

POJAV NOTRANJNH RAZPOK NA SLABIH IZ OGLJIKOVIIH JEKEL

THE OCCURRENCE OF INTERNAL CRACKS IN SLABS OF CARBON STEELS

Erika Bricelj, Filip Marinšek, Marjan Mencinger, Rok Trelec

SŽ-Acroni, d. o. o., Kidričeva 44, 4270 Jesenice, Slovenija
erika.bricelj@acroni.si

Prejem rokopisa - received: 2002-11-18; sprejem za objavo - accepted for publication: 2003-01-10

Na toplo ali hladno valjani pločevini iz ogljičnih jekel so se v določenem obdobju na tretjini ali četrtini debeline pločevine pojavljale izceje, zaradi tega so izdelki pri toplotni obdelavi pokali. Ugotovili smo, da je pojav izcej na pločevinah povezan s pojavom notranjih razpok na slabih.

Namen preiskave je bil ugotoviti vzrok za nastajanje notranjih razpok na tretjini debeline slabov ter analizirati lokacije in pogostost pojavljanja notranjih razpok na slabih v povezavi z razmerami pri ulivanju.

Ključne besede: kontinuirno ulivanje, izceja, notranja razpoka, izbočenje

During a determined period frequent segregations in cold and hot rolled strips were found. Their location was on one third to one fourth of the sheet thickness. The segregations were the sources of cracks during the quenching of products. It was established that these segregations were connected to internal cracks in the slabs.

The aim of this research was to determine the cause for the formation of excentric segregations and to analyse the locations and the frequency of their presence and to establish the correlation between the casting conditions and the distribution of segregations.

Key words: continuous casting, segregation, internal crack, bulging

1 OPIS PROBLEMA

Pločevine iz ogljikovih jekel za poboljšanje zavzemajo 7,2 % proizvodnje Acronija. Večino teh pločevin izvozimo na zahodnoevropske trge, predvsem v Italijo. Na domačem trgu so kupci pločevin iz teh vrst jekel predvsem obrtna podjetja.

V letu 2002 se je pri vroče in hladno valjanih pločevinah iz ogljikovih jekel za poboljšanje povečalo število reklamacij zaradi pokanja pri preskušanju oziroma pri uporabi toplotno obdelanih izdelkov (vzmeti različnih oblik).

Po pregledu vzorcev reklamirane pločevine smo z metalografskimi preiskavami ugotovili, da so vzrok za pokanje izdelkov izceje. Te so na pločevinah iz ogljičnih jekel sicer običajne in se po navadi pojavljajo v sredini pločevine. Pri preiskanih vzorcih pa je bila lokacija izcej približno na tretjini debeline pločevine. Izceje niso potekale zvezno, pač pa v prekinjeni liniji, vendar pa vedno na enaki razdalji od površine. Izdelki z ekscentričnimi izcejami se pri kaljenju pogosto lomijo.

Pločevina z izcejami v sredini se pri oblikovanju v izdelke po navadi ne lomi, ker so napetosti pri krivljenju v sredini najmanjše.

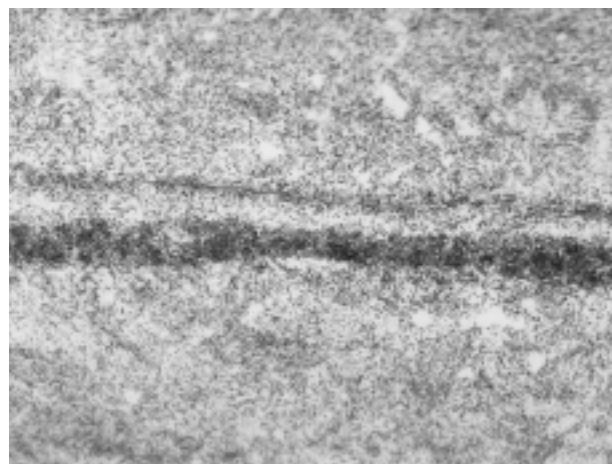
2 PREISKAVE

2.1 Preiskave toplo in hladno valjanih trakov

Po podrobnejšem metalografskem pregledu večjega števila vzorcev hladno in toplo valjanih pločevin smo

ugotovili, da se izceje v mikrostrukturi vroče valjanih ali žarjenih pločevin pojavljajo v pasovih kot nekoliko gostejša porazdelitev zrn cementita (**slika 1**). Redkeje smo na žarjeni pločevini opazili na mestih izcej lamelarni perlit.

Najbolje so izceje vidne na izdelkih v poboljšanem stanju (**slika 2**), to je na že dokončanem izdelku.



Slika 1: Izceje v hladno valjani in sferoidizacijsko žarjeni pločevini iz ogljikovih jekel

Figure 1: Segregations in cold-rolled and spheroidisation annealed sheet



Slika 2: Izceje v toplotno obdelanem, poboljššanem izdelku
Figure 2: Segregations in the quenched-and-tempered piece

2.2 Pregled lužilnih prob

Na lužilnih probah, odvzetih s slabov, smo opazili notranje razpoke na tretjini preseka. Razpoke se večinoma pojavljajo na zgornji tretjini slaba (**slika 3**).

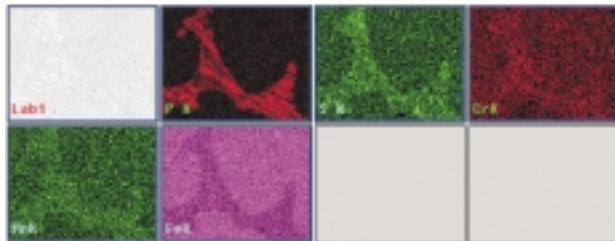
Z analizo na elektronskem mikroskopu smo ob mestih razpok odkrili povečane vsebnosti fosforja, žvepla, mangana in kroma (**slika 4**). Razlika v vsebnosti ogljika med osnovo in izcejo je bila premajhna, da bi jo lahko detektor EDS razločil.

Po sistematičnem spremljanju parametrov ulivanja in pregledovanju kvalitete lužilnih prob smo uvedli naslednje korektivne ukrepe:

- znižati je treba delež nekovinskih vključkov. Vključki morajo biti 100-odstotno modificirani. Maksimalna vsebnost žvepla naj bo 0,003 %. Povečati je treba dodatek kalcija za modifikacijo vključkov.
- ulivanje z nižjimi temperaturami, počasnejše ulivanje. Z zmanjšanjem hitrosti ter znižanjem temperature ulivanja se je stanje izboljšalo, vendar so nastajale težave pri ulivanju.



Slika 3: Notranje razpoke na lužilnih probah
Figure 3: Internal cracks on a pickled specimen

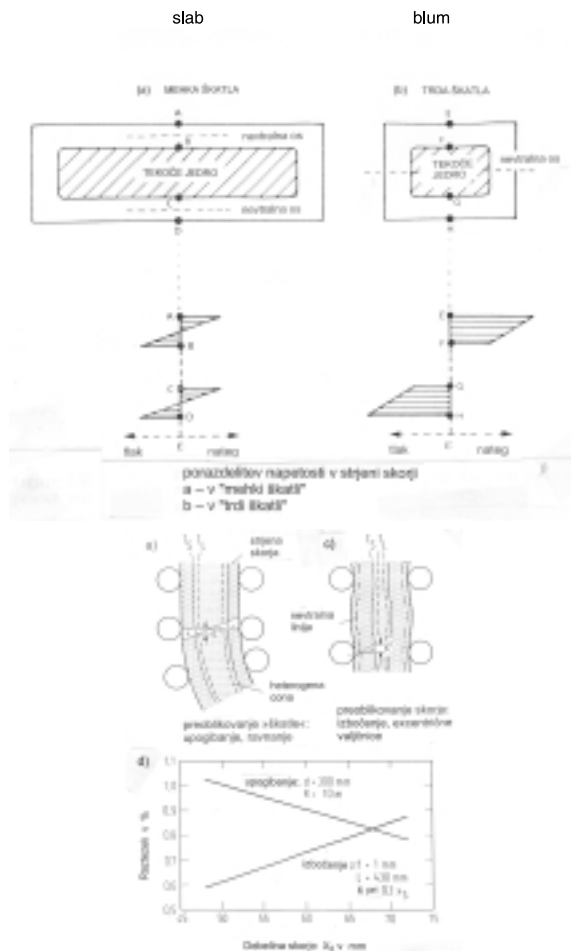


Slika 4: Porazdelitev elementov ob razpoki
Figure 4: Distribution of elements at a crack

3 MEHANSKI RAZLOGI ZA POJAV NOTRANJNH RAZPOK IN VZROKI

Najpogostejši vzroki za pojav notranjih razpok v kontinuirno litih slabih so deformacije pri upogibanju in ravnanju slaba med strjevanjem, slabo nastavljena kontinuirna naprava, izbočenje skorje in ekscentričnost valjčnic na napravi.

Ti vzroki lahko nastopajo posamično ali pa se pojavijo istočasno. Pri naštetih vzrokih moramo razlikovati med dvema vrstama preoblikovanja.



Slika 5: Preoblikovanje strjene skorje v mehki (slab) in trdi (blum) škatli

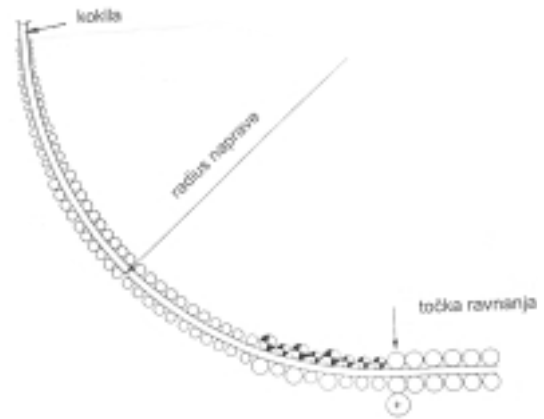
Figure 5: Deformation of the soft and hard shell box

Upogibanje nastopi, ko kontilivna naprava spreminja radij, npr. takoj pod kokilo (Acronijeva kokila je ukrivljena), ravnanje pa nastopi, ko lok kontilivne naprave prehaja v horizontalo (slika 7). Med podpornimi valji pa lahko pride tudi do enostranskega "izmaknjenja". Vsi ti pojavi povzročijo preoblikovanje strjene skorje (škatle) slaba. Pri tem razlikujemo med "mehko" in "trdo škatlo", odvisno od razmerja med debelino skorje in širino slaba. Navadno se *slabi* vedejo kot "mehka škatla", *blumi* pa kot "trda škatla". Pri preoblikovanju mehke škatle so razmere enake kot pri preoblikovanju skorje slaba po izbočenju.

Obe vrsti preoblikovanja imata za posledico različna raztezanja na meji med talino in strjeno skorjo (na strjevalni fronti), kot prikazuje slika 5.

Slika 5.b prikazuje preoblikovanje "trde škatle" pri upogibanju. Nevtralna upogibnica (os) leži v sredini slaba v območju tekoče faze. Na spodnji strani slaba nastopijo natezne napetosti, medtem ko je zgornja stran obremenjena tlačno. Pri ravnanju so razmere obrnjene. Notranje razpoke nastajajo v natezno obremenjeni skorji.

Sliki 5.a in 5.c prikazujeta preoblikovanje "mehke škatle" in skorje po izbočenju. Nevtralna os je v tem primeru v skorji. Zaradi nižje temperature na površini slaba je tu trdnost večja, to pa povzroči, da se nevtralna os premakne navzven na $0,3 x_s$ (x_s je debelina skorje). Ko izbočeno skorjo z naslednjim parom valjčnic upognemo nazaj, nastopijo na strjevalni fronti raztezki, ki so tem večji, čim debelejša je skorja. Nasprotno kot pri preoblikovanju "trde škatle" se bodo tu pojavile razpoke pri izredno velikih raztezkih tako na spodnji kot



Slika 7: Položaja točk upogibanja in ravnanja na kontinuirno livni napravi
 Figure 7: Positions of bending and levelling points on continuous-casting machine

zgornji strani slaba. Začetek razpoke je na prehodu taline v skorjo in se širi v njo.

Za ponazoritev različnih načinov preoblikovanja prikazuje slika 5.d raztezke na strjevalni fronti v odvisnosti od debeline skorje.

Vzroki za nastanek razpok lahko nastopijo posamezno ali pa se pojavijo istočasno. Slika 6 prikazuje obremenitve v upogibni točki na spodnji in zgornji strani slaba pri izbočenju in ravnanju.

Slika 6.a prikazuje shematski potek napetosti in raztezkov v predhodno izbočeni skorji pri prehodu skozi valjčno režo. Na strjevalni fronti vlada nateg, na površini slaba pa tlak. Raztezek je linearen, naslednja opažanja so zato omejena na raztezek.

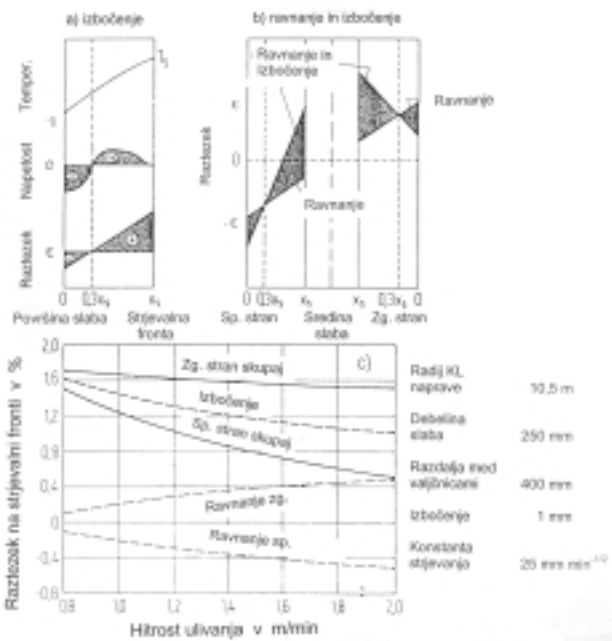
Slika 6.b prikazuje razmere, ko istočasno nastopata ravnanje in izbočenje strjene skorje.

Ravnanje žile povzroča tlačne napetosti na spodnji strani in natezne na zgornji. Na obeh strjevalnih frontah pride zaradi izbočenja vsakokrat do dodatnih pozitivnih raztezkov, s tem pa se skupni raztezek, posebno na zgornji strani, močno poveča.

Naprave z manjšim radijem imajo zaradi omejitve raztezkov več vnaprej predpisanih ravnalnih točk. Na sliki 6.c so prikazane odločilne vrednosti raztezkov za pojav razpok, izračunano za določeno debelino skorje v upogibni točki in odvisno od hitrosti ulivanja.

4 PRESKUS DOLOČITVE DEBELINE SRAJČKE (LOKACIJE "IZCEJ" PO DEBELINI SLABA) IN POTRDITEV MEHANIZMA NASTANKA NOTRANJNH RAZPOK

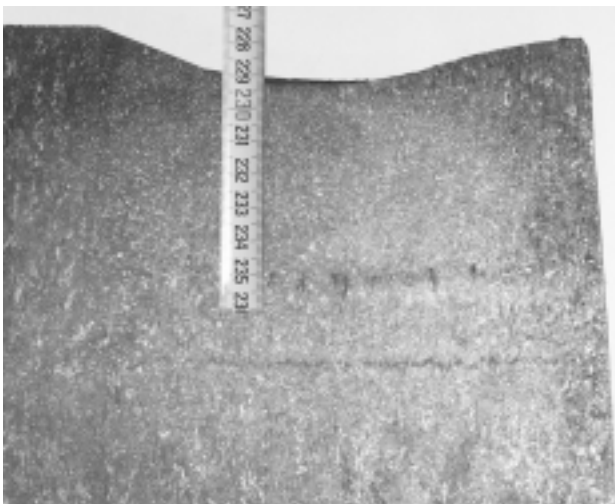
Za potrditev mehanizma nastanka notranjih razpok smo v Acroniju na obstoječi kontinuirni livni napravi opravili poseben preskus, ki nam je istočasno rabil za določitev debeline skorje (srajčke) v določeni točki med strjevanjem žile.



Slika 6: Mehanske osnove za pojav notranjih razpok na mestu upogiba žile
 Figure 6: Mechanical bases for the occurrence of internal cracks



Slika 8: Zagozda za preskus deformiranja žile
Figure 8: Wedge for the testing of the strand deformation

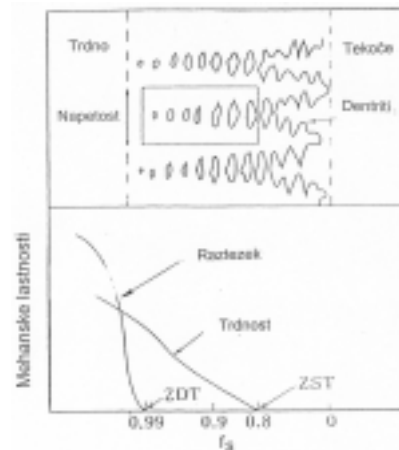


Slika 9: Makrolušilna proba z vtiskom zagozde in razpokami
Figure 9: Pickled specimen with wedge indentation and internal cracks

Za preskus smo izbrali lokacijo med 5. in 6. segmentom, to je na 10,5 m od nivoja taline v kokili na zgornji strani žile.

Preskus deformiranja žile smo izvedli s posebno zagozdo, kot jo prikazuje **slika 8**. Zagozda je skupaj z žilo potovala skozi valjčno režo podpornih valjčnic in se vtisnila v površino oziroma se je skorja upognila navznoter, pri čemer so na strjevalni fronti nastopile natezne napetosti.

Na luženem vzorcu (makrolušilna proba), odrezanem na mestu vtiska zagozde, kot jo prikazuje **slika 9**, so lepo vidne razpoke, ki so nastale na meji med tekočo in trdno fazo na strjevalni fronti. Iz razdalje med začetkom razpoke in robom vtiska, upoštevajoč krčenje in debelino zagozde oziroma globino vtiska, lahko izračunamo debelino skorje na izbrani lokaciji preskusa. V našem primeru je bilo to 73,5 mm ali na $\sim 1/3$ debeline strjenega slaba.



Slika 10: Nastajanje razpok v testastem stanju
Figure 10: Crack formation in mushy zone

Razpoke nastanejo med temperaturo nične preoblikovalnosti in nične trdnosti, to je pri (0,80-0,99) deleža trdne snovi (Ironmaking and Steelmaking, 1995). To je temperaturno območje v katerem je jeklo v testastem stanju (mushy zone). V našem primeru smo ocenili, da razpoke nastajajo pri deležu trdne snovi med 0,80 do 1,0 (**slika 10**).

5 SKLEPI

Na pločevinah iz ogljikovih jekel se pojavljajo na tretjini debeline izceje. Na teh mestih je večja vsebnost ogljika, mangana, kroma fosforja in žvepla kot v osnovi.

Po toplotni obdelavi - kaljenju in popuščanju, je na mestih izcej mikrostruktura iz martenzita z bistveno večjo trdoto kot je trdota osnovnega materiala. Zaradi teh razlik izdelki pri uporabi (upogibanju) pokajo.

Po pregledu lužilnih prob iz slabov, smo opazili notranje razpoke na zgornji tretjini slaba.

Po literarnih podatkih so vzroki za nastajanje notranjih razpok v kontinuirno ulitih slabih lahko deformacije pri upogibanju in ravnanju slaba med strjevanjem, slabo nastavljena kontilivna naprava, izbočenje skorje in ekscentričnost valjčnic na napravi.

Z zagozdo za preizkus deformiranja žile smo potrdili literaturne podatke o nastajanju razpok na meji med tekočo in trdno fazo na strjevalni fronti.

6 LITERATURA

- ¹ Klaus Schwerdtfeger: Metallurgie des stranggießens (Giessen und Erstarren von Stahl), Düsseldorf, 1992
- ² Rok Trelec, Eksperimentalna in numerična določitev debeline srajčke in metalurške dolžine, Raziskovalna naloga, ACRONI, Jesenice, 2002
- ³ W. R. Irving, Continuous casting of steel, Institute of Materials London, 1993, 72-75