

SPECIFIČNOSTI IZDELAVE OGNJEVZDRŽNEGA JEKLA ACRONI 19 Si

EXPERIENCES FROM THE PRODUCTION OF HEAT-RESISTANT ACRONI 19 Si STEEL

Alenka Kosmač, Cveto Pohar, Iztok Tomažič

SŽ ACRONI, d.o.o., Kidričeva 44, 4270 Jesenice, Slovenija
akosmac@acroni.si

Prejem rokopisa - received: 2001-10-23; sprejem za objavo - accepted for publication: 2002-05-13

Prispevek opisuje težave v proizvodnji avstenitnega ognjevdzdržnega jekla Acroni 19 Si (W.Nr. 1.4841). Že od začetka izdelave in predelave jekla Acroni 19 Si so se nam v proizvodnji pojavljale napake, kot so: dolge vzdolžne razpoke približno na sredini ene ali obeh širših ploskev slaba, kratke (do 2 cm), pretežno vzdolžno usmerjene razpoke tik pod površino slabov in kratke, prečno usmerjene luskinice, ki so nastale med valjanjem slabov v pločevino. Prispevek opisuje načine reševanja omenjene problematike, ki ima velik vpliv tudi na izkoristek materiala v proizvodnji.

Ključne besede: ognjevdzdržna, avstenitna nerjavna jekla, kontinuirno ulivanje, vzdolžne razpoke, toplotni tok

Results and experimental processes from the production of heat-resistant Acroni 19 Si steel (W. Nr. 1.4841) are described. Since the first industrial heats some problems have consistently occurred during the production of this particular steel grade. The problems are as follows: longitudinal cracks in the middle of the wide slab's surface, short longitudinal cracks just under the slab surface and M - defects on the hot-rolled surface.

Key words: heat-resistant, austenitic stainless steel, continuous casting, longitudinal cracks, heat flux

1 UVOD

Jeklo Acroni 19 Si (W.Nr. 1.4841) spada v skupino visoko legiranih avstenitnih v ognju obstojnih jekel. Vsebuje 24,00-26,00 % Cr, 19,00-22,00 % Ni in 1,5-2,5 % Si. Je najbolj legirano jeklo iz Acronijevega proizvodnega programa.

Izdelavo prvih šarž Acroni 19 Si smo pričeli v letu 1998. Pred tem obdobjem smo občasno izdelovali le Acroni 19, ki je bil v glavnem kot toplo valjan trak namenjen za potrebe Acronija (popravilo peči).

2 TEORETIČNE OSNOVE

Jeklo se smatra kot ognjevdzdržno, kadar je oksidna plast, ki nastane na njegovi površini, kompaktna in se površine dobro oprijemlje. Ta plast hermetično pokrije kovino ter s tem onemogoči nadaljnjo difuzijo kisika v material.

Proces tvorbe oksidne plasti poteka na naslednji način:

- iz medija se adsorbira kisik, ki se ionizira
- ioni kovine difundirajo skozi nastajajočo oksidno plast
- tvorijo se oksidi.

Pri plinski koroziji kovina navadno prehaja v obstojnejše kovinsko stanje (površinsko), in to zato, ker oksidacijska komponenta medija odnaša kovini valenčne elektrone in istočasno prehaja v kemični spoj s kovino, to je v kovinski oksid. Tako se na površini kovine tvori oksidna plast, ki preprečuje stik korozijskega medija in podpovršinske plasti čiste kovine ali legure.

Potrebni pogoj (ne pa še zadostni) kompaktnosti oksidne plasti je:¹

$$1 < \frac{V_{\text{oksid}}}{V_{\text{kovine}}} < 2,5$$

pri čemer velja:

$$\frac{V_{\text{oksid}}}{V_{\text{kovine}}} = \frac{M \cdot \rho_{\text{kovine}}}{n \cdot A \cdot \rho_{\text{oksid}}}$$

- V volumen (kovine oziroma oksida)
M molekularna masa oksida
A atomska masa kovine
 ρ gostota kovine oziroma oksida
n število atomov kovine v molekuli oksida

Da bi izpolnili zadostni pogoj kompaktnosti zaščitne plasti, je treba zadostiti še naslednjim pogojem:

Tabela 1: Predpisana kemična sestava po EN 10095 - 1999 (v mas.%)

	W.Nr.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni
Acroni 19 Si	1.4841	≤ 0,20	1,50-2,50	< 2,00	≤ 0,045	≤ 0,015	24,0-26,0	19,0-21,0
Acroni 19	1.4845	≤ 0,10	≤ 1,50	< 2,00	≤ 0,045	≤ 0,015	24,0-26,0	19,0-22,0

- otežiti moramo difuzijo ionov kovine in kisika skozi že nastalo oksidno plast in povečati sposobnost oksidne plasti, da spontano zaustavi lastno rast (pri železu s tvorbo sloja hematita Fe_2O_3)
- mehanske lastnosti oksidne plasti in osnovnega materiala (natezna trdnost, plastičnost) morajo biti približno enake
- razlika fizikalnih lastnosti med oksidno plastjo in osnovnim materialom (koeficient toplotnega širjenja, modul elastičnosti...) mora biti majhna
- hitrosti reakcije tvorjenja oksida morajo biti majhne, lastnosti kovinske mreže oksida in legirnega elementa morajo biti podobne
- izbrati moramo tak osnovni material, pri katerem ni faznih premen (transformacij), kajti pri vsaki transformaciji pride do hitrih in razmeroma močnih sprememb volumna.

Iz zadnjega pogoja sledi, da morajo biti ognjevzdržna jekla enofazna pri vsaki temperaturi (feritna ali avstenitna).

Kovine, pri katerih so oksidi volumsko večji od osnovnega materiala, kompaktnost oksidnega sloja pa taka, da ne pride do difuzijskih procesov kovine na površino in kisika v notranjost, so baker, nikelj, silicij in aluminij. Na temelju vseh teh spoznanj so definirane sestave in struktura v ognju obstojnih jekel:

- feritna (Sicromal) jekla, legirana s kromom, silicijem in z aluminijem
- avstenitna jekla, legirana s kromom, silicijem, z nikljem, eventualno tudi z aluminijem in s titanom.

2.1 Vpliv elementov na ognjevzdržnost

Legirni elementi, ki hitro oksidirajo in imajo večjo afiniteto do kisika kot železo (npr. Si, Cr, Al), v wüstitnem sloju najprej oksidirajo, ker njihovi ioni ne morejo v večji meri difundirati skozi to plast. Tako počasnjijo difuzijo železovih ionov in tudi nadaljnjo rast plasti. V takem primeru lahko rečemo, da je jeklo postalo ognjevzdržno.

Ali neki legirni element oksidira hitreje ali počasneje od železa, je odvisno od Gibbsove energije tvorbe oksida (izobarno-izotermičnega potenciala), ki s temperaturo linearno raste. Tako imajo npr. osrednji potencial FeO ,

Fe_2O_3 in Fe_3O_4 , nižji potencial Cr_2O_3 , Al_2O_3 , MgO , višjega NiO , Cu_2O , CuO , najvišjega pa Au_2O_3 .

Ogljik

Ogljik pri deležih od 0,1 do 1,5 % (pri min. 20 % Cr) praktično ne vpliva na ognjevzdržnost. Zato pri feritnih ognjevzdržnih jeklih znižujemo delež ogljika le zaradi zagotavljanja feritne strukture. V temperaturnih območjih, kjer kromovi karbidi niso raztopljeni v osnovi, ogljik veže krom.

Jekla z visokim deležem ogljika morajo imeti tudi ustrezno velik delež kroma.

Krom

S slike 1 je razvidno, da od legirnih elementov najbolj vpliva na ognjevzdržnost krom, ne smemo pa zanemariti vplivov silicija in niklja. Do tvorbe oksida Cr_2O_3 pride šele pri jeklih, ki imajo več kot 30 % kroma. Pri manjših deležih kroma pa pride do tvorbe trdnih raztopin Fe_2O_3 in Cr_2O_3 , ki delujeta le malo manj ognjevzdržno. Pri jeklih, legiranih s kromom, pride do tvorbe wüstita šele pri temperaturah nad 700 °C. V nekaterih vrstah jekel dodatek kroma nadomestimo z dodatkom silicija.

Silicij

Tvori močno oksidno plast, torej izboljšuje ognjevzdržnost. Pri 1,8 do 3 % Si prihaja do tvorbe silikatov z majhno difuzijsko prepustnostjo. Pri deležih nad 4 % Si pride do tvorbe SiO_2 , ki povzroča težave pri vroči predelavi. Do temperature 1000 °C dodatek 1,0 % silicija nadomesti 3 - 4 % kroma. Ravno tako dodatek silicija dopušča tudi zmanjšanje niklja.

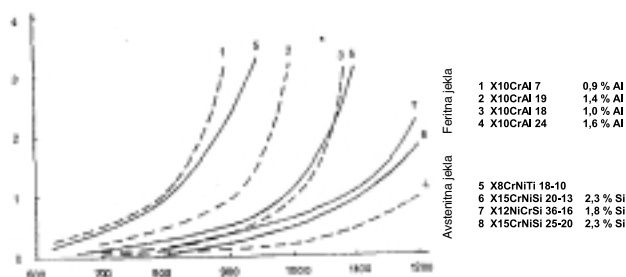
Aluminij

Znatno izboljšuje ognjevzdržnost feritnih jekel, manj učinkovit pa je v avstenitnih jeklih. S slike je razvidno, da je jeklo s 24 % Cr in 1,5 % Al obstojno do temperatur 1300 °C (krivulja 4), medtem ko je jeklo s 25 % Cr in brez aluminija ognjevzdržno do približno 1000 °C. Aluminij ima podoben vpliv kot silicij, dodajamo ga lahko do 5 %. Dušik vpliva negativno na ognjevzdržnost, kajti tvorijo se aluminijevi nitridi.

Nikelj

V oksidacijskih medijih je nikelj bolj ognjevzdržen kot železo, kajti v mreži NiO je manj napak kot v wüstitu in je zato difuzijska prepustnost NiO manjša kot pri FeO . Avstenitna jekla z 10 do 12 % Ni so slabo obstojna proti delovanju plinov, ki vsebujejo žveplo, zaradi tvorbe evtektikov nikljevega sulfida in železa s tališčem pri samo 645 °C. Nikelj zmanjšuje razlike med termičnim raztekom osnovnega materiala in škaje, zato izboljšuje obstojnost proti luščenju in odpadanju škaje pri ohlajanju in ponovnem segrevanju materiala (izboljšuje odpornost materiala proti termičnim šokom in termični utrujenosti).

Nikelj bistveno vpliva na tvorbo oksidne plasti šele pri deležih nad 20 %. Ob prisotnosti kroma tvori ognje-



Slika 1: Vpliv legirnih elementov na stopnjo ognjeobstojnosti²

Figure 1: Effects of individual alloying elements on heat resistivity

vzdržne okside. Pri povišanih temperaturah povečuje trdnost jekla.

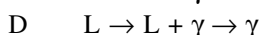
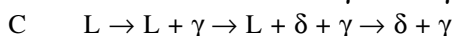
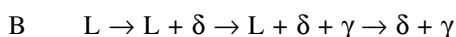
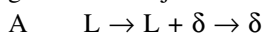
2.2 Uporaba ognjevdzdržnih jekel

Ognjevdzdržna jekla se uporabljajo za:

- armature industrijskih peči v metalurgiji in kemijski industriji
- kurišča
- konstrukcije, pri katerih se zahteva poleg ognjevdzdržnosti tudi višja trdnost
- komore žarilnih peči
- zaščitne cevi pirometrov
- cevi v naftnopreredelovalni industriji.

3 SPECIFIČNOST IZDELAVE JEKLA ACRONI 19 Si

Avstenitna nerjavna jekla se lahko strjujejo po štirih glavnih reakcijah:

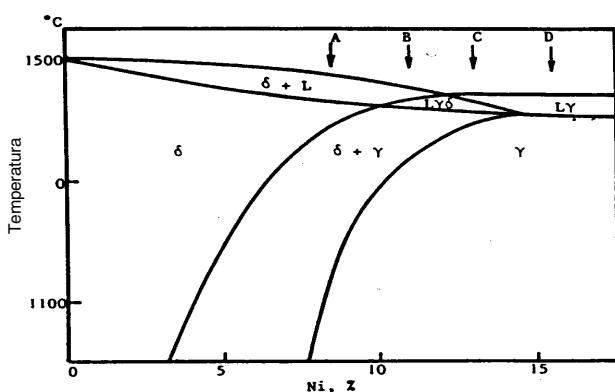


kjer δ in γ pomenita ferit in avstenit.

S standardi (EN DIN 10095, SEW 470) predpisana kemična sestava določa način strjevanja jekla, ki je popolnoma enofazno (način strjevanja D) - **slika 2**.

To pomeni, da pri strjevanju ni manjše količine δ ferita kot pri drugih avstenitnih jeklih iz proizvodnega programa Acroni, ki se strjujejo po načinu B. Manjši delež δ -ferita pri strjevanju je namreč ugoden, saj ferit dobro raztaplja nečistoče v jeklu in delno kompenzira napetosti med strjevanjem. Pri vseh drugih avstenitnih nerjavnih jeklih poteka strjevanje s primarno izločenim δ -feritom.

V Acroni 19Si se v vseh fazah predelave pojavlja neželena σ -faza, ki je kot značilna intermetalna faza izredno neugodna in se je težko znebimo, saj se izloča v širokem temperaturnem intervalu od 500 do 1000 °C. Pri



Slika 2: Prerez skozi ternarni fazni diagram Fe - Cr - Ni
Figure 2: Cross section of Fe - Cr - Ni phase diagram



Slika 3: Vzdolžna razpoka na slabu Acroni 19 Si
Figure 3: Longitudinal crack on the Acroni 19 Si steel slab surface

vročem valjanju povzroča trganje površine in je tako vzrok za izmet materiala.

Acroni 19 Si izdelujemo izključno kot debelo pločevino, nasprotno od jekla Acroni 19, ki ga več izdelamo v obliki toplo valjanega traku. To pomeni, da je navadni format ulivanja Acroni 19 Si 200 x 1300 mm in Acroni 19 200 x 1000 mm. Z večjo širino se povečuje možnost nastanka vzdolžnih razpok slabov, ki so tudi glavna težava omenjene proizvodnje.

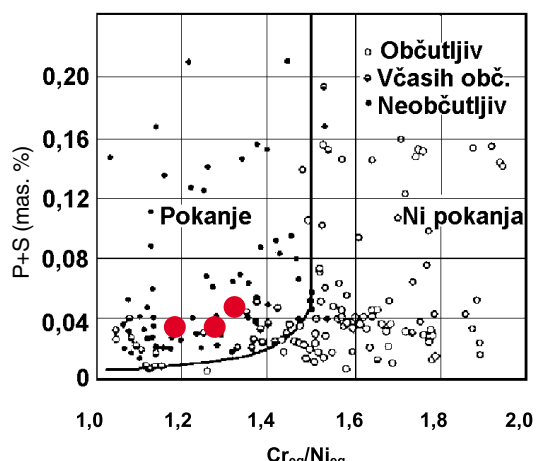
Valjanje je izredno zahtevno, saj so obremenitve valjalnega stroja Blooming na zgornji meji zmogljivosti. Zaradi velikega deleža Si v jeklu, ob hkratnem velikem deležu Ni, je namreč utrjevanje materiala zelo veliko. Samo valjanje mora biti izvedeno hitro, saj v nasprotnem primeru temperatura pade pod 950 °C, kar pri predelavi te vrste jekla povzroča trganje v vročem.

4 TEŽAVE PRI IZDELAVI IN PREDELAVI JEKLA ACRONI 19 Si

Že od začetka izdelave in predelave jekla Acroni 19 Si smo imeli največje težave zaradi pojava naslednjih napak:

- dolgih vzdolžnih razpok približno na sredini ene ali obeh širših ploskev slaba
- kratkih (do 2 cm), pretežno vzdolžno usmerjenih razpokic tik pod površino slabov
- kratkih, prečno usmerjenih luskinic, ki so nastale med valjanem slabov v pločevino, in sicer iz majhnih iglic, ki nastanejo med brušenjem slabov.

Pojava zadnjih dveh napak sta med seboj povezana. Če slaba ni treba brusiti, se pojavita le redkokdaj. Drugo napako odpravimo s temeljitim brušenjem, vendar se tedaj pogosto pojavi tretja, saj nimamo brusilnih plošč, s katerimi bi zbrusili površino slaba dovolj gladko. Napakama se sedaj izogibamo tako, da slabov s sorazmerno dobro površino ne brusimo. Kadar imamo na slabu le eno, plitvo vzdolžno razpoko, ga brusimo in potem valjamo, kot je programirano. Če imamo razpoke na eni



Slika 4: Diagram razpokljivosti jekel. Med podatki iz literature so z rdečimi krogi približno prikazane točke, ki ustrezajo trem šaržam jekla Acroni 19 Si

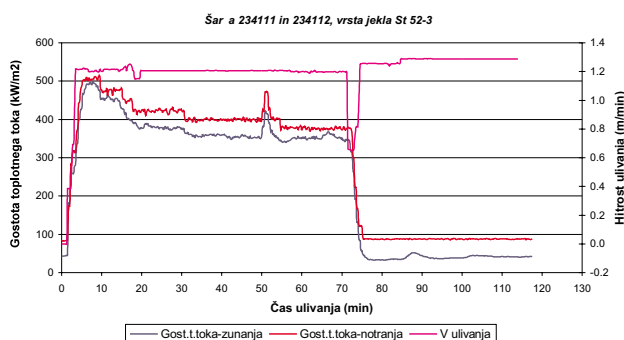
Figure 4: Diagram of solidification-cracking susceptibility. Three heats of the Acroni 19 Si steel are shown on the diagram with red dots

strani slabov, le-te največkrat valjamo prečno in jih pred tem ne brusimo. Izkoristki so v tem primeru slabi. Če pa imamo na slabu razpoki na obeh straneh in sta ti različno oddaljeni od iste stranske ploskve slaba, pločevine iz takega slaba ni možno zvaljati in je neuporaben. Iz opisanega je jasno, da so pri izdelavi pločevine iz jekla Acroni 19 Si poglavitna težava daljše površinske razpoke vzdolž ulite žile. Pogostost teh napak je sorazmerno velika, saj smo doslej od štirinajstih ulili le eno šaržo brez vzdolžnih razpok, nekaj šarž pa je imelo manjše število krajših. Pojav vzdolžnih razpok je odvisen od kemične sestave jekla. V diagramu razpokljivosti jekel, ki opisuje verjetnost, da bo nerjavno jeklo pokalo zaradi kemične sestave jekla, ležijo točke, ki pripadajo šaržam jekla Acroni 19 Si v območju pogostega pokanja (**Slika 4**). Vendar se razpokljivost verjetno kaže predvsem v pojavu kratkih vzdolžnih razpokic tik pod površino slabov in manj v daljših vzdolžnih površinskih razpokah. Pri jeklu Acroni 19 s precej podobno lego točk v diagramu razpokljivosti jekel namreč dolgih vzdolžnih razpok na površini slabov ne najdemo, medtem ko se kratke razpoke tik pod površino pojavljajo enako ali celo bolj pogosto kot pri jeklu Acroni 19 Si. Nekaj k temu prispeva širina ulitih slabov, ki je pri jeklu Acroni 19 manjša (1 m proti 1,3 m). Znano je namreč, da se vzdolžne razpoke na površini izdelkov pojavljajo z večjo verjetnostjo pri širših slabih. Zato smo se tudi mi po nekaj poskusih ulivanja slabov z največjo možno širino 1,56 m odločili za najmanjšo, še sprejemljivo za izdelavo od 1,5 do 2 m široke debele pločevine, to je za širino slabov 1,3 m.

Preučevanja, kako pogosto se pojavljajo vzdolžne razpoke na površini slabov, so kmalu pokazala, da je treba jeklo ulivati z manjšo hitrostjo. Ugodnost počasnega ulivanja opisuje tudi literatura³. Ukrep nam je prinesel le manjše izboljšanje. Zato smo poskušali

razpoke odpraviti tako, da smo jeklu dodali manjše količine elementa B, ki v jeklu povzroča kali, tako da so nastali manjši kristali in je bilo zato jeklo bolj žilavo. Vendar ukrep ni dal zaželenega izboljšanja, saj je žila šarže z dodatkom B počila na obeh širših straneh od začetka do konca. Vzrok za tako obsežno pokanje je bil v nekoliko prevelikem dodatku B ali v razmerah pri ulivanju. Pozneje elementa B tej vrsti jekla nismo več dodajali. Površino slabov smo odtlej poskušali izboljšati predvsem s spreminjanjem parametrov ulivanja šarž.

Potem ko smo na napravi za kontinuirno ulivanje uvedli avtomatsko zapisovanje in prikaz nekaterih parametrov ulivanja (sistem ATES), so se razmere za bolj sistematično preučevanje vplivov parametrov ulivanja na pojav vseh vrst napak na slabih precej izboljšale. Tako smo na primer že kmalu opazili, da kratke vzdolžne površinske razpoke na začetku ulivanja jekel St 52-3 in RSt 37-2 nastajajo predvsem tedaj, ko je gostota toplotnega toka skozi kokilo sorazmerno velika (**Slika 5**). Opazili smo tudi, da je velikost gostote toplotnega toka odvisna od poteka hitrosti ulivanja jekla na začetku. Hitre spremembe te hitrosti so povzročale povečan odvod toplote skozi kokilo. Zato smo za omenjene vrste jekla predpisali sorazmerno počasen začetek ulivanja. Rezultati ukrepa še niso podrobno obdelani, vendar se vzdolžne razpoke na slabih teh jekel po bolj grobih ocenah pojavljajo manj pogosto. Omenjeno ugotovitev smo uporabili tudi pri ulivanju jekla Acroni 19 Si. Tako smo pri zadnjih štirih šaržah nameravali začetek ulivanja močno upočasniti, kar nam je razen pri predzadnji šarži tega jekla uspelo (**slika 6**), pri omenjeni pa zaradi nesporazuma ne. Začetek ulivanja je bil pri tej šarži prehitro in žila je počila na obeh straneh od začetka do konca, tako da ni bila uporabna za nadaljnjo predelavo. Pri preostalih treh šaržah pa so bili rezultati precej ugodni. Pri ulivanju šarže številka 234243 je nastalo nekaj krajših vzdolžnih razpok na zgornji strani žile, na žili šarže številka 236171 praktično



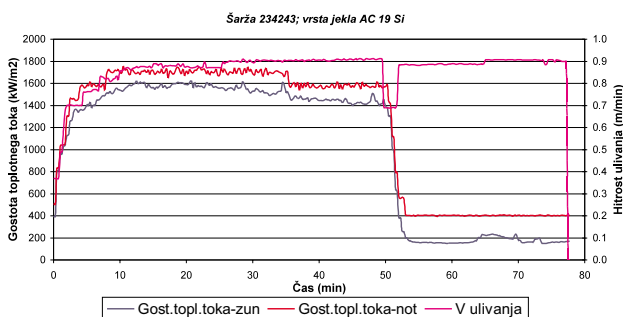
Slika 5: Prikaz hitrosti ulivanja in gostote toplotnih tokov skozi kokilo pri ulivanju šarže konstrukcijskega jekla RSt 52-3. Ulita žila je počila po dolžini od 5 do 15 m, to je v območju velike gostote toplotnih tokov.

Figure 5: Solidification mode (experimental) for the general structural RSt 52-3 steel, compared on the basis of heat flux density and casting time. The continuous casting strand longitudinally cracked from 5 up to 15 m length.

ni bilo vzdolžnih razpok, pri zadnji šarži tega jekla številka 236986 se je pojavila vzdolžna razpoka na spodnji strani žile, in sicer od začetka žile do malo več kot do polovice. Rezultati ulivanja s počasnim stopnjevanjem hitrosti so bili torej, razen pri zadnji od omenjenih treh šarž, dobri, vendar tudi pri tej približno na ravni rezultatov drugih šarž tega jekla.

V literaturi^{3,4,5,6} navajajo kot vzroke za nastanek vzdolžnih površinskih razpok poleg večjih hitrosti ulivanja predvsem viskoznost uporabljenega livnega praška in manjše napake na površini kokile. Doslej smo uporabili dva livna praška, ki nam ju je predložil izdelovalec, a razlike med vplivi na pojav vzdolžnih razpok pri uporabi enega ali drugega nismo opazili. Če tehnologiji in mojstri pri napravi za kontinuirno ulivanje površino kokile ocenijo kot ustrezno, kar pomeni, da je brez večjih poškodb, njena obrabljenost nima večjega vpliva na pojav vzdolžnih razpok. Najmanj razpok smo namreč dobili pri uporabi kokil s 417, 21 in 130 ulivanji, veliko razpok pa pri ulivanju šarž s praktično novimi kokilami. Pri ulivanju obeh šarž, ki sta počili na obeh straneh po vsej dolžini, smo uporabili kokili z 266 in 7 ulivanji. Vse to kaže, da število šarž, ki so bile ulite z isto kokilo, nima odločilnega pomena na nastanek vzdolžnih površinskih razpok pri jeklu Acroni 19 Si. Omeniti moramo še, da jeklo Acroni 19 Si, če je le možno, ulivamo pri temperaturi, ki je le malo nad likvidusom. S tem dosežemo, da se jeklo hitreje strjuje, saj za njegovo ohlajanje do likvidusa ni potreben večji odvod toplote. Ker razlika temperatur ni bila veliko drugačna pri ulivanju različnih šarž, ne moremo zanesljivo reči, kaj bi se zgodilo, če bi bila temperatura ulivanja precej nad likvidusom. Poleg naštetih vzrokov za nastanek razpok na slabih je možno, da jih povzročajo sekundarno ohlajanje, to je prhanje žile pod kokilo. Vendar ima to po naših izkušnjah vpliv le na globino že prej nastalih razpok.

Iz opisanega izhaja, da ima poglavitni vpliv na nastanek dolgih vzdolžnih razpok na površini žile hitrost



Slika 6: Prikaz hitrosti ulivanja in gostote toplotnih tokov skozi kokilo pri ulivanju šarže jekla Acroni 19 Si. Ulita žila je nekajkrat počila do 2 m dolžine.

Figure 6: Solidification mode (experimental) for austenitic stainless-steel Acroni 19 Si, compared on the basis of heat flux density and casting time. The continuous casting strand cracked several times up to 2 m in length.

ulivanja, posebno povečevanje hitrosti, saj so tedaj toplotni tokovi skozi kokilo in žilo največji. Večji tokovi povzročajo večji toplotni gradient ob površini žile. S tem povezani gradient raztezka žile pa povzroča večje napetosti in večjo možnost pokanja jekla. Zanimivo je, da so pokanju izpostavljena predvsem jekla, pri katerih premene iz alfa v fazo gama potekajo med začetkom ohlajanja v kokili. Ker je s fazno spremembo povezano raztezanje jekla, ki poteka istočasno s krčenjem v bližini, nastaja večji gradient raztezka in s tem povezane napetosti. Možno je, da se občasno raztezanje ali precej neenakomerno krčenje pojavlja tudi med ohlajanjem jekla Acroni 19 Si v kokili in tako povzročajo napetosti ter nastanek vzdolžnih razpok. Ustreznih podatkov o krčenju podobnega jekla v literaturi nismo našli. Raztezanje ali neenakomerno krčenje jekla lahko povzroča tudi (ker se robova žile opreta v ožji ploskvi kokile) gubanje večjih ploskev slaba in se tako povečuje verjetnost za nastanek vzdolžnih razpok. Praktično reševanje podobnih problemov s parabolno oblikovano kokilo priporoča npr. literatura⁷. Mi smo problem brez vidnega uspeha reševali z različnimi zožitvami kokile.

5 SKLEPI

Poglavitni vzrok za slabše izkoristke pri izdelavi izdelkov iz jekla Acroni 19 Si so daljše vzdolžne razpoke, ki potekajo približno po sredini širših ploskev ulite žile.

Ukrepi kot so: uporabljeni livni prašek, kakovost površine uporabljene kokile, zožitev kokile, širina ulite žile, ulivanje taline malo nad likvidusom in sekundarno ohlajanje žile, sicer zelo verjetno vplivajo na pojav vzdolžnih razpok, vendar ne odločilno. Sekundarno ohlajanje povečuje globino razpok.

Na pojav vzdolžnih razpok najbolj vpliva poleg kemične sestave jekla, ki pa je omejena s predpisi, hitrost ulivanja v napravi za kontinuirno ulivanje, predvsem spreminjanje hitrosti ulivanja na začetku in morda tudi ulivanje pri temperaturi, ki je le malo nad likvidusom.

Mehanizma nastanka razpok še ne poznamo dovolj dobro.

6 USMERITVE

Nadaljevali bomo preučevanje vpliva hitrosti ulivanja, predvsem povečevanja hitrosti na začetku ulivanja na začetku nastajanja vzdolžnih razpok na širših ploskvah slaba.

Poskušali bomo najti pogoje, pri katerih se vzdolžne razpoke na površini slabov končajo, saj bi poznanje le-teh lahko uporabili za prekinjanje razpok ali celo za preprečevanje nastanka razpok.

Dobiti bo treba podatke o krčenju oziroma širjenju tega jekla med ohlajanjem.

7 LITERATURA

- ¹Novosel, M.: Vatrotopni čelici, interna skripta, Fakulteta strojarstva i brodogradnje Sveučilišta u Zagrebu
- ²Kulke, H. - Rullmann, G. - Werner, K.: Baustähle der Welt, Band III: Sonderstähle; VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, 1982
- ³K. Schwerdtfeger: Metallurgie des Strangiessens, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1992
- ⁴Mannesmann-Demag: Tehnologija kontinuirnega ulivanja (prevod), CSUI Jesenice, 1986
- ⁵H. F. Schrewe: Continuous casting of steel, Verlag Stahleisen, Düsseldorf, 1989
- ⁶W. R. Irving: Continuous casting of steel, The Institute of Metals, London, 1993
- ⁷H. Hoedl et al.: VAINOX-latest developments in stainless steel casting technologies, International Congress: Stainless Steel '99, Science and Market, Sardinia, 1999