

SERBIATRIB`07
10th International Conference on Tribology
and
WORKSHOP`07
Sustainable Development in Industry by Apply Tribology Knowledge

KONTAKTNO TRENJE U PROCESIMA MIKRODEFORMISANJA

Milija KRAIŠNIK, asistent, Mašinski fakultet, Istočno Sarajevo, Republika Srpska, BiH

Rezime: U vremenu intenzivnog tehnološkog razvoja, mnogi proizvodi su se razvili pod uticajem progresivnog trenda minijaturizacije elektronskih i mehaničkih komponenti. Tehnologija plastičnog deformisanja izuzetno je povoljna za masovnu proizvodnju mehaničkih mikrokomponenti.

Ovaj rad obrađuje problematiku kontaktnog trenja u procesima mikrodeformisanja, kao veoma kompleksnog i vrlo uticajnog fenomena na proizvodnju mikrodelova. Znanja stečena u ovom području kroz procese konvencionalnog deformisanja ne mogu se direktno primeniti u području mikrodeformisanja zbog određenih ograničenja uslovljenim dimenzionim efektom radnog dela. Radi toga, uticaj veličine obratka na kontaktno trenje treba da bude istražen u cilju postizanja sveobuhvatnog razumevanja razlika između konvencionalnog i mikrodeformisanja.

U radu je dat pregled dela dosadašnjih dostignuća u navedenom području. Prezentovane su eksperimentalne metode DCE testa i testa sabijanja prstena, koje su pogodne sa aspekta verifikacije uticaja veličine obrataka na tribološke karakteristike procesa mikrodeformisanja. Analizirani su uticaji brzine kretanja alata, hrapavosti površine, veličine zrna i sredstva za podmazivanje na vrednost koeficijenta trenja. Za objašnjenje uočenih pojava korišten je model otvorenih (dinamičkih) i zatvorenih (statičkih) džepova maziva.

Ključne reči: kontaktno trenje, mikrodeformisanje, uticaj veličine obrataka,

1. UVOD

Mnoga tehnološka područja zahvaćena su progresivnim trendom minijaturizacije uslovljenom visokom kompaktnošću proizvoda. Tehnologija plastičnog deformisanja metala, po svojim karakteristikama i mogućnostima, izuzetno je povoljna za proizvodnju minijaturnih mehaničkih komponenti najužih mogućih tolerancija. Međutim, jedan od limitirajućih faktora uspešne proizvodnje ovih komponenti postupcima mikrodeformisanja može biti neadekvatno razumevanje određenih pojava koje su uslovljene uticajem veličine obratka na tribološke karakteristike u sistemu alat-obradak. Primenom teorije sličnosti moguće je redukovati geometriju procesa sa konvencionalnog na mikronivo, ali se pri analizi uticaja pojedinih faktora na mehanizme kontaktnog trenja moraju uzeti u obzir sledeća ograničenja [1]:

- a) topografija površine alata i obratka, koja suštinski određuje tečenje metala i razvoj oblika površine po mehanizmima trenja, ne može biti redukovana recipročno na mikro nivo,
- b) uticaj maziva nije moguće direktno preneti sa konvencionalnog na mikro nivo usled izmenjenog odnosa veličine obratka i debljine sloja maziva.

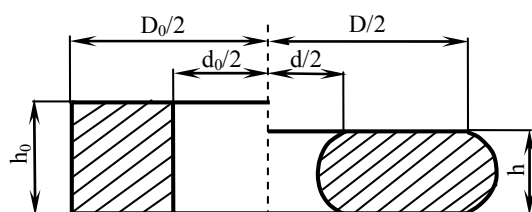
Navedena ograničenja ukazuju da mehanizmi koji karakterišu kontaktno trenje u procesima mikrodeformisanja nisu slični onima koji su prisutni pri konvencionalnim obradama metala i zbog toga se predhodno stečena znanja ne mogu direktno primeniti pri proizvodnji mikrodelova čije dimenzije mogu biti reda veličine $\leq 0,1$ mm [6]. U cilju opšteg razumevanja uticaja veličine priprema na kontaktno trenje u uslovima mikrodeformisanja neophodna su eksperimentalna istraživanja. Deo ovih aktivnosti predstavljen je u nastavku rada.

2. EKSPERIMENTALNE METODE ISTRAŽIVANJA KONTAKTNOG TRENJA NA MIKRONIVOU

U cilju istraživanja uticaja veličine obratka, ali i drugih uticajnih parametara na vrednost koeficijenta trenja u procesima zapreminskog mikrodeformisanja primenjuju se odgovarajuće eksperimentalne metode.

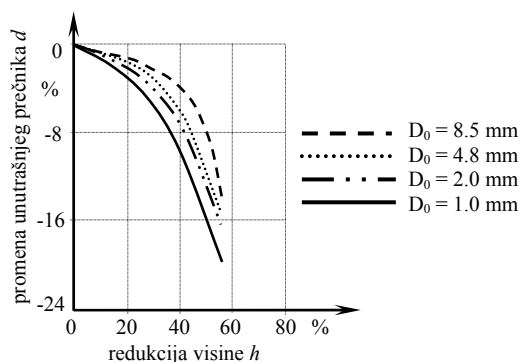
2.1 Test sabijanja prstena

Test sabijanja prstena (šuplji valjak male visine, sl. 1) je eksperimentalna metoda koja se najviše koristi za određivanje koeficijenta trenja na kontaktnim površinama. Ovaj test je interesantan zbog svoje karakteristične geometrije koja omogućava raznosmerno tečenje metala u zavisnosti od uticaja sila trenja. Osetljivost unutrašnjeg prečnika prstena na veličinu koeficijenta trenja kod konvencionalnih procesa iskorištena je i pri istraživanju trenja u procesima mikrodeformisanja.



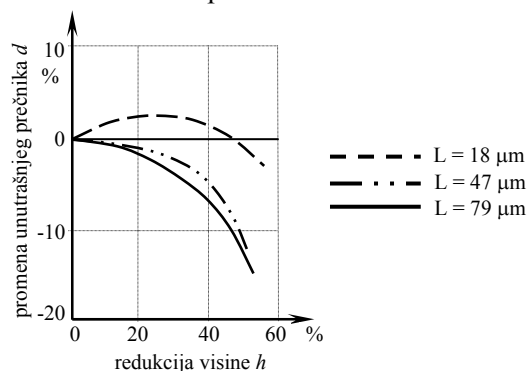
Sl.1: Test sabijanja prstena

Na sl.2 prikazana je funkcionalna zavisnost između prosečne promene unutrašnjeg prečnika i redukcije visine za uzorke sa konstantnom mikrostrukturom (veličina zrna $L=80\mu\text{m}$). Uočljiv je trend intenzivnije promene unutrašnjeg prečnika prstena sa smanjenjem dimenzija uzorka, pri istoj vrednosti deformacije visine. Ovi rezultati [1] jasno verifikuju uticaj dimenzionog efekta na kontaktno trenje u procesima mikrodeformisanja.



Sl.2: Promena unutrašnjeg prečnika geometrijski sličnih prstenastih uzoraka

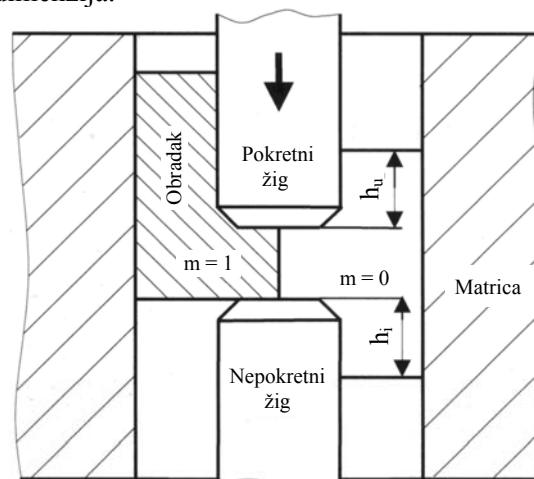
Istraživanja mogućeg uticaja mikrostrukture uzorka na kontaktno trenje u procesima mikrodeformisanja realizuju se sabijanjem prstenastih uzoraka konstantnih početnih dimenzija sa promenljivom veličinom zrna L . Deo rezultata [1], prikazanih na sl. 3, (spoljašnji prečnik prstena $D_0 = 4,8 \text{ mm}$) pokazuje intenzivnije smanjenje unutrašnjeg prečnika uzorka sa porastom veličine zrna.



Sl.3: Uticaj veličine zrna na promenu unutrašnjeg prečnika prstenastog uzorka

2.2 DCE-test

Zbog relativno velike ekspanzije kontaktne površine i visokih vrednosti radnih parametara u odnosu na test sabijanja prstena, DCE¹ – test na reprezentativniji način simulira aktuelno stanje u procesu mikrodeformisanja. U ovom testu se koristi cilindrični uzorak, pozicioniran između pokretnog i nepokretnog žiga, identičnih oblika i dimenzija.



Sl.4: DCE – test

Kada se pokretnom žigu saopšti kretanje, obradak se deformiše pri čemu se formira gornje i donje udubljenje. Sa povećanjem trenja na

¹ DCE – Double cup extrusion

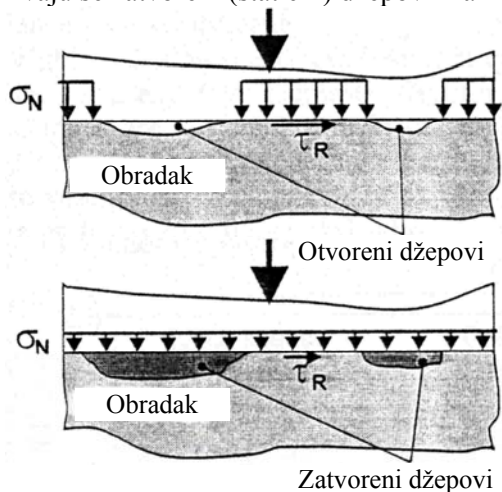
kontaktnim površinama, visina udubljenja formiranog preko nepokretnog žiga postaje manja, a odnos visina h_u / h_i veći. Ovakvo ponašanje materijala uslovljeno je različitim relativnim brzinama pomeranja pokretnog žiga u odnosu na obradak. Zato se i mala promena trenja može uspešno detektovati preko značajne promene visina udubljenja.

U graničnom slučaju (sl. 4), ako je odnos $h_u / h_i = 1$, sledi da je $m = 0$, tj. nema trenja. Međutim, za $h_i = 0$, odnos $h_u / h_i = \infty$ i $m = 1$ javljaju se drugi ekstremni uslovi trenja.

3. MODEL STATIČKIH I DINAMIČKIH DŽEPOVA MAZIVA

Ponašanje materijala u procesima mikrodeformisanja sa aspekta uticaja dimenzija obratka na uslove kontaktnog trenja može se objasniti modelom otvorenih i zatvorenih džepova maziva (sl. 5) [2], [3].

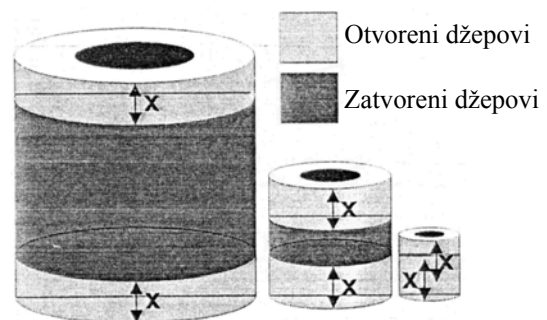
Kada u DCE – testu započne relativno pomeranje žiga u odnosu na uzorak dolazi do promene koeficijenta trenja. Pod dejstvom kontinuiranog delovanja spoljašnjeg opterećenja vrhovi neravnina površine uzorka plastično se deformišu. Usled povećanja pritiska, mazivo prelazi u susedna udubljenja sve do ivice obratka. Udubljenja iz i preko kojih mazivo otiče sa kontaktne površine nazivaju se otvoreni (dinamički) džepovi maziva. Sa povećanjem stepena zaravnjenosti površine smanjuje se broj udubljenja koja se spajaju i preko kojih se odvodi mazivo, a povećava broj udubljenja u kojima mazivo ostaje zarobljeno. Ova udubljenja na kontaktnoj površini uzorka nazivaju se zatvoreni (statički) džepovi maziva.



Sl. 5: Model otvorenih i zatvorenih džepova maziva

Mazivo u zatvorenim džepovima prenosi opterećenje i smanjuje pritisak na vrhove neravnina kontaktne površine, što u konačnom obliku rezultuje smanjenju trenja. Dakle, zatvoreni u odnosu na otvorene džepove maziva, koji su locirani u blizini ivice obratka, doprinose poboljšanju uslova pod kojim se realizuje proces mikrodeformisanja.

Međutim, područje gde egzistiraju otvoreni džepovi maziva nije ograničeno samo na mesta neposredno uz ivicu obratka. Čak i pri većim stepenima deformacije površine moguće je pronaći povezanost između ivice obratka i otvorenih džepova na određenoj udaljenosti od ivice. Imajući u vidu da uzorci različite dimenzija imaju sličnu topografiju površine, može se pretpostaviti da je širina pojasa u kojem egzistiraju otvoreni džepovi maziva približno konstantna veličina – x , bez obzira na dimenzije uzorka. To dalje znači da odnos otvorenih prema zatvorenim džepovima maziva raste sa smanjenjem dimenzija uzorka, sve do veličine uzorka na čijim kontaktnim površinama postoje samo otvoreni džepovi maziva (sl. 6).



Sl. 6: Odnos otvorenih i zatvorenih džepova maziva

4. UTICAJNI FAKTORI NA TRENJE U PROCESU MIKRODEFORMISANJA

Analiza rezultata teorijsko–eksperimentalnih istraživanja [1], [2], [3], [4], [6] omogućava identifikaciju i sagledavanje karaktera uticaja određenih faktora na tribološke karakteristike sistema alat-obradak u procesu mikrodeformisanja.

Uticaj brzine deformisanja na trenje moguće je analizirati promenom brzine kretanja pokretnog žiga u DCE-testu. U toku realizacije ovog testa, kod nekih uzoraka je primećeno blago smanjenje trenja sa povećanjem brzine žiga. Međutim, promene su bile vrlo malo izražene da bi se uočio njihov jasan trend. Ova

pojava dovodi se u vezu sa otporom tečenja maziva u otvorenim džepovima, jer sa povećanjem brzine kretanja žiga dolazi do manjeg oticanja maziva sa kontaktne površine.

Rezultati istraživanja uticaja kvaliteta hrapavosti površine na kontaktno trenje ukazuju da je opšti trend pogoršanja uslova trenja sa smanjenjem dimenzija uzorka zavisao od ovog faktora. Ova veza objašnjava se činjenicom da vrhovi neravnina kontaktne površine uzorka moraju doživeti izvesnu plastičnu deformaciju pre nego se ostvari značajan pritisak na zatvorene džepove maziva, što neizbežno vodi ka povećanju sila trenja.

Pri analizi uticaja veličine zrna na trenje mora se očekivati da će dimenzije i orijentacija zrna imati značajan uticaj na ponašanje materijala. Zato odnos h_u / h_i u DCE-testu nije pouzdan pokazatelj za identifikaciju eventualnih promena koeficijenta trenja.

Efekti smanjenja trenja istraživani su korištenjem čvrstog i tečnog sredstva za podmazivanje. Rezultati DCE-tesova sa MoS_2 prahom ne omogućavaju da se uoči bilo kakav jasan trend promene odnosa h_u / h_i , kao pokazatelja uticaja veličine obratka na uslove trenja, što nije bio slučaj kada se primenjivalo tečno sredstvo za podmazivanje (ulje). Kako čvrsto mazivo ne može oticati sa površine obratka, odnosom visina h_u / h_i ne može se sagledati uticaj čvrstog maziva na promenu kontaktnog trenja sa smanjenjem dimenzija uzorka. Dimenzije mikrouzoraka otežavaju odstranjivanje čvrstog maziva posle obrade, pa se za procese mikrodeformisanja preporučuje podmazivanje tečnim sredstvom.

5. ZAKLJUČAK

Trenje na kontaktnoj površini između alata i obratka predstavlja važan fenomen koji generalno utiče na ponašanje materijala u procesima mikrodeformisanja. Predhodno stečenja znanja ne mogu se direktno primeniti pri deformisanju mikrodelova zbog uticaja dimenzionog efekta na tribološke karakteristike sistema alata – obradak. Zbog toga se za istraživanje kontaktnog trenja na mikronivou primenjuju numeričke simulacije i eksperimentalne metode (test sabijanja prstena i DCE-test). Za objašnjenje različitih pojava uslovljenih dimenzionim efektom, pri analizi nekih uticajnih faktora na veličinu koeficijenta

trenja, uspešno se koristi model otvorenih i zatvorenih džepova maziva.

Zbog nedovoljne istraženosti odnosa koji su pristni na kontaktnoj površini alata i obratka, potpunije izučavanje problematike kontaktnog trenja u procesima mikrodeformisanja predstavlja budući izazov za mnoge istraživače. Rezultati dosadašnjih istraživanja na ovu temu su veoma ohrabrujući.

6. LITERATURA

- [1] Geiger M., Messner A., Engel A., Kals R., Vollertsen F.: Design of micro-forming processes – fundamentals, material data and friction behaviour, Proceedings of 9th International Cold Forging Congress, Solihull, UK, 1995., 155-163.
- [2] Tiesler N., Engel U.: Microforming – effects of miniaturization, University of Erlangen – Nuremberg, Germany
- [3] Tiesler N., Engel U., Geiger M.: Forming of microparts – effects of miniaturization on friction, Advanced Technology of Plasticity, Vol II Proceedings of 6th ICTP, 1999., 889-894.
- [4] Engel U., Tiesler N., Eckstein R.: Microparts – a challenge for forming technology, 3th International Conference on Industrial Tools, Rogaška Slatina – Celje, Slovenia, 2001., 31-38.
- [5] Leopold, J.: Foundations of micro – forming Advanced Technology of Plasticity, Vol II Proceedings of 6th ICTP, 1999., 883-888.
- [6] Plančak M., Vilotić D., Jevremov J.: Dimenzioni efekat (size effect) u oblasti plastičnog deformisanja, DEMI, Banja Luka 2003., 51-54.