

PRETHODNO SAOPŠTENJE

K.Gerić, L.Šidjanin*

STVARANJE I RAST ZAMORNE PRSKOTINE U ALATNOM ČELIKU Č.4751

Rezime

Ispitivani su uslovi za stvaranje i rast zamorne prskotine u dvostepenom i trostepenom otpuštenom alatnom čeliku č.4751. Stvaranje zamorne prskotine analizirano je u funkciji parametara $\Delta K/\sqrt{\rho}$. Utvrđeno je da se minimalni kritični parametar $(\Delta K/\sqrt{\rho})_{th}$ smanjuje sa 620 na 499 MPa kada se poluprečnik zaobljenja vrha zareza poveća sa 0,4 na 1,5 mm u dvostepenom otpuštenom čeliku, a u trostepenom otpuštenom sa 620 na 537 MPa. Utvrđeno je da za brzinu rasta zamorne prskotine u funkciji od opsega intenziteta naprezanja važi Parisov zakon i za dvo-stepeno i za trostepeno otpušteni čelik.

FATIGUE CRACK INITIATION AND GROWTH OF TOOL STEEL Č.4751

Summary:

The conditions of fatigue crack initiation and propagation of double and triple tempered tool steel č.4751 has been studied. The fatigue crack initiation has been analysed as a function of $(\Delta K/\sqrt{\rho})_{th}$ parameter. It was found that the minimum value of $(\Delta K/\sqrt{\rho})_{th}$ decreases from 620 to 499 MPa with increasing notch tip radius from 0,4 to 1,5 mm, for double tempered steel and from 620 to 537 MPa for triple tempered steel, respectively.

The fatigue crack growth rate as a function of stress intensity range for both tempered conditions are obtained as a relation of the form predicted by Paris.

*) Gerić mr Katarina, dipl.ing., asistent, Šidjanin dr Leposava, dipl.ing.docent, Fakultet tehničkih nauka, Institut za proizvodno mašinstvo, 21000 Novi Sad V.Perića-Valtera 2.

1. U V O D

Vek trajanja alata je ograničen lomom. U eksploataciji vrlo često dolazi do loma alata usled zamora materijala. S obzirom da u literaturi postoji veoma mali broj podataka, cilj ovog rada je bio da se za jedan alatni čelik odredi uticaj zaobljenja vrha zarezna na minimalni kritični parametar za stvaranje zamorne prskotine $(\Delta K / \sqrt{\rho})_{th}$ i brzina rasta zamorne prskotine (da/dN) u okviru drugog stadijuma za koji obično važi Parisova jednačina

$$\left(\frac{da}{dN}\right) = A(\Delta K)^m$$

2. EKSPERIMENTALNI RAD

2.1. Materijal i termička obrada

Za ispitivanje je korišćen alatni čelik za rad u vrućem stanju (č.4751) sledećeg hemijskog sastava: 0,4%C, 1,0%Si, 1,5%Cr, 1,3%Mo i 0,4%V.

Svi uzorci su kaljeni sa temperature 1130⁰C, a zatim je polovina uzorka dvostepeno otpuštena, a druga polovina trostepeno otpuštena. Dvostepeno otpuštanje izvršeno je na temperaturi od 550⁰C u trajanju od 1,5 časova, pa na temperaturi od 580⁰C u trajanju od 45 minuta. Pri trostepenom otpuštanju, osim otpuštanja na 550⁰C u trajanju od 1,5 časova i otpuštanja na 580⁰C u trajanju od 45 minuta, izvršeno je i otpuštanje na 610⁰C u trajanju od 1,5 časova.

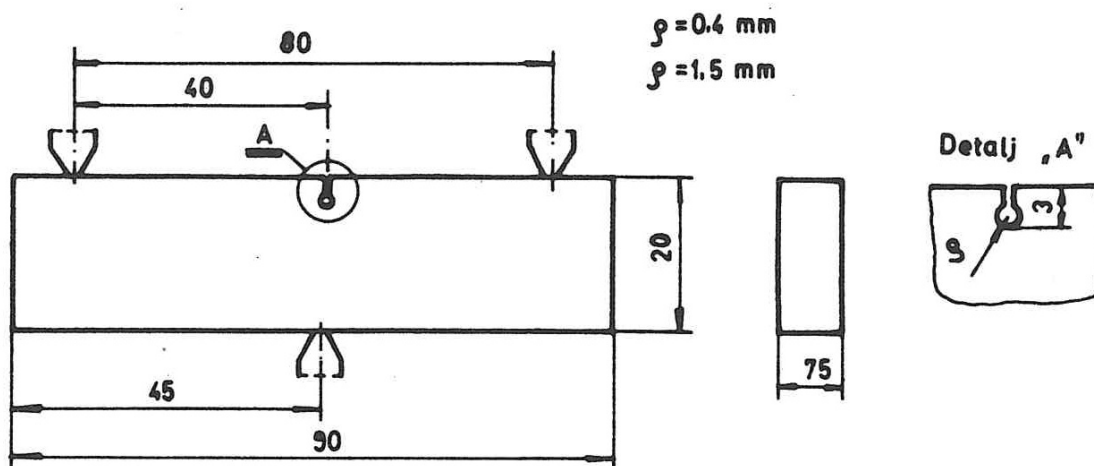
2.2. Mikroskopska ispitivanja

Ispitivanja mikrostrukture i kretanja zamorne prskotine izvršeno je svetlosnim mikroskopom. Uzorci su nagrizeni 2%HNO₃ u alkoholu.

Površina preloma ispitivana je skeniranjem elektronskim mikroskopom JEOL JSM-35, pri radnom naponu od 25 kV.

2.3. Ispitivanje zamora

Uzorak. Za ispitivanje stvaranja i rasta zamorne prskotine korišćen je uzorak za savijanje u tri tačke sa zarezom. Oblik i dimenzije uzorka prikazane su na slici 1. Zarezi su



S1.1. Uzorak za ispitivanje zamora

isečeni elektroerozionim postupkom. Korišćen su uzorci sa dva poluprečnika vrha zareza 0,4 i 1,5 mm. Površina uzorka ispod zareza je naknadno brušena metalografskim brusnim hartijama i polirana.

Uslovi ispitivanja. Ispitivanja promenljivim opterećenjem vršena su na visokofrekventnom pulzatoru. Sva ispitivanja su vršena pri konstantnoj frekvenci od 80 Hz, jednosmerno promenljivim pritiskim opterećenjem, sa konstantnim odnosom opterećenja $R = P_{\min} / P_{\max} = 0,2$. Ispitivanja su vršena na vazduhu i sobnoj temperaturi.

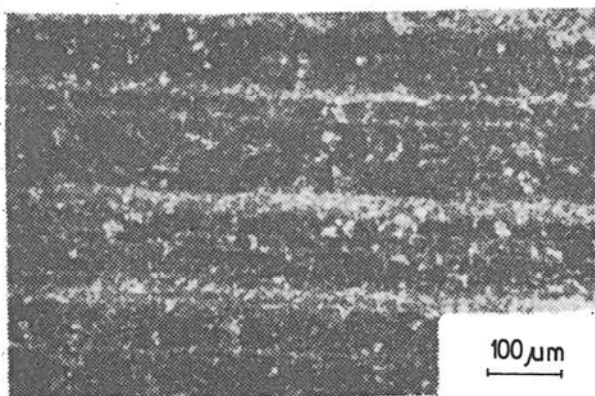
Stvaranje zamorne prskotine. Stvaranje zamorne prskotine na vrhu zareza praćeno je optički, pomoću mikroskopa. Na uzorku je nacrtana linija na rastojanju od 0,25 mm od vrha zareza i kao trenutak stvaranja zamorne prskotine registrovan je broj ciklusa kada je prskotina dostigla dužinu od 0,25 mm od vrha zareza. Za ispitivanje je korišćena serija uzoraka sa istim zarezom. Za svaki uzorak korišćen je drugi opseg opterećenja da bi se dobio broj ciklusa za stvaranje zamorne prskotine u funkciji od opsega intenziteta naprezanja. Opseg intenziteta naprezanja kao funkcija opterećenja i dužine prskotine za uzorak za savijanje u tri tačke proračunat je prema standardnom

izrazu /1/. Vrednost parametra $(\Delta K/\sqrt{\rho})$ pri 10^6 ciklusa opterećenje se smatra kritičnim parametrom za stvaranje $(\Delta K/\sqrt{\rho})_{th}$, a to je najmanja vrednost ovog parametra pri kojoj se prskotina još stvara.

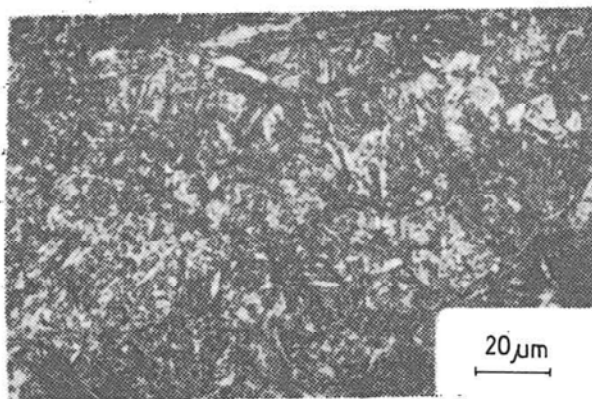
Brzina rasta. Nakon što je prskotina dostigla dužinu od 0,25 mm, meren je broj ciklusa potrebnih da prskotina poraste za sledećih 0,5 mm. Na uzorku, na poliranoj površini ispod zareza, povučene su paralelne linije na rastojanju od 0,5 mm. Brzina rasta praćena je optički, pomoću mikroskopa. Brzina rasta zamorne prskotine, (da/dN) , određivana je pomoću metode sekante /2/.

3. REZULTATI

Mikrostruktura i tvrdoća. Mikrostruktura ispitivanog čelika je otpušteni martenzit. Zapažena je segregacija u uzorcima koji su dvostepeno otpušteni (sl.2.). Struktura je više igličasta



Sl.2. Mikrostruktura dvostepeno otpuštenog čelika

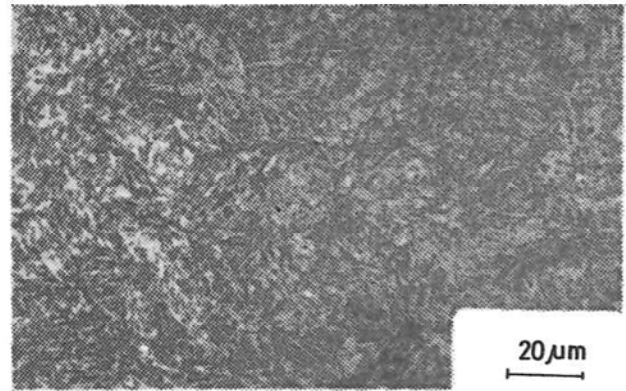
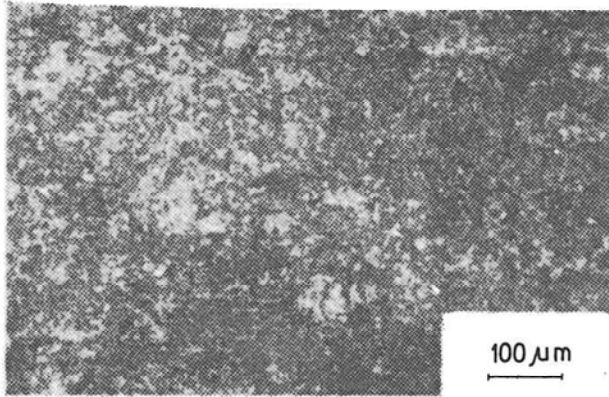


Sl.3. Mikrostruktura dvostepeno otpuštenog čelika

kod dvostepeno otpuštenih uzoraka, nego kod trostepeno otpuštenih uzoraka (sl.3. i 5.).

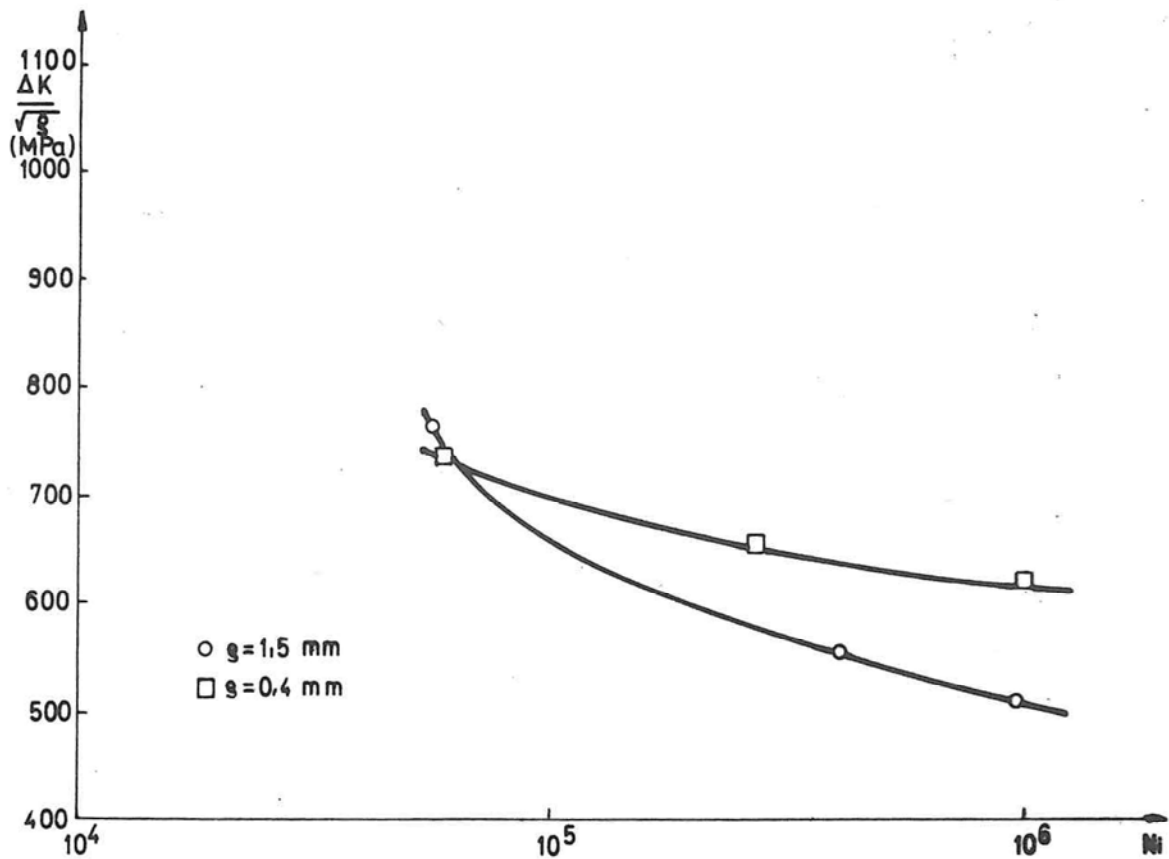
Tvrdoća uzorka koji su dvostepeno otpušteni je oko 54 HRC, a tvrdoća trostepeno otpuštenih uzoraka je 41 HRC.

Stvaranje zamorne prskotine. Broj ciklusa potrebnih da se stvori prskotina, povećava se smanjenjem parametra $(\Delta K/\sqrt{\rho})$ (sl. 6. i 7.). Za veći poluprečnik vrha zareza pri istom parametru $(\Delta K/\sqrt{\rho})$ potreban je manji broj ciklusa za stvaranje prskotine.



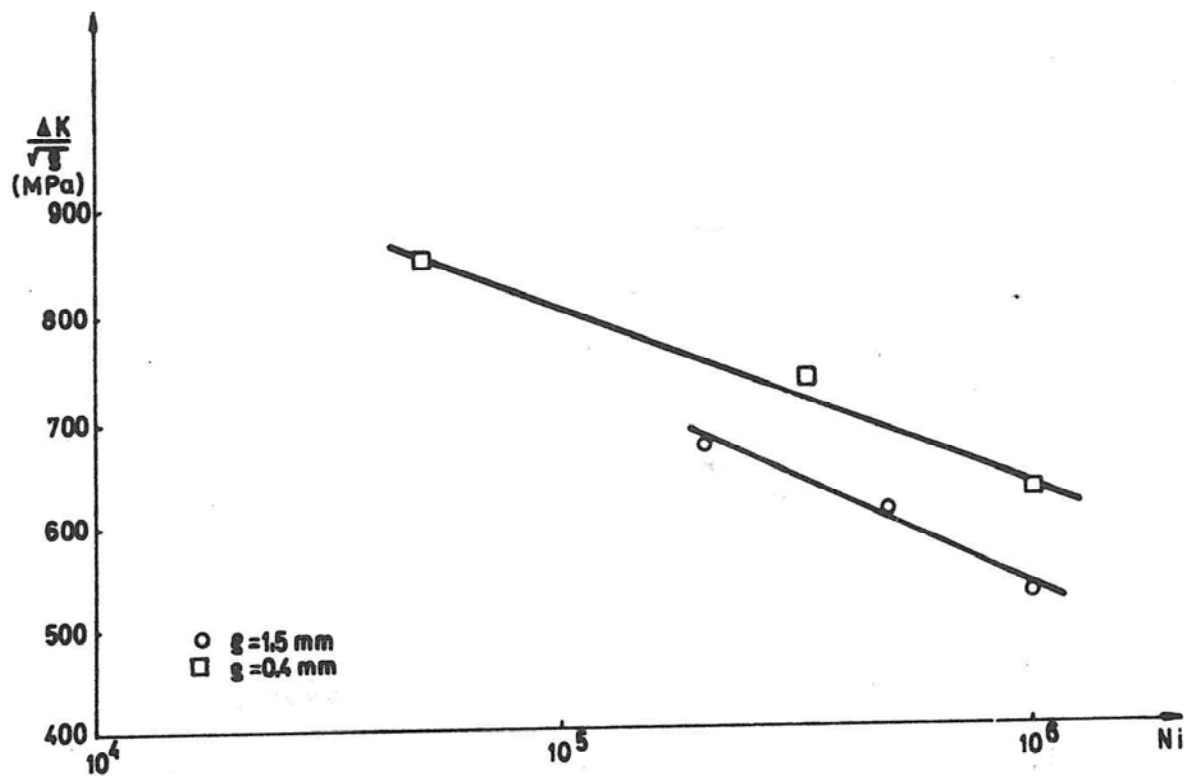
S1.4. Mikrostruktura trostepeno otpuštenog čelika

S1.5. Mikrostruktura dvostepeno otpuštenog čelika



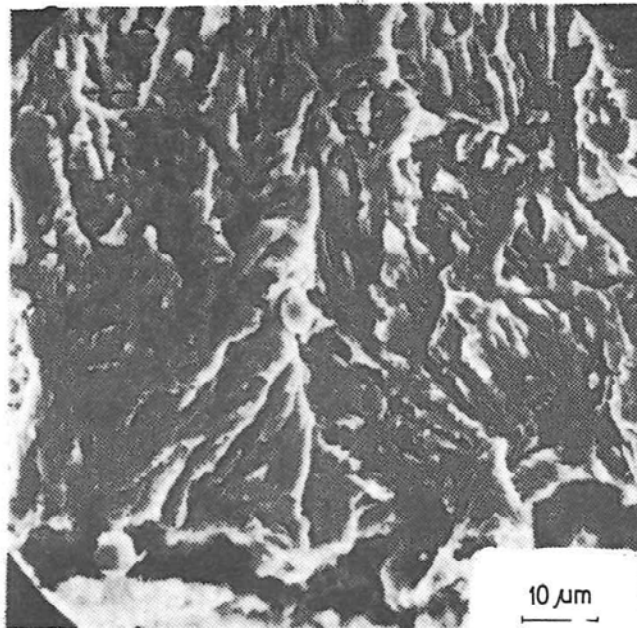
S1.6. Zavisnost broja ciklusa za stvaranje zamorne prskotine (Ni) od parametra $(\Delta K/\sqrt{\rho})$ za dvostepeno otpušteni čelik

Za poluprečnik vrha zarez 0,4 mm je za dvostepeno otpušteni čelik dobijena je vrednost $(\Delta K/\sqrt{\rho})_{th} = 620$ MPa a za trostepeno otpušteni čelik $(\Delta K/\sqrt{\rho})_{th} = 630$, dok je za poluprečnik zaobljenja vrha zarez 1,5 mm za dvostepeno otpušteni čelik dobijeno 499 MPa a za trostepeno otpušteni čelik 537 MPa.

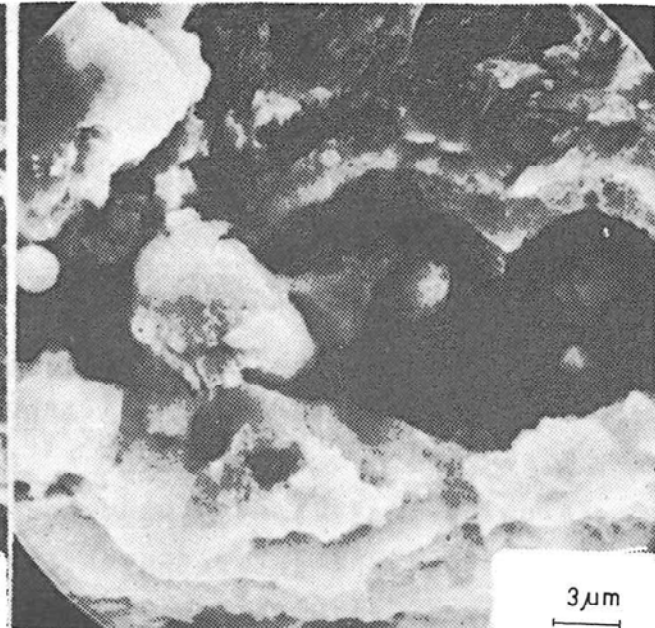


S1.7. Zavisnost broja ciklusa za stvaranje zamorne prskotine (N_i) od parametara ($\Delta K/\sqrt{S}$) za trostepeno otpušteni čelik

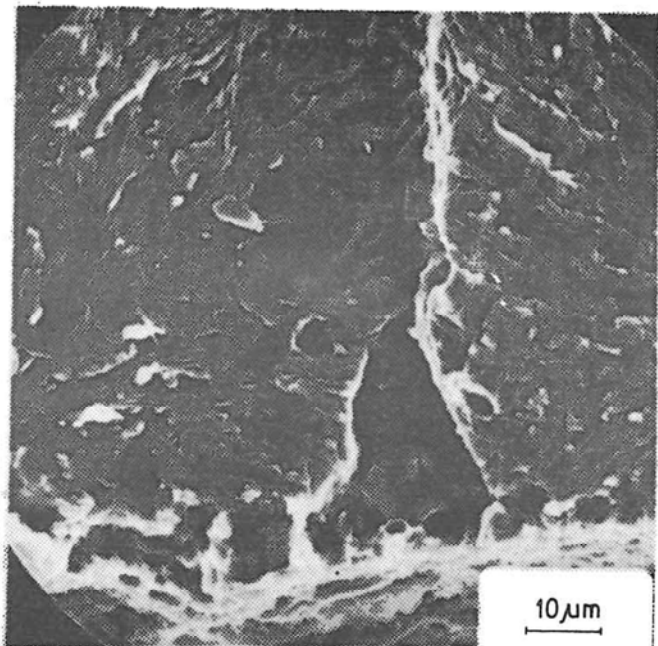
Površina preloma je transgranularna (sl.8. i 10.). Na granici zareza i preloma usled zamora zapaženi su uključci (sl. 9). Kod dvostepeno otpuštenih uzoraka površina preloma je transgranularna sl.10. ali na granici zareza i preloma usled zamora uključci nisu zapaženi (sl.11.).



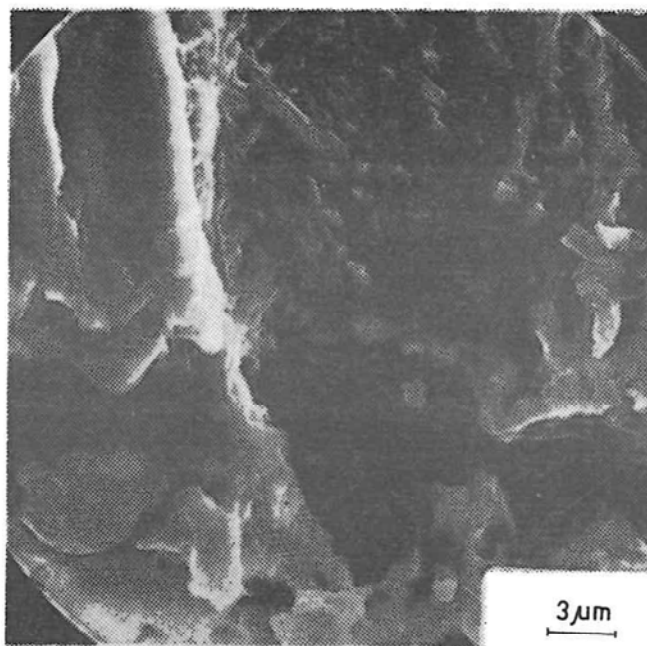
S1.8. Površina preloma trostepeno otpuštenog uzorka na granici zarez-zamor



S1.9. Površina preloma trostepeno otpuštenog uzorka na granici zarez-zamor



Sl.10. Površina preloma dvostepeno otpušenog uzorka na granici zarez-zamor



Sl.11. Površina preloma dvostepeno otpušenog uzorka na granici zarez-zamor

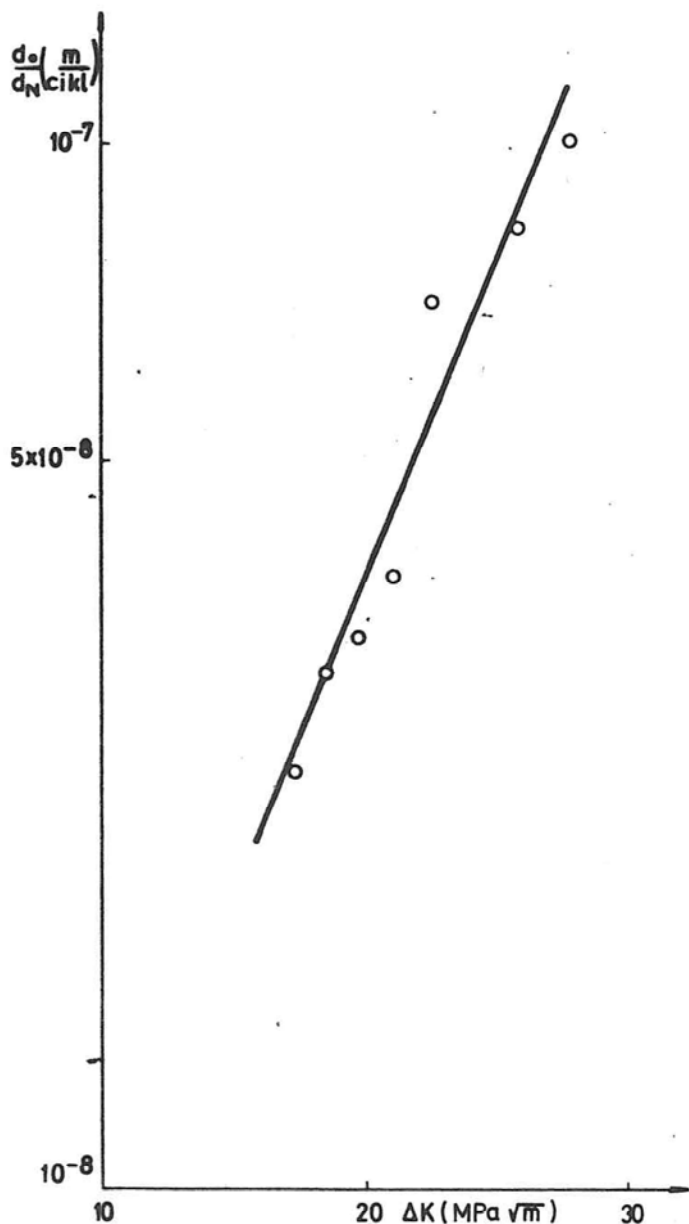
Brzina rasta zamorne prskotine. Zavisnost brzine rasta od opsega intenziteta naprežanja ΔK u logaritamskim koordinatama je prikazana na sl.12. i 13. I za dvostepeno i za trostepeno otpušteni čelik dobija se prava. Izraz za brzinu rasta za dvostepeno otpuštan čelik je:

$$\frac{da}{dN} = 2,85 \cdot 10^{-12} (\Delta K)^{3,17}$$

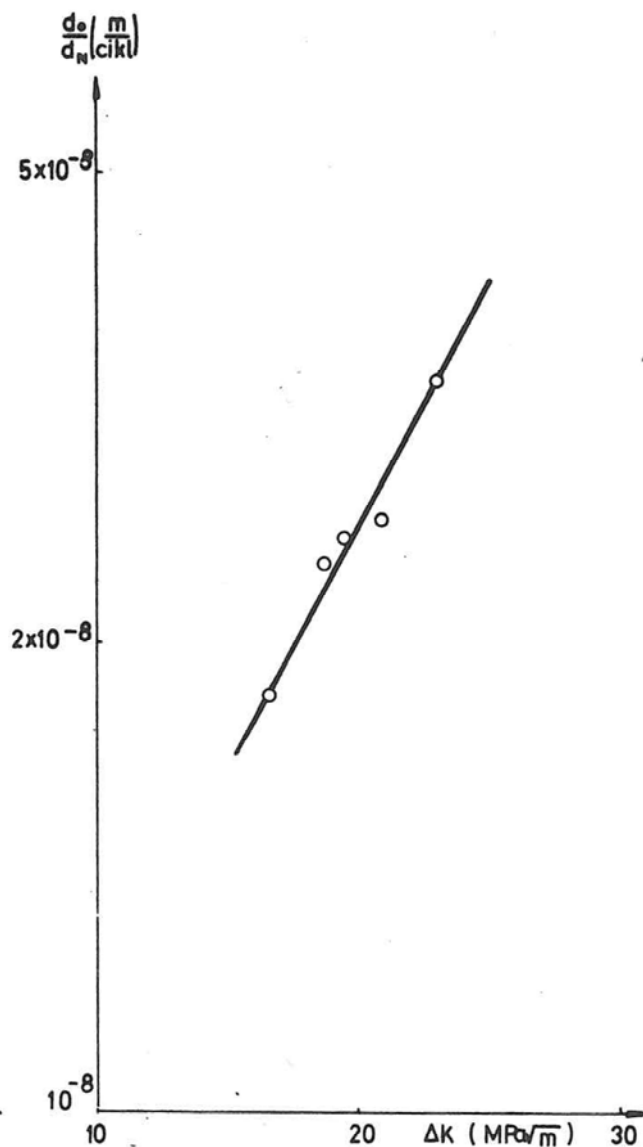
a za trostepeno otpuštan čelik je:

$$\frac{da}{dN} = 2,22 \cdot 10^{-10} (\Delta K)^{1,53}$$

Kretanje prskotine. Kretanje prskotine kod dvostepeno otpuštenog čelika na pojedinim mestima je krivudavo (sl.14.). Kod trostepenog otpuštenog čelika zapaženo je granjanje prskotine pri malim i pri većim brzinama rasta (sl.15.).

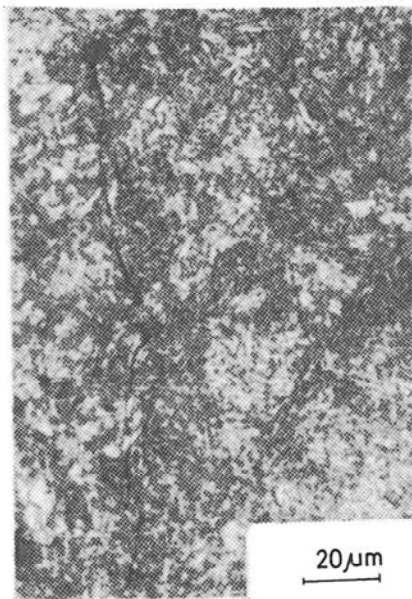


S1.12. Zavisnost brzine rasta (da/dN) od opsega intenziteta naprezanja za dvoštepno otpušteni čelik

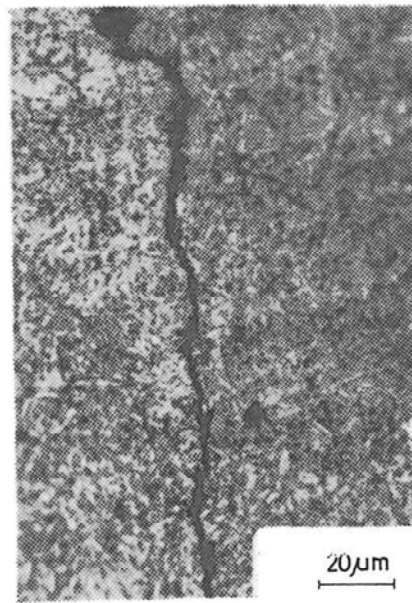


S1.13. Zavisnost brzine rasta (da/dN) od opsega intenziteta naprezanja za dvoštepno otpušteni čelik

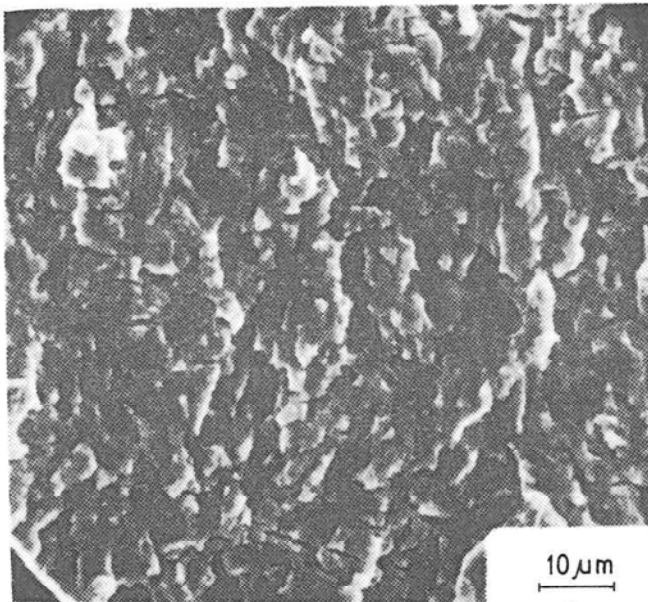
Pri većim brzinama rasta, odnosno pri većim intenzitetima naprezanja površina preloma je transgranularna i kod trostepenog i kod dvostepenog otpuštenog čelika (s1.16, i 17.). Kod trostepeno otpuštenog čelika zapažene su brzine (s1.17.) dok su kod dvostepenog otpuštenog čelika brazdice manje izražene.



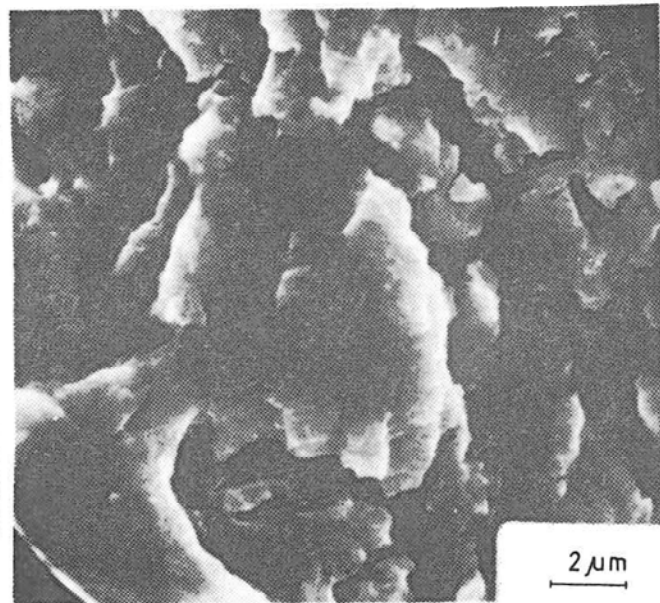
Sl.14. Rast prskotine u dvostepeno otpuštenom čeliku



Sl.15. Rast prskotine u trostepeno otpuštenom čeliku



Sl.16. Površina preloma dvostepeno otpuštenog čelika



Sl.17. Površina preloma trostepeno otpuštenog čelika

4. DISKUSIJA

Analiza polja elastičnog naprezanja oko oštre prskotine i oko zaobljenog zarezsa sa određenim poluprečnikom zaobljenja vrha zarezsa pokazuju da se podaci o broju ciklusa potrebnih za stvaranje zamorne prskotine mogu predstaviti u zavisnosti od parametra $(\Delta K/\sqrt{\rho})$ koji sadrži uticaj zarezsa /3,4/. Zavisnost broja ciklusa za stvaranje zamorne prskotine od parametra $(\Delta K/\sqrt{\rho})$ prikazana u ovom radu pokazuje da je za stvaranje zamorne prskotine potreban manji broj ciklusa, sa pove-

ćanjem poluprećnika zaobljenja vrha zarez. Ovo je u saglasnosti sa rezultatima drugih autora /3,4,5/.

U ovom radu za ispitivane zarez čiji je poluprećnik zaobljenja 0,4 mm i 1,5 mm, velićina kritićnog parametra koja se dobija pri 10^6 ciklusa se razlikuje za različite zarez za oko 20%, tj. za veći zarez dobija se manja vrednost kritićnog parametra za stvaranje, a za manji zarez veća vrednost. Sličan trend, mada manje izražen zapažen je i u radovima drugih autora /5,6/. Medjutim, Barsom i McNicol /4/ su za zarez od 0,2 do 9,5 mm dobili rasipanje svega 5%.

Minimalni kritićni parametar za stvaranje zamorne prskotine se povećava sa povećanjem granice tećenja i zatezne ćvrstoće za većinu ćelika. Prema rezultatima ovog rada, nema velikih razlika u vrednostima kritićnog parametra za stvaranje zamorne prskotine iako je razlika u ćvrstoći oko 400 MPa, a vrednost dobijenog parametra je manja u odnosu na vrednost u ostalim ćelicima sa sličnom zateznom ćvrstoćom /4/.

Rezultati brzine rasta zamorne prskotine pokazuju da važi Parisov zakon za rast zamorne prskotine. Vrednost eksponenta koja je dobijena u ovom radu za dvostepeno otpušteni ćelik $m=3,17$ je u granicama koja se dobija za duktilne materijale. Vrednost koja je dobijena za trostepeno otpušteni ćelik $m=1,57$ je nešto niža od dva što se smatra granicom vrednosti za duktilne materijale /7/.

5. ZAKLJUĆCI

Dobijena vrednost za kritićni parametar za stvaranje zamorne prskotine za dvostepeno otpušteni ćelik sa poluprećnikom vrha zaobljenja zarez 1,5 mm je 499 MPa, za dvostepeno otpušteni ćelik sa poluprećnikom vrha zaobljenja zarez 0,4 mm je 620 MPa. Za trostepeno otpušteni ćelik sa poluprećnikom vrha zaobljenja zarez 1,5 mm vrednost kritićnog parametra za stvaranje zamorne prskotine je 537 MPa, a za poluprećnik vrha zaobljenja zarez 0,4 mm je 630 MPa.

Za isti ćelik sa različitim poluprećnikom vrha zaobljenja zarez vrednosti kritićnog parametra za stvaranje zamorne prskotine se razlikuju.

Za poluprečnik zaobljenja vrha zareza 1,5 mm i 0,4 mm razlika je oko 20%.

Površina preloma je transgranularna i za dvostepeno za trostepeno otpušteni čelik.

Brzina rasta zamorne prskotine može se definisati Parisovim zakonom, a izraz za brzinu rasta je za dvostepeno otpušteni čelik:

$$\frac{da}{dN} = 2,85 \cdot 10^{-12} (\Delta K)^{3,17}$$

a za trostepeno otpušteni čelik je

$$\frac{da}{dN} = 2,22 \cdot 10^{-10} (\Delta K)^{1,53}$$

Površina preloma je pri većim brzinama rasta transgranularna sa tipičnim brazdicama.

6. LITERATURA

- | 1| Standard E-399-74
- | 2| Standard E-647-78T
- | 3| Rofle, S.T., and Barsom, J.M., Fracture and Fatigue Control in Structures, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, (1977), 215.
- | 4| Barsom, J.M. and McNicol, R.C., Fracture Toughness and Slow-Stable Cracking, ASTM STP 559, (1974), 183.
- | 5| Braglia, B.L., Hertzberg, R.W. and Roberts, R., Fracture Mechanics, ASTM STP 677 (1979), 290.
- | 6| Baus, A. et al., Flaw Growth and Fracture, ASTM STP 631, (1977), 96
- | 7| Fine, M.E., Metall. Trans. A., vol. 11A, (1980), 365