

L.Šidjanin, Dj.Drobnjak*

TROSTEPENI PROCES DUKTILNOG LOMA
KOMERCIJALNOG UMIRENOG ČELIKA **

Rezime

Na uzorcima od toplo valjane čelične žice opterećenim zatezanjem, koji sadrži kompleksne MnAl-silikatne uključke praćen je proces duktilnog loma elektronskom mikro analizom i sken-ing elektronskim mikroskopom.

Na MnAl-silikatnim uključcima u zavisnosti od stepena plastičnog determinisanja stvaraju se velike izdužene mikroprslineline. One nastaju na sledeći način: MnAl-silikatni uključci prvo se lome. Mikroprslineline koje su normalno orjentisane u odnosu na osu uzoraka, vrlo brzo prerastaju u šupljine. Mehanizam loma se dalje nastavlja dekohezijom na graničnoj površini MnAl-silikatni uključak - metalna osnova, formirajući na taj način veliku izduženu mikroprslinelinu koja u svojoj zapremini sadrži slomljene delove uključka. U području vrata te izdužene velike mikroprslineline stvaraju geometrijski uslov za makroskopski lom bilo preko aktiviranja mehanizma koalescencije mikrošupljina na submikroskopskim uključcima, bilo smicajnom dekohezijom. Na osnovu dobijenih rezultata predložen je model duktilnog loma.

THREE STAGES OF DUCTILE FRACTURE PROCESS
IN COMMERCIAL CARBON STEEL***

Summary

Uniaxial tensile ductility and fracture of a commercially hot rolled steel wire were investigated with a special emphasis on elongated MnAl-silicate inclusions by electron micro analysis and scanning electron microscopy.

In the course of plastic deformation extensive cracks develop from cracking of MnAl-silicate and decohesion of MnAl-silicate-matrix interface. These cracks grow to a size comparable to that of MnAl-silicate inclusions themselves. Elongated MnAl-silicate inclusions are understood to impose geometrical conditions to accelerate final fracture either by the process of microvoids coalescence associated with submicron spherical inclusions or linking up by shearing.

Basing on these observations a model for crack and propagation is proposed.

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

Drobnjak dr Djordje, dipl.ing., vanr.prof., Tehnološko-metalurški fakultet 11000 Beograd, Karnegijeva 4.

** Rad je objavljen na 8th Congress on Material Testing, Budapest, 1982, Section I; Fracture, Fatigue, Creep.

1. UVOD

Poznato je da duktilnost niskougleničnih čelika veoma zavisi od nemetalnih uključaka. Puttick [1] i Rogers [2] su ustanovili da završni stadijum loma je rezultat progresivne koalescencije mikrošupljina nastalih na nemetalnim uključcima. Nemetalni uključci u komercijalnim čelicima mogu se podeliti u tri kategorije [3]: i) makroskopski uključci veličine iznad nekoliko stotina μm ; ii) mikroskopski uključci veličine od nekoliko μm do 100 μm ; iii) submikroskopski uključci koji su uglavnom okrugli oksidni uključci.

Pošto makroskopski uključci predstavljaju defekt u čeliku, većina jamica koje se vide na mikrofraktografskom snimku dobijenih skeniranjem elektronskim mikroskopom, povezane su sa mikroskopskim i submikroskopskim uključcima uglavnom MnS koji su veoma intenzivno istraživani [3-8]. Za razliku od MnS nemetalnih uključaka, MnAl-silikati su premalo istraživani.

Za potpunije razumevanje uticaja kompleksnih silikatnih uključaka, zrna perlita i feritne osnove na proces duktilnog loma izvršena su opsežna istraživanja na toplo valjanoj čeličnoj žici. U ovom radu su prikazani neki od rezultata dobijeni na silikatnim uključcima mikroskopske veličine i submikroskopskim oksidnim uključcima. Rezultati dobijeni sa perlitnim zrnima i u feritnoj osnovi objaviće se u narednom periodu.

2. EKSPERIMENTALNI RAD

Hemijski sastav toplo valjane čelične žice je prikazan u tabeli 1.

Tabela 1

C%	Si%	Mn%	S%	P%	Al%	N%
0,11	0,19	0,34	0,022	0,012	0,004	0,0045

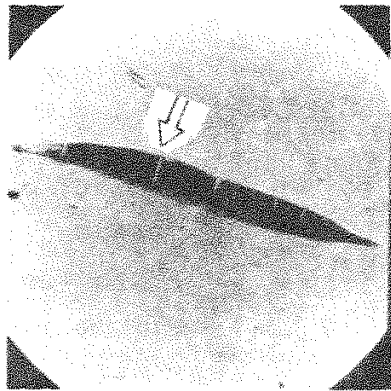
Struktura čelika je feritna sa zrnima lamelarnog perlita. Veličina feritnih zrna po ASTM-u je 8, tj. prosečna veličina zrna je 22 μm . Količina perlita je do 10%. U čeliku su prisutni MnAl-silikatni uključci prosečne dužine od 88 μm i debljine do 6 μm . Identifikacija MnAl-silikata izvršena je elektronskom mikroanalizom.

Uzorci toplo valjane žice prečnika 6 mm i merne dužine $l_0 = 10$ do su opterećivani zateznom silom do određenog stepena deformacije na Instron elektronskoj kitalici brzinom od 5 mm/min. Skening elektronskim mikroskopom ispitivani su kako uzdužni preseki uzoraka deformisani različitim stepenima deformacije, tako i prelomljene površine.

3. REZULTATI

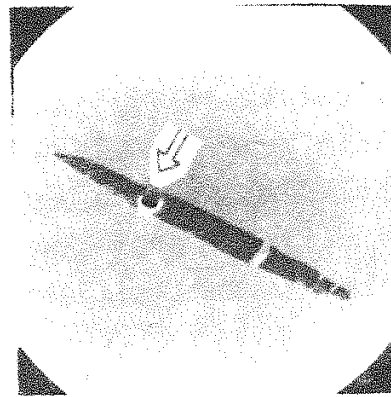
Prva mikroprslina, koja se prostire po celoj debljini MnAl-silikatnog uključka, je dobijena kod $\epsilon = 0,017$ (slika 1a). Sa porastom stepena deformacije mikroprslina prerasta u šupljinu (slika 1b). Prva šupljina je vidjena kod $\epsilon = 0,1$. Paralelno procesu stvaranja šupljina dejstvuje i mehanizam dekohezije uzduž granične površine MnAl-silikatni uključak - metalna osnova (slika 1c). Povećanjem stepena deformacije do maksimalnog opterećenja mehanizam dekohezije uzduž granične površine uključak-metalna osnova preovladjuje, tako da se stvara uzdužna mikroprslina koja sadrži slomljene delove MnAl-silikata u svojoj zapremini (slika 1d). Neposredno pre konačnog makroskopskog loma, stvaraju se mikrošupljine na submikroskopskim oksidnim uključcima (označene strelicom na slici 1d).

Analiza prelomljenih površina je pokazala da postoje dve vrste jamica (slika 2). Prva vrsta su duboke jamice prečnika od 10 μm do 18 μm (oznaka A na slici 2) i povezane su sa ostacima slomljenih delova MnAl-silikatnih uključaka (oznaka B na slici 2). Druga vrsta jamica su male jamice prečnika do 5 μm i povezane sa okruglim submikroskopskim oksidnim uključcima (označeni strelicom na slici 2).



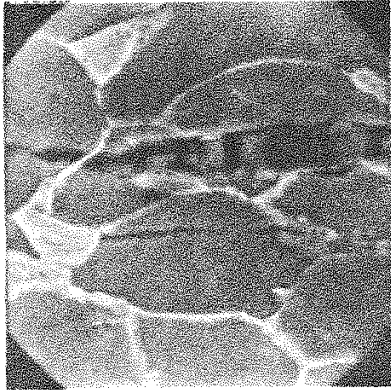
25 μm

a.



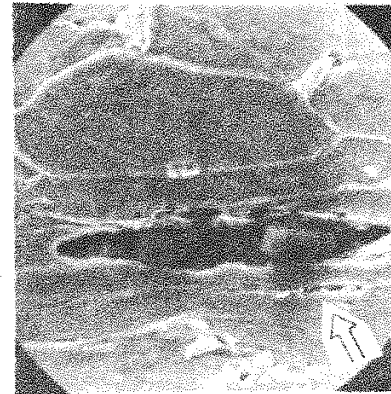
25 μm

b.



10 μm

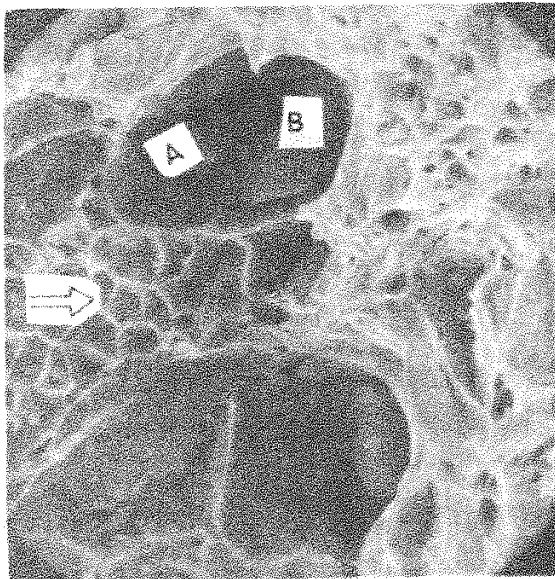
c.



15 μm

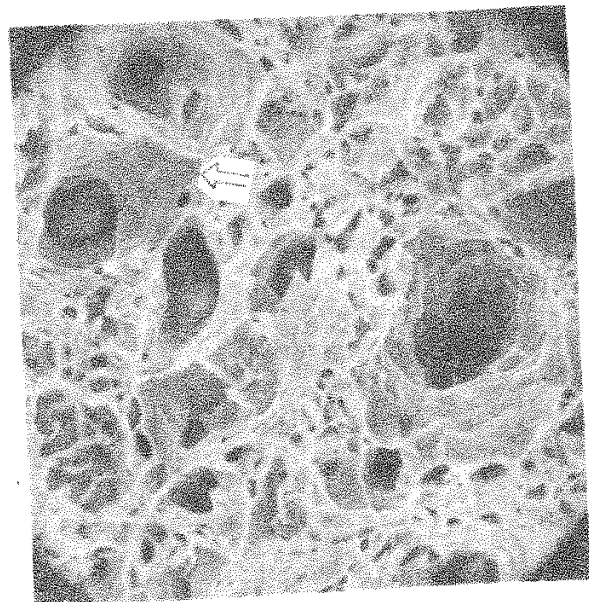
d.

S1.1 Stvaranje uzdužne velike mikroprsline



5 μm

S1.2 Prelomljena površina



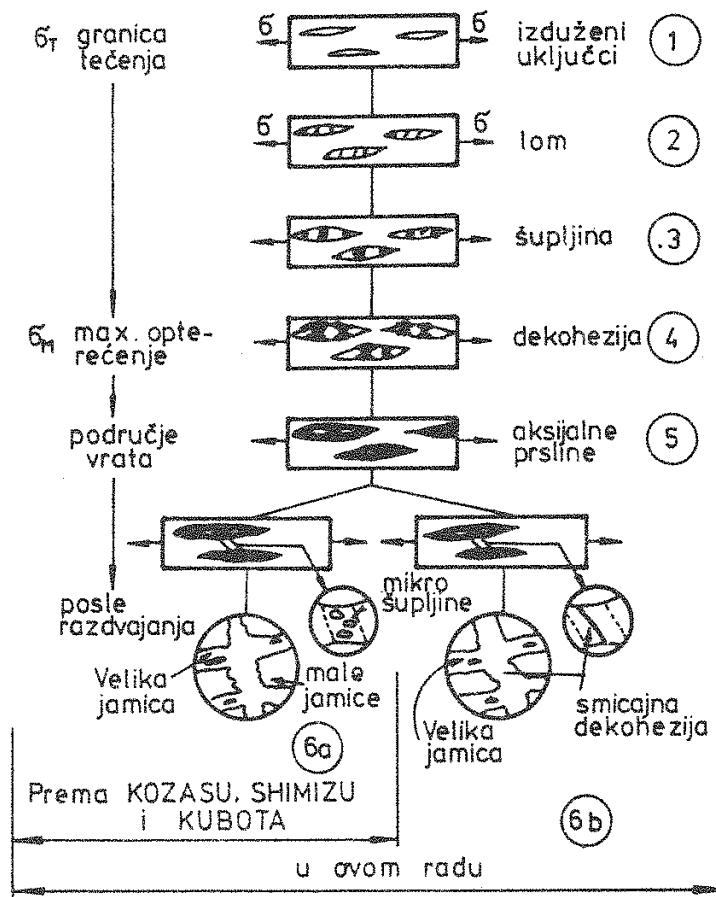
10 μm

S1.3 Prelomljena površina

Pored stvaranja velikih i malih jamica, nastaje i lom mehanizmom smicanja, stvarajući na prelomljenoj površini neregularne oblike relativno glatke povezane sa vijugavim šarama klizanja (oznaka strelicom na slici 3).

4. DISKUSIJA

Prikazani rezultati na slikama 1 do 3 šematski su prikazani u vidu modela na slici 4. Kod ovog modela nemetalni uključci su klasificirani kao mikroskopski izduženi uključci i kao submikroskopski okrugli uključci. Na uzorcima deformisanim sa različiti-



Sl.4 Šematski prikaz mehanizma loma

tim stepenima deformacije prve uočljive promene su primećene kod malog stepena deformacije. Kod tog stepena deformacije uključci se lome (stepen 2 na slici 4) stvarajući mikroprslina normalno orjentisane na osu uzorka. Daljom plastičnom deformacijom mikroprslina vrlo brzo prerastaju u šupljine (stepen 3). Proces loma dalje se nastavlja mehanizmom dekohezije (stepen 4) stvarajući veliku mikroprslinu orjentisanu u pravcu ose uzorka (stepen 5). U području vrata te izdužene velike mikroprslina stvaraju geometrijski uslov za makroskopski lom, tj. stvaraju unutrašnja suženja, adekvatno spoljašnjem makroskopskom vratu. Plastična deformacija se na taj način lokalizuje. Intenzivna lokalna deformacija aktivira ili nastajanje mikrošupljina na submikroskopskim uključcima ili uslov za lokalno brzo smicanje (6b). Prema tome, izduženi mikroskopski uključci stvaraju geometrijski uslov za konačno razdvajanje uzorka bilo preko koalescencije mikrošupljina nastalih na submikroskopskim uključcima, bilo mehanizmom smicajne dekohezije [9,10].

5. ZAKLJUČAK

U toplo valjanoj čeličnoj žici deformisanoj sa različitim stepenima deformacije ispitivana je uloga izduženih MnAl-silikata i okruglih oksidnih uključaka na proces duktilnog loma skeniranjem elektronskim mikroskopom. Početni stadijum procesa duktilnog loma se karakteriše lomom MnAl-silikata. Nakon prerastanja mikroprslina u šupljine, proces loma se nastavlja mehanizmom dekohezije uzduž granične površine nemetalni uključak - metalna osnova, stvarajući veliku izduženu mikroprslinu. Proces makroskopskog razdvajanja uzorka odvija se bilo preko koalescencije mikrošupljina nastalih na submikroskopskim uključcima bilo preko mehanizma smicajne dekohezije.

LITERATURA

- [1] K.E. Puttick, Phil. Mag. Ser. 8, 4 (1959), 964
- [2] H.C. Rogers, Trans. AIME 218 (1960) 498
- [3] I. Kozasu, T. Shimizu and H. Kubota; Trans. ISIY. 13 (1973) 20
- [4] D.P. Clausing; Trans. ASM. 60 (1967) 504

- | 5| T.Gladman, B.Holmes i I.D.Ivor; YISI (1971), 68
- | 6| L.E.Miller i G.C.Smith; YISI (1970) 998
- | 7| A.S.Arhon i R.Sofoglu. Met.Trans. 6A (1975) 825
- | 8| W.Roberts i B.Lehtinen, Act.Met. 24 (1976) 745
- | 9| J.E.Knotž, Met.Sci. M (1980) 327
- |10| L.Šidjanin, Doktorska disertacija, Ljubljana, 1982.