

MIKROOBLIKOVANJE – MOGUĆNOSTI I OGRANIČENJAMilentije Stefanović¹, Srbislav Aleksandrović², Milica Samardžić³

Rezime: *Proizvodnja delova malih dimenzija plastičnim oblikovanjem podrazumeva specifičan razvoj ove oblasti proizvodnih tehnologija. U radu se navode osnovni zahtevi koji se postavljaju pri projektovanju ovakvih tehnologija, a koji podrazumevaju prepoznavanje uticaja umanjenja dimenzija. To su tzv. uticaji prvog reda, koji nastaju kao posledica nepromenljive mikrostrukture i topografije površine u uslovima umanjenja dimenzija, odnosno drugog reda (promena mehaničkih karakteristika i parameta obradivosti). U radu se navodi pregled i analiza ostvarenih rezultata u ovoj oblasti i daju pravci daljeg razvoja mikrooblikovanja delova od metalnih materijala.*

Ključne riječi: *mikrooblikovanje, efekat veličine, obradni proces*

MICRO FORMING – POSSIBILITIES AND LIMITATIONS

Abstract: *Production of small-dimension pieces by plastic forming implies a specific development of this production technology area. The paper specifies the basic demands related to designing of such technologies, which imply recognition of dimensions diminution influence. Those are so called first rank influences, which appear as the consequence of unchangeable microstructure and surface topography in conditions of dimensions diminution, i.e. second rank influences (alteration of mechanical properties and formability parameters). The paper presents and analyses the results achieved in this area, and gives the directions of the further development of metal parts micro-forming.*

Key words: *microforming, size-effects, manufacturing*

1. UVOD

Proizvodnja mikro delova postaje sve prisutnija zbog trenda smanjivanja dimenzija proizvoda. Zahtevi za smanjivanjem dimenzija su posebno izraženi u oblasti proizvodnje sredstava za komunikaciju (mobilni telefoni), računarske tehnike, medicinskih implantanata itd. Ovi proizvodi pored ostalog sadrže i određene mehaničke delove koji se rade od metala, kao što su: ručice, konektorski pinovi, sitni zavrtnjevi, klizne vođice i sl., koji se mogu uraditi postupcima obrade deformisanjem. Na primer, mikro delovi, dobijeni obradom istiskovanjem pokazani su na sl. 1.

¹ Prof. dr Milentije Stefanović, Kragujevac, Mašinski fakultet, stefan@kg.ac.yu

² Prof. dr Srbislav Aleksandrović, Kragujevac, Mašinski fakultet, srba@kg.ac.yu

³ Mr Milica Samardžić, Kragujevac, Institut za automobile Zastava, milica@ia.kg.ac.yu



Sl.1. Delovi dobijeni mikro-oblikovanjem [1]

Fundamentalna istraživanja vezana za materijal, proces i analizu mikro - oblikovanja sprovedena prethodnih godina su izložena u više značajnih radova, npr. [1,3,5]. U istraživanjima su izučavani mehanizmi deformisanja u specifičnim uslovima umanjenja dimenzija komada i alata, karakteristike materijala, vršeno modeliranje i analiza procesa, postavljeni kriterijumi za optimizaciju konstrukcije delova i granično oblikovanje i sl.

2. ELEMENTI SISTEMA MIKRO OBLIKOVANJA

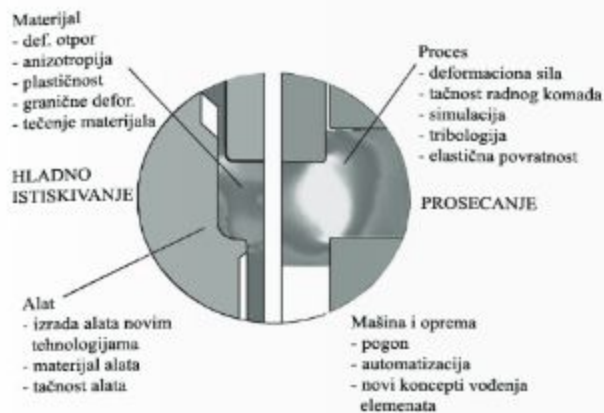
Pod mikro oblikovanjem podrazumeva se izrada delova čije su dimenzije reda veličine mikrometra [1]. Klasični postupci obrade se mogu koristiti i kod mikrodelova ali se pri tome javljaju mnogi problemi zbog malih vrednosti dimenzija. Mikro oblikovanje se može uslovno podeliti na tri oblasti primene: zapreminsko oblikovanje, oblikovanje lima i oblikovanje profila.

Slično makro obradnom sistemu, mikro sistem čine četiri osnovne grupe uticaja, sl.2:

- materijal,
- proces,
- alat,
- mašina i oprema.

Pored problema koji postoje i kod postupaka obrade rezanjem kao što su: geometrija alata, habanje, termička obrada materijala, javljaju se određene poteškoće pri plastičnom oblikovanju kao posledica smanjenih dimenzija delova.

Pri oblikovanju mikro delova uočava se promena karakteristika materijala. Deformacioni otpor, anizotropija, plastičnost i granične deformacije zavise od reda



Sl.2. Elementi sistema mikrooblikovanja [2]

Pored toga javljaju se problemi vezani za mašine i prateću opremu. Neodgovarajuće vrednosti zazora između alata mogu rezultirati dobijanjem delova nedovoljne tačnosti. Vađenje delova je otežano zato što su površine veoma male a težina delova manja u odnosu na adhezione sile. Razvoj adekvatne merne tehnologije za delove i alat takođe predstavlja problem. Izrada delova zahteva radni prostor sa strogo definisanim karakteristikama (tzv. *clean room*) čime se proces dodatno poskupljuje.

3. PROCES MIKRO-OBLIKOVANJA

Istraživanja su pokazala da pri oblikovanju mikro delova neki parametri ostaju isti i pored smanjivanja dimenzija. Mikrostruktura materijala je nezavisna od veličine dimenzija. Takođe i topografija površine ostaje nepromenjena. Usled smanjivanja dimenzija odnos između dimenzija delova i parametara mikrostrukture ili topografije površine se menja. To dovodi do tzv. efekta veličine. On veoma utiče na ponašanje materijala i proces trenja [2].

Istraživanja mikro oblikovanja i efekata minijaturizacije se vrše uobičajenim testovima koji su se dosada koristili pri čemu se vodi računa o poštovanju geometrijske sličnosti. To znači da se dimenzije komada i alata određuju preko faktora geometrijske sličnosti λ . Ograničavajući vreme odvijanja procesa na vrednost 1 i brzina deformisanja se izražava preko faktora λ [1].

3.1 Efekat reda veličine dimenzija

Proizvodnja mikro delova od metala oblikovanjem uvek mora uzeti u obzir uticaj veličine dimenzija. Dimenzioni efekat se odnosi na umanjenje dimenzija komada, pri čemu promene koje nastaju se ne mogu jednostavno tumačiti odnosima sličnosti. Ovi efekti prvenstveno nastaju kao posledica fizički i strukturnih uzroka [1].

veličine dimenzija i to se mora uzeti u obzir pri analizi procesa [3]. Takođe, parametri procesa kao što su: deformaciona sila, elastična povratnost, trenje, zavise od veličine dimenzija.

Osnovni problem vezan za alat predstavlja njegova izrada, jer je veoma složeno napraviti alat malih dimenzija. Da bi se to rešilo uvode se i nove tehnologije izrade. Npr. alat sa dimenzijama manjim od 200 nm izrađuje se snopom elektronskih zraka pomoću litografskog postupka [3].

3.1.1. Fizički uzroci

Čisto zapreminski uticaj dimenzija. Uticaj zapremine se javlja jer se pri smanjenju zapremine tela menjaju njegove mikro strukturnih osobina. Ponašanje materijala se menja usled smanjenja broja defekata ili broja zrna. To dovodi do promene distribucije defekata kod značajnog broja delova. Kod vrlo malih delova, reda veličine mikrometra, zapaža se i efekat dislokacija.

Efekat odnosa površine i zapremine. Odnos površine i zapremine je od značaja za pojave kod kojih dominira efekat površine. Smanjivanjem veličine tela, odnos površine i zapremine se povećava pri čemu uticaj površine postaje sve značajniji. Pojava efekta reda veličine usled odnosa površine i zapremine zavisi da li razaranje dešava po čitavoj zapremini tela ili samo po površinskim zonama.

Odnos uticajnih sila. Osim radne sile tokom procesa postoji uticaj i drugih sila. To su :

- Van-der-Valsove sile,
- adhezione sile (površinski pritisak),
- gravitacija.

Ove sile su male i mogu se zanemariti kod oblikovanja makro delova. Ali se kod mikrodela mora uzeti u obzir s obzirom da su približne kao radne sile. Odnos između ovih sila i radne sile ili pak između bilo koje dve sile dovodi do nastanka efekta veličine.

3.1.2 Strukturni uzroci

Odnos veličine zrna i debljine. Veličina zrna metalnih materijala zavisi od karakteristika materijala i određena je uslovima pri livenju, termičkim, mehaničkim i termo-mehaničkim tretmanima. Nije moguće odrediti za svaki materijal određenu veličinu zrna, jer se veličina zrna ne može smanjivati kao druge dimenzije dela, npr. debljina.

Veličina parametara topografije površine. Kao i veličina zrna i topografija površina (parametri hrapavosti) su posledica načina obrade dela (obradom rezanjem ili nekim drugom vrstom obrade). Rezultati obrade su takođe određeni veličinom zrna. U principu hrapavost površine ne zavisi od veličine dela. Često nije moguće smanjiti parametre hrapavosti površine kao što se može ostvariti kod dimenzija. Karakter mikro kontakta ostaje nepromenjen ali se usled minijaturizacije menja makro kontakt. Ove promene utiču i na proces trenja.

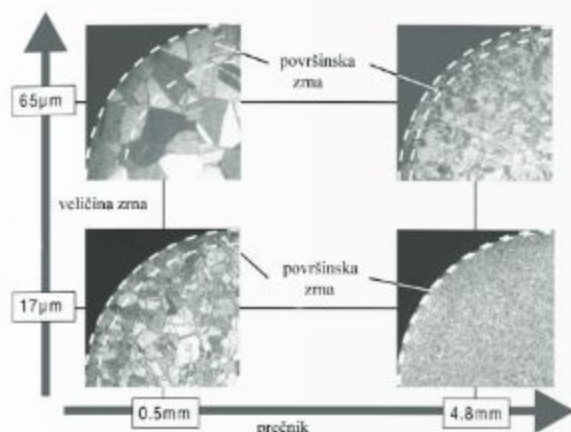
3.2 Uticaj efekta reda veličine dimenzija na svojstva plastičnosti materijala

Prema postojećim teorijama smatra se da su vrednosti napona nezavisne od dimenzija komada, ali su istraživanja pokazala da pri minijaturizaciji dolazi do pada deformacionog otpora. Uticaj dimenzija na deformacioni otpor ispitivan je preko testova zatezanja i sabijanja pri čemu postoji geometrijska sličnost procesa.

Eksperimenti su pokazali da pri minijaturizaciji dolazi do pada deformacionog otpora. Kod testa zatezanja pri smanjivanju debljine lima sa 2 mm na 0,17 mm ostvaren je pad deformacionog otpora od 30%. Testovi su izvršeni pri istoj veličini zrna

što ukazuje da je smanjenje otpora nastalo usled minijaturizacije i nije posledica različite strukture materijala.

Smanjenje deformacionog otpora se objašnjava pomoću tzv. modela površinskih slojeva koji se zasniva na činjenici da se materijal u oblasti mikro dimenzija ne može posmatrati kao homogeni kontinuum. Presudan kriterijum je odnos veličine zrna prema dimenzijama komada (cilindra kod testova). Kod mikro delova udeo površinskih zrna je veoma veliki u poređenju sa zapreminskim.



Iz teorije fizike metala je poznato da slobodna površinska zrna imaju manju tvrdoću u odnosu na zapreminska, što se može objasniti različitim mehanizmima pomeranja dislokacija. Efekat povećanja učešća površinskih zrna sa promenom veličine zrna i smanjivanjem dimenzija ilustrovan je na sl.3.

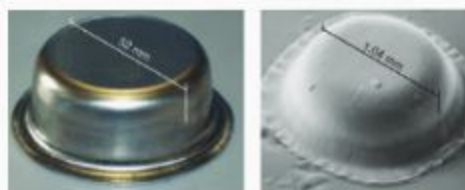
Sl.3 Mikroskopska slika površinskih zrna [1]

4. MIKRO-OBLIKOVANJE I REALIZACIJA PROCESA

Mašine, alati za obradu i rukovanje mikro-delovima, odnosno proizvodna oprema generalno, predstavlja kritični element za industrijsku aplikaciju tehnologija mikro-oblikovanja.



Sl.4. Šema uređaja za duboko izvlačenje vrlo tankih limova [5]



Materijal:	Al 99.5	Al 99.5
Debljina lima:	1.0 mm	0.02 mm
Stepen izvlačenja:	1.8	1.8
Prečnik izvlačača:	50 mm	1.0 mm
Dubina izvlačenja:	25 mm	0.5 mm
Brzina izvlačenja:	25 mm/sec	1.0 mm/sec

Sl.5. Primer makro i mikro dubokog izvlačenja [3]

Konstrukcija konvencionalnih mašina namenjenih izradi delova većih dimenzija mora se optimizirati. Osnovni zahtev se odnosi na tačnost obrade, koja se mora obezbediti visokom krutošću mašine (pouzdana vođenje, praktično bez elastičnih deformacije tela). Ovakve mašine proizvode poznati svetski proizvođači SCHULLER, SCHMIDT, BRUDERER; npr. proizvedena je presa no minalne sile 3kN, dimenzija 111x66x170 mm, koju pogoni servo motor snage 100W [4].

Na sl.4. pokazana je šema uređajaj za mikro-duboko izvlačenje limova tanjih od 0.05 mm, sa najmanjim prečnikom izvlačača od 0.5 mm [5]. Izvlačač se pogoni DC servomotorom, a kompletan rad je računarski nadgledan (pozicija stola, sila držača i sl.), a na sl. 5 pokazan je primer makro i mikro izvlačenja.

5. ZAKLJUČAK

Oblikovanje malih delova, odnosno minijaturnih delova, nije novost u industriji već više godina. Međutim, izrada delova reda nekoliko desetina ili stotina mikrona pri strogim zahtevima za tačnost znatno menja suštinu mikro-oblikovanja. Karakteristike ovakvih procesa su :

-Konvencionalni procesi oblikovanja metala kao što su kovanje, istiskivanje, duboko izvlačenje, razdvajanje i sl. mogu se uspešno koristiti za oblikovanje minijaturnih i mikro delova, uz odgovarajuće prilagođavanje koje zahteva mikro-oblikovanje;

- Vrste materijala i njihove karakteristike, koje će se koristiti u mikro-uslovima, moraju biti detaljnije definisane nego u slučaju makro-obrade, prvenstveno zbog drugačijeg uticaja veličine metalnog zrna. Granične mogućnosti ovih materijala su drugačije u uslovima makro-deformisanja.

- Efekat dimenzija može se prepoznavati i kroz tribološke pojave u kontaktu materijala komada i alata, što uglavnom zavisi od mikro-strukture oba materijala.

- Pre uvođenja procesa u industrijske uslove, neophodno je proces realizovati u laboratorijskim uslovima. Na ovaj način se ocenjuju prave mogućnosti za industrijsku primenu.

- Uvođenje mikrooblikovanja otvara brojna pitanja naučnog i tehnološkog karaktera, koja će se razrešavati u skladu sa izraženim trendovima korišćenja proizvoda mikro dimenzija.

LITERATURA

- [1] F. Vollersten, H. Schulze Niehoff, Z. Hu, State of the art in micro forming, Journal of materials processing technology, 46, 2006, 1172-1179.
- [2] M.Samardžić, M.Stefanović, S.Aleksandrović, T.Vujinović, Uvod u tribološka istraživanja pri oblikovanju mikro delova dubokim izvlačenjem, 9. Konferencija YUTRIB 05, Kragujevac, 2005, Zbornik radova, 840-845.
- [3] U.Engel, R. Eckstein: Microforming-from basic research to its realization, Journal of materials processing technology, 125-126, 2002,35-44.
- [4] Yi Qin, Micro-forming and miniature manufacturing system – development needs and perspectives, Journal of materials processing technology, 177, 2006, 95-101.
- [5] Y. Saotome, K. Yasuda, H. Kaga: Microdeep drawability of thin sheet steels, Journal of materials processing technology, 113, 2001, 641-647.