno (ASTM) = $2,087 + 0,064 \cdot \text{FeTi (g)} + 0,176 \cdot \text{Al (g)}$



Slika 1

Vpliv kombinacije Al in Ti na velikost avstenitnega zrna po ASTM tabeli

Fig. 1

Influence of Al and Ti combination on the size of austenite grain according to ASTM Scale.

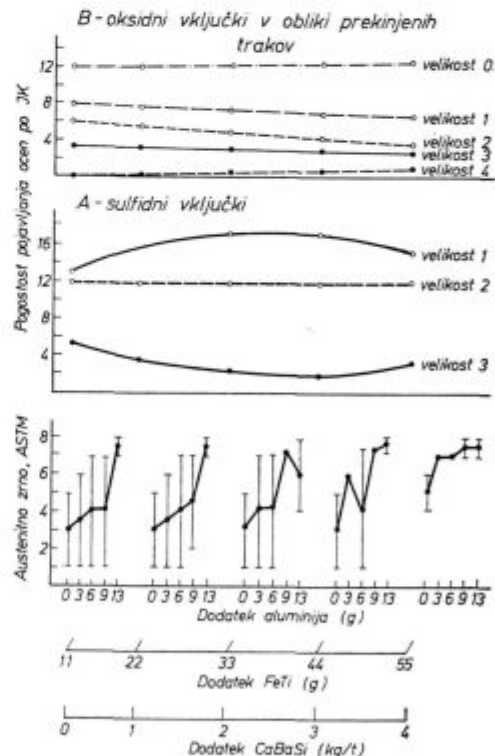
Povprečno velikost zrna 5 in več smo dosegli z vsebnostjo 0,010 % Al_k in 0,100 % Ti. Primerjava z rezultati analize industrijskih talin pa pokaže, da so te vrednosti precej višje kot pri že opisanih rezultatih¹. Vzroki so v večji neenakomernosti zrna, ki je razvidna iz slike 2 za dodatke Ti, Al in CaBaSi ter slike 3 za dodatke Ti, Al in redkih zemelj. Navpične črte na slikah predstavljajo razliko med minimalno in maksimalno oceno velikosti zrna pri različnih dodatkih modifikatorjev.

Ni dvoma, da aluminij odločilno vpliva na velikost zrna. Dodatek aluminija v količinah 0 do 13 g v 20-kg talino zmanjšuje velikost zrna pri vseh dodatkih titana. Pri tem je zrno drobnejše pri višjih dodatkih titana. Z naraščajočo količino teh dodatkov se zmanjšuje tudi enakomernost.

Najdrobnejše zrno dosežemo pri dodatku 55 g FeTi in vsaj nekaj Al. To ustreza vsebnosti 0,150 % Ti in vsaj 0,010 % Al_k.

Pri poskusih smo uporabili elemente z veliko afineteto do kisika in žvepla. Zato smo pričakovali delno redukcijo aluminijevih in titanovih spojin s kisikom in žveplom ob tvorbi spojin z veliko prosto entalpijo in s tem drobnih vključkov.

Uspeh smo dosegli pri razbijanju (drobljenju) sulfidnih vključkov (tip A po JK tabeli), in to z dodatki elementov cera in drugih redkih zemelj (tabela 3 in slika 3). Od 30 metalografsko pregledanih mest pri vsakem vzorcu so imeli vzorci brez dodatka redkih zemelj in najmanjšim dodatkom titana povprečno 6 mest z oceno sulfidnih vključkov 1 (povprečje zajema vzorce z dodatki 0, 3, 6, 9 in 13 g Al). Pri največjem dodatku Ti (55 g) in redkih zemelj (2,0 kg/t), je pogostost pojavljanja ocen 1 povprečno 22, pogostost pojavljanja ocen 4 pa se je zmanjšala od 4 na 2. Zal pa je situacija nasprotna pri razpotegnjenih oksidnih vključkih tipa B (aluminati, titanovi oksidi in titanovi karbonitridi) — število ocen 2 in 3 se je povečalo na račun zmanjšanja ocen 0 in 1. Nastanek večjega števila grobih vključkov tipa B pa je imel bolj škodljive učinke na mehanske lastnosti jekla, kot pa pozitivni vpliv razbijanja sulfidnih vključkov.

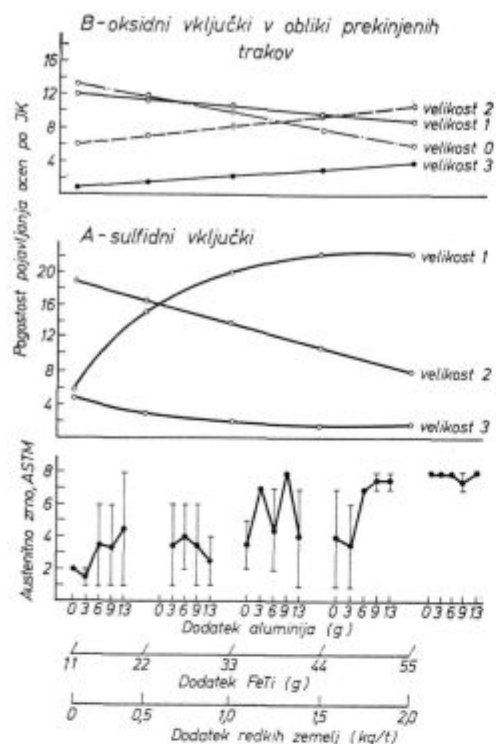


Slika 2

Vpliv dodatkov Al, Ti in CaBaSi na velikost avstenitnega zrna po ASTM tabeli, število sulfidnih vključkov (tip A po JK) in število oksidnih vključkov (tip B po JK)

Fig. 2

Influence of Al, Ti, and CaBaSi additions on the size of austenite grain according to ASTM Scale, number of sulphide inclusions (type A by JK), and number of oxide inclusions (type B by JK).



Slika 3

Vpliv dodatkov Al, Ti in redkih zemelj na velikost avstenitnega zrna po ASTM tabeli, število sulfidnih vključkov (tip A po JK) in število oksidnih vključkov (tip B po JK)

Fig. 3

Influence of Al, Ti, and rare earth additions on the size of austenite grain by ASTM Scale, number of sulphide inclusions (type A by JK), and number of oxide inclusions (type B by JK).

Manj uspešna pri drobitvi sulfidnih vključkov pa je bila uporaba CaBaSi (slika 2). Po drugi strani pa nismo zasledili povečanja števila oksidnih vključkov.

Večja količina drobnih sulfidnih vključkov ne vpliva na velikost avstenitnih zrn. Z naraščajočo količino titana pada velikost zrna približno enako pri dodatku CaBaSi kot pri dodatku redkih zemelj, ne glede na to, da se v prvem primeru nastali vključki niso spremenili, v drugem primeru pa so nastali tipi Ce- in La-sulfidov, ki so se količinsko in po obliki precej spremenili.

4. Nekovinski vključki

Vzorci z dodatkom CaBaSi, Al in Ti

Nekovinske vključke v vzorcih z oznakami od 1 do 25 smo ocenjevali po JK primerjalni tabeli: metodi povprečja ter ocenitev najslabšega mesta posameznega tipa vključkov. Vključke smo ocenjevali po obliki in ne po sestavi. Zato ne moremo govoriti n.pr. o aluminatnih vključkih tipa B, ker se v obliki prekinjenih trakov pojavljajo tudi vključki oksidov Ti, Zr, Ca in Ba. Okside teh elementov pa najdemo tudi v globularni obliki tipa D po JK tabeli. V obliki B in D smo opazili

Tabela 3: Rezultati metalografskih raziskav

Št. vzorca	Poprečje po JK skali				A+B+D	Max. ocena				Velikost ASTM
	A	B	C	D		A	B	C	D	
1	1,86	0,63	0	2,20	4,69	3	3	0	3	1-5
2	1,70	0,53	0	1,53	3,80	3	2	0	3	1-5
3	1,27	2,0	0	1,67	4,94	3	5	0	3	1-5
4	1,86	0,63	0,1	2,06	4,65	3	2	1	3	1-5
5	1,83	0,67	0	1,43	3,93	3	3	0	3	4-6
6	1,70	1,17	0	2,03	4,90	3	2	0	3	1-6
7	1,80	1,10	0	1,73	4,63	3	3	0	3	1-6
8	1,67	1,20	0	1,87	4,74	3	3	0	3	1-7
9	1,27	0,57	0	1,50	3,34	2	3	0	3	6
10	1,83	1,40	0	1,30	4,53	3	4	0	3	7
11	1,87	0,97	0	1,67	4,51	4	3	0	3	1-7
12	1,53	1,20	0	1,77	4,50	3	4	0	3	1-7
13	1,73	1,30	0	1,77	4,80	3	4	0	3	1-7
14	1,57	1,07	0	1,87	4,51	3	4	0	3	1-7
15	1,30	1,40	0	1,70	4,40	2	4	0	3	7
16	1,67	1,23	0	2,00	4,90	3	3	0	3	1-7
17	1,83	0,73	0	1,70	4,26	3	2	0	3	2-7
18	1,17	0,80	0	1,80	3,77	2	4	0	3	7
19	1,30	1,17	0	1,67	4,14	2	4	0	3	7
20	1,57	0,80	0	1,67	4,04	3	2	0	3	7-8
21	1,57	1,43	0	1,70	4,70	3	3	0	3	7-8
22	1,57	1,37	0	2,17	5,11	3	4	0	3	7-8
23	1,53	0,93	0	1,57	4,03	3	3	0	2	4-5
24	1,53	1,30	0	1,90	4,73	3	4	0	3	7-8
25	1,40	1,03	0	1,77	4,20	2	3	0	3	7-8
26	1,73	0,60	0	1,50	3,83	3	3	0	2	2
28	1,23	0,97	0	1,57	3,77	2	3	0	3	2-5
29	1,30	0,90	0	1,63	3,83	2	4	0	3	1-7
30	1,43	0,87	0	1,53	3,83	2	3	0	3	8
31	2,00	0,93	0,10	1,60	4,63	3	2	1	3	1-2
32	2,33	0,77	0	2,07	5,17	3	2	0	3	1-6
33	1,87	0,99	0	2,00	4,86	3	2	0	3	7
34	1,63	1,63	0	2,10	5,36	2	4	0	3	1-6
35	1,47	2,43	0	2,20	6,10	2	5	0	3	8
36	2,13	0,93	0	1,63	4,69	4	2	0	2	1-6
37	1,47	1,43	0	2,13	5,03	2	4	0	3	2-6
38	1,20	2,27	0	2,27	5,74	2	5	0	3	2-7
39	1,17	1,70	0	2,33	5,20	2	4	0	3	7
40	1,87	0,93	0	2,03	4,83	3	2	0	3	8
41	2,17	0,53	0	1,83	4,53	4	2	0	2	1-6
42	1,60	1,37	0	2,00	4,97	3	3	0	3	1-6
43	1,40	1,47	0	2,07	4,94	4	3	0	3	8
44	1,27	1,90	0	2,20	5,37	2	4	0	3	7-8
45	1,00	1,50	0	2,30	4,80	1	3	0	3	7-8
46	1,87	1,20	0,03	1,43	4,53	3	3	1	2	1-8
47	1,83	0,43	0,03	1,67	3,96	3	2	1	2	1-4
48	1,33	1,33	0	2,23	4,89	2	3	0	3	1-7
49	1,00	1,83	0,03	2,30	5,16	1	4	1	3	7-8
50	0,93	1,43	0	2,20	4,56	1	5	0	3	8

Tabela 5: Analiza porazdelitve nekovinskih vključkov v vzorcih modificiranih z dodatki redkih zemelj, Al in Ti

		A	B	D	Σ
število podatkov	N	25	25	25	25
srednja vrednost	X	1,493	1,299	2,008	4,810
standardni odklon	S	0,3983	0,542	0,2715	0,6175
koeficient variacije	V	26,67	41,73	13,53	12,84
območje 95 % verjetnosti	$x - 1,96 \cdot S$				
	$x + 1,96 \cdot S$				

Ti kot karbonitrid, ki ima pod mikroskopom svojo značilno barvo.

Z mikroanalizatorjem smo ugotovili, da nastopajo kot vključki tipa A predvsem Ca in Ti sulfidi, mnogo manj pa je v sulfide vezanega Mn.

Povprečno število vseh vključkov se je z dodatki CaBaSi zmanjšalo. Dodatek CaBaSi je bil tem večji, čim več smo dodali Ti. Jasno je, da nam Ti ne zmanjšuje števila vključkov. To je zasluga redukcijske sposobnosti elementov Ca in Ba, ki sta vplivala predvsem na zmanjšanje števila globularnih vključkov (od 1,90 na 1,60), delno pa tudi na zmanjšanje sulfidnih vključkov.

Analizo porazdelitve nekovinskih vključkov v vzorcih, modificiranih s CaBaSi, Al in Ti, prikazuje tabela 4.

Vzorci z dodatkom redkih zemelj, Al in Ti

Z dodajanjem redkih zemelj, Ti in Al je naraščala povprečna vsota števila vključkov, čeprav so n. pr. nastali sulfidni vključki izredno drobnji.

Pri analizi vključkov na mikroanalizatorju smo opazili sulfidne vključke redkih zemelj, ločene od titanovih sulfidov, kar priča o zelo hitri vezavi teh elementov, in ni moglo priti do redukcije titanovih sulfidov.

Tudi vzorce z oznakami 26 do 50 smo metalografsko pregledali in določili čistost jekla po JK tabeli. Titanovi in aluminijevi oksidni vključki so se pojavljali v oblikah B in D skupno z oksidi redkih zemelj. Titan se je pojavljal še kot titanov karbonitrid.

Tabela 4: Analiza porazdelitve nekovinskih vključkov v vzorcih modificiranih z dodatki CaBaSi, Al in Ti

		A	B	D	Σ
število podatkov	N	25	25	25	25
srednja vrednost	X	1,597	1,067	1,742	4,430
standardni odklon	S	0,2135	0,3432	0,2484	0,4326
koeficient variacije	V	13,37	32,18	14,26	9,77
območje 95 % verjetnosti	$x - 1,96 \cdot S$				
	$x + 1,96 \cdot S$				

Razvidno je, da je število vključkov skupine B močno naraščalo v odvisnosti od količine dodatkov Al, Ti in redkih zemelj. Z dodatkom do 0,050 % Al_k je narasla povprečna ocena od 0,80 na 1,70. Poudarimo pa naj, da nismo imeli možnosti kvantitativno ocenjevati vključkov. JK tabela ne zajema namreč niti dolžin posameznih vključkov, niti širine prekinjenih trakov, kar pa je izredno pomembno pri proučevanju jeklarskih variant, posebno pri izdelavi ene in iste vrste jekla.

V vzorcih 26 do 50 je mnogo več globularnih vključkov tipa D, kot smo jih zasledili v vzorcih 1—25. Dodatek Al do 0,050 % je povečal njihovo količino od 1,60 na 2,30.

Večje število oksidnih vključkov pri dodatku redkih zemelj si razlagamo zaradi večje specifične teže oksidov teh elementov. Zaradi zelo hitrega ohlajanja v kokili taki vključki niso utegnili izplavati. Analizo porazdelitve vključkov prikazuje tabela 5.

5. ZAKLJUČKI

Namen opisanih raziskav je bil ugotavljanje afinacijskega vpliva kombinacije aluminija in titana ter dezoksidantov kalcij-barij-silicija in redkih zemelj.

Dokazali, oziroma ponovno potrdili smo linearno odvisnost velikosti avstenitnega zrna od vsebnosti aluminija in titana — povprečno velikost zrna 5 po ASTM smo dosegli z vsebnostjo 0,010 % Al_k in 0,100 % Ti, najbolj drobno zrno v

velikosti 7—8 po ASTM tabeli pa smo dosegli z najmanj 0,010 % Al_k in 0,150 % Ti.

Z dodatki elementov redkih zemelj smo uspešno razbili sulfidne vključke, žal pa so nastali tudi grobi oksidni vključki v obliki trakov in v globularni obliki, ki se zaradi visoke specifične teže in slabih pogojev izločanja niso mogli izločiti iz taline. Posledice močno onesnaženega jekla so bile slabše mehanske lastnosti, kar se je najbolj odrazilo na kontrakciji.

Dodajanje CaBaSi do 4 kg/t ni bistveno vplivalo na spremembo povprečnega števila posameznih vrst vključkov. Skupno število povprečnih vsebnosti vseh vključkov po JK tabeli pa je bilo približno enako rezultatom analiz cementacijskih jekel redne proizvodnje brez dodatka titana. To pa pomeni, da sta Ca in Ba uspešno reducirala aluminatne in titanove vključke (okside in sulfide), ki so nastali pri dodajanju do 0,200 % Al. Take koli-

čine Ti in Al pa so zagotavljale drobno avstenitno zrno. Ker imamo v redni proizvodnji možnost prepihovanja talin z inertnimi plini, pričakujemo še boljše rezultate pri izločanju vključkov.

Na osnovi dobljenih rezultatov vzorcev, modificiranih z Al, Ti in CaBaSi lahko sklepamo, da bomo dosegli drobno avstenitno zrno z:

- dodatkom 4 kg/t kalcij-barij-silicija
- vsebnostjo nad 0,010 % Al_k
- vsebnostjo 0,100 do 0,150 % Ti

Literatura:

1. Prešern V., V. Macur: »Vpliv modifikatorjev pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna, 1. del: Vpliv aluminija in titana«, Železarski zbornik 4 (1977).
2. Macur V., V. Prešern, A. Rodič, V. Strahovnik, F. Kandare: »Vpliv parametrov pri izdelavi jekla na velikost avstenitnega zrna«, Poročilo metalurškega inštituta v Ljubljani št. 481, Ljubljana, april 1977.

ZUSAMMENFASSUNG

Um den Einfluss der kombinierten Anwendung von Aluminium, Titan, Kalzium-Barium-Silizium und der seltenen Erden auf die Austenitkorngröße und Reinheitsgrad des Stahles festzustellen, haben wir Proben mit fünfzig verschiedenen Kombinationen dieser Elemente hergestellt.

Durch die Bewertung der Ergebnisse könnte die Feststellung aus dem ersten Teil dieses Artikels über die lineare Abhängigkeit der Korngröße vom Aluminium- und Titangehalt (Bild 1) bestätigt werden.

Durch die Zugabe von CaBaSi und seltenen Erden wollten wir eine teilweise Reduktion der Aluminium und Titanverbindungen mit Sauerstoff und Schwefel erzielen. Aus den Bildern 2 und 3 ist die Wirkung dieser Zugabe ersichtlich.

Die Zusätze der Elemente der seltenen Erden haben die Zersetzung der sulfidischen Einschlüsse zur Folge. Auf der anderen Seite verursachte die Anwendung dieser Elemente die Entstehung grober oxydischer Einschlüsse in Form von Fasern und globularer Form, welche wegen des hohen spezifischen Gewichtes und der schlechten Ausscheidungsbedingungen aus der Schmelze nicht ausgeschle-

eden werden könnten. Die Folgen der starken Verschmutzung mit diesen Einschlüssen waren schlechtere mechanische Eigenschaften was sich am stärksten an der Einschnürung geäußert hat.

Der Zusatz von Kalzium-Barium-Silizium hat die Zahl der einzelnen Einschlussorten, im Vergleich zu den Industriefertigten Einsatzstähle ohne Titangehalt, nicht wesentlich beeinflusst. Das bedeutet, dass Kalzium und Barium die Aluminate und titanhaltige Einschlüsse, entstanden durch Zusatz von 0,200 % Titan und über 0,010 % Aluminium, erfolgreich reduziert haben. Diese Mengen an Titan und Aluminium sind aber die Garantie für genügend kleine Austenitkorngröße.

Auf Grund der erhaltenen Ergebnisse sind wir der Meinung, dass die vorgeschriebene Austenitkorngröße, mehr als 5 nach ASTM Richtreihe, erreicht werden kann durch:

- Zusatz von 4 kg/t CaBaSi - Legierung
- einen Gehalt von über 0,010 % gelöstem Aluminium
- einem Titangehalt von 0,100 bis 0,150 %.

SUMMARY

Samples with 50 various combinations of aluminium titanium, calcium-barium-silicon, and rare earths were prepared in order to determine the influence of the combination of these elements on the size of austenite grain and the purity of steel.

At first, the analysis of results confirmed the findings presented in the first part of the paper on linear relationship between the grain size and the aluminium and titanium content (Fig. 1).

CaBaSi and rare earths additions should achieve partial reduction of aluminium and titanium compounds with oxygen and sulphur. Figs. 2 and 3 present the effect.

Additions of rare earths successfully disintegrated sulphide inclusions but they caused coarse oxide inclusions in form of bands or nodules. These inclusions could not precipitate from the melt due to their high density and unsuitable conditions for precipitation. Thus highly

impure steel had worse mechanical properties which was especially expressed in worsened contraction.

Addition of CaBaSi did not essentially influence the number of single type of inclusions compared with the industrial production of steel for case hardening without titanium. This means that calcium and barium successfully reduced aluminate and titania inclusions which were formed after 0,200 % titanium and over 0,010 % aluminium was added. These amounts of titanium and aluminium, on the other hand, guaranteed enough fine austenite grains.

According to the obtained results, the prescribed ASTM grain size (more than 5) can be obtained by:

- addition of 4 kg/t calcium-barium-silicon
- with over 0,010 % soluble aluminium
- and with 0,100 to 0,150 % titanium in steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Для того, чтобы определить важные комбинации алюминия, титана, кальций-барий-кремния и редких земель на величину аустенитных зерен и на чистоту стали приготовлены в 50-х различных комбинациях этих элементов образцы для исследования. При анализе результатов оказалось, что данные о линейной зависимости величины зерен от содержания алюминия и титана в расплаве, рассмотренные в первой части этой работы правильны (рис. 1).

С добавлением CaBaSi и редких земель желали получить частичное восстановление алюминатов и соединений титана с кислородом и серой. Воздействие этого приведено на рис. 2 и 3.

С добавкой элементов редких земель успешно разбили главным образом сульфидные включения, но как следствие применения этих элементов получены крупнозернистые включения окислов в шаровидной форме и в форме полос. Эти включения, вследствие высокого удельного веса не могли выделиться из расплава. Последствие сильного загрязнения стали с такими

включениями отразилось в уменьшении механических свойств в особенности на конструкциях.

Добавка кальций-барий-кремний существенно не повлияла на количество отдельных видов включений цементуемой стали без титана при сравнении с промышленным производством. Из этого можно заключить, что кальций и барий повлияли положительно на восстановление включений титана и алюминатов, которые образовались при добавках до 0,200 % титана и свыше 0,010 % алюминия. Такие количества титана и алюминия гарантировали достаточную мелкозернистость аустенитных зерен.

На основании полученных результатов заключаем, что требуемую величину аустенитных зерен по таблицы ASTM (свыше 5-н) можно получить при условиях:

- с добавлением 4 кг/т кальций-барий-кремния;
- при содержании плавкого алюминия свыше 0,010 % и
- при содержании титана от 0,100 до 0,150 %.