

**SERBIATRIB`07**  
**10<sup>th</sup> International Conference on Tribology**  
**and**  
**WORKSHOP`07**  
**Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge**

---

---

**THEORETICAL AND EXPERIMENTAL MODELS FOR THE  
DETERMINATION OF FRICTION COEFFICIENT IN METAL  
FORMING PROCESSES**

**M. Plančak<sup>1</sup>, D. Vilotić<sup>1</sup>, I. Trbojević<sup>1</sup>, P. Skakun<sup>1</sup>, M. Milutinović<sup>1</sup>, O. Luzanin<sup>1</sup>, D. Movrin<sup>1</sup>**  
<sup>1</sup>Faculty of Technical Science, Novi Sad, Serbia

**Abstract:** *In all metal forming processes between workpiece and tool surfaces friction occurs. This has one negative impact on all relevant process parameters and therefore effort should be made to diminish friction as much as possible. The intensity of friction can be expressed by means of friction coefficient “ $\mu$ ”. This coefficient can be obtained experimentally, using different appropriate deformation models. This paper gives insight into some of these friction models. One new friction model is proposed which is based upon double – backward extrusion.*

**Key words:** *Metal forming, friction, friction determination, new friction model*

## 1. UVOD

Veličina trenja direktno utiče na glavne energetske parametre presa obrade plastičnim deformisanjem, (sila, rad ) ali i na kvalitet radnog predmeta (mehaničke osobine, kvalitet površine). Taj uticaj je negativan te je stoga potrebno da se veličina trenja svede na najmanju moguću meru.

Matematički se trenje u procesima plastičnog deformisanja može prikazati na nekoliko načina. Za svaki vid matematičke interpretacije neophodno je poznavati koeficijent trenja „ $\mu$ “. Ovaj koeficijent se dobija eksperimentalnim putem. Postoji određen broj standardizovanih eksperimentalnih postupaka za određivanje koeficijenta trenja u procesima plastičnog deformisanja.

U ovom radu elaboriran je jedan broj takvih postupaka. Pored toga dat je predlog novog modela trenja pomoću kojeg bi se mogao odrediti koeficijent trenja u procesima hladnog istiskivanja.

## 2. MODELI TRENJA U OBLASTI TEHNOLOGIJE PLASTIČNOG DEFORMISANJA

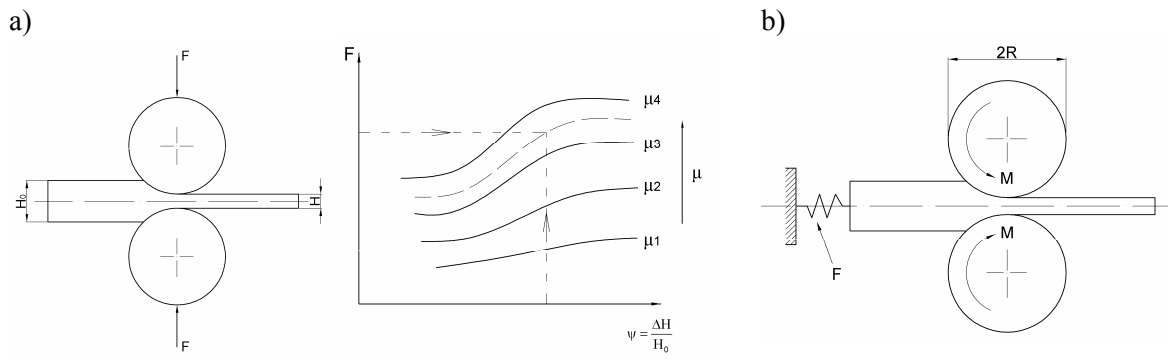
U daljem tekstu su prikazani neki od postojećih modela trenja pomoću kojih se određuje koeficijent trenja u nekoliko tehnoloških metoda tehnologije plastičnog deformisanja.

### 2.1 Valjanje

Na slici 1a dat je pojednostavljen način određivanja veličine koeficijenta trenja u procesu valjanja. Početni materijal debljine „ $H_0$ “ redukuje se na debljinu „ $H$ “. Pri tome se meri sila valjanja „ $F$ “. Pomoću etalon dijagrama „ $F - \psi$ “ određuje se zatim „ $\mu$ “, obzirom da su ove dve vrednosti ( $F$ ,  $\psi$ ) poznate.

Jedan drugi način određivanja „ $\mu$ “ u procesu valjanja data je na slici 1b. Kod tog modela valjani material je oprugom na kojoj je moguće meriti zateznu silu vezan za fiksni oslonac. Proces valjanja izvodi se do trenutka kada između valjaka i materijala dolazi do prvog proklizavanja. U tom trenutku se mere veličine  $F$  (sila u opruzi) i  $M$  (obrotni moment). Koeficijent trenja se izračunava kao:

$$\mu = \frac{M}{F \cdot R} \quad (1)$$



Slika 1: Određivanje koeficijenta trenja u procesima valjanja

2.3 Istiskivanje

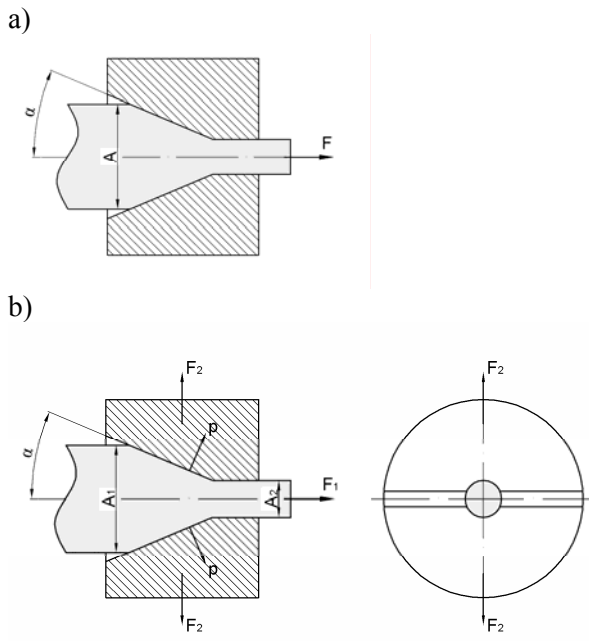
2.2 Vučenje

Poznavajući veličinu sile, geometriju procesa ( $A$ ,  $A_0$ ,  $\alpha$ ) i karakteristike materijala ( $\sigma_e$ ) u procesu vučenja žice, veličina „ $\mu$ ” se može odrediti iz analitičkog izraza za veličinu sile.

$$F = \sigma_e \cdot A \left(1 + \frac{\mu}{\text{tg}\alpha}\right) \ln \frac{A}{A_0}; \rightarrow \mu = f(F, \dots) \quad (2)$$

Proces vučenja sa podeljenom matricom dat je na slici 2b. Uočava se da na dve polovine podeljene matrice deluje sila  $F_2$ . Kombinovanjem izraza za silu vučenja  $F_1$  i izraza za radijalnu silu  $F_2$ , a uzimajući u obzir činjenicu da je kontaktni pritisak „ $p$ ” identičan na obe polovine matrice, dobija se veličina „ $\mu$ ”.

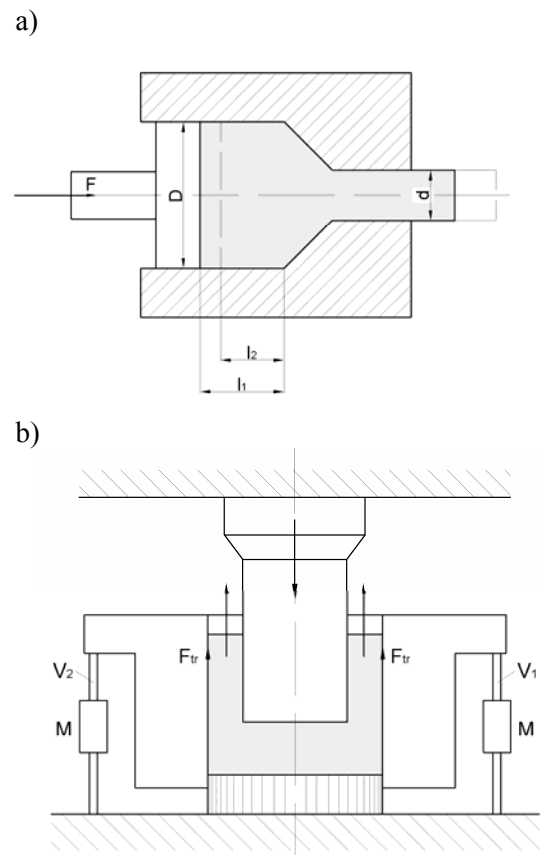
$$\mu = \frac{(\text{ctg}\alpha - \pi \cdot \frac{F_2}{F_1})}{(\text{ctg}\alpha \cdot \pi \cdot \frac{F_2}{F_1} + 1)} \quad (3)$$



Slika 2: Proces vučenja žice

Kod istosmernog istiskivanja analiziraju se dve pozicije žiga: kada je ukupna dužina obradka u cilindričnom delu matrice dužine „ $l_1$ ” i „ $l_2$ ”. U oba ova slučaja meri se sila istiskivanja. Razlika veličine sile proističe iz različitog trenja u dve registrovane pozicije. Na osnovu toga se veličina koeficijenta trenja određuje kao:

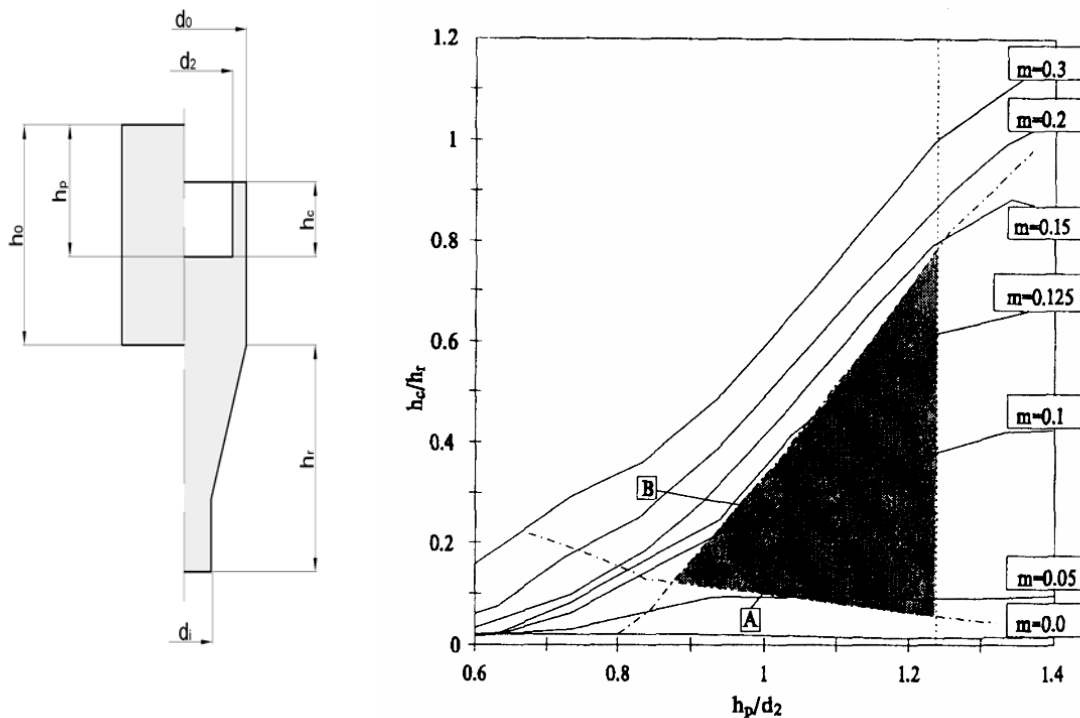
$$\mu = \frac{D - d}{4(l_1 - l_2)} \ln \frac{F_1}{F_2} \quad (4)$$



Slika 3: Istosmerno i suprotnosmerno istiskivanje

Mogućnost određivanja koeficijenta „ $\mu$ ” u procesu suprotnosmernog istiskivanja prikazana je na slici 3b. Matrica koja je odvojena od dna, vezana je vijcima ( $V_1$  i  $V_2$ ) za nepokretni sto mašine. Na tim vijcima postavljene su merne trake pomoću kojih se meri sila zatezanja ( $M$ ). Material obradka u procesu istiskivanja teče suprotno od smera kretanja žiga. Pri kretanju na gore material usled sile trenja na zidu matrice ( $F_{tr}$ ) opterećuje vijke  $V_1$  i  $V_2$  zateznom silom koja se meri pomoću mernih traka. Poznajući silu trenja određuje se zatim koeficijent „ $\mu$ ”.

Za određivanje koeficijenta u procesima istiskivanja kreiran je model kombinovanog istiskivanja (istosmerno-suprotnosmerno) [3]. Pripremak  $d_0 \times h_0$  istiskuje se kombinovano i tom prilikom se dobija obradak prema slici 4a. U zavisnosti od veličine trenja tok materijala je intenzivnije usmeren ili u pravcu visine „ $h_c$ ” ili u pravcu dužine „ $h_r$ ”. Ova činjenica iskorišćena je da se odredi faktor trenja „ $m$ ” (sl. 4b).



Slika 4: Model kombinovanog istiskivanja [3]

## 2.4 Sabijanje prstena

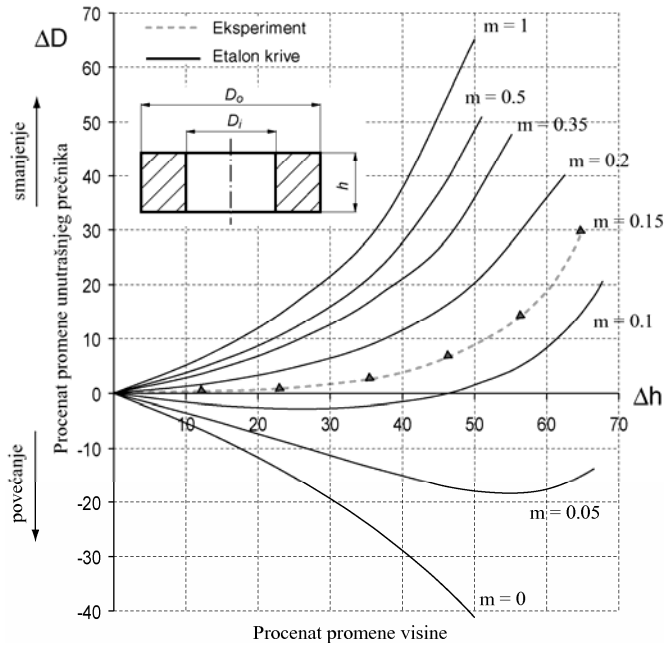
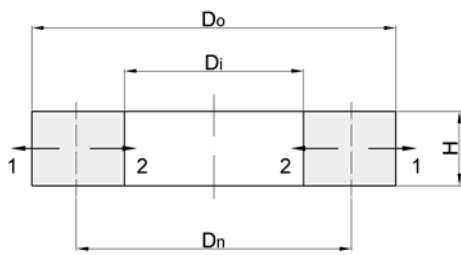
Činjenica da u slučaju sabijanja prstena postoji mogućnost različitog tečenja materijala i da to zavisi od veličine trenja iskorišćena je za određivanje koeficijenta trenja. Naime, u procesu sabijanja prstena postoje tri različite mogućnosti toka materijala:

- spoljašnji prečnik prstena se povećava, a unutrašnji smanjuje
- spoljašnji prečnik prstena se povećava, a unutrašnji se ne menja
- i spoljašnji i unutrašnji prečnici se povećavaju

Eksperimentalnim putem se u nekoliko inkremenata odrede parovi vrednosti  $\Delta D_i - \Delta H$ , a zatim se kriva dobijena na taj način, upoređuje sa etalon krivama. Iz tog upoređenja određuje se veličina „ $\mu$ ”.

Na slici 5 je u etalon dijagramu dat faktor trenja „ $m$ ”. Veza između faktora trenja i koeficijenta trenja je:

$$\mu = \frac{m}{\sqrt{3}} \quad (5)$$



Slika 5: Sabijanje prstena

### 3. PREDLOG NOVOG MODELA ZA ODREĐIVANJE VELIČENE TRENJA U PROCESIMA HLADNOG ISTISKIVANJA

Analizom procesa dvostrukog suprotnosmernog istiskivanja [2] došlo se do zaključka da intenzitet toka materijala u mogućim pravcima zavisi od geometrije procesa i od trenja. Za datu geometriju procesa veličine „ $h_1$ “ i „ $h_2$ “ tj. položaj neutralnog radijusa „ $R_n$ “ zavise isključivo od veličine trenja (slika 6a).

U delu materijala ispod žiga postoje dve zone ( I i II ) u kojima je različiti smer tečenja materijala. Uočava se sličnost sa procesom sabijanja prstena, sa tom razlikom što na graničnim površinama 1-2 i 4-5 radijalni napon  $\sigma_r$  nije jednak nuli (kao kod sabijanja prstena) nego na površini 1-2 ima sledeću vrednost:

$$\sigma_r = \frac{\sum L_i}{V_r \cdot A} = \frac{L_{n1} + L_{R1} + L_{R10} + L_{S1-3}}{V_r \cdot A} \quad (6)$$

$L_{n1}$  – rad čistog deformisanja u zoni 1 (slika 6b)

$L_{R1}, L_{R10}$  – rad trenja na naznačenim površinama

$L_{S1-3}$  – rad na diskontinuitetu 1-3

$V_r$  - radijalna brzina

$A$  – površina 1-2

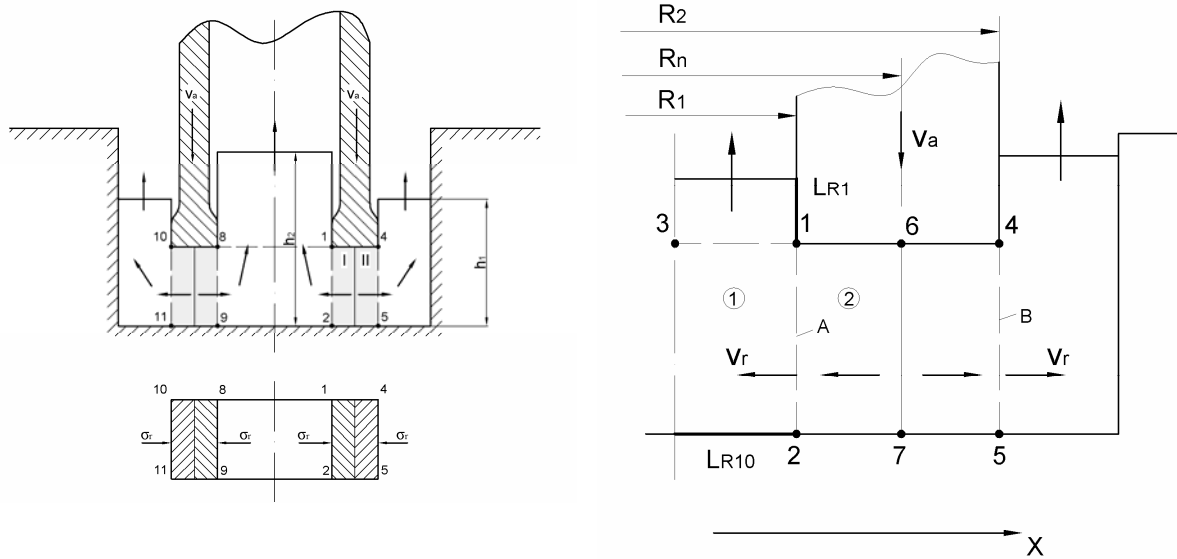
Ovako dobijena veličina „ $\sigma_r$ “ predstavlja granični uslov i koristi se za dobijanje integracione konstante u analizi procesa pomoću metode preseka. Kao krajnji rezultat te analize dobija se vrednost neutralnog radijusa  $R_n$ :

$$R_n = f(R_1, R_2, R_0, H_0, \mu) \quad (7)$$

Odnosno koeficijent trenja:

$$\mu = f(R_1, R_2, R_0, H_0, R_n) \quad (8)$$

Pri tome se veličina  $R_n$  može odrediti jednostavnim merenjem visine obradka ( $h_i$ ). Predloženi “novosadski” model trenja je znatno jednostavniji od nekih drugih postojećih modela u oblasti hladnog istiskivanja. Opsežna teorijska istraživanja uz eksperimentalnu verifikaciju i modeliranje pomoću FEM planiraju se na FTN- Univerzitet u Novom Sadu, Laboratorija za Tehnologiju Plastičnog Deformisanja.



**Slika 6:** Dvostruko suprotnosmerno istiskivanje - osnova novog modela trenja

#### 4. ZAKLJUČAK

Za optimalno projektovanje procesa plastičnog deformisanja kao i za pravilnu konstrukciju alata neophodno je poznavati sve relevantne parametre procesa deformisanja. Jedan od tih parametara je i kontaktno trenje koje se pojavljuje na kontaktnim površinama između alata i materijala.

Za potrebe teoretske analize ali i za numeričko modeliranje procesa deformisanja neophodno je poznavati veličinu kontaktnog trenja. Ta veličina se može dobiti eksperimentalnim putem pomoću tzv. modela trenja. Kreiran je jedan broj takvih modela za neke karakteristične obrade deformisanjem (istiskivanje, sabijanje, duboko izvlačenje...). U ovom radu dat je kritički pregled nekih od modela trenja.

Pored toga predstavljen jedan novi model koji je jednostavniji od postojećih i koji bazira na procesu dvostrukog suprotnosmernog istiskivanja. U Laboratoriji za Tehnologiju Plastičnog Deformisanja u Novom Sadu planiraju se opsežna istraživanja, uz korišćenje analitičkih, numeričkih i eksperimentalnih metoda, kojim bi se dato idejno rešenje ovog modela konkretizovalo.

#### **Napomena:**

Rezultati prikazani u ovom radu deo su rezultata istraživanja na projektu "Istraživanje, razvoj i primena NEAR NET SHAPE FORMING tehnologije u proizvodnji elemenata kotrljajnih ležaja i karadna", koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije, evid. broj TR 6333 B.

#### 5. LITERATURA

- [1] Alexandrov S., Vilotić D., Plančak M.: A new approach for determining the friction law in metal forming, 5<sup>th</sup> International conference on tribology - BALKANSTRIB'05, Kragujevac, Serbia, 2005, pp.267-272.
- [2] Čupković Đ., Plančak M., Vilotić D., Kuzman K.: Uticaj kontaktnog trenja na proces dvostrukog suprotnosmernog istiskivanja, 9. Yugoslav conference on tribology, - BALKANSTRIB'05, Kragujevac, Serbia, 2005, pp.714- 717.
- [3] Kuzman K., Pfeifer E., Bay N., Hunding J.: Control of material flow in a combined backward can – forward rod extrusion. Journal of materials processing technology, Vol. 60(1996), pp.141-147.

- [4] Buschhausen A., Weinmann K., Lee, J. Y.; Altan T.: Evaluation of Lubrication and Friction in Cold Forging Using a Double Backward-Extrusion Process. *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 33, no. 1-2, 1992, pp. 95-108.
- [5] Nagasekhar A.V, Yip Tick-Hon: Optimal tool angles for equal channel angular extrusion of strain hardening materials by finite element analysis, *Computational Materials Science*, Volume 30, Issues 3-4, 2004, pp. 489-495
- [6] Sofuoglu H., Gedikli H.: Determination of friction coefficient encountered in large deformation processes. *Tribology International*, Volume 35, Issue 1, 2002, pp. 27-34
- [7] Hsu T-C., Lee, C-H.: Refined friction modeling for simple upsetting, *Trans. of ASME, J. of Manufacturing Science and Engg.*, Vol. 119, 1991, pp.563-70.