

Nekatere značilnosti jekel izvaljanih iz kontinuirno ulitih gredic

UDK: 669-147
ASM/SLA: D9qM. Kmetič¹, F. Vodopivec¹, F. Vizjak², S. Senčič²

Kontinuirno ulivanje jekla se zaradi velike ekonomske prednosti pred konvencionalnim litjem vedno bolj uveljavlja. V članku so opisane fizikalno metalurške značilnosti kontinuirno litega jekla, ki so odvisne od tehnologije litja. Ugotovljeno je, da mehanske lastnosti ustrezajo vrednostim, ki jih predpisujejo standardi.

mikrostrukture in mehanskih lastnosti ugotovi, ali obstajajo in kakšne so razlike med klasično in konti ulitimi gredicami in profilnim jeklom, ki je bilo iz njih izvaljano. Istočasno pa je zamišljena kot sistematična raziskava konti litega jekla zaradi spoznanja njegovih fizikalno metalurških značilnosti.

1. UVOD

Kontinuirno litje ima pred klasičnim litjem prednost zaradi prihranka energije in manjših investicij v valjarne. Tudi izkoristek jekla je boljši zaradi manjšega odreza in manjših izgub zaradi škajanja pri ogrevanju.

S fizikalno-metalurškega vidika ima kontinuirno ulito jeklo kvalitete prednosti, ki so posledica hitrejših kristalizacij jekla v primerjavi s strjevanjem ingotov. Blokovo in dendritsko izcejanje legirnih elementov in nečistoč je zato pri enaki sestavi v konti jeklu manjše.

Te prednosti pridejo do izraza le, če je tehnologija litja na zadostnem kvalitetskem nivoju, tako, da je v gredicah čim manj napak, značilnih za konti litje, kot so porozna sredina, notranje in površinske razpoke, mikrolunkerji in makrovključki.

V Železarni Štore kontinuirno ulivajo gredice iz kvalitetnih jekel, ki se nato valjajo v različne profile za predelovalno in strojno industrijo. To jeklo je torej neke vrste nov proizvod in treba je dokazati, da je popolnoma enakovredno konvencionalnemu jeklu.

Raziskava ima zato primerjalen značaj in njen namen je, da se na osnovi sistematičnih primerjav

2. PROGRAM DELA

Glede na mehanske značilnosti in proizvodni program smo za preiskave izbrali jekla naslednjih kvalitete:

- cementacijska jekla Č.1220, oz. Č.1221 in Č.4320
- jeklo za poboljšanje Č.1431 in Č.1530, oz. Č.1531
- vzmetno jeklo Č.2133

Kemična sestava talin je podana v tabeli 1.

Lastnosti vzmetnega jekla nismo mogli primerjati s klasično izdelanim jeklom, ker smo imeli na razpolago le konti lito jeklo.

Dimenzija brušenih gredic je bila 100×100 in 120×120 mm. Odrezke gredic smo izvaljali v palice $\varnothing 28$ mm.

V literaturi navajajo avtorji podatke, da je pri konti litih gredicah, ki nimajo večjih blokovnih segregacij in notranjih razpok, potrebna za optimalne lastnosti minimalna redukcija 5:1¹. Pri valjanju gredic v palice smo to minimalno stopnjo redukcije presegli, saj znaša 16:1.

Raziskave so obsegale:

- makrostrukture, kristalizacijo in porazdelitev žvepla po preseku gredic in valjancev;
- vrsto, velikost in porazdelitev mikrovključkov ob površini in v notranjosti preseka gredic in valjancev;

¹ SZ Metalurški inštitut v Ljubljani

² SZ Železarna Štore

Tabela 1: Kemična sestava jekel v %

Talina	Kvaliteta	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu	Sn	As
1	Č.1220	0.17	0.16	0.53	0.017	0.021	0.06	0.03	0.06	—	0.24	—	—
2	Č.1220	0.16	0.22	0.51	0.009	0.021	0.09	—	0.07	—	0.26	0.013	0.015
3	Č.1221	0.17	0.20	0.51	0.013	0.025	0.21	0.05	0.13	0.01	0.20	0.012	0.028
4	Č.4320	0.17	0.28	1.03	0.017	0.015	1.04	0.02	0.04	—	0.11	—	—
5	Č.4320	0.14	0.28	1.05	0.014	0.007	0.84	—	—	0.009	0.20	0.019	0.026
6	Č.4320	0.15	0.33	1.19	0.027	0.016	0.97	0.03	0.14	0.02	0.23	0.015	0.030
7	Č.1431	0.37	0.32	0.70	0.010	0.011	0.15	—	0.07	—	0.28	—	—
8	Č.1531	0.43	0.40	0.68	0.011	0.013	0.008	—	—	—	0.16	—	—
9	Č.1530	0.48	0.23	0.64	0.014	0.006	0.13	—	0.08	—	0.20	0.015	0.028
10	Č.1531	0.44	0.28	0.63	0.009	0.026	0.29	0.01	0.11	0.01	0.25	0.037	0.031
11	Č.2133	0.54	1.53	0.86	0.015	0.018	—	—	—	—	0.22	—	—

Kontinuirno ulite gredice: taline 1, 4, 7, 8 in 11

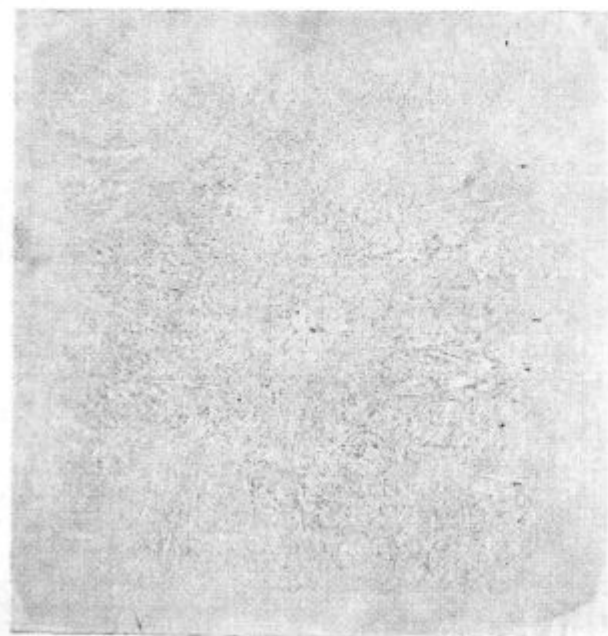
Klasično izdelane gredice: taline 2, 3, 5, 6, 9 in 10

- mikrostrukturo gredic in valjancev;
- intenziteto izcejanja legiranih elementov v obrobni coni in sredini preseka gredic, oz. valjancev in
- mehanske lastnosti valjancev.

3. REZULTATI

3.1. Porazdelitev žvepla in makrostruktura gredic

Na Baumannovih odtisih, narejenih na ploščah prečno izrezanih iz konti litih gredic, se dobro razloči obrobna cona po videzu čistejšega jekla,



Slika 1

Baumannov odtis konti ulite gredice (Č.2133, talina 11)

Fig. 1

A sulphur print of continuous cast billet (Č. 2133, Melt 11)

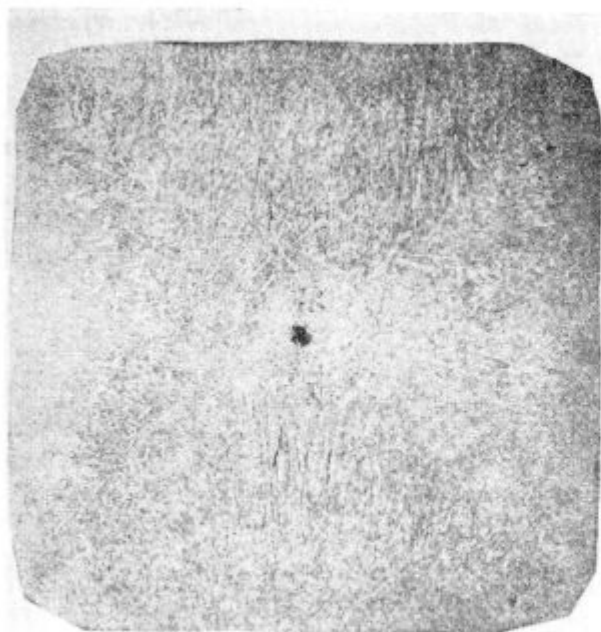
ki je široka do 10 mm. Po videzu je v sredini gredic več sulfidnih vključkov. Različno močna potemnitev odtisov in mikroskopske preiskave kažejo, da se je večina sulfidnih vključkov pri kristalizaciji izločila v meddendritskih prostorih (sl. 1).

Odtisi so pokazali, da so na meji med obrobno cono in cono transkristalov pogosto večji vključki ponovčne žlindre, oksisulfidne narave. Radialne razpoke, ki nastanejo pri strjevanju zaradi termičnih in mehanskih napetosti, so delno zapolnjene z žlindro, katere glavna sestavina so oksidi železa, v nekaterih primerih pa so se na teh mestih nabrali tudi večji sulfidni vključki.

Tudi na Baumannovih odtisih klasično izdelanih gredic se vidi razlika med obrobno cono in likvacijskim kvadratom. Razlika pride bolj do izraza pri jeklu, ki ima večjo vsebnost žvepla. Po videzu čistejša obrobna cona izvira iz hitro strjene skorje ingotov in je ekvivalentna zunanji coni konti ulitih gredic.

Odtisi palic, izvaljanih iz konti ulitih in konvencionalnih gredic, so skoraj enaki. Do nekaj milimetrov debela plast jekla ob robu, ki je po videzu čistejša, ni enakomerno debela. Na nekaterih mestih je tok materiala pri deformaciji privedel na površino jekla iz likvacijskega kvadrata, kjer so sulfidni vključki večji.

Makrostrukturne značilnosti smo odkrili z makrojedkanjem plošč, ki smo jih uporabili za Baumannove odtise. Ob robu je približno 10 mm široka cona, komaj opazno pravokotno na površino usmerjenih kristalov. Sledi ji transkristalna cona stebrastih dendritov, ki so usmerjeni pravokotno na površino gredice. Skorja gredice se strdi zelo hitro in kristali so v tej coni zelo drobni. Gredica se zaradi krčenja odlepi od koke, temperaturni gradient se bistveno zmanjša in posledica počasnejše kristalizacije so veliki stebrasti kristali. V sredini, kjer se talina strdi

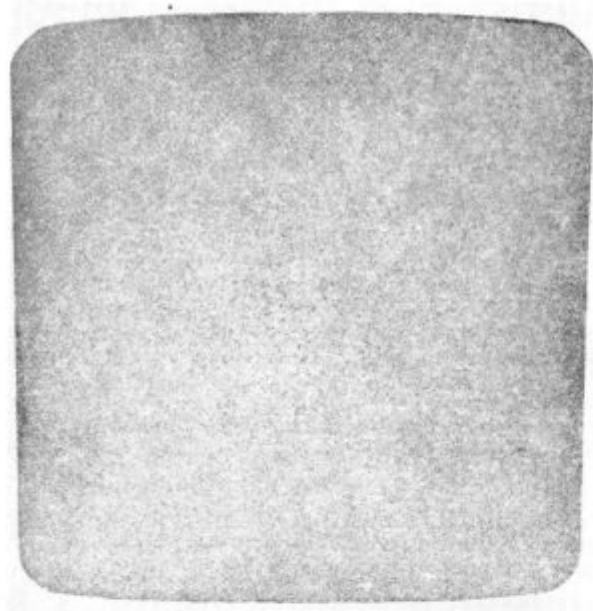


Slika 2

Pov. 0,8 $\times$. Makrostruktura konti ulite gredice (Č.1431, talina 7)

Fig. 2

Mag. 0,8 $\times$. Macrostructure of continuous cast billet (C. 1431, Melt 7)



Slika 3

Pov. 0,8 $\times$. Makrostruktura konvencionalne gredice (Č.1531, talina 10)

Fig. 3

Mag. 0,8 $\times$. Macrostructure of conventional billet (Č. 1531, Melt 10)

nazadnje, so kristali poligonalni in neorientirani. Pri makrojedkanju so se napake, značilne za konti lite gredice, ki se vidijo že na Baumannovih odtisih, še močneje odkrile, posebno porozna sredina in radialne razpoke (sl. 2).

V konvencionalnih gredicah nismo odkrili nobenih napak, le močneje se je jedkala z oligoelementi in z večjimi nekovinskimi vključki bogatejša sredina gredic (sl. 3).

3.2. Porazdelitev in velikost nekovinskih vključkov v gredicah in valjanih palicah

V konti ulitih gredicah smo našli silikatne, sulfidne in tudi posamezne oksidne vključke. Večje silikatne vključke, ki so globularni, smo opazili predvsem v sredini preseka gredic in na meji drobnorzne robne cone in stebrastih kristalov (sl. 4). Vključki manganovega sulfida v obrobni coni so globularni, zelo fini in enakomerno porazdeljeni po preseku. V sredini preseka gredic opazimo enak tip sulfidov, v meddendritskih prostorih pa sulfide evtektičnega tipa (sl. 5).



Slika 4

Pov. 100 $\times$. Silikatni vključki v sredini preseka konti ulite gredice (Č.1220, talina 1)

Fig. 4

Mag. 100 $\times$. Silicate inclusions in the centre of the billet cross section (Č. 1220, Melt 1)



Slika 5

Pov. 200 $\times$. Evtektični vključki manganovega sulfida (Č.1120, talina 1)

Fig. 5

Mag. 200 $\times$. Eutectic sulphide inclusions (Č. 1220, Melt 1)

Tabela 2: Povprečna dolžina in gostota sulfidnih vključkov in vsebnost žvepla v gredicah

Talina	Kvaliteta	Obrobna cona			Sredina gredice		
		L_r (μm)	A_r (mm^{-2})	% S_r	L_s (μm)	A_s (mm^{-2})	% S_s
1	Č.1220	—	—	0.016	—	—	0.0165
2	Č.1220	17.8	43.4	0.025	23.6	20.6	0.024
3	Č.1221	16.1	41.4	0.026	21.5	25.5	0.024
4	Č.4320	—	—	0.019	—	—	0.019
5	Č.4320	22.0	9.3	0.010	21.2	8.6	0.010
6	Č.4320	24.5	24.7	0.017	25.4	14.1	0.014
7	Č.1431	—	—	0.011	—	—	0.010
8	Č.1531	—	—	0.013	—	—	0.012
9	Č.1530	20.5	11.1	0.010	22.6	7.2	0.008
10	Č.1531	20.0	55.0	0.030	24.1	29.3	0.029
11	Č.21333	—	—	0.019	—	—	0.019

Tabela 3: Povprečna dolžina in gostota sulfidnih in silikatnih vključkov v valjanih palicah

Talina	Kvaliteta	Obrobna cona		Sredina valjanca		
		L_r (μm)	A_r (mm^{-2})	L_s (μm)	A_s (mm^{-2})	
1	Č.1220	14.1	5.8	15.4	11.4	silikati
		20.2	17.7	27.0	20.3	
2	Č.1220	18.3	37.9	17.3	46.7	
3	Č.1221	15.8	70.1	17.1	49.7	silikati
4	Č.4320	14.7	38.3	18.2	39.2	
5	Č.4320	13.0	5.1	15.4	16.0	
6	Č.4320	16.3	32.6	21.5	42.0	silikati
7	Č.1431	13.8	16.1	12.9	18.1	
		38.4	14.0	25.7	18.3	
8	Č.1531	17.3	14.1	20.4	27.2	silikati
		26.6	3.3	25.1	6.6	
9	Č.1530	14.5	12.9	17.5	17.6	
10	Č.1531	18.8	76.9	22.4	68.7	silikati
11	Č.2133	18.2	66.7	23.1	37.5	
		—	—	31.9	2.8	

Jeklo klasično izdelanih gredic ima poleg sulfidnih in posamičnih oksidnih tudi nize aluminatnih vključkov.

Povprečno dolžino (L) in gostoto (A) sulfidnih in silikatnih vključkov v obrobni coni in v sredini preseka gredic, oz. valjancev smo določili z optičnim mikroskopom. Kot obrobno cono smo pri gredicah predpostavili 20 mm, pri valjanih palicah pa 5 mm širok pas. Pri meritvah smo upoštevali le vključke daljše od 10 μm in nize vključkov, če razdalja med njimi ni bila manjša od 5 μm .

V tabeli 2 so poleg rezultatov meritev v jeklu gredic navedene še vsebnosti žvepla v obrobni coni in na sredini gredic. Za konti lite gredice so navedeni le podatki o vsebnosti žvepla, ker po tej metodi ni možno izmeriti gostote in velikosti globularnih vključkov v ulitem jeklu. Povprečna dolžina vključkov manganovega sulfida je v sre-

dini gredic nekoliko daljša, gostota pa manjša kot v obrobni coni. Pri enaki količini žvepla je v obrobni coni gostota vključkov do 100 % večja kot v sredini gredic. Dolžina vključkov se med talinami le malo razlikuje, večja je razlika pri gostoti, ki je odvisna od vsebnosti žvepla. Taline z več žvepla imajo sorazmerno večjo količino vključkov na enoto površine.

Kemijska analiza kaže, da je vsebnost žvepla v obrobni coni in na sredini preseka skoraj enaka. Razlika v potemnitvi Baumannovega odtisa med robno cono in sredino je posledica velikosti vključkov. Drobnejši vključki ob robu ne dajo izrazite potemnitve.

Rezultati meritev dolžine in gostote sulfidnih in silikatnih vključkov v palicah, izvaljanih iz konvencionalnih in konti ulitih gredic, so navedeni v tabeli 3.

Tabela 4: Velikost primarnih in sekundarnih kristalnih zrn gredic in valjancev

Talina	Kvaliteta	Gredice				Valjanci			
		Primarna zrna		Sekundarna zrna		Primarna zrna		Sekundarna zrna	
		I (μm)	ASTM	I (μm)	ASTM	I (μm)	ASTM	I (μm)	ASTM
1	Č.1220	17.9	8.2	11.7	9.5	13.7	9.0	12.0	9.4
2	Č.1220	19.2	8.0	10.1	9.9	12.4	9.3	9.7	10.0
3	Č.1221	13.4	9.0	9.8	10.0	12.1	9.4	9.6	10.0
4	Č.4320	20.0	7.9	16.3	8.5	14.9	8.8	15.7	8.6
5	Č.4320	14.5	8.8	8.5	10.3	9.3	10.1	6.9	10.9
6	Č.4320	11.2	9.6	8.9	10.2	8.7	10.3	7.3	10.8
7	Č.1431	18.8	8.1	11.2	9.6	11.6	9.5	10.0	9.9
8	Č.1531	17.8	8.3	10.5	9.8	10.6	9.7	9.8	9.9
9	Č.1530	12.5	9.3	7.6	10.7	11.2	9.6	7.4	10.7
10	Č.1531	10.2	9.8	6.9	10.9	10.0	9.9	6.8	10.9
11	Č.2133	14.9	8.8	12.1	9.4	11.4	9.5	11.8	9.4

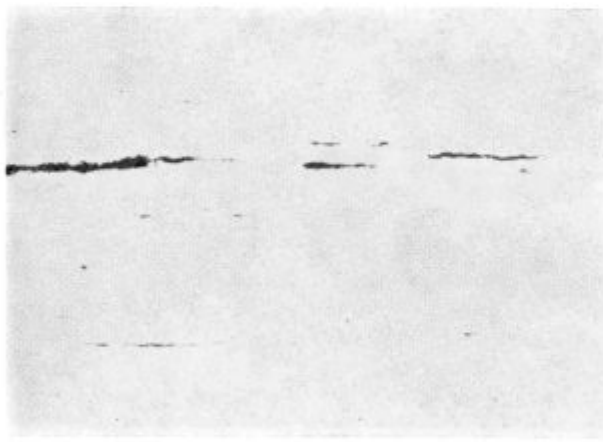
Odrezki gredic so bili kratki, valjanje je bilo izvršeno hitro in zaradi majhnega temperaturnega padca plastičnost jekla ni bistveno padla. Temperatura ogrevanja za valjanje je bila višja od 1200°C in v jeklu je prišlo do sferoidizacije sulfidnih vključkov. To in dejstvo, da je prišlo pri valjanju do podaljšanja manjših vključkov, ki jih pri gredicah nismo upoštevali in cepljenje večjih sulfidov, so verjetno vzroki, da se njihova dolžina pri valjanju ni bistveno spremenila. Tudi pri gostoti ni več take razlike med obrobno cono in sredino. V nekaterih primerih je v obeh področjih

vpliv na lastnosti jekla imajo zato silikatni vključki, ki so bistveno daljši (sl. 6). Zlasti so neugodni dolgi nizi teh vključkov.

3.3 Mikrostruktura gredic in valjancev

Rezultati meritev, navedeni v tabeli 4, predstavljajo povprečne intercepcijske dolžine, izmerjene pri povečavi $500\times$, in razrede primarnih in sekundarnih kristalnih zrn jekla gredic in valjanih palic po ASTM klasifikaciji.

Avstenitna zrna konti ulitih gredic se po preseku med seboj dokaj razlikujejo. V transkristalni coni se dobro vidi dendritska struktura, posamezna zrna pa so zelo velika. V sredini so zrna poligonalna in enakomernejša. V normalizirani strukturi pri jeklih Č.4320 (sl. 7 in 8) in Č.2133 se še dobro opazi razlika med posameznimi conami, pri ostalih jeklih pa je razlika manj izrazita. Pri jeklih za poboljšanje so perlitna zrna različno velika in večja zrna imajo Widmannstätensko strukturo.



Slika 6

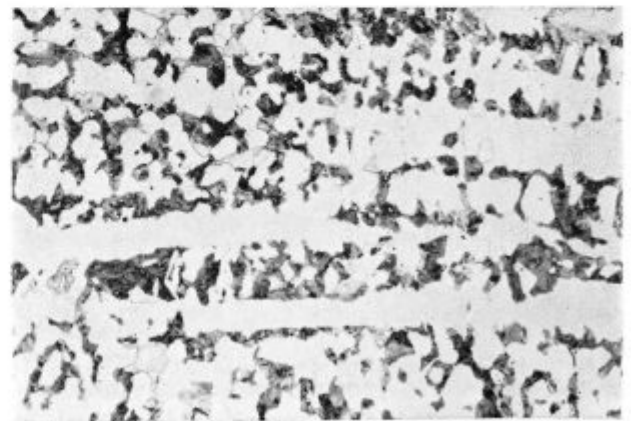
Pov. $100\times$. Silikatni in drobni sulfidni vključki v palci izvaljani iz konti ulite gredice (Č.1220, talina 1)

Fig. 6

Mag. $100\times$. Silicate and small sulphide inclusions in a bar rolled from continuous cast billet (C.1220, Melt 1)

enaka ali je celo gostota večja v sredini. Tako porazdelitev povzroči pregnetenje materiala pri valjanju in so jo pokazali tudi Baumannovi odtisi.

Vključki manganovega sulfida v konti jeklih so krajši kot v konvencionalnem jeklu. Tudi število vključkov na enoto površine je majhno, saj vsebujejo te taline sorazmerno malo žvepla. Večji

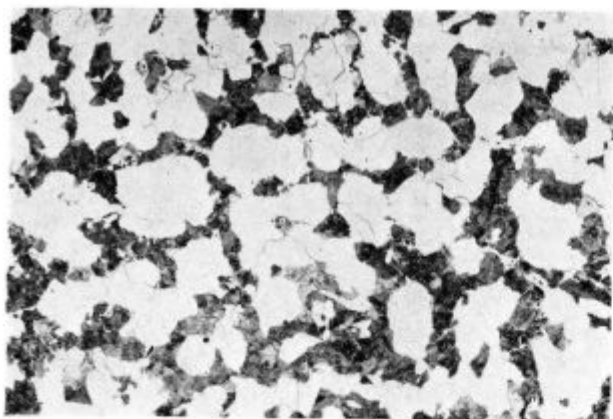


Slika 7

Pov. $100\times$. Normalizirana mikrostruktura v transkristalni coni konti ulite gredice jekla Č.4320 (talina 4)

Fig. 7

Mag. $100\times$. Microstructure in columnar zone of continuous cast billet of Č.4320 steel (Melt 4), normalized

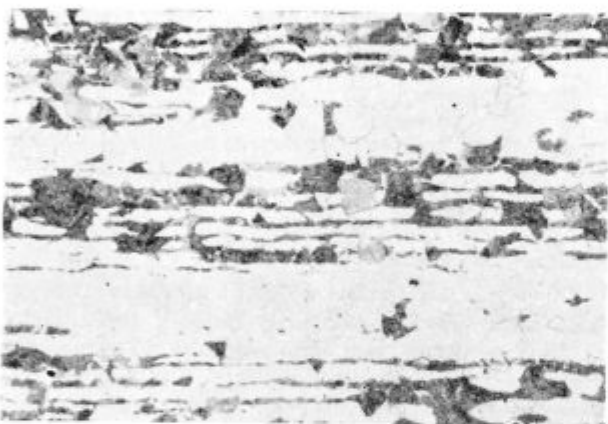


Slika 8

Pov. 100 $\times$. Normalizirana mikrostruktura v sredini konti ulite gredice jekla Č.4320 (talina 4)

Fig. 8

Mag. 100 $\times$. Microstructure in the centre of continuous cast billet of Č. 4320 steel (Melt 4), normalized



Slika 9 in 10

Pov. 100 $\times$. Normalizirana mikrostruktura iz konti jekla iz valjane palice kvalitete Č.4320 (talina 4) in Č.1531 (talina 8)

Figs. 9 and 10

Mag. 100 $\times$. Microstructure of bars rolled from continuous cast Č. 4320 (Melt 4) and Č. 1531 (Melt 8) steel, normalized

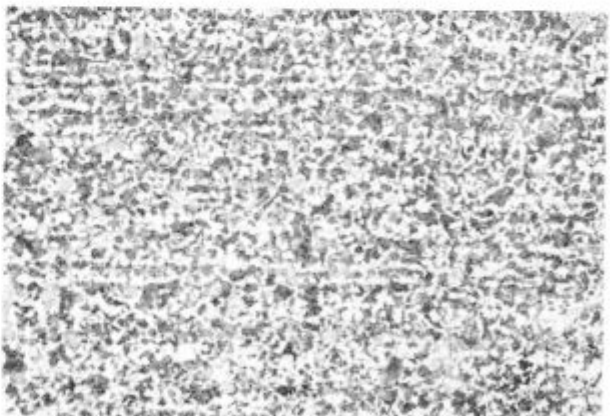
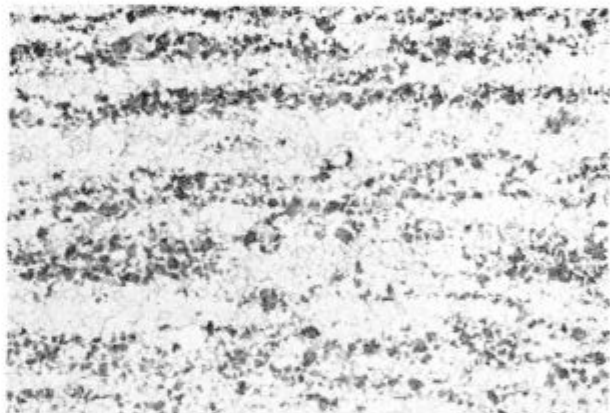
Po valjanju konti ulitih gredic so avstenitna zrna manjša za 0,7 do 1,4 razreda ASTM. Približno enako, oz. nekoliko manjše zmanjšanje opazimo tudi pri konvencionalnih talinah. Valjano jeklo ima bolj drobnostnato normalizirano feritno per-

litno mikrostrukturo v primerjavi z jeklom v gredicah pri kvalitetah Č.4320 in Č.1431. Pri ostalih kvalitetah so sekundarna zrna po normalizaciji skoraj enako velika v gredicah in končnih valjancih. Odstopanja so v mejah merilnih napak in so delno posledica različnih ohlajevalnih hitrosti.

Kristalna zrna v konti litih gredicah so večja kot v konvencionalnih gredicah, ker konti gredice niso predelane. Razlika v velikosti kristalnih zrn pri valjancih pa ni posledica različne stopnje celotne predelave jekla, saj je ta zadostna tudi pri konti jeklu, temveč izdelave jekla (sl. 9, 10, 11 in 12). Konti jeklo nima aluminija, ki vezan v nitrid zavira rast zrn. Največje so razlike pri jeklu Č.4320, pri katerem so sekundarna zrna konti jekla za več kot dva razreda ASTM večja kot pri konvencionalnem jeklu. Pri drugih kvalitetah so razlike manjše.

3.4. Homogenost jekla

Največji vpliv na velikost segregacij imajo: hitrost strjevanja skorje, temperaturni gradient in intenzivnost mešanja taline za strjevalno fron-



Slika 11 in 12

Pov. 100 $\times$. Mikrostruktura jekla palic iz valjanih in konvencionalnih gredic kvalitete Č.4320 (talina 5) in Č.1530 (talina 9)

Figs. 11 and 12

Mag. 100 $\times$. Microstructure of bars rolled from conventional billets of Č. 4320 (Melt 5) and Č. 1530 (Melt 9) steel, normalized.

Tabela 5: Mehanske lastnosti jekla valjanih palic v normaliziranem stanju

Talina	Kvaliteta	Meja plastič. σ_t (N/mm ²)	Natezna trdnost σ_m (N/mm ²)	Raztezek δ (%)	Kontrakcija ψ (%)	Temp. normalizacije (°C)
1	Č.1220	311	454	37.9	64.8	900
2	Č.1220	314	463	37.6	64.0	900
3	Č.1221	360	471	42.4	64.0	900
4	Č.4320	312	495	35.8	60.6	900
5	Č.4320	398	524	36.2	69.1	900
6	Č.4320	376	519	38.4	70.4	900
7	Č.1431	383	638	31.8	52.7	890
8	Č.1531	370	643	27.6	47.4	870
9	Č.1530	456	700	27.8	44.7	870
10	Č.1531	445	654	33.0	52.7	870
11	Č.2133	536	870	22.6	34.6	860

Tabela 6: Mehanske lastnosti nekaterih jekel po kaljenju, oz. popuščanju

Talina	Kvaliteta	Meja plastič. σ_t (N/mm ²)	Natezna trdnost σ_m (N/mm ²)	Raztezek δ (%)	Kontrakcija ψ (%)	Žilavost ρ_s (J)	Vrtilno up. trdn. σ_{vu} (N/mm ²)	σ_{vu}/σ_m	Temp. kalj. (°C)	Temp. popušč. (°C)
1	Č.1220	475	650	26.2	65.2	105	334	0.51	900	—
2	Č.1220	437	634	27.7	69.8	118	333	0.53	900	—
4	Č.4320	818	937	15.7	47.5	42	419	0.45	870	—
5	Č.4320	812	968	18.4	41.5	39	403	0.42	870	—
7	Č.1431	506	739	21.5	57.1	53	347	0.47	870	600
8	Č.1531	512	755	22.4	55.8	42	356	0.47	850	600
10	Č.1531	551	803	23.7	56.5	50	371	0.46	850	600
11	Č.2133	1255	1344	10.2	19.6	12	569	0.42	850	500

to. Ti dejavniki so najbolj odvisni od pregretja jekla in hitrosti sekundarnega ohlajanja, od njih pa je tudi odvisna kristalizacijska struktura gredic.

V konti in v klasično izdelanih gredicah so izceje večje v likvacijskem kvadratu kot ob robu gredic. Pri konti gredicah cementacijskih jekel znašajo maksimalne koncentracijske razlike 30 % pri Mn, 25 % pri Si in 20 % pri Cr. Izceje Mn in Cr so v konvencionalnih gredicah nekaj večje, izceje Si pa so manjše. Razlike med dendritskimi izcejami v obrobni coni in likvacijskem kvadratu so manjše pri konti gredicah.

Izceje v jeklih za poplavljanje so v likvacijskem kvadratu konvencionalnih gredic nekaj večje kot v konti gredicah in znašajo pri Mn do 50 % in pri Si do 45%. V obrobni coni pa so izceje pri obeh vrstah gredic manjše, razlike med obema vrstama jekla pa niso sistematične. Pri vzmetenem jeklu je intenziteta izcejanja Mn enaka kot pri jeklih za poplavljanje, izceje silicija pa so večje in znašajo v obrobni coni 40 %, v likvacijskem kvadratu pa 80 %.

Izceje v palicah, izvaljanih iz konti jekla, so do polovice manjše kot v gredicah, ker je prišlo pri ogrevanju za valjanje do homogenizacije

jekla. Pri konti jeklu Č.1220 so v absolutnem smislu zanemarljivo majhne. Pri jeklu Č.4320 znaša največja absolutna razlika v sredini palice pri Mn 0,25 %, pri Si 0,02 % in pri Cr 0,38 %. Nekaj manjše so koncentracijske razlike pri Mn v jeklih za poplavljanje, izceje Si pa so nekaj večje. V vzmetenem jeklu Č.2133 so absolutne razlike pri Mn majhne (0,1 %), pri Si, ki močneje izceja, pa znašajo v obrobni coni 0,24 % in na sredini 0,52 %.

3.5. Mehanske lastnosti jekel

Mehanske lastnosti palic v smeri valjanja v normaliziranem stanju so navedene v tabeli 5.

Rezultati kažejo, da so lastnosti nelegiranih jekel skoraj enake pri obeh vrstah jekel. Pri legiranem cementacijskem jeklu Č.4320 imata konvencionalni jekli za približno 25 % večjo mejo plastičnosti in 15 % večjo kontrakcijo, pri natezni trdnosti in raztezu pa so razlike precej manjše. Podobne razlike opazimo tudi pri jeklih za poplavljanje. Konti jeklo ima zlasti nižjo mejo plastičnosti (20 %), pri ostalih lastnostih pa so razlike manjše.

Za vrednotenje mehanskih lastnosti teh jekel je zelo pomembna trajna dinamična trdnost, saj so elementi, ki se iz teh jekel izdelujejo za strojno industrijo, večinoma obremenjeni z izmeničnimi napetostmi. Dinamično trajno trdnost smo določili z vrtilno upogibnimi preizkusi po metodi stopnic. Hitrost vrtenja je znašala 3000 obr/min; preizkušanje pa smo prekinili, če je preizkušaneec zdržal 4,5.10⁶ obratov. Nelegirana cementacijska jekla smo za te preizkuse slepo kalili v vodi, legirana pa v olju in jih nismo popuščali. Ostala jekla smo po kaljenju v olju 60 minut popuščali. Poleg trajne trdnosti smo na tako toplotno obdelanih jeklih določili še mejo plastičnosti, natezno trdnost, raztezek, kontrakcijo in žilavost (tabela 6). Vrednosti mehanskih lastnosti konti jekla so enake ali nekaj nižje od konvencionalnega. Trajne dinamične trdnosti, zlasti razmerja med dinamično in statično trdnostjo, so praktično neodvisna od načina izdelave jekla.

Pri primerjavi lastnosti jekel moramo upoštevati tudi dejstvo, da kemijske sestave talin niso enake, kar ima vpliv na rezultate meritev. To se zlasti dobro vidi pri jeklu Č.4320, kjer razlika v velikosti zrn ne pride do izraza zaradi večje vsebnosti ogljika in kroma v konti jeklu. Vrednosti mehanskih lastnosti pa v nobenem primeru ne padejo iz območij, ki jih predpisujejo standardi.

ZAKLJUČEK

Namen raziskav je bilo sistematično raziskati nekatere lastnosti in strukture cementacijskih jekel, jekel za poboljšanje in vzmetnega jekla z namenom, da primerjamo konti ulite in konvencionalne gredice in palice, ki so bile iz njih izvaljane.

Makropreiskave so pokazale, da so v gredicah napake, značilne za konti litje. Pri valjanju so se zaradi redukcije preseka radialne razpoke in porozna sredina zavaljale, tako, da teh napak v predelanem jeklu nismo opazili. Med vsebnostjo žvepla v obrobni coni in v sredini gredic ni nobene razlike, pač pa so vključki manganovega sulfida v obrobni coni manjši, njihova gostota pa je večja. Zaradi tega pri Baumannovem odtisu

na teh mestih ne dobimo tako izrazite potemnitve, kot jo dajo večji sulfidni vključki v likvacijskem kvadratu. Te ugotovitve veljajo za konti in klasično izdelane gredice.

Konti jeklo vsebuje malo žvepla in sorazmerno temu je v jeklu malo vključkov manganovega sulfida. V valjanem jeklu so sulfidi kratki. Precej večja je povprečna dolžina silikatnih vključkov.

Segregacije so v konti ulitih gredicah manjše kot v konvencionalnih, kljub temu da so bili ingoti pred valjanjem homogenizacijsko žarjeni. Zato je tudi jeklo palic, izvaljanih iz konti jekla, homogenejše.

Primarna in sekundarna kristalna zrna v valjanem konti jeklu so večja, ker jeklo ni pomirjeno z aluminijem in to je verjetno vzrok nekaj slabšim mehanskim lastnostim konti jekla. Iz rezultatov se vidi, da mehanske lastnosti ustrezajo vrednostim, ki jih predpisujejo standardi. Konti jeklo lahko zato v vseh ozirih enakovredno nadomesti konvencionalno jeklo.

Literatura

1. Menter J.: Continuous casting moves into quality steels, *Metals and Materials*, julij/avgust 1977
2. Mills N.T., Joseph R.W.: A look inside strand-cast steel slabs, *Ironmaking and Steelmaking*, št. 3, 1977
3. Flüge J., Hagen K., Hammerschmid P.: Sulfidverteilung in der Randschicht von Stranggussbrammen, *Arch. Eisenhüttenwes.*, št. 2, 1977
4. Vodopivec F., B. Ralič: Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 543/1977
5. Kmetič M., F. Vodopivec: Poročilo Metalurškega inštituta v Ljubljani, št. 609/1977
6. Irwing, W.R., Perkins A.: Basic parameters affecting the quality of continuously cast slabs, *Ironmaking and steelmaking*, 1977, št. 5
7. Sorimachi K., Brimacombe J. K.: Improvements in mathematical modelling of stresses in continuous casting of steel, *Ironmaking and Steelmaking*, št. 4, 1977
8. Hubble D.H., Wessel R.L.: Design and selection of refractories used in continuous casting, *Ironmaking and Steelmaking*, št. 5, 1977
9. Weigl C.P.: Strandcasting low-alloy steels, *Ironmaking and Steelmaking*, št. 2, 1977
10. Wolf M.: Product quality considerations in continuous slab casting, *Iron and Steel International*, febr. 1977

ZUSAMMENFASSUNG

Der Zweck der Untersuchungen war systematisch einige Eigenschaften und Gefüge an den konventionell ausgewalzten und an stranggegossenen Knüppeln und Stäben der Einsatz, Vergütungs und Federstählen zu untersuchen und zu vergleichen.

Die makroskopischen Untersuchungen zeigten, dass in Knüppeln Fehler eigenartig für Strangguss auftreten. Beim Walzen verschweissen wegen der Verformung Radialrisse und poröser Kern, so dass diese Fehler im verwalzten Stahl nicht beobachtet werden können. Im Schwefelgehalt zwischen Rand und Kern sind keine Unterschiede festzustellen, jedoch sind Mangansulfideinschlüsse in der Randzone kleiner und die Dichte der Verteilung grösser. Aus diesem Grunde erscheinen am Baumannabdruck diese Stellen nicht so ausgeprägt dunkel, wie das im Seigerungsquadrat wo die Sulfideinschlüsse grösser sind, der Fall ist. Diese Feststellungen gelten sowohl für die stranggegossenen wie auch für die konventionell erzeugten Knüppel.

Stahl für Strangguss enthält weniger Schwefel und dementsprechend weniger Mangansulfide sind im Stahl enthalten. Im verwalzten Stahl sind die Sulfide verhältnismässig kurz. Im Durchschnitt sind die silikatischen Einschlüsse viel länger.

Seigerungen sind in stranggegossenen Knüppeln kleiner wie in konventionell erzeugten trotzdem dass Blöcke vor dem Walzen ausgeglüht werden. Deswegen ist auch Stabstahl, ausgewalzt aus Stranggussknüppeln, homogener.

Primär und Sekundärkörner sind im verwalzten Stranggussstahl grösser, da der Stahl nicht mit Aluminium vollberuhigt vergossen wird, was auch der Grund für etwas schlechtere mechanische Eigenschaften sein kann. Aus den Ergebnissen ist zu entnehmen, dass die mechanischen Eigenschaften den in Normen vorgeschriebenen Werten entsprechen. Stranggussstahl kann den konventionell erzeugten Stahl in jeder Hinsicht ersetzen.

SUMMARY

The investigation has intention to analyze systematically some properties and structures of carburising, tempering, and spring steel in order to compare the continuous cast and usual billets utilized for rolling.

Macro investigations showed that billets contain defects characteristic for continuous casting. In rolling, the radial cracks and central porosity are welded together due to the reduction of the cross section, thus these defects were not found in the worked steel. There was no difference in sulphur content in the edge or in the centre of the billet. Only manganese sulphide inclusions were finer in the edge and their density was greater. Thus the sulphur print does not give so pronounced darkening on the edge as it is in the liquation square due to bigger sulphide inclusions. These findings are valid for continuous cast and conventionally produced billets.

Continuous cast steel contains low sulphur, thus also the amount of manganese sulphide inclusions in steel is reduced. Sulphides in the rolled steel are short. Average length of silicate inclusions is greater.

Segregations in the continuous cast billets are lower than those in the conventional ones though the ingots were homogenized before rolling in the last case. Also rolled steel of continuous cast billets is more homogeneous.

Primary and secondary grains in the rolled continuous cast steel are greater since steel was not killed with aluminium. This probably gives slightly lower mechanical properties of the continuous cast steel. The results show that the obtained mechanical properties correspond to the requirements in standards. The conclusion is that continuous cast steel can adequately replace the conventional steel.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Цель исследований — систематическое изучение некоторых свойств и структуры цементированных, улучшенных и пружинных сталей с целью сравнения заготовок и сортовой стали непрерывного литья с классическим литьем в изложницы. Исследования макро структуры показали, что заготовки содержат дефекты характерные для непрерывного литья. При прокатки, вследствие редукции сечения, радиальные трещины и пористость сердцевинны закаты, так что трещины в переработанном изделии не обнаружены. Что касается серы, то никакая разница в краевой зоне и сердцевинны заготовки не отмечена. Обнаружено, что в краевой зоне сульфиды марганца по величине немного меньше, по количеству же распределены более густо. Вследствии этого баймановские отпечатки в тех пределах, в сравнении с более крупными сульфидными включениями, недостаточно выразительны. Эти констатации действительны для обоих видов производства заготовок — непрерывным литьем и литьем классического способа одинаково.

Сталь непрерывного литья содержит незначительное количе-

ство серы. Соответственно этому в стали небольшое количество включений сульфидов марганца. В катаной стали длина этих включений сравнительно короткая. Значительно больше средняя длина спайкатных включений.

Хотя слитки до прокатки были подвергнуты гомогенизационному отжигу, количество сегрегаций в заготовках из непрерывного литья меньше. Поэтому и сортовая сталь, развальцованная из стали непрерывного литья более однородная.

Первичные и вторичные кристаллические зерна в катаной стали непрерывного литья по величине более крупные из-за того, что сталь не была успокоена с алюминием. Возможно, что это также причина более низким механическим свойствам стали непрерывного литья. Из полученных результатов очевидно, что механические свойства стали непрерывного литья отвечают требованиям, предписанным на основании действующих стандартов. На основании этого, сталь непрерывного литья является во всех отношениях эквивалентным возмещением стали, отлитой классическим способом.