

DEFORMACIONO OJAČANJE ČELIČNIH LIMOVA
PRI VIŠESTEPENOJ REDUKCIJI DEBLJINE

STRAIN HARDENING OF STEEL SHEETS
IN MULTI-PHASE THICKNESS REDUCTION

M. Stefanović

S. Aleksandrović

D. Adamović

MAŠINSKI FAKULTET KRAGUJEVAC

REZIME: U radu su prezentirani rezultati istraživanja fenomena ojačanja pri modelnom izučavanju procesa izvlačenja sa redukcijom debljine zida komada. Merena je sila izvlačenja - provlačenja, pri različitim kombinacijama tribo-uslova i pri višestepenom stanjenju. Korišćenjem postupka merenja mikrotvrdoće, određene su raspodele intenziteta napona za različite uslove ispitivanja, kao i odgovarajući priraštaj ojačanja po pojedinim fazama ispitivanja.

ABSTRACT: The results of investigations of strain hardening phenomena in model investigated ironing proces are presented. As a characteristic model we used the strip-ironing of larger thickness steel sheets between inclined die surfaces. The low carbon mild steel sheet "Č0148 P3", suitable for plastic forming was used. It was measured deformation force (tensile force) in conditions of changing the relevant tribo-influences in multi-phase ironing. Also, the stress intensity distribution for diferent conditions were obtained by using micro hardness method. Finaly, the micro hardness was measured and then stress intensity fields is determined. In each phase of ironing the hardening increas was determined as well.

1. UVOD

Glavni fenomen pri obradi deformisanjem u hladnom stanju je, svakako, ojačanje, odnosno porast čvrstoće plastično deformisanog

metala. Postupak izvlačenja sa redukcijom debljine zida, koji se najčešće realizuje u hladnom stanju, omogućava postizanje visokih stepena stanjenja i odgovarajuće čvrstoće. Tribološki aspekti ovog procesa detaljno su izučavani i prezentirani u radovima autora (1),(2), pri čemu je korišćen odgovarajući model, tzv. izvlačenje-provlačenje između parova sa nagnutim kontaktnim površinama (3). Pri ovome se moraju zadovoljiti minimalni zahtevi modeliranja-analogni naponsko-deformacioni odnosi, temperaturno-brzinski uslovi, osobine površine alata i materijala i sl. (4).

Pri višefaznoj obradi u jednom hodu alata dolazi do kontakta komada sa više prstenova za izvlačenje. Odgovarajuće preporuke za konstrukciju alata omogućavaju optimalan izbor faznih zazora, uglova nagiba matrica i sl. Od suštinskog je značaja povezivanje uslova obrade sa ostvarivanjem graničnih odnosa pri deformisanju, koji se najčešće i iskazuju preko stepena deformacije, odnosno graničnih napona.

2. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

2.1 Uslovi ispitivanja

Materijal koji se ispituje je niskougljenični čelični lim, umiren aluminijumom, oznake Č0148 P3, pogodan za plastičnu obradu. Mehaničke i karakteristike površine, kao i ostali važni podaci o ispitivanju, dati su u tabeli 1.

Tabela 1. USLOVI ISPITIVANJA

	Materijal	Mehaničke karakteristike	Karakteristike površine
Alat	Č 5421	60 HRC	$R_a \approx 0,08 \mu\text{m}$
Epruveta	Č 0148 P3 debljina 3 mm širina 20 mm	$R_p = 188,1 \text{ MPa}$ $R_M = 313,6 \text{ MPa}$ $A_{80} = 42,8 \%$ $HV_{30} = 103,6$	$R_a = 1,16 \mu\text{m}$ $R_t = 6,50 \mu\text{m}$ $R_p = 4,40 \mu\text{m}$ $S_m = 130 \mu\text{m}$
Stepen redukcije	6-35 %	Nagib matrice	10°
Put klizanja	70 mm	Temperatura ispitivanja	20°C
Brzina provlačenja	20 mm/min	Korišćena maziva:	- MoS_2 - ulje za dub.izv.

Detalji eksperimentalne metodologije opisani su u radu (2). Uslovi podmazivanja :

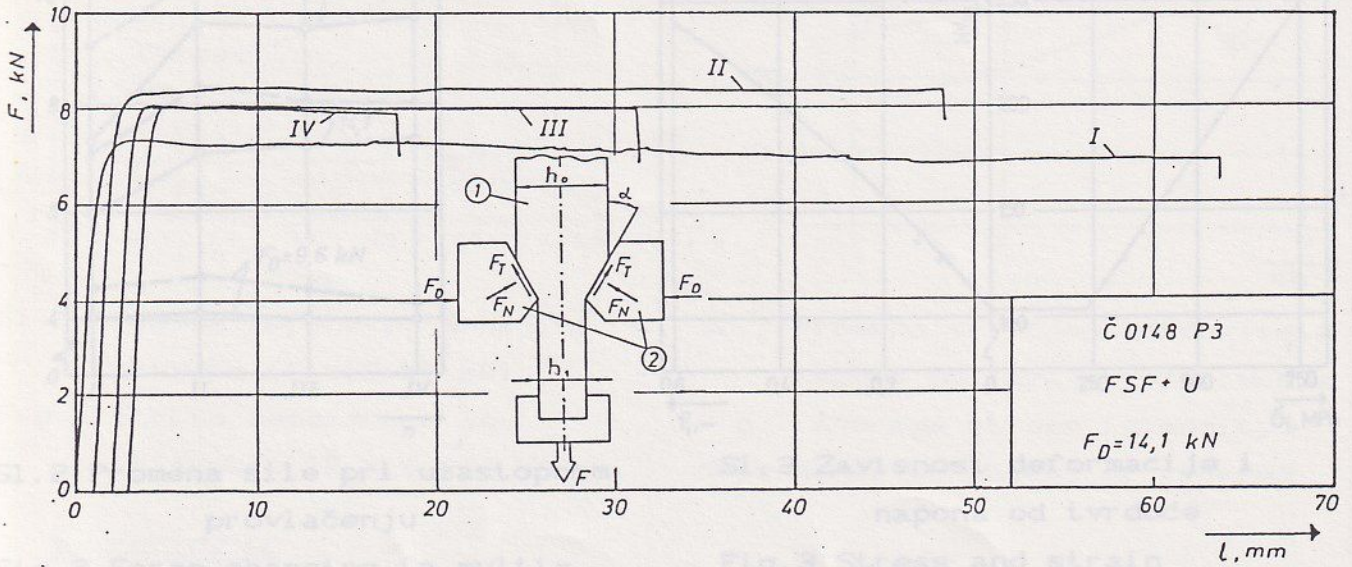
(FSF+MD) - fosfatirane površine + MoS_2

(FSF+U) - fosfatirane površine + ulje za duboko izvlačenje

2.2 Eksperimentalni rezultati

Karakterističan zapis "deformaciona sila - put klizanja" sa shemom

modela pokazani su na sl.1. Zavisnost $F=F(l)$ ostaje praktično stalna za vreme ispitivanja (tzv. prvi tip trenja (2)), što govori o nepromenljivim uslovima trenja pri deformisanju.



Sl.1 Zavisnost deformacione sile od puta klizanja

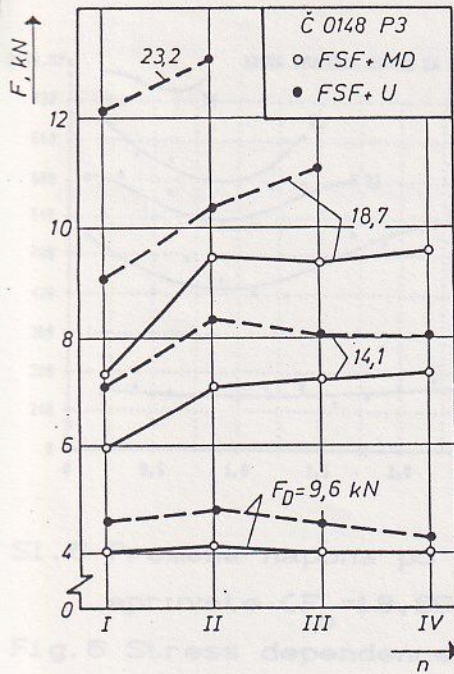
Fig.1 Deformation force dependence on sliding distance

Promena sile provlačenja pri uzastopnom deformisanju za navedene kontaktne uslove prikazana je na sl.2. Karakterističan je porast sile pri drugom stanjenju, prvenstveno kao posledica izraženog ojačanja.

Stanjenje se realizuje u uslovima koji su bliski ravanskoj deformaciji; do tečenja dolazi u aksijalnom i u pravcu delovanja sile držača. Za određivanje ojačanja je korišćena poznata metoda merenja tvrdoće (mikrotvrdoće) i veza sa ojačanjem (stepen deformacije) (5). Merenje tvrdoće je vršeno po debljini lima (0 do h), u presecima upravnim na površine klizanja, za svaku fazu posebno. Npr. za uslove: mazivo-fosfatni sloj+ MoS_2 , $F_D=9,60$ kN, oznake su 50 za nedeformisanu epruvetu; 51 za prvu fazu provlačenja, 52 za drugu fazu i td. Za silu pritiska $F_D=14,1$ kN oznake su 60 do 64, a za silu $F_D=18,65$ kN 70 do 74. Koristeći etalon merenja (6), formiran je osnovni dijagram, koji je korišćen u naknadnim izračunavanjima, sl.3.

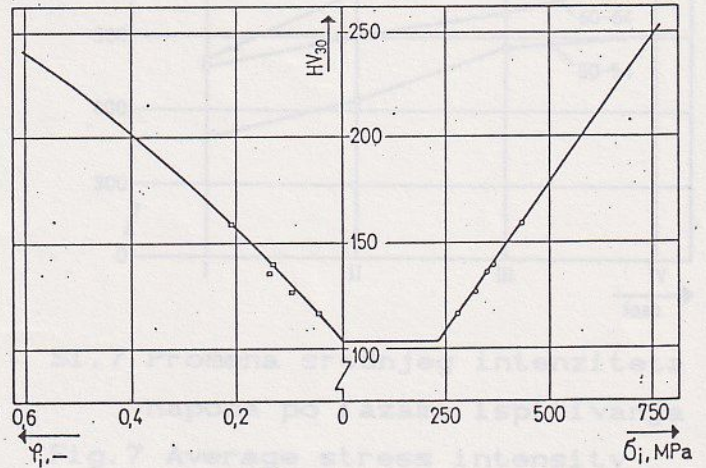
Na sl.4 pokazana je promena mikrotvrdoće po debljini lima za uslove "5".

Koristeći odgovarajuće veze prema sl.3, određeni su intenziteti napona za sve faze ispitivanja (sl.5 i sl.6). Napominje se da su krive raspodela crtane prema rezultatima odgovarajuće regresione analize (metod najmanjih kvadrata).



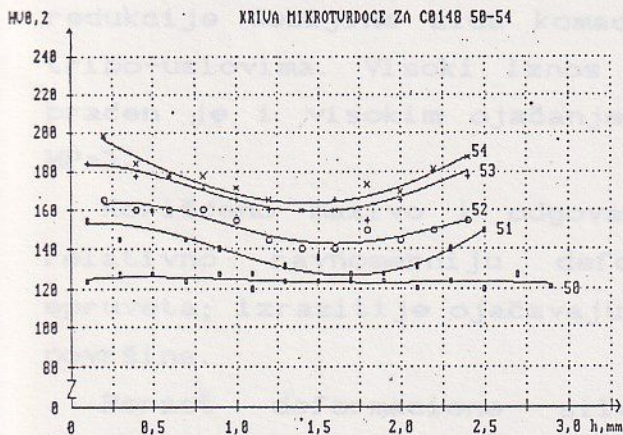
Sl.2 Promena sile pri uzastopnom provlačenju

Fig.2 Force changing in multi-phase ironing



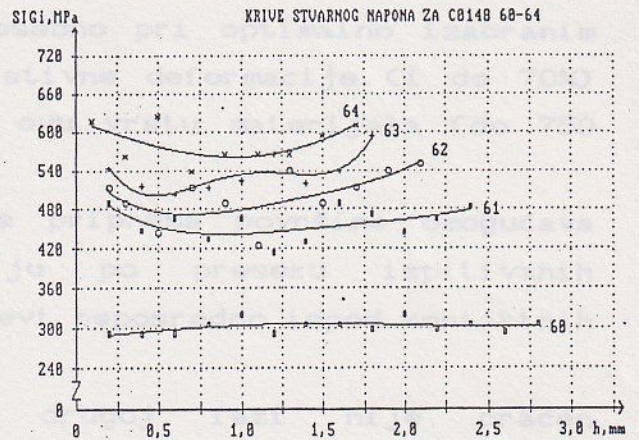
Sl.3 Zavisnost deformacije i napona od tvrdoće

Fig.3 Stress and strain dependence on hardness



Sl.4 Promena mikrotvrdoće po debljini epruvete ($F_D = 9,6$ kN)

Fig.4 Microhardness dependence on thickness of specimen ($F_D = 9.6$ kN)

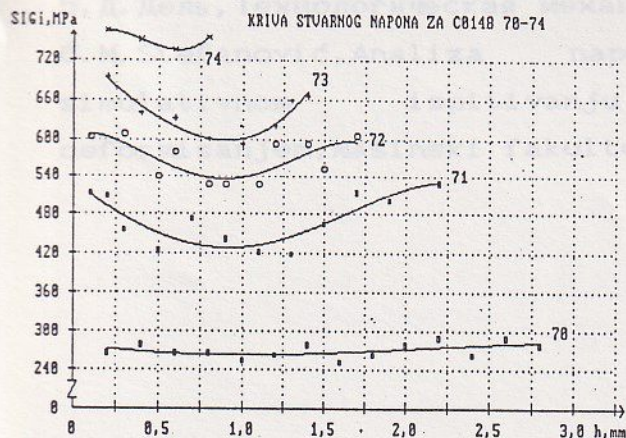


Sl.5 Promena napona po debljini epruvete ($F_D = 14,1$ kN)

Fig.5 Stress dependence on thickness ($F_D = 14.1$ kN)

Očigledan je porast ojačanja u zonama bliskim površinama komada, kao direktna posledica intenzivnog tečenja periferne mase metala. Poštujući uslove ravanskog deformisanja i koristeći odgovarajuću krivu tečenja, moguće je odrediti srednje vrednosti deformacionih čvrstoća u pojedinim fazama ispitivanja (ovaj prikaz ne sadrži i ove rezultate).

Srednje vrednosti napona, prema rezultatima merenja mikrotvrdoće, za pojedine faze redukcije debljine, prikazane su na sl.7.



Sl.6 Promena napona po debljini epruvete ($F_D = 18,65$ kN)

Fig.6 Stress dependence on thickness ($F_D = 18.65$ kN)

3. ZAKLJUČAK

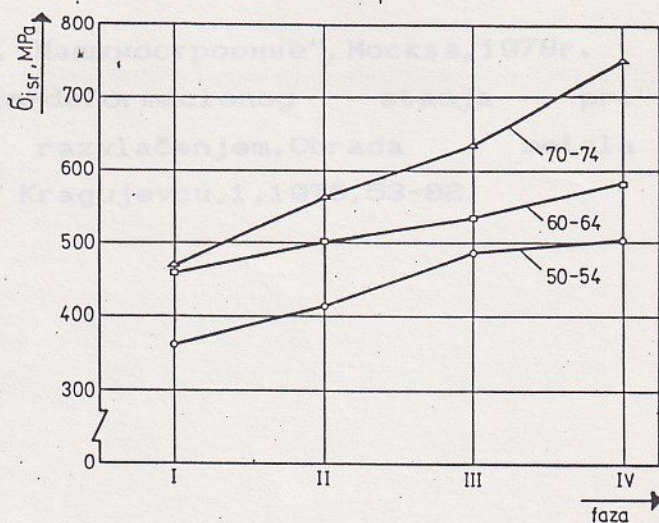
Pri izvlačenju sa stanjenjem moguće je ostvariti visoke stepene redukcije debljine zida komada, posebno pri optimalno izabranim tribo-uslovima. Visoki iznos kumulativne deformacije (ϵ do 70%) praćen je i visokim ojačanjem za ovu vrstu materijala (do 750 MPa).

Korišćeno mazivo i odgovarajuća priprema površine omogućava relativno ravnomerniju deformaciju po preseku ispitivanih epruveta; izrazitije ojačavaju slojevi neposredno ispod kontaktnih površina.

Porast deformacione sile u drugoj fazi nije praćen odgovarajućim ojačanjem. Za uslove koji su u istraživanju realizovani (stalna sila pritiska držača, promenljivi stepen deformacije) relevantniji je uticaj trenja na površinama klizanja.

Literatura

1. M. Stefanović, D. Adamović, M. Mitrović, Modeliranje tribo-uslova pri izvlačenju sa stanjenjem zida komada, 22. Svetovanje proizvodnog mašinstva Jugoslavije, Ohrid, 1989, Zbornik radova, 93-101.
2. M. Stefanović, D. Adamović, Karakteristike nepromenljivog niskog trenja pri ispitivanju lima provlačenjem sa stanjenjem, YUTRIB '89, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Zbornik radova, 177-181.
3. D. Schlosser, Beeinflussung der Reibung beim Streifenziehen von austenit Blech, verschiedene Schmierstoffe und Werkzeuge aus gesinterten Hartstoffen, Bänder Blech Rohre, 7/8-1975, 302-306.
4. С. J. Вейлер, В. И. Пихтман, Действие смазок при обработке металов давлением, Акад. наук СССР, Москва 1960г.



Sl.7 Promena srednjeg intenziteta napona po fazama ispitivanja

Fig.7 Average stress intensity dependence on phases of ironing

5. Д. Дель, Технологическая механика, "Машиностроение", Москва, 1978г.

6. M. Stefanović, Analiza naponsko-deformacionog stanja pri simulativnom ispitivanju razvlačenjem, Obrada metala deformisanjem, Mašinski fakultet u Kragujevcu, 1, 1976, 53-82.