



BANJALUKA  
28-29. 05. 2009.

UNIVERZITET U BANJALUCI

**DEMI 2009**

MAŠINSKI FAKULTET

9. MEĐUNARODNA KONFERENCIJA  
O DOSTIGNUĆIMA ELEKTROTEHNIKE,  
MAŠINSTVA I INFORMATIKE

9<sup>th</sup> INTERNATIONAL CONFERENCE  
ON ACCOMPLISHMENTS IN ELECTRICAL  
AND MECHANICAL ENGINEERING  
AND INFORMATION TECHNOLOGY

## MODELIRANJE TRIBOLOSKIH PROCESA PRI OBRADI DUBOKIM IZVLAČENJEM SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA

Dragan Adamović<sup>1</sup>, Milentije Stefanović<sup>2</sup>, Srbislav Aleksandrović<sup>3</sup>

**Rezime:** U radu se daje detaljna analiza triboloških procesa koji se dešavaju pri dubokom izvlačenju sa stanjenjem debljine zida, njihovom uticaju na alat i obradivani materijal, preko posebno razvijenog fizičkog modela procesa izvlačenja. Karakteristično za ovakve postupke hladnog deformisanja je višestruko ponavljanje operacija, odnosno više stanjenja u jednoj operaciji, što dovodi do postepenog porasta debljine nalepljenog sloja metala na kontaktnim površinama alata. Pri dovoljno velikoj debljini nalepljenih slojeva, dolazi do plastičnog deformisanja nastalih nalepina, odnosno do njihovog otkidanja, narušavanja stabilnosti procesa obrade i povećanja površinske hrapavosti radnog dela. Dobijeni rezultati ukazuju na suštinski uticaj tribo-uslova na proces dubokog izvlačenja sa stanjenjem zida, trajnost alata i kvalitet dobijenih delova.

**Ključne reči:** Duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida, tribo-modeliranje, tribološki procesi

### MODELLING OF TRIBOLOGICAL PROCESSES IN IRONING

**Abstract:** The paper gives detailed analysis of tribological processes which occur in ironing, their influence on tool and formed material by means of specially developed physical model of drawing process. The typical property of such cold forming procedures is multiple repetitions of operations, i.e. several thinnings in one operation, which leads to gradual increase of thickness of glued material layer on contact surfaces of the tool. At sufficiently large thickness of glued layers, plastic forming of created glued particles occurs, i.e. their tear-off, disruption of forming process stability and increase of surface roughness of work piece. The obtained results indicate the basic influence of tribo-conditions on ironing process, tool durability and quality of obtained parts.

**Key words:** Ironing, tribo-modelling, tribological processes

### 1. UVOD

Poznato je da trenje određuje kako tok procesa OMD tako i kvalitet proizvoda i trajnost alata. Ispitivanja i posmatranja pohabanih i oštećenih površina pri trenju, kao i

<sup>1</sup> Prof. dr Dragan Adamović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, adam@kg.ac.rs

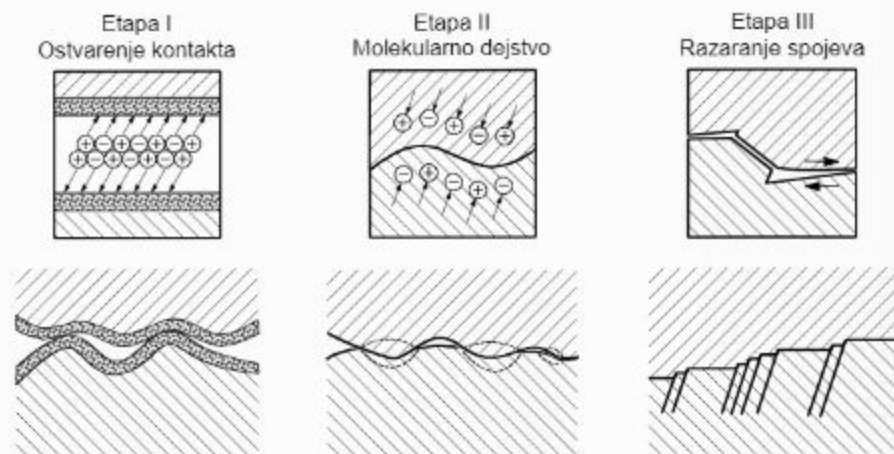
<sup>2</sup> Prof. dr Milentije Stefanović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, stefan@kg.ac.rs

<sup>3</sup> Prof. dr Srbislav Aleksandrović, Mašinski fakultet u Kragujevcu, srba@kg.ac.rs

posebna ispitivanja kontaktnih spojeva, s obzirom da dolazi do pojava zahvatanja, grebanja, mikro rezanja ili obrazovanja i razaranja spojeva, potvrđuju složenost mehanizma trenja u uslovima visokih pritisaka.

Model pojava, koje se dešavaju u mikro zonama kontakta pri trenju, može se pokazati kao na slici 1 [1]. Mogu se razlikovati tri osnovne etape medjusobnog delovanja kontaktnih površina pri trenju.

**Etapa I.** Ovde nastaje kontakt i medjusobno mehaničko dejstvo kontaktnih površina, u početku prekrivenih oksidnim slojevima, pri čemu količina oksida zavisi u velikoj meri od vrste procesa (proces OMD na hladno ili toplo) i sklonosti ka oksidaciji metala kontaktnog para. Dominantna pojava u ovoj etapi kontakta je plastično deformisanje, ne samo površinskih neravnina već takodje, i znatne zapremine materijala.



Sli. 1 Model pojava koje nastaju u mikro zonama kontakta pri trenju [1]

**Etapa II.** Kao rezultat medjumolekularnog dejstva obrazuju se adhezioni spojevi (nalepljivanja), čija količina zavisi u velikoj meri od geometrije kontakta i specifičnog pritiska.

**Etapa III.** Ova etapa kontaktnog dejstva površina obuhvata razaranje nastalih adhezijskih spojeva za vreme relativnog pomeranja metala kontaktnog para. Mehanizam razaranja kontaktnih spojeva može biti veoma složen. U prvom stadijumu razaranja spojeva zasigurno će nastupiti mikro klizanje, a samim tim i složene pojave kretanja i uzajamno kretanje dislokacija. Kao rezultat ovih pojava mogu nastati takvi defekti površine kao što su: mikro zarezi i mikro prsline.

Kao rezultat više puta ponovljenog premeštanja deformisanog metala u odnosu na površinu alata, uz dejstvo sile trenja i s tim u vezi obrazovanje i razaranje spojeva nastupiće habanje alata.

U slučaju procesa OMD karakteristično je to da višestruko ponavljanje operacije (kovanje ili neprektno izvlačenje delova) dovode do postepenog porasta debljine nalepljenog sloja, što znači da suma pojedinačnih nastalih mostića prelazi u kontinualni sloj.

Kao rezultat prevage sila adhezije nad otporom plastičnog tečenja nalepljenog sloja u daljoj etapi dolazi do plastičnog deformisanja nastalih nalepina, odnosno do njihovog čupanja i razmazivanja. Pri dovoljno velikoj debljini nalepljenih slojeva, kao

rezultat više puta ponovljenog procesa njihovog plastičnog deformisanja (pri nizu prolaza dolazi do ojačanja i opada sila uzajamne veze), započinje proces odvajanja nastalih nalepina od osnovnog materijala podloge (alata), putem ljuštenja (smicanja) ili čupanja, pri čemu dolazi do znatnog oštećenja površinskih slojeva alata, a samim tim i do povećanja površinske hrapavosti.

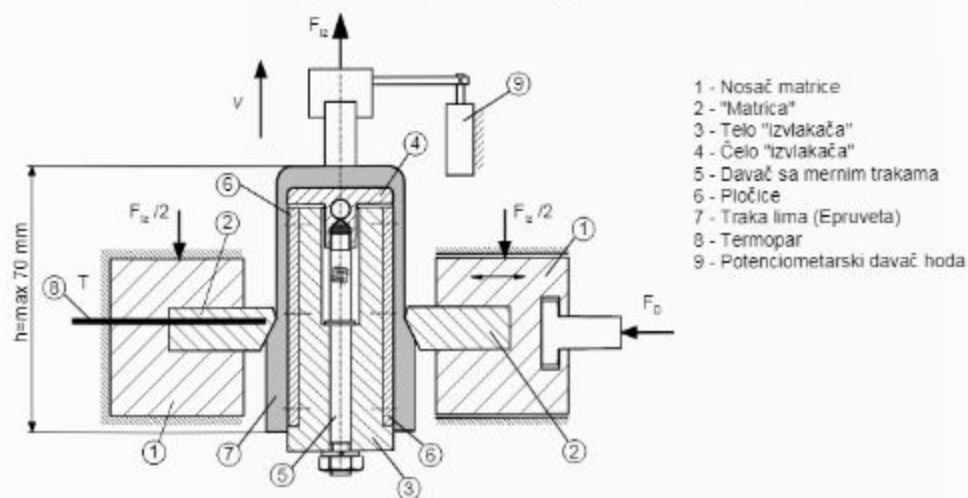
Pojava ljuštenja ili čupanja zavisna je od vrste nastalog spoja. U slučaju kontaktnog para sa većim hemijskim afinitetom, jačina nastalih difuzionih spojeva (čvrstih rastvora) može biti veća od jačine materijala kontaktnih parova, zbog čega razaranje spoja nastaje u dubini manje jakog i neojačanog materijala, to znači na takvoj dubini na kojoj više nema gnječenja.

U slučaju bezdifuzionih spojeva, kao i kod pojave krutih intermetalnih faza, razaranje spoja zasnivaće se uglavnom na slojevitom ljuštenju metala manje jačine. Nastupa takodje i čupanje nalepljenih delića koji, pri daljem relativnom pomeranju kontaktnih elemenata (radni predmet je plastično deformisan u odnosu na alat), izbijaju ponovo na površinu trenja, zatim se sabijaju na površini alata, dovodeći do brazdanja površine manje tvrdog "partnera" (po pravilu plastično deformisanog predmeta). Vrsta i intenzitet ovog sekundarnog dejstva zavisi od tvrdoće plastično deformisanih i ojačanih nalepina.

Osim toga, kao posledica cikličnog opterećenje alata, na njegovoj površini se mogu pojaviti defekti kao što su: intruzija i ekstruzija kao i mikro prsline, karakteristične za procese zamaranja metala.

## 2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Ispitivanja su izvedena na originalnom uređaju, koji omogućava tribo-modeliranje dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida, pri čemu se dvostrano simetrično oponaša zona kontakta sa matricom i izvlakačem [2]. Ovaj model omogućava ostvarivanje visokih kontaktnih pritisaka i uvažava fizičke i geometrijske uslove realnog procesa (materijal matrice i izvlakača, topografiju kontaktnih površina, ugao konusa matrice -  $\alpha$  i dr.). Shema pomenutog tribo-modela data je na slici 2.



Sl.2 Shema modela korišćenog u ovom radu

Uređaj za izvlačenje sa stanjenjem debljine zida instaliran je na specijalnoj



mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12.

Za eksperimentalna ispitivanja u ovom radu korišćen je lim od Al-legure, oznake AlMg3 (oznaka prema DIN-u: AlMg3 F24, a u daljem tekstu samo AlMg3). Mehaničke karakteristike ispitivanog materijala date su u tabeli 1.

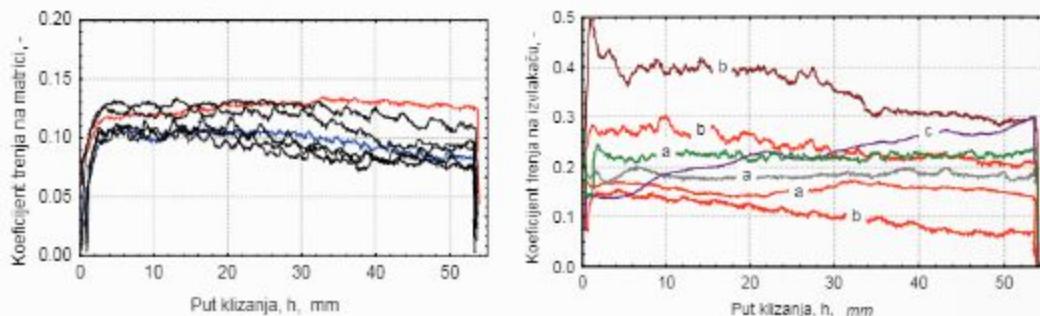
Tab. 1 Mehaničke karakteristike ispitivanog materijala

Materijal	Ugao, °	Rp, MPa	Rm, MPa	Rp/Rm, -	A, %	n, -	r, -	E, MPa
AlMg3	0°	201.1	251.0	0.801	12.0	0.135	0.40	0.701×105

Kontaktne parovi ("matrica" i "izvlakač") napravljeni su od legiranog alatnog čelika sa velikom žilavošću i tvrdoćom, oznake Č4750 (DIN17006: X165CrMoV12).

### 3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

Pri dubokom izvlačenju sa stanjenjem debljine zida promena koeficijenta trenja u funkciji puta klizanja, kako na matrici tako i na izvlakaču, ima nestabilan oblik. Pri tome koeficijent trenja naizmenično raste i opada sa nepravilnim i približno istim amplitudama i učestanošću. U isto vreme koeficijent trenja može da ima blago rastući, konstantan ili blago opadajući tok.

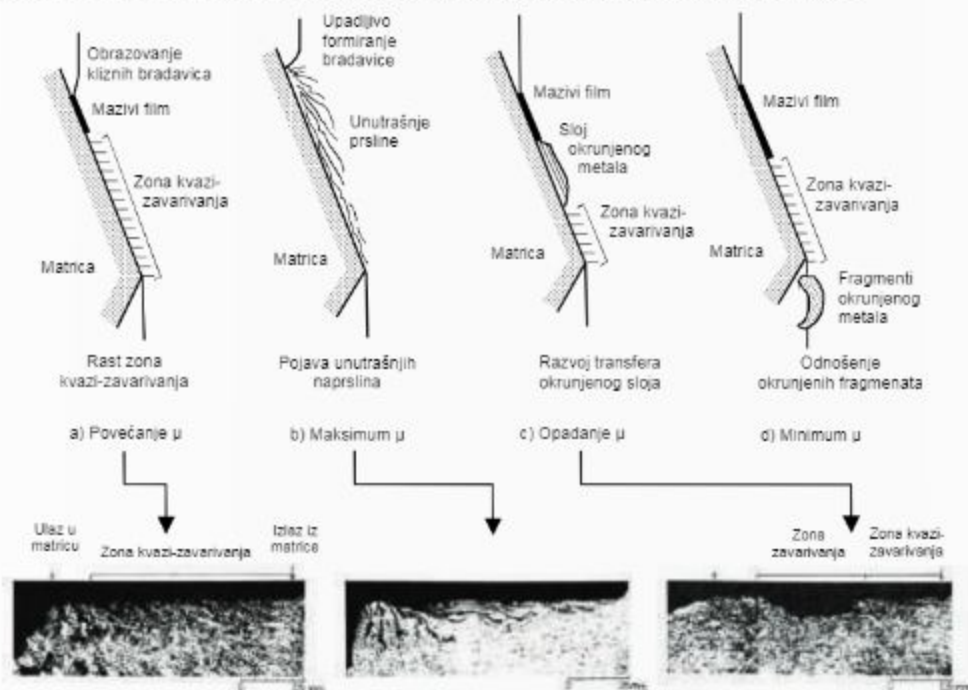


Sl.3 Primeri nestabilnog koeficijenta trenja na strani matrice i izvlakača

Vrlo interesantno objašnjenje ovakvog tipa koeficijenta trenja dato je u radovima [3, 4]. Smatra se da talasasti tip koeficijenta trenja nastaje kada dolazi do privarivanja vrhova neravnina u "obliku ostrvaca". U cilju objašnjenja pojave talasaste promene, napravljene su mikrofotografije uzdužnog preseka uzoraka limova čije frikционе površine odgovaraju porastu (a), maksimalnoj vrednosti (b) i opadanju (c) koeficijenta trenja. Pomenute mikrofotografije prikazane su u donjem delu slike 4. U gornjem delu navedene slike shematski su pokazane navedene faze.

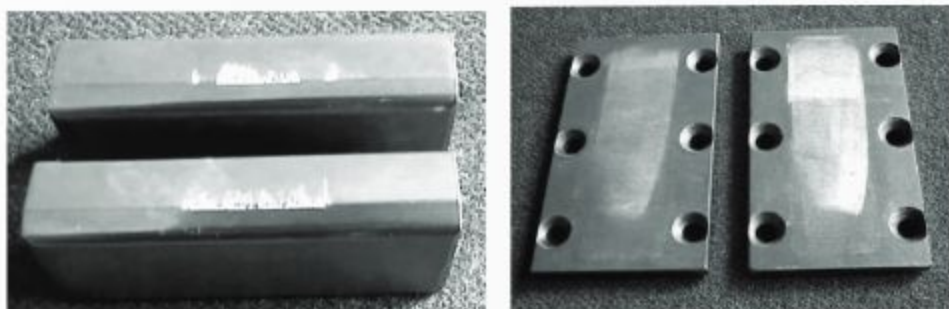
Kao što pokazuje slika 4 potpovršinski sloj kontaktne površine na izlaznom delu matrice, čija je površina oko 80% ukupne kontaktne površine izmedju alata i materijala, trpi znatnu distorziju zbog napona smicanja usled trenja. Taj napon je približno jednak naponu smicanja u zoni zavarivanja. Ta zona je stoga nazvana "zona kvazi-zavarivanja". Na ulaznom delu matrice, gde još postoji neistisnut sloj maziva, dolazi do obrazovanja takozvanih "kliznih bradavica". Pri tome se stalno povećava zona kvazi-zavarivanja a samim tim raste i koeficijent trenja. Kada se zona kvazi zavarivanja izjednači sa celokupnom frikcionom površinom koeficijent trenja dostiže svoju maksimalnu vrednost. Pri tome, zbog jakih frikcionih veza, dolazi do stvaranja mikro prslina u potpovršinskom sloju. Zbog neprekidnog dotoka materijala u zonu

deformisanja dolazi do upadljivog formiranja bradavice, koja će u jednom trenutku, zbog nastalih prslina i slabljenja frikционе veze, da se otkine od osnovnog materijala. Na taj način se smanjuje kvazi-zavarena zona a mazivo prodire na mesta raskinutih frikcionih veza što smanjuje koeficijent trenja. Fragmenti odvojenog metala bivaju zarobljeni izmedju matrice i površine lima i neprekidno se kreću ka izlaznom delu matrice. Pri njihovom izlasku iz zone deformisanja koeficijent trenja imaće svoju minimalnu vrednost. Zatim se gore navedeni proces kontinualno ponavlja.



Sl.4 Mehanizam nastajana talasastog tipa koeficijenta trenja [3]

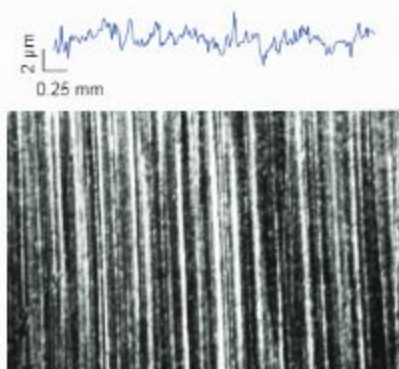
Neka maziva, bez obzira što daju zadovoljavajuće rezultate kod čeličnih limova, kod limova od AlMg3 pokazuju se kao vrlo loša. Prilikom njihove upotrebe dolazi do intenzivnog nalepljivanja aluminijuma na alat, što je i pokazano na slici 5. Stvorene nalepine na matrici dovode u toku procesa dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine lima do grubog oštećenja površine lima (galling) (slika 6).



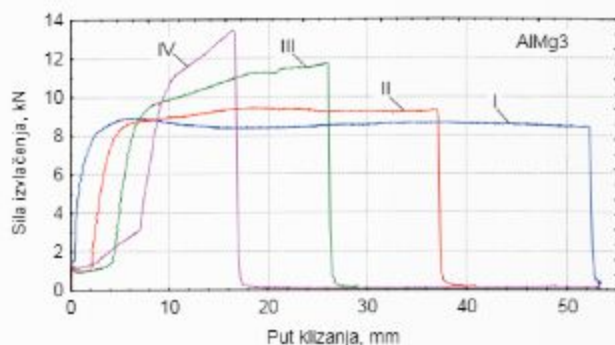
Sl.5 Nalepine aluminijuma na površinama matrice izvlačka



Pri upotrebi neadekvatnih maziva i uz dejstvo većih sila držanja, u procesu dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida, redovno dolazi do stvaranja nalepina i bitnog narušavanja kontaktnih uslova usled čega dolazi do izrazitog povećanja sile izvlačenja pri svakom narednom prolazu (slika 7).



Sl.6 Izbrzdana površina



Sl.7 Promena sile izvlačenja

#### 4. ZAKLJUČAK

U slučaju procesa dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida karakteristično je to da višestruko ponavljanje operacije dovode do postepenog porasta debljine nalepljenog sloja, što znači da suma pojedinačnih nastalih mostića prelazi u kontinualni sloj.

Kao rezultat prevage sile adhezije nad otporom plastičnog tečenja nalepljenog sloja dolazi do plastičnog deformisanja nastalih nalepina, odnosno do njihovog čupanja i razmazivanja. Pri dovoljno velikoj debljini nalepljenih slojeva, kao rezultat više puta ponovljenog procesa njihovog plastičnog deformisanja, započinje proces odvajanja nastalih nalepina od osnovnog materijala podloge (alata), putem ljuštenja (smicanja) ili čupanja, pri čemu dolazi do znatnog oštećenja površinskih slojeva alata, a samim tim i do povećanja površinske hrapavosti radnog dela. Takvi procesi su posebno karakteristični pri dubokom izvlačenju sa stanjenjem debljine zida limova od legura aluminijuma, ukoliko se ne koriste adekvatna maziva.

#### LITERATURA

- [1] Gierzynska M.: *Tarcie zużycie i smarowanie w obróbce plastycznej metali*, WNT, Warszawa, 1983.
- [2] Adamović D.: *Ponašanje materijala u kontaktu pri procesima hladnog plastičnog oblikovanja sa visokim radnim pritiscima*, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2002.
- [3] Kawai N., Nakamura T., Seko S.: *The welding mechanism in drawing of aluminum sheet*, Journal of Engineering for Industry, Vol. 102, N<sup>o</sup> 8, 1980., 229-238
- [4] Kawai N.: *Laboratory simulation for galling in metal forming, metal transfer and galling in metallic systems*, Proc. Conf. Orlando, Florida, Metal. Soc. AIME, 1987., 63-86