

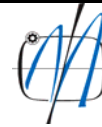


Serbian Tribology
Society

SERBIATRIB '09

11th International Conference on
Tribology

Belgrade, Serbia, 13 - 15 May 2009



University of Belgrade
Faculty of Mechanical
Engineering

UTICAJ BRZINE DUBOKOG IZVLAČENJA SA STANJENJEM DEBLJINE ZIDA NA PROMENU KOEFICIJENATA TRENJA

Dragan Adamović¹, Milentije Stefanović², Miroslav Živković³, Slavoljub Rakić⁴
^{1,2,3}Mašinski fakultet u Kragujevcu, Sestre Janjić 6, 34000 Kragujevac, adam@kg.ac.rs
⁴Paraćinka AD, Branka Krsmanovića 99, 35200 Paraćin

Apstrakt: Duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida primenjuje se za izradu cilindričnih delova kod kojih je dubina veća od prečnika, a debljina dna veća od debljine zida, kao što su čaure, tankozidne cevi, a naročito konzerve za hranu i piće, čija se godišnja proizvodnja u svetu broji na stotine miliona komada. Pomenuti delovi se izrađuju od materijala koji imaju dovoljno veliku plastičnost u hladnom stanju, kao što su niskouglenični čelici, nerđajući austenitni čelici, aluminijum, mesing, sprášeni materijali i drugi.

U zavisnosti od tipa primenjene mašine, radne brzine alata u obradi metala deformisanjem kreću se u vrlo širokom opsegu. Kod dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida brzine se kreću u granicama od 0.002 m/s, pri izradi delova većih dimenzija, pa do 11 m/s, kod izrade delova manjih dimenzija (limenke za hranu i piće). U tom opsegu brzina, sila izvlačenja i koeficijenti trenja na strani matrice i izvlačkača mogu da rastu ili pak opadaju.

U ovom radu izvedena ispitivanja pokazuju uticaj brzine deformisanja (brzine izvlačkača) na silu izvlačenja, koeficijente trenja i naponske i deformacione karakteristike materijala.

Ključne reči: duboko izvlačenje sa stanjenjem debljine zida, koeficijent trenja, brzina deformisanja

1. UVOD

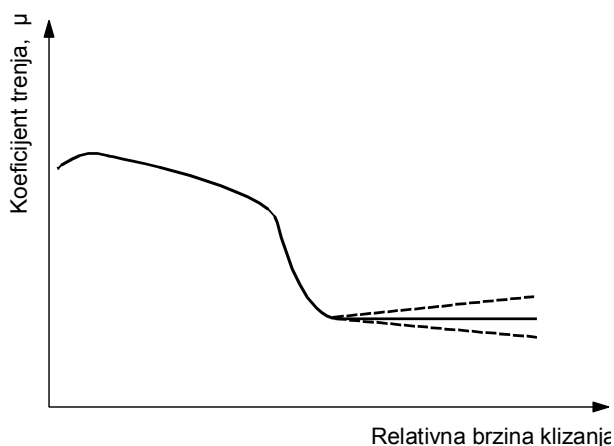
Opseg radnih brzina alata u obradi metala deformisanjem (OMD) zavisi od tipa primenjene mašine (presa, mašinski čekić) i kreće se u veoma širokim granicama, pri čemu radna brzina alata nije u direktnoj vezi sa brzinom klizanja.

U mnogim slučajevima OMD rast relativne brzine klizanja u početku dovodi do povećanja koeficijenta trenja. Sa daljim povećanjem brzine dolazi do smanjenja koeficijenta trenja do neke vrednosti koja na dalje, u širokom dijapazonu brzina, ostaje konstantna ili vrlo blago raste ili opada. Nije moguće odrediti stalnu vrednost brzine pri kojoj će μ da ima maksimum, već ona zavisi od upotrebljenog maziva [1]. Maksimum na početnom delu krive je rezultat visokih kontaktnih pritisaka koji nastaju pri malim brzinama, koji u realnim procesima obično ne igraju značajnu ulogu. Povećanje koeficijenta trenja, pri velikim relativnim brzinama klizanja, koje nastaje korišćenjem nekih maziva, objašnjava se pogoršanjem uslova zahvata

maziva i smanjenjem njegovog dotoka u zonu deformacije. Sa povećanjem brzine, takodje rastu i vibracije usled čega dolazi do uklanjanja maziva sa površine metala što dovodi do smanjenja debljine mazivog sloja u zoni deformacije usled čega dolazi do povećanog broja privarenih vrhova neravnina [2, 3]. Na slici 1 data je principijelna promena koeficijenta trenja od relativne brzine klizanja.

U zavisnosti od brzine klizanja mogu dominirati razne vrste habanja, što su ukazivali autori više radova. Jedino intenzivnost abrazivnog habanja ne zavisi od relativnih brzina kontaktnih površina pošto ono nastupa u opsegu brzina u kojima temperatura nema bitnijeg uticaja na veličinu habanja. Intenzivnost abrazivnog habanja ipak zavisi od karaktera kretanja. Pri prekidnom kretanju, naročito pri kretanju sa promenom pravca, intenzivnost habanja jeste veća nego pri kontinualnom pomeranju u jednom pravcu. Zbog

toga su mehanizmi i intenziteti habanja alata kod različitih procesa OMD različiti.



Slika 1. Principijelna promena koeficijenta trenja u zavisnosti od relativne brzine klizanja

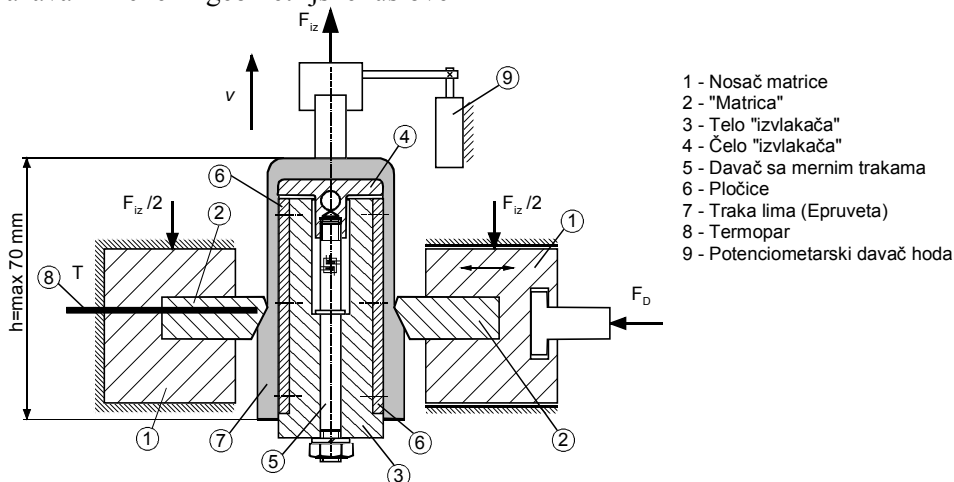
Pri kinetičkom trenju, vreme kontakta je funkcija brzine pomeranja elemenata kontaktnog para i u procesima OMD ono zavisi od brzine premeštanja deformisanog metala po površini alata. Mnogobrojna iskustva stečena u istraživanjima procesa OMD ukazuju da, sa porastom radne brzine alata, koeficijent trenja uglavnom opada. Ipak treba uzeti u obzir određenu specifičnost tih procesa zasnovanu na tome da na kontaktnoj površini obradivanog materijala sa radnom površinom alata nastaju zone različite intenzivnosti tečenja nazvane zonama klizanja ili odvajanja, a samim tim biće i različito vreme kontakta u tim zonama.

Brzina relativnog pomeranja obradivanog metala po površini alata i različito vreme trajanja kontakta utiču dalje na mehanizam i intenzivnost habanja alata. U zoni odvajanja, gde je pomeranje veoma malo, dominira adheziorno habanje, dok u zoni klizanja uglavnom nastaje abrazivno habanje.

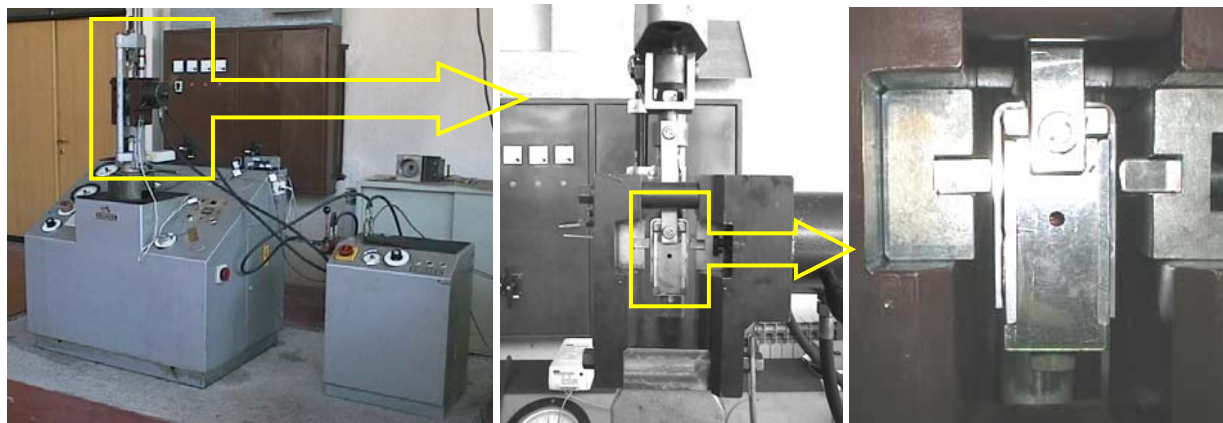
2. EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

Ispitivanja su izvedena na originalnom tribo-modelu dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida, koji dvostrano simetrično oponaša zonu kontakta sa matricom i izvlakačem [4]. 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 - α i dr.). Shema pomenutog tribo-modela data je na slici 2, a izgled uređaja na slici 3.



Slika 2. Shema modela korišćenog u ovom radu



Slika 3. Izgled modela korišćenog u ovom radu

Savijena traka od lima 7, u obliku slova U, (epruveta) postavlja se na "izvlakač". Na nju se deluje pomoću "matrica" 2 silom F_D . Matrice su postavljene u nosače, pri čemu je levi nosač nepokretan a desni pokretan zajedno sa matricom. Izvlakač se sastoji iz tela 3 i čela 4 koji su međusobno spojeni pomoću davača sa mernim trakama 5. Epruveta se provlači (kliza) između matrica, dejstvom sile F_{iz} na čelo izvlakača, pri čemu dolazi do stanjenja debljine zida epruvete. Tokom provlačenja spoljašnja površina epruvete kliza po, nagnutoj za ugao α , površini matrice, a unutrašnja površina epruvete kliza preko pločica 6 pričvršćenih na telo izvlakača.

Uredjaj je napravljen sa mogućnošću lake izmene kontaktnih - pritisnih elemenata (matrice 2 i

Tabela 1. Mehaničke karakteristike ispitivanih materijala

Materijal	Ugao, °	R_p , MPa	R_m , MPa	R_p/R_m , -	A, %	n, -	r, -	E, MPa
Č0148P3	0°	186.2	283.4	0.657	37.3	0.21860	1.31915	1.957×10^5
AlMg3	0°	201.1	251.0	0.801	12.0	0.13545	0.40510	0.701×10^5

Kontaktne parove ("matrica" i "izvlakač") napravljeni su od legiranog alatnog čelika (AC) sa velikom žilavošću i tvrdoćom, oznake Č4750 (DIN17006: X165CrMoV12). Ovaj čelik je otporan na habanje i predviđen je za rad na hladno. Pre mehaničke obrade brušenjem izvršeno je kaljenje u ulju i popuštanje.

Eksperiment je izveden pri sledećim uslovima:

- Ugao nagiba matrice: $\alpha = 10^\circ$,
- Mazivo na strani matrice: M1 (mast - Li + MoS₂),
- Mazivo na strani izvlakača: M4 (ulje - neemulgirajuće mineralno ulje sa blagim EP svojstvima),
- Materijal matrice/izvlakača: alatni čelik/alatni čelik (AC/AC),
- Sila držanja: 8.7; 17.4; 26.1 kN,
- Hrapavost izvlakača: Ra=0.01 μm (N1),
- Broj ponavljanja: 3,
- Brzina izvlačenja: 20 mm/min (0.33 mm/s); 100 mm/min (1.67 mm/s) i 250 mm/min (4.17 mm/s).

Brzina izvlačenja predstavlja brzinu kretanja izvlakača. Izbor brzina je bio ograničen mogućnošću mašine na kojoj je vršeno ispitivanje. Izabrane brzine predstavljaju donju granicu realnih brzina koje se sreću u postupku dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida.

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U zavisnosti od tipa primenjene mašine, radne brzine alata u obradi metala deformisanjem kreću

pločice 6), lakim čišćenjem kontaktnih zona i pogodnim postavljanjem epruveta.

Pločice 6 i matrice 2 mogu da budu napravljene od različitih materijala kao i sa različitim hrapavošću, a matrice i sa različitim uglom nagiba α .

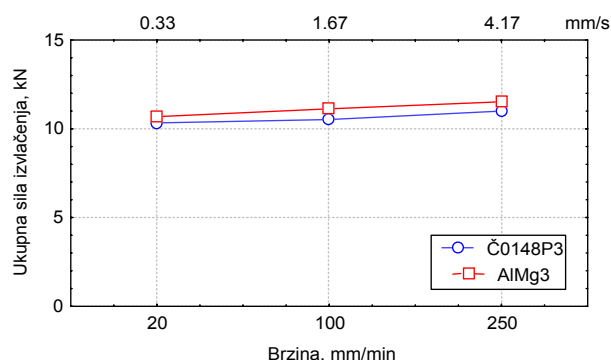
Uredjaj za izvlačenje sa stanjenjem debljine zida instaliran je na specijalnoj mašini za ispitivanje limova ERICHSEN 142/12.

Za eksperimentalna ispitivanja u ovom radu izabrana su dva materijala: niskougljenični čelični lim Č0148P3 i lim od Al-legure, oznake AlMg3(.43) (oznaka prema DIN-u: AlMg3 F24, a u daljem tekstu samo AlMg3). Mehaničke karakteristike ispitivanih materijala date su u tabeli 1.

se u vrlo širokom opsegu. Kod dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida brzine se kreću u granicama od 0.002 m/s, pri izradi delova većih dimenzija, pa do 11 m/s, kod izrade delova manjih dimenzija (limenke za hranu i piće). U tom opsegu brzina, sila izvlačenja i koeficijenti trenja na strani matrice i izvlakača mogu da rastu ili pak opadaju, kao što je već ranije rečeno.

U ovom radu izvedeni eksperimenti imali su za cilj da pokažu uticaj brzine deformisanja (brzine izvlakača) na silu izvlačenja i koeficijente trenja.

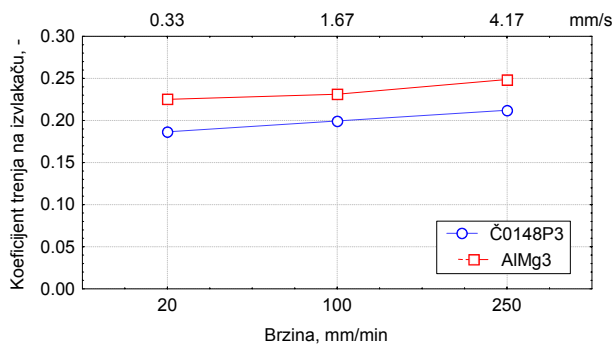
Sa povećanjem brzine izvlačenja od 20 mm/min do 250 mm/min dolazi do blagog porasta sile izvlačenja kod oba ispitivana materijala (slika 4). Do porasta sile izvlačenja dolazi zbog povećanja sile trenja.



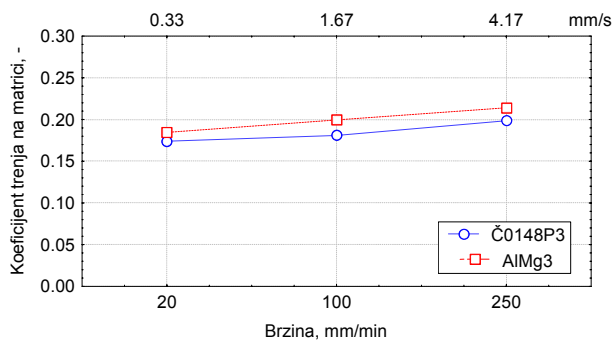
Slika 4. Zavisnost sile izvlačenja od brzine izvlačenja za uzorke od Č0148P3 i AlMg3

Na slikama 5 i 6 prikazana je promena koeficijenta trenja na strani izvlakača i na strani matrice od brzine izvlačenja, respektivno. Oba koeficijenta trenja monotono rastu sa povećanjem

brzine izvlačenja. Razlozi za povećanje koeficijenta trenja verovatno leže u visokim kontaktnim pritiscima između alata i lima. Dobijeni rezultati su saglasni sa rezultatima datim u radovima [1, 5, 6]. U pomenutim radovima se još naglašava da trend promene koeficijenta trenja zavisi i od vrste maziva, kao i početne hrapavosti lima.

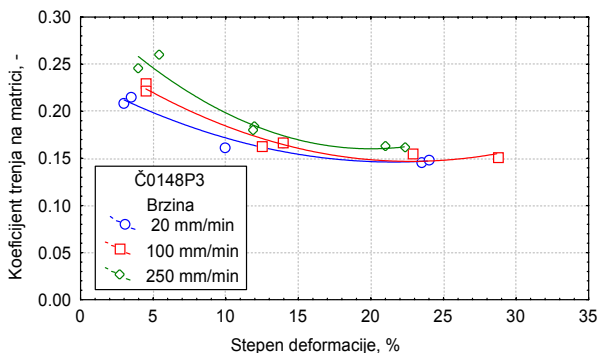


Slika 5. Zavisnost koeficijenta trenja na strani izvlakača od brzine izvlačenja

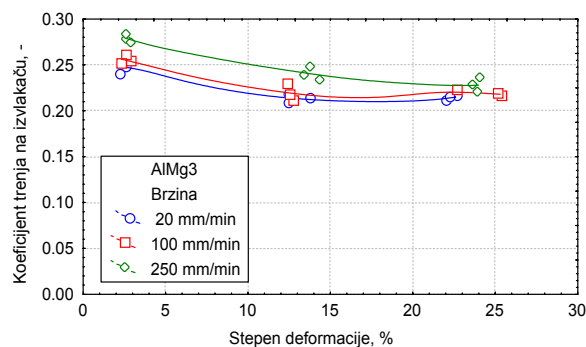


Slika 6. Zavisnost koeficijenta trenja na strani matrice od brzine izvlačenja

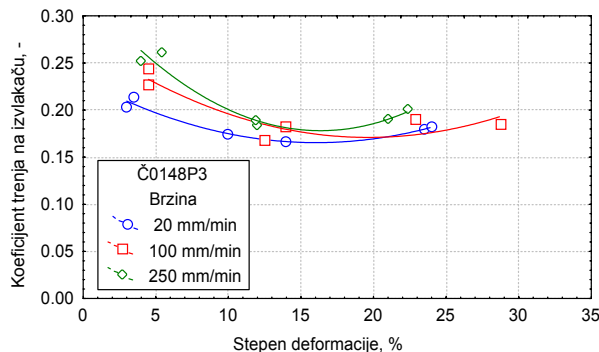
Zavisnost koeficijenta trenja na strani izvlakača i na strani matrice od stepena deformacije pri različitim brzinama izvlačenja i za oba ispitivana materijala data je na slikama 7, 8, 9 i 10 respektivno. I na ovim dijagramima se potvrđuje da sa porastom brzine izvlačenja rastu i koeficijenti trenja. Međutim, razlike koeficijenta trenja, dobijene pri različitim brzinama, su znatno izraženije kod malih nego kod velikih deformacija.



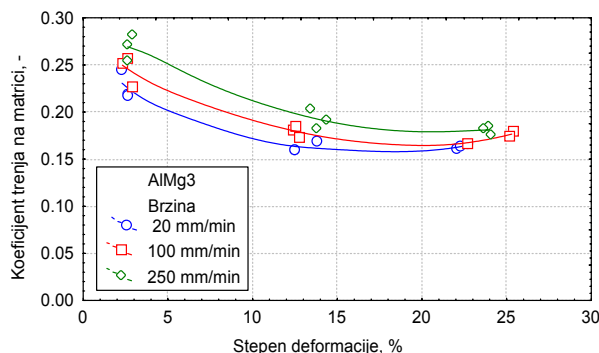
Slika 7. Zavisnost koeficijenta trenja na strani izvlakača od stepena deformacije pri različitim brzinama izvlačenja za uzorke od Č0148P3



Slika 8. Zavisnost koeficijenta trenja na strani izvlakača od stepena deformacije pri različitim brzinama izvlačenja za uzorke od AIMg3



Slika 9. Zavisnost koeficijenta trenja na strani matrice od stepena deformacije pri različitim brzinama izvlačenja za uzorke od Č0148P3



Slika 10. Zavisnost koeficijenta trenja na strani matrice od stepena deformacije pri različitim brzinama izvlačenja za uzorke od AIMg3

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu izvedeni eksperimenti imali su za cilj da pokažu uticaj brzine deformisanja (brzine izvlakača) na silu izvlačenja i koeficijente trenja. Izabrane brzine predstavljaju donju granicu realnih brzina koje se sreću u postupku dubokog izvlačenja sa stanjenjem debljine zida.

Sa povećanjem brzine izvlačenja od 20 mm/min do 250 mm/min dolazi do blagog porasta sile izvlačenja kod oba ispitivana materijala. Do porasta sile izvlačenja dolazi zbog povećanja sile trenja.

Koeficijent trenja, kako na strani matrice tako i na strani izvlakača monotonno raste sa povećanjem

brzine izvlačenja. Razlozi za povećanje koeficijenta trenja verovatno leže u visokim kontaktnim pritiscima između alata i lima. Razlike

koeficijenta trenja, dobijene pri različitim brzinama, su znatno izraženije kod malih nego kod velikih deformacija.

LITERATURA

- [1] Mizuno T.: Present Issue of Lubrication Mechanism, Advanced Technology of Plasticity, Proceedings of Third International Conference on Technology of Plasticity, Vol. 4, Kyoto, 1990. 1703-1710
- [2] Чертаевских А.К., Белосевич В.К.: *Трение и технологическая смазка при обработке металлов давлением*, Издательство "Металлургия", Москва, 1968.
- [3] Грудев А.П., Зильберг Ю.В., Тилик В.Т.: Трение и смазки при обработке металлов давлением – Строчник, Металлургия, Москва, 1982.
- [4] Adamović D.: Ponašanje materijala u kontaktu pri procesima hladnog plastičnog oblikovanja sa visokim radnim pritiscima, Doktorska disertacija, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac, 2002
- [5] Mizuno T., Okamoto M.: Влияние вязкости смазки под давлением и скорости скольжения на условия смазки в испытаниях листовых металлов на трение при сжатии, Проблемы трения, т. 104, № 1, 1982., 57-63
- [6] Kudo H., Tanaka K., Imamura Y., Suzuki K.: Investigation of Cold Forming Friction and Lubrication with a Sheet Drawing test, CIRP Ann., Vol. 25, № 1, 1976., 179-184

THE INFLUENCE OF IRONING SPEED ON FRICTION COEFFICIENT CHANGE

Abstract: Ironing process is applied for production of cylindrical parts for which depth is larger than diameter and bottom wall thickness is larger than wall thickness, like shells, thin walled piping and especially tin cans for foods and beverages whose yearly production in a world is hundreds of millions of pieces. These parts are manufactured of materials with sufficiently large plasticity in a cold state, like low carbon steels, austenitic stainless steels, aluminium, brass, powder materials etc.

In dependence on type of applied machine, there is a broad range of working speeds of tools in metal forming. In ironing, the speeds range from 0.002 m/s, when making pieces of larger dimensions, to 11 m/s, when making pieces of smaller dimensions (food and drink cans). Within such speed range, drawing force and friction coefficients on die and punch side can increase or decrease.

The investigations carried out in this paper demonstrate the influence of forming speed (punch speed) on drawing force, friction coefficients and stress and strain properties of materials.

Key words: ironing, friction coefficient, ironing velocity