

Utrujenost valjev za valjanje kovin v vročem

Thermal Fatigue of Hot Rolling Rolls

G.Plimon, L.Kosec, *FNT, Odsek za metalurgijo in materiale*

F.Mlakar, *SŽ Štore-Valji*

Valji za delo v vročem se poškodujejo zaradi številnih razpok, ki začno na površini in so posledica temperaturne utrujenosti. Na začetek in širjenje razpok vplivata tudi geometrija površine zaradi mehanske obdelave in mikrostruktura zlitine.

Temperaturni utrujenosti se pridruži tudi oksidacija zlitine, ki potencira vpliv temperaturnega utrujanja z nastankom oksidnega klina.

Ključne besede: temperaturna utrujenost, mikrostruktura, začetek in širjenje razpok

Hot rolling rolls are often failed due to the numerous cracks, which are initiated on the surface. They are created as the result of thermal fatigue. The initiation and the propagation of cracks are influenced by the surface geometry and by the alloy microstructure.

The oxidation of alloy associated with the temperature fatigue is intensified by the thermal fatigue with formation of the oxide wedge.

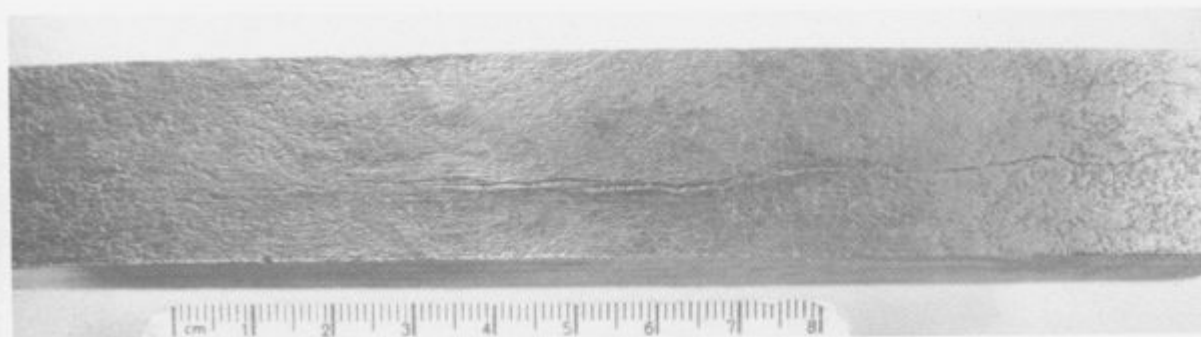
Key words: thermal fatigue, microstructure, crack initiation and propagation

Valji za preoblikovanje kovin v vročem so najbolj pogosto izdelani iz različnih jekel in litin. Poškodujejo se zaradi obrabe ali porušitev. Obremenjeni so zaradi mehanskih sil, ki so potrebne za preoblikovanje in s silami, ki so posledica temperaturnih sprememb.

Del površine je med preoblikovanjem v stiku s kovino; po preoblikovanju pa se ohladi. Temperaturno polje v valjih se spreminja, s čimer je izpolnjen eden od pogojev za temperaturno utrujenost zlitine valja. Pri delovnih temperaturah pa ni zanemarljiv tudi učinek atmosfere, ki

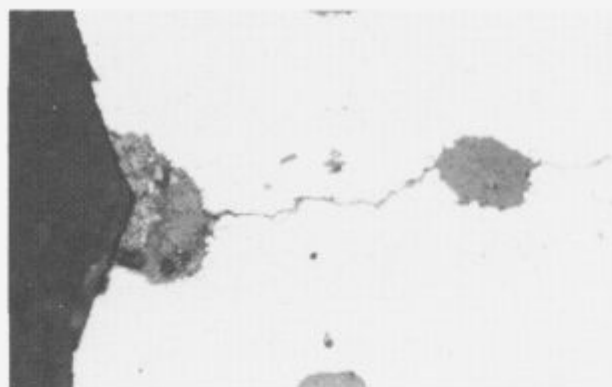
se pokaže v oksidaciji površine valja in razpok. Temperaturna utrujenost je mikrostrukturno občutljiva lastnost, saj sta nastanek in napredovanje razpok odvisna od mikrostrukture zlitine. Nastanek razpok je odvisen tudi od geometrije površine valjev, ki je posledica mehanske obdelave ali drugih vplivov.

Značilne poškodbe na preiskanih valjih so številne razpoke, ki lahko kulminirajo v porušitvi valja. Površine valjev so pokrite s plastjo škaja, ki zakrije temena mnogih razpok (Slika 1). Okvirna kemična sestava zlitin preisko-

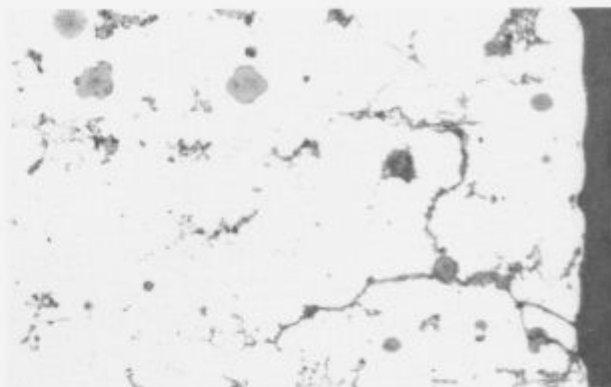


Slika 1: Razpoke zaradi temperaturne utrujenosti na valju za vroče valjanje kovin. Valj je prekrit s škajo, zato so temena vseh razpok ne vidijo.

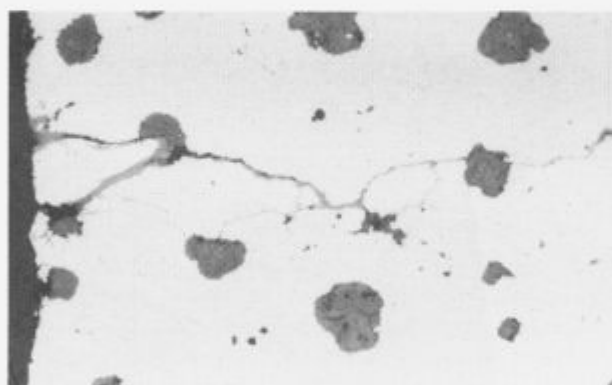
Figure 1: Thermal fatigue cracks on hot rolling mill surface. Surface is covered with scale. Only some bright cracks are visible.



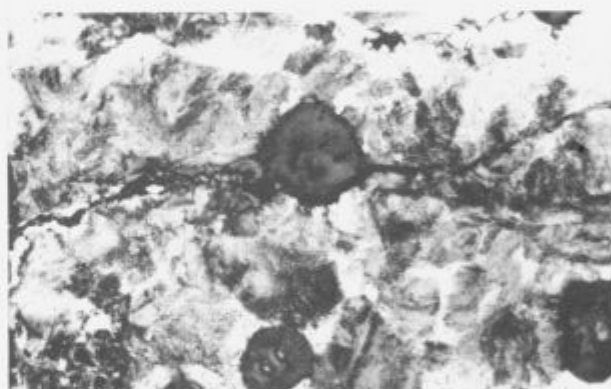
Slika 2: Utrujenostna razpoka začne na meji grafitne nodule 100×
Figure 2: Thermal crack initiation at graphite nodula on the surface 100×



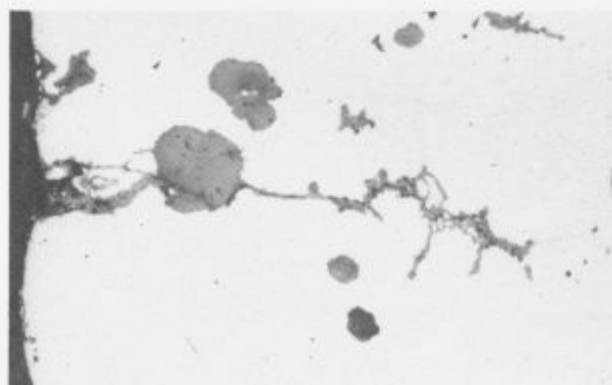
Slika 5: Temperaturno utrudenostna razpoka spremeni smer in se razcepi v grafitni noduli; 50×
Figure 5: Thermal fatigue crack changes direction and divided in two cracks in graphite nodula; 50×



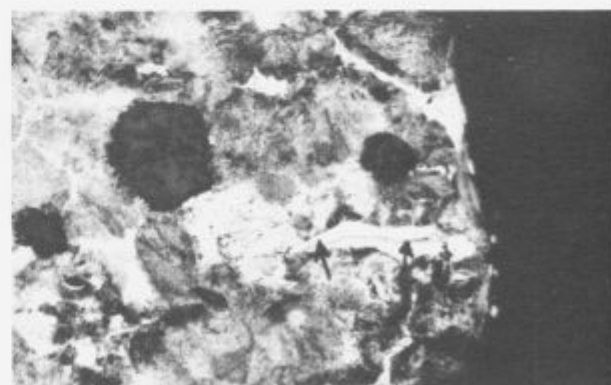
Slika 3: Združitev dveh utrudenostnih razpok, ki začneta v plitvih zajedah na površini valja 100×
Figure 3: Coalescence of two thermal fatigue cracks 100×



Slika 6: Utrujenostna razpoka začne v feritu v zajedi na površini; 200×
Figure 6: Thermal fatigue crack initiates in ferrite; 200×



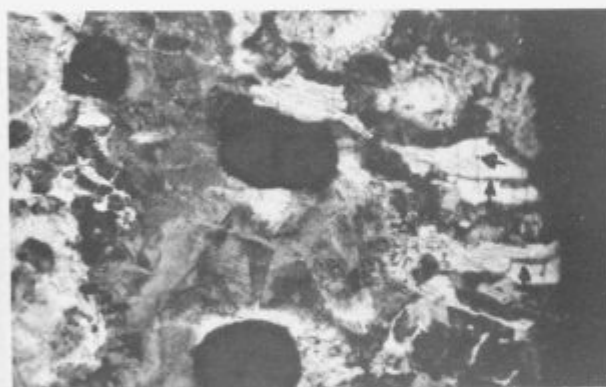
Slika 4: Razpoke skozi vermikularni in nodularni grafit; 100×
Figure 4: Thermal fatigue cracks propagate through graphite; 100×



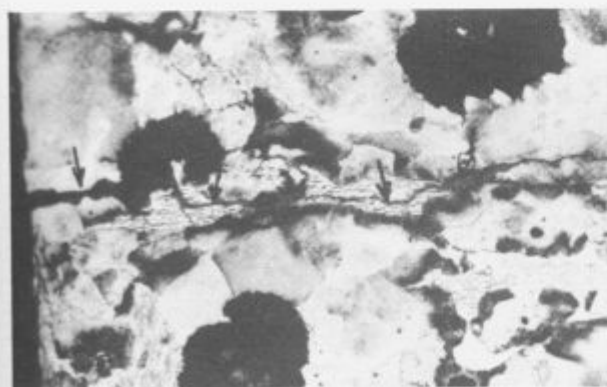
Slika 7: Razpoke v ledeburitu na površini, kjer ni plitkih zajed; 200×
Figure 7: Cracks in ledeburite at the surface; 200×



Slika 8: Oksidni klin ob meji in po ledeburitu 100×
Figure 8: Oxide wedge in connection with ledeburite 100×



Slika 9: Radialne in osne razpoke v ledeburitu na površini valja; 200×
Figure 9: Cracks in two perpendicular directions in ledeburite; 200×



Slika 10: Utrujenostna razpoka skozi ferit, ob noduli in skozi ledeburit; 200×
Figure 10: Thermal fatigue crack propagates in ferrite and ledeburite and at graphite metal boundary; 200×

vanih valjev je naslednja: 3.2 - 3.6 % ogljika, 1.8 - 2.2 % silicija, 0.6 - 0.7 % mangana, max. 0.1 % fosforja, max. 0.015 % žvepla, 2 - 2.5 % niklja, 0.2 - 0.4 % molibdena in 0.06 - 0.07 % magnezija.

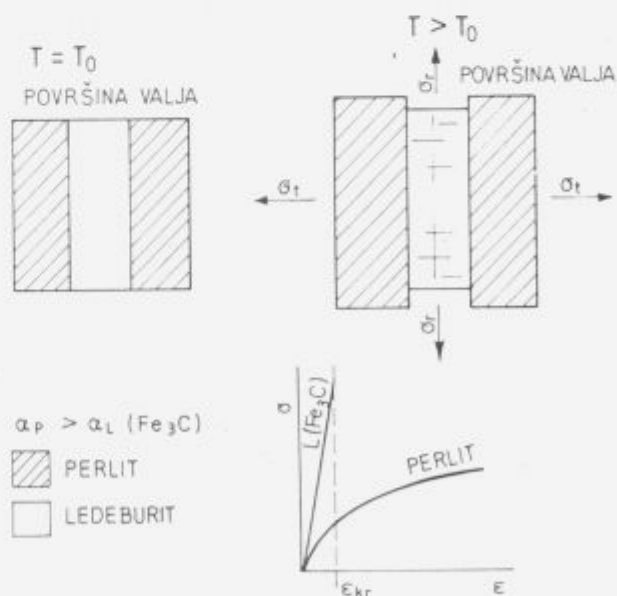
Mikrostruktura valjev na površini je iz več sestavin. Ogljik je v obliki nodularnega ali vermikularnega grafita in v obliki karbidov (ledeburit, perlit in bainit). Upoštevanja vredni sestavini mikrostrukture sta prosti ferit in nekovinski vključki.

Raziskovali smo:

- morfološke in mikrostrukturne značilnosti mest na površini, kjer so začele razpoke
- povezavo utrujenostnih razpok z nodularnim in vermikularnim grafitom ter drugimi mikrostrukturnimi sestavinami zlitine
- pogostost, velikost in smeri razpok
- vpliv okolice na rast in površino razpok (oksidacija) (Slike 2-10).

Nastanek in širjenje razpok je odvisno od integritete površine (geometrijskih značilnosti, mikrostrukture zlitine), napetostno deformacijskega polja na površini ter vpliva okolice.

Površine preiskanih valjev so imele periodičen profil, ki je posledica mehanske obdelave. Nižine na valoviti površini valja so praviloma začetki utrujenostnih razpok. Taka mesta so posebno ugodna za nastanek razpok, če je v mikrostrukturi na tem mestu ferit ali popuščeni bainit (po daljšem času



Slika 11: Shema nastanka temperaturnih razpok v ledeburitu in krivulja napetost-deformacija dveh sestavin mikrostrukture, ledeburita (oz. cementita) in perlita

Figure 11: Thermal cracks in ledeburite; stress-strain curve for ledeburite and perlite



Slika 12: Shema rasti in delovanja oksidnega klina

Figure 12: Scheme of growth and influence of oxide wedge on crack propagation

dela). Nastanek olajša tudi grafit. Bolj poredko začno razpoke v zajedah, kjer je perlit.

Veliko utrujenostnih razpok začne v ledeburitu na površini ali tik pod njo. Razvijejo se iz trenutnih (statičnih) razpok, ki nastanejo v ledeburitu zaradi temperaturnih napetosti. Te so posledica različne temperaturne razteznosti ledeburita (cementita) in okolišnje matice iz perlita ali popuščene bainita pri spreminjanju temperature na površini valja. Trenutna porušitev je zelo pogosta v ledeburitnih zrnih na površini do globine 100 μm (temperaturna razteznost cementita je pribl. $6.2 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$, perlita pa pribl. $12 \cdot 10^{-6}$ do $15 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$) (Slika 11)

Utrujenostne razpoke se lahko širijo v vseh sestavinah mikrostrukture. Razpoka lahko prereže grafitno nodulo, največkrat pa jo obide po meji med nodulo in kovinsko osnovo. Razpoka se širi tudi skozi vermikularni grafit.

Utrujenostne razpoke se širijo po feritu, popuščnem bainitu ali perlitu. Kadar sreča razpoka ledeburitno zrno ubere lahko dve poti, ali po meji s kovinsko osnovo ali skozi ledeburit.

Napredovanje utrujenostnih razpok zelo pospeši oksidacija stene razpok. Tako nastanejo oksidni klini, ki zaradi povečanega volumna v primeri s kovino iz katere so nastali, povzročajo v svoji okolici, posebej še na vrhu razpoke, natezne napetosti. Zaradi temperaturnega širjenja oksidni klini v osni ravnini razpokajo, s čimer se oksidacija še pospeši. Na ta način postaja oksid vedno bolj klinaste oblike. V kombinaciji temperaturne utrujenosti in oksidacije poškodbe zelo hitro napredujejo in lahko izzovejo celo luščenje posameznih delov površine (Slika 11).

Površina valja se med delom segreje na temperature, pri katerih postane mikrostruktura nestabilna. V opazovanih primerih je bil bainit bolj podvržen popuščanju kot perlit.

Temperaturno utrujenost valjev bi lahko omejili z naslednjimi ukrepi:

- z bolj gladko površino valjev brez valovitega profila, ki deluje kot koncentrador napetosti
- z odpravo ferita in ledeburita iz površinske plasti valja (vsaj do globine 100 mm)
- s povečano temperaturno stabilnostjo mikrostrukture
- s kontroliranimi pogoji valjanja (najmanjše temperaturne razlike v temperaturnih krogih)

Literatura

- ¹ W.L.Roberts: Hot rolling of Steel, Manufacturing Engineering and Materials, 1983, 365 - 580
- ² F.Kosel, L.Kosec: Toplotno razpokanje orodij za delo v vročem, Strojniški vestnik, 1983, 7-9, 151 - 158
- ³ S.S.Manson: Thermal Stress and Low Cycle Fatigue, McGraw-Hill, 1966