

Optimizacija tehnologije izdelave in odlivanja jekla v Železarni Štore

Optimisation of the Manufacturing Technology and Continuous Casting of Steel in Steelplants Štore

H. Ploštajner, Železarna Štore, Štore

in

V. Prešern, G. Todorović, Inštitut za kovinske materiale in tehnologije, Lepi pot 11, Ljubljana

Kratko so prikazani nekateri primeri raziskav na področju izdelave in odlivanja jekla v zadnjem obdobju. V zaključku je navedeno tudi nekaj karakterističnih podatkov o kakovosti jekla, ki so jo pogojevale določene novosti in spremembe v tehnologiji.

The technological optimization steps are presented to assure surface—and internal defects free continuously cast billets of diameter 240 mm × 240 mm and the casting speed and the cooling intensity are the most important factors. The reasons of clogging of casting nozzles are discussed and chemical and phase analysis of inclusions with the thermodynamic analysis have given answers for explanation. Steel quality of the special steels in Steel-plants Štore regarding steel cleanness has reached so high level that all quality demands of customers can be fulfilled and guaranteed.

1 Osvajanje odlivanja gredic kv. 180 in 220 mm

Nova naprava za kontinuirno odlivanje jekla v Železarni Štore je bila projektirana za odlivanje kvadratov 140, 180 in 220 mm. Glede na potrebe valjarn se je sprva odlival samo kvadrat 140 mm. Z izgradnjo in pričetkom obratovanja novega reverzirnega duo ogrodja se je pojavila potreba tudi po odlivanju kvadratov 180 in 220 mm.

Prva poizkusna odlivanja teh večjih kvadratov so potekala po navodilih proizvajalca konti naprave. Kljub temu pa so se na gredicah teh prvih poizkusno odlitih šarž pojavljale površinske napake. Gredice so imele na koncih v razdalji približno 15 cm od reza prečne raztrganine, globine tudi po več mm. Primer teh napak na liti gredici je prikazan na sliki 1.



Slika 1. Površinske razpoke na liti gredici.

Figure 1. Surface defect on the billet.

Da bi se prepričali, če so napake samo na koncu gredice ob rezu, smo gredice kvadrat 180 mm prevaljali v kvadrat 140 mm. Na prevaljanih gredicah smo opazili prečne raztrganine po celotni dolžini (slika 2). Na vseh prevaljanih gredicah so se te prečne raztrganine pojavljale vedno samo na eni ploskvi in na robovih ob tej ploskvi. Ugotovljeno je bilo tudi, da nastajajo površinske napake vedno na tisti strani gredice, kjer pri prehodu gredice skozi ravnalni stroj konti naprave nastopajo natezne sile.



Slika 2. Površinske napake na gredici izvaljani iz lite gredice.

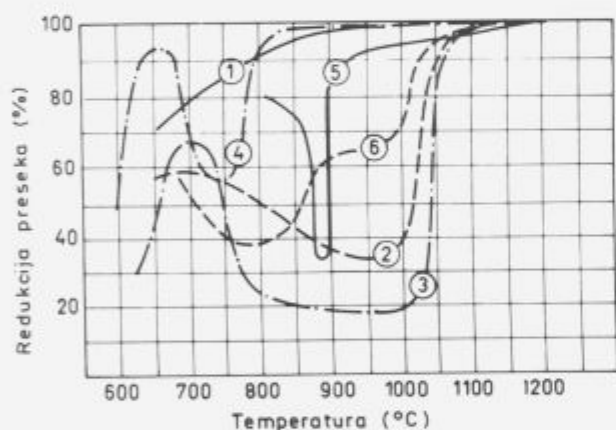
Figure 2. The location of the surface defects.

Za preprečitev nastajanja teh površinskih napak na gredicah so bile pri naslednjih odlivanjih po posvetu s proizvajalcem konti naprave narejene nekatere spremembe v tehnologiji odlivanja: zmanjšali smo amplitudo oscilacije kokile, prešli smo na uporabo drugačnega livnega praška, zmanjšali smo sekundarno hlajenje na notranjem radiju

gredice. Pod hladilnimi ploščami, ki so pod kokilo, smo namestili pločevino, ki je preprečevala, da bi hladilna voda tekla po notranji strani gredice in jo tako dodatno hladila. Kljub vsem tem ukrepom so se pri naslednjih odlivanjih na gredicah še vedno pojavljale površinske napake.

Že pri prvih poizkusnih odlivanjih smo opazili, da obstajajo pri isti šarži določene razlike v globini površinskih napak med posameznimi žilami, kakor tudi med gredicami iste žile med začetkom in sredino odlivanja. Te razlike v globini napak smo pripisali manjšim temperaturnim razlikam, ki obstajajo med posameznimi gredicami pri prehodu skozi ravnalni stroj. Opazili smo tudi, da so za te napake bolj občutljiva jekla, ki vsebujejo višjo vsebnost aluminija. Iz tega smo sklepali, da gre pri nastajanju teh napak za pojav zmanjšanja preoblikovalnosti jekla pri temperaturah pod 1100°C, ki je znano iz novejših strokovne literature¹.

Po tem literaturnem viru¹, so vsa jekla do temperature približno 1100°C dobro preoblikovalna. Pod to temperaturo se preoblikovalnost jekla močno poslabša in doseže najnižje vrednosti v temperaturnem območju od 1000 do 800°C. Poslabšanje preoblikovalnosti je odvisno od kemijske sestave jekla in je močnejše pri jeklih, ki vsebujejo poleg dušika tudi aluminij ali druge elemente, ki tvorijo z dušikom nitride. Izjema so le vakuumsko pretaljena jekla z nizko vsebnostjo dušika, ki so tudi v tem kritičnem temperaturnem območju dobro preoblikovalna (slika 3).



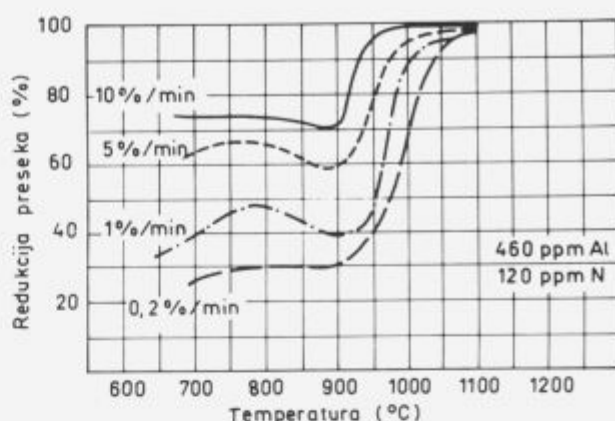
	Mn v %	Al v ppm	N
1) 26 NiCrMoV 145 /vakuumsko pretaljeno/	0,23	20	20
2) 26 NiCrMoV 145	0,23	30	160
3) 35 B 2	0,65	840	100
4) 30 Mn 7	1,64	270	160
5) RZSt 37-2	0,56	170	50
6) 30 CrMoNiV 511	0,72	80	110

Slika 3. Odvisnost vroče preoblikovalnosti od vrste jekla in temperature.

Figure 3. Dependence of hot forming from steel grade and temperature.

Zmanjšanje preoblikovalnosti jekla v tem kritičnem temperaturnem območju je močno odvisno od hitrosti deformacije. Pri zelo velikih hitrostih deformacije npr. 1000%/minuto je praktično vsako jeklo dobro preoblikovalno. Z manjšanjem hitrosti deformacije se preoblikovalnost jekla zmanjšuje in pri hitrosti deformacije 0,2%/minuto je večina jekel zelo slabo preoblikovalnih (slika 4).

Pri prehodu gredice skozi ravnalni stroj konti naprave,



Slika 4. Vpliv preoblikovalne hitrosti na preoblikovalnost jekla 26NiCrMoV145.

Figure 4. Influence of forming rate on hot forming of the steel grade 26NiCrMoV145.

so razmere, ki vplivajo na preoblikovalnost jekla, zelo neugodne. Temperatura površine gredic pri začetnih odlivanjih kvadrat 180 in 220 mm je v ravnalnem stroju že padla na 970 do 1030°C. Ta temperatura pa je že v tistem temperaturnem območju, kjer začne padati preoblikovalnost pri večini jekel. Hitrosti deformacije so v ravnalnem stroju zelo majhne, kar še dodatno poslabša preoblikovalnost jekla.

Ker vsi dotedanji ukrepi niso zagotavljali odlivanja gredic kvadrat 180 in 220 mm brez površinskih napak, smo pri izdelavi tehnologije za naslednja odlivanja upoštevali predvsem zakonitosti o vplivu temperature in hitrosti deformacije na preoblikovalnost jekla. Po tem novem tehnološkem predpisu smo ob nespremenjenem primarnem hlajenju zmanjšali sekundarno hlajenje. Hitrost litja smo povečali s ciljem, da se poveča hitrost deformacije v ravnalnem stroju in predvsem, da se pri enakem sekundarnem hlajenju poveča temperatura gredic v ravnalnem stroju. Namestili smo pločevino, ki je preprečevala, da bi voda od hlajenja ravnalnega stroja še dodatno hladila kritično površino gredice tik pred vstopom v ravnalni stroj.

Po vseh teh spremembah smo pri naslednjih odlivanjih dosegli temperaturo gredic tik pred ravnalnim strojem od 1030 do 1070°C. Površina litih gredic, kakor tudi prevaljanih gredic je bila brez površinskih prečnih raztrganin. Zato lahko danes rečemo, da je kljub razmeroma majhnemu radiju konti naprave, mogoče odlivati gredice večjega formata s kakovostno površino za zahtevnejše namene.

2 Raziskave vzrokov mašenja izlivkov v livnih sistemih

Pri kontinuirnem odlivanju jekla lahko prihaja do nalepljanja nekovinskih vključkov z visokim tališčem na stene livnega sistema. V naših razmerah lahko v teh nalepkah najpogosteje pričakujemo vključke aluminijevega oksida, premalo modificirane kalcijeve aluminatne in kalcijev sulfid. S poznavanjem sestave takega nalepka iz livnega sistema lahko ugotovimo, katere so bile nepravilnosti pri izdelavi jekla.

Pri odlivanju gredic kvadrat 180 in 220 so nekatere šarže slabo tekle iz livne ponovce. Posledica tega je bila, da je v drugi polovici odlivanja pričel padati nivo taline v vmesni ponvi in potrebno je bilo zapirati posamezne žile ali celo podžigati livno ponvo s kisikom. Vse to pa je neugodno vplivalo na kakovost odlitega jekla.

Po končanem odlivanju se drsno zapiralo pred demontažo podžge in očisti s kisikom. S tem se iz drsnega zapirala odstrani morebitni nekovinski nalepek, ki je zmanjševal odprtino drsnega zapirala in s tem zmanjševal pretok jekla. Pri nekaterih slabo tekočih šaržah smo spodnji del drsnega zapirala demontirali brez predhodnega podžiganja s kisikom. V večini teh primerov smo v spodnjem delu drsnega zapirala opazili nekovinski nalepek, ki je zmanjševal presek notranje odprtine. Primer takega nalepka v drsnem zapiralu prikazuje slika 5.



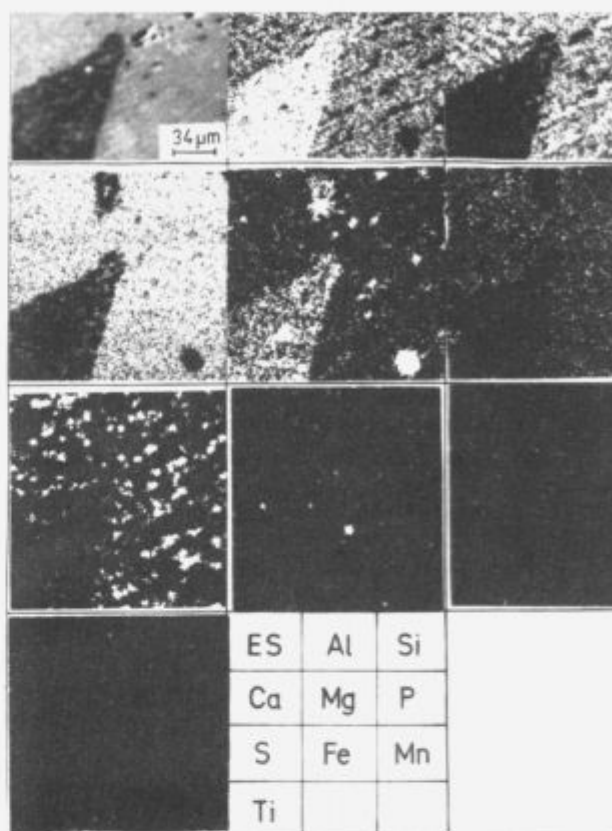
Slika 5. Primer nalepka v notranjosti drsnega zapirala.

Figure 5. Example of the clogged layer inside casting sliding gate.

Nalepke iz drsnega zapirala smo preiskali na elektronskem mikroanalizatorju. Preiskava je pokazala, da je nalepek sestavljen iz več faz. Najpogosteje se je pojavljala faza, ki so jo sestavljali oksidi kalcija, aluminijski in silicija. V manjši meri se je pojavljala tudi špinel $MgO \cdot Al_2O_3$. Tipičen primer analize nalepka na mikrosondi prikazuje slika 6. Ker je jeklo pri vseh teh šaržah vsebovalo nad 0.020% Al, je nemogoče, da bi vključki v jeklu vsebovali SiO_2 . Iz tega smo sklepali, da je faza, ki vsebuje SiO_2 prav gotovo nastala pri reoksidaciji jekla v drsnem zapiralu. Sestava te faze tudi ustreza sestavi vključkov, ki po literarnih podatkih² nastajajo pri reoksidaciji jekla. Špinel $MgO \cdot Al_2O_3$ pa je verjetno nastal že v ponovci pri reakciji Al_2O_3 z MgO iz obzidave.

Kot ekstremen primer je zanimiva šarža, pri kateri med obdelavo jekla v ponovci ni bilo mešanja z argonom. Med odlivanjem na konti napravi je tudi ta šarža zelo slabo tekla iz livne ponovce. Po demontaži drsnega zapirala smo v njegovem spodnjem delu opazili votel zamašek strjenega jekla. Med strjenim jeklom in ognjestalnim materialom drsnega zapirala ni bilo nobenega nekovinskega nalepka. Iz tega smo sklepali, da pri slabo izdelanih šaržah pride do mašenja zgornjega dela drsnega zapirala, ki je v dnu livne ponve. Zaradi zmanjšane pretoka jekla se v spodnjem delu drsnega zapirala lahko prične ob stenah strjevati jeklo.

Na osnovi podatkov vizualnega pregleda drsnih zapiral po demontaži in preiskav nalepkov na mikro sondi smo zaključili, da prihaja do slabe livnosti jekla skozi drsno za-



Slika 6. Posnetek elektronske sestave in specifični X posnetki elementov na vzorcu izlivnika ponovce.

Figure 6. Phase-composition of the clogged layer.

piralo zaradi dveh vzrokov: slabe izdelave jekla ali reoksidacije jekla v drsnem zapiralu. Reoksidacijo jekla smo skušali preprečevati s poostreno kontrolo pri montaži drsnih zapiral in z dovodom argona v drsno zapiralo.

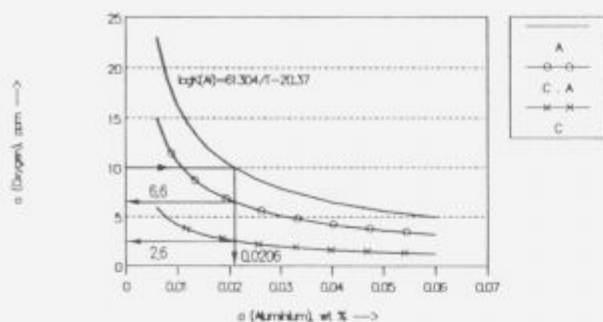
Do mašenja lahko prihaja tudi v izlivkih iz vmesne ponve, po katerih teče jeklo v kristalizator. Vendar pri zaprtem odlivanju in regulaciji nivoja taline v vmesni ponvi s spuščanjem in dviganjem zamašnega droga, to mašenje običajno ne dela večjih težav. Primer analize nalepka iz izlivka vmesne ponve od šarže, pri kateri je prišlo do močnejšega mašenja, je prikazan na sliki 7. Vidimo lahko, da je nalepek sestavljen iz nevezanega Al_2O_3 in faze, ki jo sestavljajo oksidi aluminijski in silicija. Prisotnost nevezanega Al_2O_3 v nalepku si lahko pojasnimo s tem, da sta bila količina ali izkoristek dodanega CaSi premajhna, da je bilo med obdelavo taline preslabo mešanje. Ker je obzidava vmesne ponve in prekrivni prašek bazičen, je aluminijev silikat lahko nastal le z reakcijo Al_2O_3 z SiO_2 iz zaščitne cevi, ki je med livno in vmesno ponovco.

3 Aplikacija nekaterih termodinamičnih zakonitosti sistema Fe-Al-Ca-O v praksi

Iz termodinamike je znano, da je v jeklu dezoksidiranem z aluminijem, določeno ravnotežje med kisikom in aluminijem. Z modifikacijo čistih aluminijevih oksidov, ki so prvotno v takem jeklu, v kalcijeve aluminiate, se spremeni ravnotežje med kisikom in aluminijem. Slika 7 prikazuje za temperaturo 1873 K tri ravnotežne krivulje: za čisti Al_2O_3 , za kalcijev aluminat $CaO \cdot Al_2O_3$ in za čisti CaO ⁽³⁾.

Al-O RATIO AT T=1873 K

Example for a/O/ = 10 ppm



Slika 7. Termodinamična analiza vključka modificiranega s kalcijem.

Figure 7. Thermodynamic analysis of the inclusion modification by calcium.

Pri obdelavi jekla z CaSi se vključki aluminijevega oksida modificirajo v kalcijeve aluminat. Cilj te obdelave je doseči vključke kalcijevega aluminata $\text{CaO} - \text{Al}_2\text{O}_3$ najnižje tališče. Vendar pa ta modifikacija poteka postopno preko aluminatov, ki so vedno bogatejši na kalciju: $\text{CaO} \cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$, $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ in $\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$. Vsakemu od teh kalcijevih aluminatov ustreza drugačno ravnotežje med aluminijem in kisikom. Iz tega sledi, da bi z merjenjem aktivnega kisika v jeklu po obdelavi s CaSi, lahko ugotovili, kakšne kalcijeve aluminat imamo v jeklu. S tem bi lahko ugotovili, če je uspela modifikacija oziroma, če je bila dodana pravilna količina CaSi. Z našimi raziskavami smo skušali ugotoviti možnost uporabe teh termodinamičnih zakonitosti v praksi, vendar raziskave na tem področju še niso končane.

4 Kakovostni nivo proizvodnje jekla

Poleg navedenih raziskav so bile v zadnjem obdobju v proizvodnji na področju tehnologije uvedene številne

novosti, ki so ugodno vplivale na kakovost našega jekla in na znižanje proizvodnih stroškov.

Pri večini jekel se je izdelava jekla prenesla iz peči v ponvo. Med ogrevanjem taline v peči od raztalitve do izpusta se je kot stalna praksa uvedlo delo s penečo žlindro. V peč so bili vgrajeni porozni kamni, ki omogočajo mešanje taline z inertnimi plini. Obdelava jekla z CaSi ter izplakovanje in mešanje taline v ponvi z argonom je postala stalna praksa. Vsi ti ukrepi so omogočili skrajšanje časa izdelave šarže, znižanje specifične porabe električne energije in znižanje drugih proizvodnih stroškov.

Z zmanjšanjem proizvodnje jekla v zadnjem letu se je praktično popolnoma prenehalo odlivanje jekla na stari konti napravi, ki zaradi premajhne vmesne ponve in odprtega odlivanja, ne zagotavlja zadovoljive kakovosti odlitega jekla. V tem obdobju je bilo vse jeklo odlito na novi konti napravi, ki ima večjo vmesno ponev in zaščito curka jekla med livno in vmesno ponvo ter med vmesno ponvo in kokilo.

Izdelava jekla v ponvi in odlivanje na novi konti napravi pod zaščito imata za posledico čistejšo jeklo z nižjo vsebnostjo celokupnega kisika. Tako kažejo podatki pri večjem številu naključno izbranih šarž celokupni kisik pri jeklih za poboljšanje povprečno 26 ppm in pri cementacijskih jeklih povprečno 32 ppm. Prav tako se je v tem zadnjem obdobju zmanjšala vsebnost dušika v jeklu za približno 20 ppm. Vsi ti podatki kažejo, da lahko danes Železarna Štore izdeluje kakovostna jekla za najzahtevnejše namene.

5 Literatura

- ¹ H. Finkler, G. Renollet: Steel research No. 6, 262-269, 1986
- ² J.W. Farrell, F.J. Bilek, D.C. Hilty: Inclusions organing from Reoxidation of liquid Steel str. 23-42, Chemical and Physical Interactions During Transfer Operations, a publication of the Iron and Steel Society of AIME, 1983
- ³ V. Prešern: Določevanje optimalne vsebnosti kalcija v jeklu. Poročila Metalurškega inštituta v Ljubljani 90-007