

D. VUKIĆEVIĆ, D. TEMELJKOVSKI, P. POPOVIĆ

Neki aspekti relacija triboloških i mehaničkih svojstava materijala alata i obradka u tehnologijama plastičnosti

1. UVOD

Poznato je, da bi se obezbedio uspešan proces izrade nekog elementa, neophodno je da postoji usaglašenost između potreba procesa (P_o), koje se mogu izraziti opštom za zavisnošću:

$$P_o = P(f_{pmi}, f_{poj}, f_{pdk}) \quad (01)$$

i mogućnosti sredstava rada (M_o) pod čijim se dejstvom obavlja proces izrade elementa, što se može izraziti sa

$$M_o = M(f_{smx}, f_{say}, f_{spz}) \quad (02)$$

gde su f_{pmi} - parametri koji definišu materijal predmeta rada;

f_{poj} - parametri oblika predmeta rada;

f_{pdk} - parametri dimenzija predmeta rada;

f_{smx} - parametri aktivnog dela sredstava rada - mašine;

f_{say} - parametri pasivnog dela sredstava rada - alata i

f_{spz} - parametri pomoćnih sredstava rada.

Ta usaglašenost se ogleda u uslovu da je:

$$M_o \geq P_o \quad (03)$$

odnosno u sagledavanju vrednosti stepena usaglašenosti:

$$f_u = \frac{P_o}{M_o} \quad (04)$$

jer u slučaju:

$$M_o < P_o \quad (05)$$

proces oblikovanja materijala se ne može ostvariti, odnosno stepen usaglašenosti ima vrednosti veće od jedinice ($f_u > 1$), što ukazuje da su potrebe procesa veće od mogućnosti sredstava rada.

Prof. dr Dušanka Vukićević, Doc. dr Dragan Temeljkovski,
Prof. dr Predrag Popović, Mašinski fakultet u Nišu.

Da bi se identifikovali meritorni uticajni faktori procesa obrade materijala deformisanjem, moraju se sagledati uslovi u kojima se proces obavlja, a ti uslovi se ogledaju u:

- neposrednom dodiru radnih površina alata i predmeta obrade, odnosno u uslovima neposrednog njihovog kontakta;
- deformisanju materijala određenom brzinom i
- pri određenom njegovom stanju, pretpostavljajući da je vrsta materijala unapred određena, odnosno uslovljena.

Posledica prvog uslova je da se materijal:

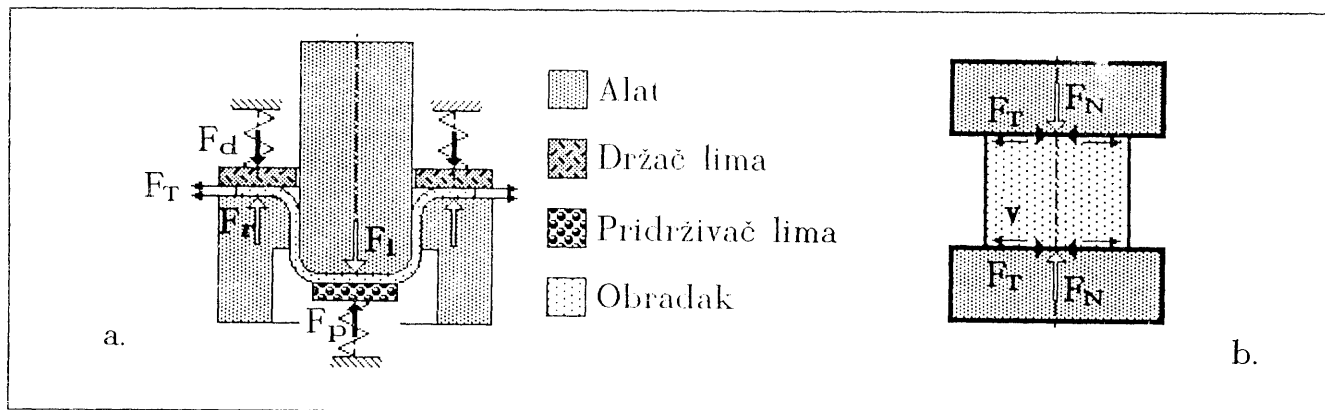
- plastično deformiše zbog dejstva spoljašnjeg opterećenja i
- da u zoni kontakta alata i obradka dodirna površina predmeta obrade klizi po radnim površinama alata.

Sasvim je razumljivo da ovo dovodi do pojave spoljašnjeg i unutrašnjeg trenja, pri čemu se pod pojmom spoljašnje trenje podrazumeva trenje na kontaktnim površinama alata i obradka, a pod pojmom unutrašnje trenje, trenje izazvano međusobnim pomeranjem čestica materijala, koja su posledica njegovog plastičnog tečenja.

2. SPOLJAŠNJE OPTEREĆENJE

Polazeći od klasičnog načina ostvarenja spoljašnjeg opterećenja na obradak alatom izrađenim od čvrstog materijala, uočava se da postoje sledeća spoljašnja opterećenja, i to:

- aktivna, pod kojim se pojmom podrazumevaju opterećenja čijim se dejstvom neposredno deformiše materijal, odnosno bez kojih je nemoguće obavljanje procesa obrade deformisanjem, kao što su napr. opterećenja koje ostvaruju izvlačač (F_i) i prsten za izvlačenje (F_r) u procesu dubokog izvlačenja, prikazana na slici 1. pod a., ili opterećenja koja ostvaruju radni delovi alata za sabijanje (F_N) na obradak pri slobodnom sabijanju, što je ilustrovano slikom 1. pod b.;



Sl. 1. Spoljašnja opterećenja pri dubokom izvlačenju (a) i sabijanju (b)
 Outer loading in deep drawing (a) and compression (b)
 Внешние нагрузки при вытяжке (a) и сжатии (b)

- pomoćna, koja samo potpomažu proces oblikovanja materijala, kao što su opterećenja koja ostvaruju držač lima (F_d) i pridržiivač (F_p) u procesu dubokog izvlačenja, prikazana na slici 1. pod a. i
- spoljašnje trenje (F_T). prikazano na slici 1. pod a. i b.

3. SPOLJAŠNJE TRENJE

Procesi obrade materijala deformisanje baziraju na unošenju neophodne količine mehaničke energije u materijal koji se preoblikuje. Ovo unošenje energije, odnosno stvaranje potrebnog spoljašnjeg opterećenja na obradak, se ostvaruje neposrednim direktnim dejstvom radnog tela - nosioca energije i kretanja - na njega, tj. prenošenje energije sa radnog tela na obradak se ostvaruje preko njihovih kontaktnih površina. Kako pri ovome dolazi do klizanja obradka po kontaktnoj površini radnog tela - alata, to se na tim površinama javlja trenje, koje se suprotstavlja kizanju materijala koji se obrađuje. Pri ovome, sile trenja mogu biti:

- posledica opterećenja koja ne izazivaju plastično deformisanje materijala (sile trenja koja izazivaju sile držača lima pri dubokom izvlačenju) i
- posledica opterećenja koja izazivaju njegovo plastično preoblikovanje (sile trenja na kontaktnoj površini pri sabijanju).

Iz iznetog se uočava razlika između trenja od klizanja na kontaktnim površinama u mašinskih konstrukcija (mašina, aparata, uređaja i sl.), kome odgovara trenje od držača lima pri dubokom izvlačenju i trenja na kontaktnim površinama alata i predmeta obrade u procesima obrade deformisanjem, kao što je sabijanje.

Radi objašnjenja ovog problema, na slici 2. prikazano je šematski sabijanje, odnosno dva elementa (alat i obradak) izrađena od različitih materijala (dve vrste čelika), čija su mehanička svojstva prikazana dijagramima $\sigma_p - \epsilon$, u kojima je:

$$R_{Ea} = R_{Eo} + \Delta\sigma \quad (06)$$

gde su: σ_p - normalni napon na pritisak;

ϵ - relativna deformacija;

R_{Ea} - granica elastičnosti materijala alata (zbog male razlike između granice elastičnosti (R_E) i granice velikih izduženja (R_v) u ovim razmatranjima se pretpostavlja da je $R_E = R_v$);

R_{Eo} - granica elastičnosti materijala obradka i
 $\Delta\sigma$ - razlika granice elastičnosti materijala alata i materijala obradka ($\Delta\sigma = R_{Ea} - R_{Eo}$).

Ako se pretpostavi, radi uprošćenja razmatranja, da je veličina kontaktne površine (A_k), tada intenzitet normalnog napona (σ) od pritiska:

$$\sigma = \frac{F_n}{A_k} \quad (07)$$

zavisi samo od intenziteta opterećenja (F_n), pa teorijski postoje četiri slučaja.

Pored toga, definisanjem parametra:

$$f_\sigma = \frac{\Delta\sigma}{R_{Ea}} = 1 - \frac{R_{Eo}}{R_{Ea}} \quad (08)$$

teorijski moguće varijante su:

I varijanta: $f_\sigma = 0$ kada je $R_{Eo} = R_{Ea}$

II varijanta: $0 < f_\sigma < 1$ kada je $R_{Eo} < R_{Ea}$

III varijanta $f_\sigma < 0$ kada je $R_{Eo} > R_{Ea}$.

iz čega proizlazi da se - generalno - vrednosti parametra (f_σ) kreću u dijapazonu $1 > f_\sigma \geq 0$.

Prvi slučaj. Da je spoljašnje opterećenje toliko, da su izazvani normalni naponi u alatu i obradku manji od granice elastičnosti njihovih materijala, tj. da je:

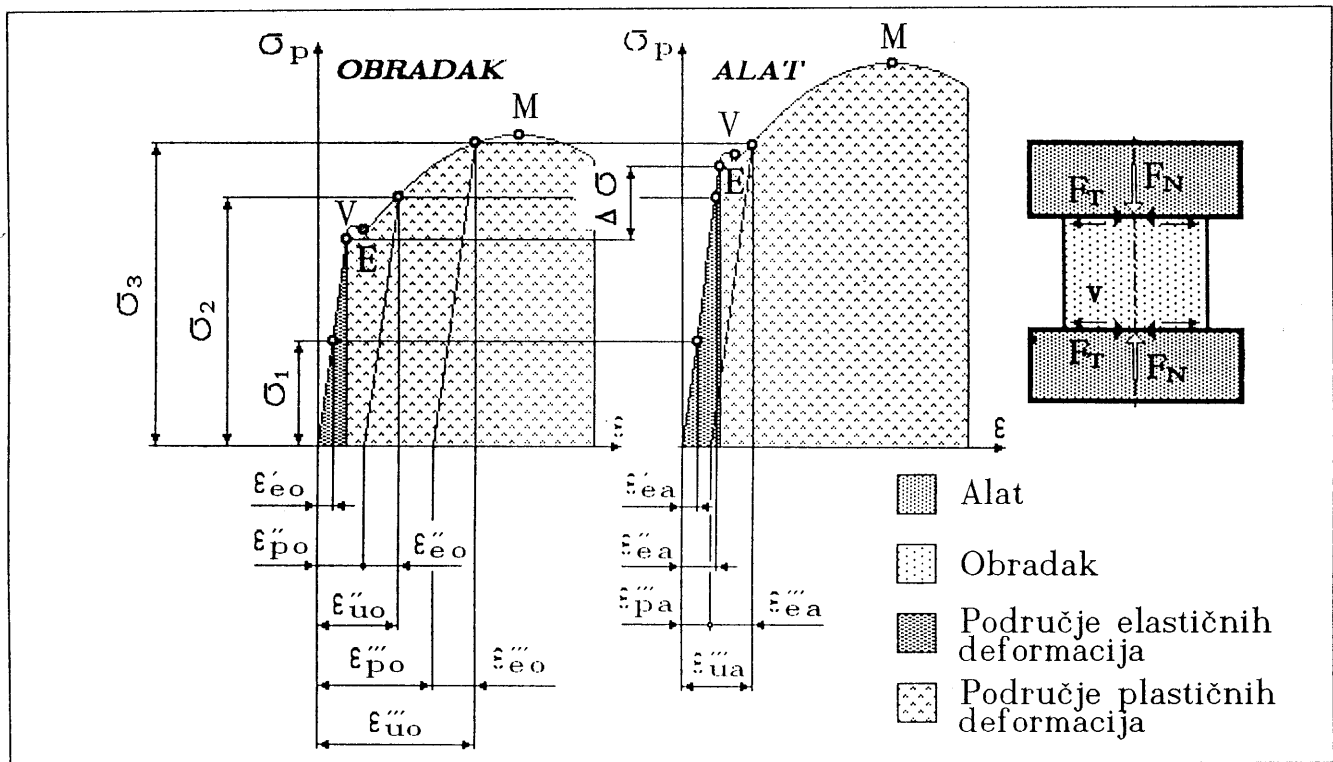
$$\sigma_1 < R_{Eo} \quad i \quad \sigma_1 < R_{Ea} \quad (09)$$

a što znači da se oba elementa (alat i obradak) u zoni dodira samo elastično deformišu, što je izraženo i vrednostima elastičnih relativnih dilatacija ϵ'_{eo} i ϵ'_{ea} .

Ovo je slučaj u mašinskih konstrukcija i opterećenja u obradi materijala koja ne izazivaju njegovo plastično deformisanje (držač i pridržiivač lima pri dubokom izvlačenju), u kojih se veličina dodirnih površina elemenata koji klizaju određuje iz uslova da površinski pritisci na njihovim kontaktnim površinama moraju biti manji od granice elastičnosti materijala od kojih su izrađeni. Sile trenja se u ovom slučaju izražava Kulonovim zakonom

$$F_T = \mu \cdot F_N \quad (10)$$

gde je μ - koeficijent trenja.



Sl. 2. Dijagrami $\sigma_p - \epsilon$ za materijale obradka i alata pri sabijanju
 Diagram $\sigma_p - \epsilon$ for working piece and tool materials in compression
 Диаграмма $\sigma_p - \epsilon$ для материала заготовки и инструмента при сжатии

Iz izloženog proizilazi da je u ovom slučaju irelevantno da li je $R_{Eo} \leq R_{Ea}$, odnosno irelevantna je vrednost parametra φ_σ .

Drugi slučaj. Da je:

$$R_{Eo} < s^2 < R_{Ea} \quad (11)$$

U ovom slučaju se obradak trajno deformiše, što je izraženo relativnom deformacijom

$$\epsilon''_{po} = \epsilon''_{uo} - \epsilon''_{eo} \quad (12)$$

gde su ϵ''_{po} - trajna plastična relativna deformacija obradka;

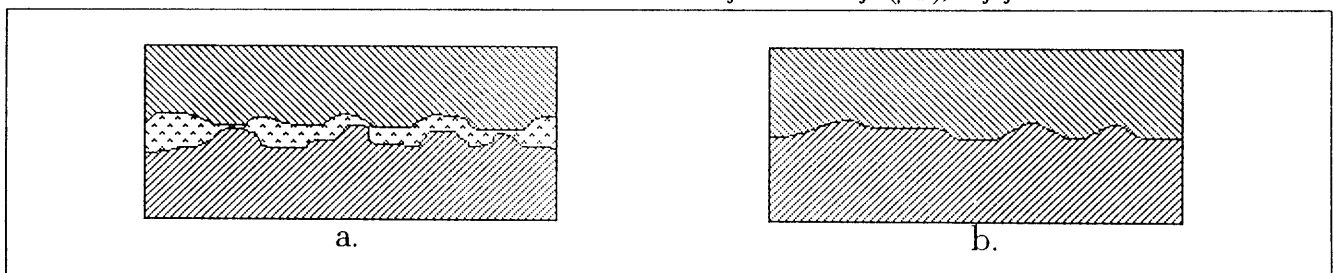
ϵ''_{uo} - ukupna deformacija obradka u opterećenom stanju i

ϵ''_{eo} - njegova elastična relativna deformacija u opterećenom stanju, dok se alat samo elastično deformiše, što je izraženo njegovom elastičnom relativnom dilatacijom ϵ''_{ea} .

Iz iznetog jasno proizilazi da, pri obradi materijala plastičnim deformisanjem, dodirne površine obradka se plastično deformišu i poprimaju oblik radnih površina alata, kako je prikazano na slici 3. pod b., odnosno sve neravnine radnih površina alata se odlikavaju na kontaktnim površinama obradka, što dovodi do sledećeg:

- da je stvarna dodirna površina u ovom slučaju daleko veća;
- da u uslovima visokih pritisaka nastaju znatne sile molekularnog zahvata i
- da pri klizanju obradka po alatu - njegove radne površine ustvari, "oru" odgovarajuću površinu predmeta obrade.

Ovo su razlozi da se koeficijent trenja u jednačini (10), koji odgovara uslovima u mašinskim sklopovima, ne može prihvatiti pri procesima obrade materijala deformisanjem. Samo orijentaciono, i u približnim inženjerskim proračunima, može se koristiti jednačina (10), ali sa koeficijentom trenja (μ_d), koji je:



Sl. 3. Prikaz oblika dodirnih površina frikcionog para: a. - u mašinskim konstrukcijama i b. - pri obradi plastičnim deformisanjem
 Representation of friction couple contact surfaces shapes: a - in machine structures; b - in plastic metal forming
 Изображение формы контактирующих поверхностей трения пары: а - в конструкциях машин; б - при обработке пластичной деформацией

$$m_d \gg \mu \quad (13)$$

U ovom slučaju varijante: $f_\sigma = 0$ i $f_\sigma < 0$ nemaju praktičnog smisla, jer je u prvom slučaju $\Delta\sigma = 0$, a u drugom $\Delta\sigma < 0$, što je u koliziji sa postavkom (11).

Treći slučaj. Da je:

$$R_{E0} > \sigma_3 > R_{Ea} \quad (14)$$

Ovaj slučaj predstavlja samo moguću matematičku interpretaciju bez mogućeg praktičnog značaja.

Četvrti slučaj. Da je:

$$s_4 > R_{E0} \quad i \quad \sigma_4 > R_{Ea} \quad (15)$$

U ovom slučaju bi se i alat i obradak plastično deformisali, što se ne sme u praksi dozvoliti.

Naime, prva i treća varijanta nemaju smisla, jer je u prvoj $\Delta\sigma = 0$ i u trećoj $\Delta\sigma < 0$, dok bi druga varijanta odgovarala po vrednosti parametra f_σ , ali je $\Delta\sigma > 0$ nedovoljno veliko, pa dolazi do plastičnog deformisanja i alata.

Na osnovi svega iznetog, a imajući još u vidu iz teorije plastičnog sabijanja da tangencijalni i normalni kontaktni naponi po kontaktnoj površini nisu ravnomernog intenziteta, proizlazi da $\Delta\sigma$ mora biti:

$$Ds \geq f_k \cdot (R_{mo} - R_{E0}) \quad (16)$$

gde je: f_k - korekcionni faktor, koji se može izraziti kao proizvod parcijalnih korekcionnih faktora:

$$f_k = \prod_{i=1}^6 f_{pki} \quad (17)$$

pri čemu je svaki parcijalni korekcionni faktor $f_{pki} > 1$.

Parcijalni korekcionni faktori obuhvataju:

- variranje mehaničkih svojstava materijala obradka i alata;

- variranje temperature na kontaktnim površinama alata i obradka, koje se odražavaju kako na mehanička svojstva materijala alata i obradka, tako i na koeficijent trenja;
- variranje kvaliteta radne površine alata, odnosno njegove pohabanosti i
- prisustvo raznih uključaka i tvrdih prljavština u materijalu obradka.

4. ZAKLJUČAK

Na osnovi svega iznetog mogu se izvući sledeći zaključci:

1. Ovim su postavljene teorijske osnove za sistematizovanu obimnija i sveobuhvatnija eksperimentalna istraživanja i ispitivanja radi izračunavanja optimalne vrednosti korekcionnog faktora f_k iznalaženjem vrednosti meritornih parcijalnih korekcionnih faktora (f_{ki}), a u cilju povećanja veka alata i smanjenja neravnomernosti deformacije.
2. Dobijanjem optimalne vrednosti korekcionnog faktora eliminiše, se nepouzdan metod izbora materijala alata baziran na iskustvu.

LITERATURA

- [1.] H. ĐUKIĆ, P. POPOVIĆ: **Obrada deformisanjem - teorijske osnove**, Univerzitet u Mostaru, Mostar, 1988.
- [2.] B. MUSAFIJA: **Obrada metala plastičnom deformacijom**, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 1972.
- [3.] V. Vujović: **Obrada deformisanjem u mašinstvu - I deo**, Novi Sad, 1977.
- [4.] B. DEVEDŽIĆ, **Osnovi teorije plastičnog deformisanja metala**, Kragujevac, 1975.
- [5.] V. STOILJKOVIĆ, **Teorija obrade deformisanjem**, Niš, 1984.

Some Aspects of the Relations between Tribological and Mechanical Properties of Tools and Workpiece's Materials in Plasticity Technologies

It is known that in the process of material's plastic reshaping there are internal and external friction forces. It is also known that between the friction coefficients at gliding in engineering structures and between the friction coefficient in the processes of material plastic forming there are considerable differences manifested as the differences of their intensities. Starting from identification and analysis of the differences in sliding of a friction couple in engineering constructions and metal forming processes, necessary mechanical properties of tools and workpieces attributes are defined, namely, the relational parameters which can serve as the basis for choosing appropriate materials for tools manufacturing.

Некоторые аспекты трибологических и механических свойств материала инструмента и заготовки в технологии пластичности

Известно, что при пластичной деформации материала возникающей внутренней и внешней силы трения и что между коэффициентом трения скольжения в конструкциях машин и коэффициентом трения при пластичной деформации материала есть существенные различия, проявляющиеся в их неодинаковой интенсивности. На основе идентификации и анализа различий, существующих между скольжением трущейся пары в конструкциях машин и процессами обработки деформированием, в насущной работе выделяются необходимые механические свойства инструмента и заготовки, т. е. соотносительные параметры, которые могут послужить основой для выбора подходящего материала инструмента.