

**YUTRIB'05**  
**9<sup>ta</sup> JUGOSLIVENSKA KONFERENCIJA O TRIBOLOGIJU**  
**JUN.15-18. 2005**  
**Kragujevac, Srbija i Crna gora**

---

**UTICAJ KONTAKTNOG TRENJA NA PROCES  
DVOSTRUKOG SUPROTNOSMERNOG ISTISKIVANJA**

*Dorđe Čupković<sup>i</sup>, Miroslav Plančak<sup>ii</sup>, Vilotić D.<sup>iii</sup>FTN, Univerzitet u Novom Sadu  
Kuzman K.<sup>iv</sup>, Univerzitet u Ljubljani*

**Abstrakt**

*Kontaktno trenje između alata i obratka igra važnu ulogu u procesima obrade deformisanjem jer utiče na kvalitet obratka i životni vek alata. Poznavanje kontaktnih uslova tokom plastičnog deformisanja je osnova za pravilno konstruisanje procesa i potrebnih alata. Sa stanovišta CAD/CAE, bolje razumevanje osobina na kontaktnim površinama vodi preciznijem numeričkom modeliranju procesa. Adekvatnim simulacijama procesa smanjuje se ili u potpunosti eliminiše potreba za naknadnim korekcijama alata. Troškovi nastali usled izmena alata utoliko su veći ukoliko se vrše u kasnijim fazama razvoja. Kod procesa kombinovanog istiskivanja metala se javlja tečenje metala u različitim pravcima, na koje osim geometrije alata utiče i kontaktno trenje. U ovom radu analiziran je uticaj kontaktnog trenja na tečenje materijala u procesu dvostrukog suprotnosmernog istiskivanja metodom konačnih elemenata.*

**Ključne reči:** *Kontaktno trenje, suprotnosmerno istiskivanje, raznosmerno tečenje, MKE*

**UVOD**

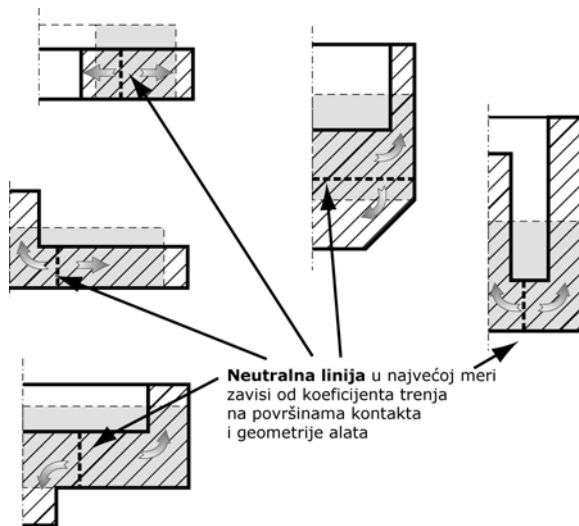
Da bi se na zadovoljavajući način odgovorilo sve složenijim zahtevima u pogledu kvaliteta obratka, postojanosti alata i što većem iskorišćenju resursa obradivosti materijala, neophodna su istraživanja odnosa koji vladaju unutar same zapremine tela koji se deformiše, kao i na graničnim površinama između alata i materijala.

Procese kombinovanog istiskivanja karakteriše intenzivno raznosmerno tečenje materijala tako da se u toku obrade formira određena neutralna zona koja deli oblasti sa različitim pravcima tečenja. Poznavanje položaja ove tzv. neutralne linije pretpostavlja uspešno projektovanje procesa istiskivanja jer njen položaj direktno određuje smer i intenzitet tečenja materijala koji se istiskuje. Aliev [1], Gaiger [4] i drugi su ispitivali procese kombinovanog istiskivanja sa raznosmernim tečenjem materijala. U zavisnosti od geometrije obratka moguće je postojanje

jedne ili više neutralnih linija. Avitzur [3] je odredio položaj neutralnog radijusa analitičkim putem metodom gornje granice za proces sabijanja prstena.

U kombinovanim procesima nije uvek moguće postići simultano tečenje u svim pravcima, obzirom da materijal teče u pravcu gde mu se pruža najmanji otpor. Raznosmerno tečenje je osetljivo na geometriju alata i kontaktno trenje. Kad je potrebno dobiti tačan oblik komada potrebno je kombinovati više dejstava i kontrolisati (usmeravati/ograničavati) tečenje materijala [5].

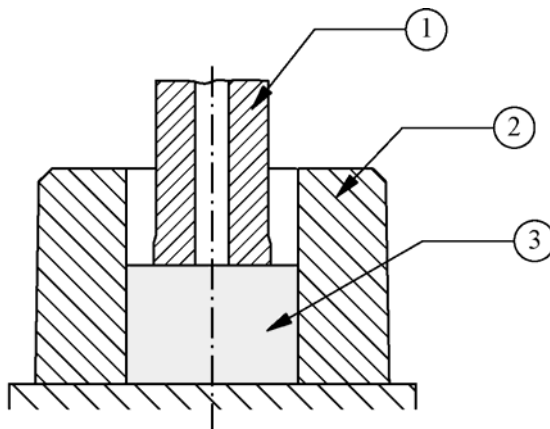
Na slici 1 su prikazani neki opšti slučajevi kombinovanog istiskivanja sa raznosmernim tečenjem i položaj neutralne linije. Na slici 1 su prikazani samo osno-simetrični delovi dok se ovaj fenomen javlja i u opštem slučaju (trodimenzioni problemi). Na položaj neutralne linije utiču mnogi faktori kao što su: trenje, geometrija alata, geometrija obratka, uslovi obrade, ...



Slika 1 – Proces istiskivanja kod kojih se javlja raznosmerno tečenje materijala

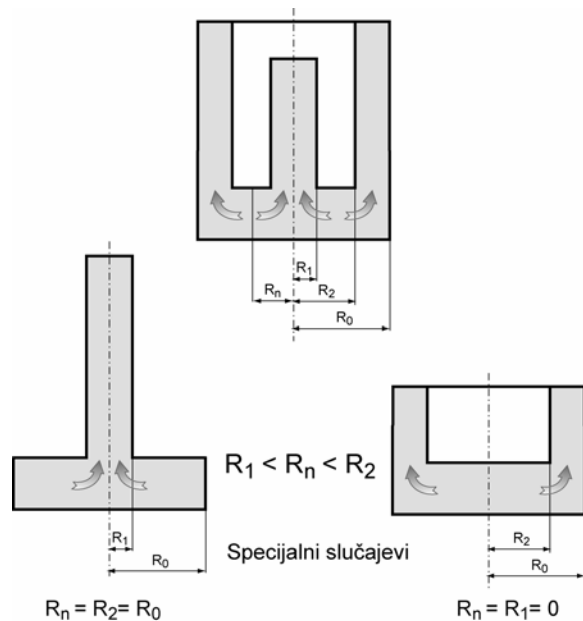
### PROCES DVOSTRUKOG SUPROTNOSMERNOG ISTISKIVANJA

Kod procesa dvostrukog suprotnosmernog istiskivanja materijal se usled dejstva visokog pritiska primorava da simultano teče sa spoljašnje i unutrašnje strane žiga (Slika 2). Na žigu je izrađen kalibrišući deo sa spoljašnje strane.



Slika 2 - Šema procesa dvostrukog suprotnosmernog istiskivanja  
1 – žig, 2 – matrica, 3 – obradak

Ovako definisan proces se može posmatrati kao uopštenje osnovnih procesa suprotnosmernog istiskivanja kao što je prikazano na slici 3. Položaj neutralne linije je označen sa  $R_n$  na slici 3.



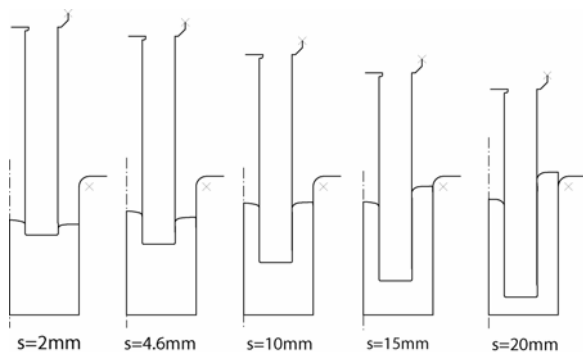
Slika 3 - Opšti i specijalni slučajevi suprotnosmernog istiskivanja

### NUMERIČKA SIMULACIJA PROCESA

Numerička simulacija procesa je izvršena putem komercijalnog MKE software HKS/ABAQUS. Model je kreiran u preprocesoru ABAQUS/CAE. Simulacija je izvršena putem ABAQUS/Explicit procesora. Problem je posmatran kao aksijalno simetričan. Alat je tretiran kao apsolutno krut. Materijal (legura aluminijuma AlMg1Si1Cu) je pretpostavljen kao izotropan elastično-plastičan sa karakteristikama  $\rho=3 \cdot 10^{-9}$  T/mm<sup>3</sup>,  $E=70000$  MPa i  $\nu=0,3$ . Plastična svojstva su izražena preko eksponencijalne zavisnosti  $K = 485.3 \phi^{0.12}$ . Polazne geometrije obratka su cilindar  $\varnothing 40 \times 25$  i  $\varnothing 40 \times 35$ . Obradak je inicijalno aproksimiran mrežom konačnih elemenata CAX4R (aksijalno simetrični elementi sa četiri čvora i redukovanom integracijom) preuzetim iz baze elemenata ABAQUS/Explicit-a. Struktura je modelirana sa 3367 kvadrilateralna elementa. Kontaktni uslovi su modelirani preko Coloumb-ovog koeficijenta trenja na površinama alat-obradak u dijapazonu  $\mu=0 - 0,15 - 0,3$ . Korišćen je potpuni master-slave kontaktni algoritam na površinama kontakta krutog alata i deformabilnog obratka. U toku analize korišćena je tehnika automatskog remešinga (premežavanja) nakon svakih 100 inkremenata da bi se smanjio efekat penetracije površine elementa u alat.

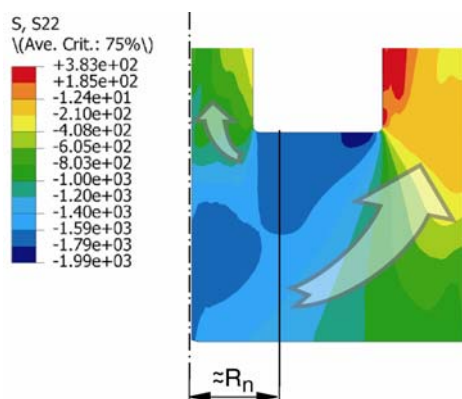
## UTICAJ KONTAKTNOG TRENJA NA TEČENJE MATERIJALA

Rezultati su interpretirani u postprocesoru ABAQUS/Viewer. Tečenje materijala ka periferiji i u unutrašnjost žiga je prikazano na slici 4. Na perifernoj zoni materijal posle istiskivanja van kalibrišuće zone teče slobodno, dok je sa unutrašnje strane žiga stalno u kontaktu. Kontaktno trenje u ovom slučaju ima presudan uticaj na intenzitet tečenja u unutrašnjost žiga i određuje položaj neutralnog radijusa.



**Slika 4** – Tečenje materijala tokom procesa istiskivanja uzorka početne visine 25mm

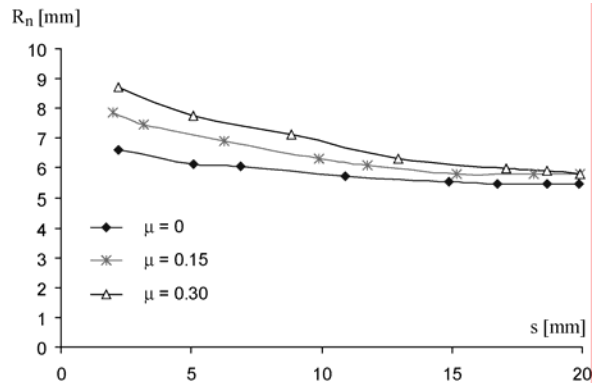
Položaj neutralnog radijusa se poklapa sa položajem maksimalne vrednosti normalnog pritiska na čelo žiga (Slika 5). Strelice simbolički predstavljaju intenzitet tečenja u različitim pravcima.



**Slika 5** – Komponente normalnih napona u pravcu upravnom na čelo žiga za hod žiga od 15 mm

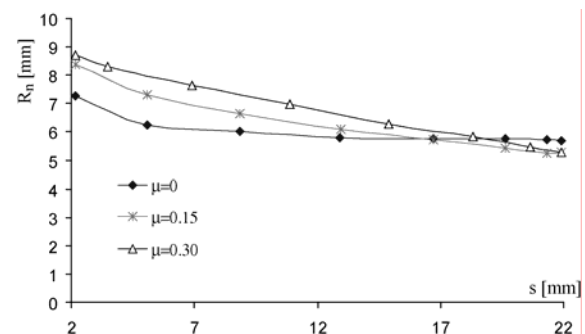
Položaj neutralnog radijusa se menja tokom procesa istiskivanja. Sa slike 6 je vidljiv trend stabilizacije procesa (ravnomerno isticanje u centralni i periferni deo), odnosno položaj

neutralnog radijusa teži ravnotežnom položaju za različite kontaktne uslove. U ovom slučaju kontaktno trenje značajno utiče na stabilnost procesa a njegov uticaj se najviše ogleda na početku procesa kad su razlike najviše. Što su nepovoljniji kontaktne uslovi (viši koeficijent kontaktnog trenja) neravnomernost na početku procesa je veća.



**Slika 6** – Uticaj trenja na promenu položaja neutralnog radijusa za uzorak visine  $H_o=25$  mm

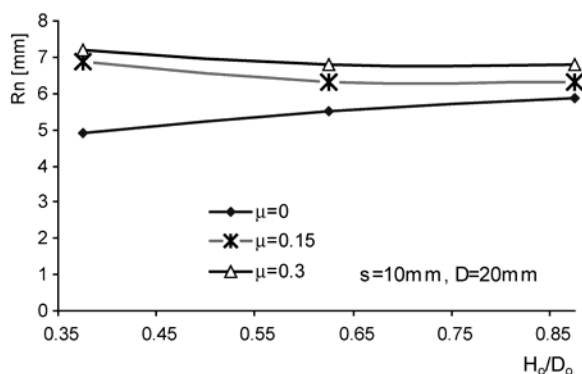
Kod uzorka početne visine 35mm (Slika 7) neravnomernost tečenja je više izražena za nepovoljnije kontaktne uslove.



**Slika 7** – Uticaj trenja na promenu položaja neutralnog radijusa za uzorak visine  $H_o=35$  mm

Pri kontaktnom trenju  $\mu=0.3$  dolazi do gotovo linearnog pomeranja položaja neutralnog radijusa ka vrednosti radijusa na otvoru ( $R_n$  se linearno približava  $R_1$ ). Za vrednost  $\mu=0$  položaj neutralnog radijusa se najmanje menja tokom procesa.

Niži uzorci su osjetljiviji na uticaj kontaktnog trenja što se može videti na slici 8.



**Slika 8** - Uticaj kontaktnog trenja i visine uzorka na položaj neutralnog radijusa

## ZAKLJUČAK

Pri idealnim kontaktnim uslovima ( $\mu=0$ ) položaj neutralnog radijusa zavisi od veličine slobodne površine (geometrijskih odnosa alata). Slobodna površina predstavlja površinu na koju direktno ne deluje žig. Kod suprotnosmernog istiskivanja slobodna površina ostaje konstantna tako da se i položaj neutralnog radijusa ne menja. Pošto je u realnim procesima prisutno kontaktno trenje neutralni radijus menja svoj položaj. Materijal intenzivnije teče u pravcu manjeg otpora, što u analiziranom slučaju predstavlja perifernu stranu žiga. Unutrašnjost žiga karakteriše manja slobodna površina i veća površina kontakta (žig nema kalibracioni deo sa unutrašnje strane). Zbog uticaja kontaktnog trenja primetna je zakrivljenost slobodne površine.

Položaj neutralnog radijusa se menja od maksimalne vrednosti i postepeno opada dok ne zauzme ravnotežni položaj. Na to koliko brzo će se ustaliti proces ( $R_n \approx \text{const}$ ) najveći uticaj imaju kontaktno trenje, visina priprema i geometrija alata.

Početna visina priprema znatno utiče na položaj  $R_n$ , tako što za više uzorke više materijala ističe na perifernu stranu žiga, odnosno položaj neutralnog radijusa je bliži unutrašnjem radijusu na žigu.

Za buduća istraživanja predviđa se optimizacija geometrijskih odnosa alata ( $R_1$ ,  $R_2$ ,  $R_0$ ), konstrukcije žiga ( $L$ ), visine matrice i početne visine uzorka ( $H_0$ ) u cilju pronalazanja geometrija alata/priprema kod koje je uticaj trenja najjasnije uočljiv. Tada će se izvršiti konstrukcija etalon dijagrama za određivanje kontaktnog trenja u procesima koji baziraju na suprotnosmernom istiskivanju.

## LITERATURA

- [1] Алиев И.С.: Технологические возможности новых способов комбинированного выдавливания, Кузнечно-Штамповочное Производство, No. 2., pp 7-9, 1990
- [2] Analysis User Manuals: ABAQUS Documentation, HKS ABAQUS Inc. 2003
- [3] Avitzur B.: Metal Forming: Process and Analysis, McGraw-Hill, New York, St. Louis, San Francisco, Toronto, London, Sydney, 1968
- [4] Geiger R.: Der Stofffluß beim kombinierten Napffließpressen, Stuttgart, 1976
- [5] Kuzman K., Pfeifer E., Bay N., Hunding J.: Control of material flow in a combined can – forward rod extrusion, Journal of Materials Processing Technology 60, pp 141-147, 1996
- [6] Plančak M., Vilotić D., Čupković Đ.: Determination of neutral radius in extrusion process with divided flow, ICIT 2001 International Conference on Industrial Tools, pp 71-74, 2001
- [7] Lange K.: Handbook for Metalforming, New York, 1986

## ZAHVALNICA

*Rezultati prikazani u ovom radu deo su istraživanja ostvarenih u okviru bilateralnog projekta "Virtualno i eksperimentalno istraživanje procesa zapreminskog deformisanja (BI-CS/04-05-006)" finansiranog od strane Srpskog i Slovenačkog ministarstva na nauku, tehnologiju i razvoj. Autori im se zahvaljuju na podršci za realizaciju projekta.*

<sup>i</sup> Dipl. ing. Đorđe Čupković, [cupe@uns.ns.ac.yu](mailto:cupe@uns.ns.ac.yu)

<sup>ii</sup> Prof. dr Miroslav Plančak, [plancak@uns.ns.ac.yu](mailto:plancak@uns.ns.ac.yu)

<sup>iii</sup> Prof. dr Dragisa Vilotić, [vilotic@uns.ns.ac.yu](mailto:vilotic@uns.ns.ac.yu)

<sup>iv</sup> Prof. dr Karl Kuzman, [karl.kuzman@fs.uni-lj.si](mailto:karl.kuzman@fs.uni-lj.si)