

DEFINICIJA

- Mikro obrada plastičnim deformisanjem podrazumeva izradu delova čija je bar jedna dimenzija u mikronskom području
- Obuhvata zapreminsko oblikovanje materijala (presovanje u kalupima, istiskivanje, valjanje), obradu lima (probijanje, prosecanje, savijanje, izvlačenje)

PREDNOSTI

- Najbolji metod za velikoserijsku proizvodnju
- Metod kojim se bez gubitka materijala (*net shape*) mogu dobiti delovi uskih tolerancija
- Daje gotove delove dobrih mehaničkih svojstava

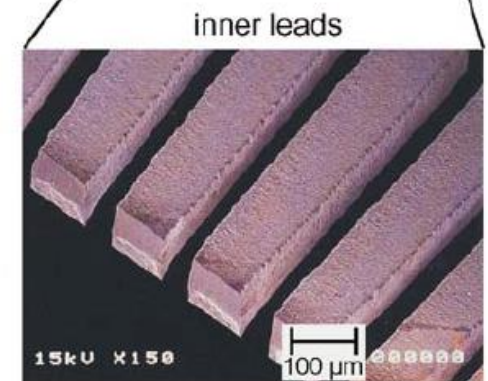
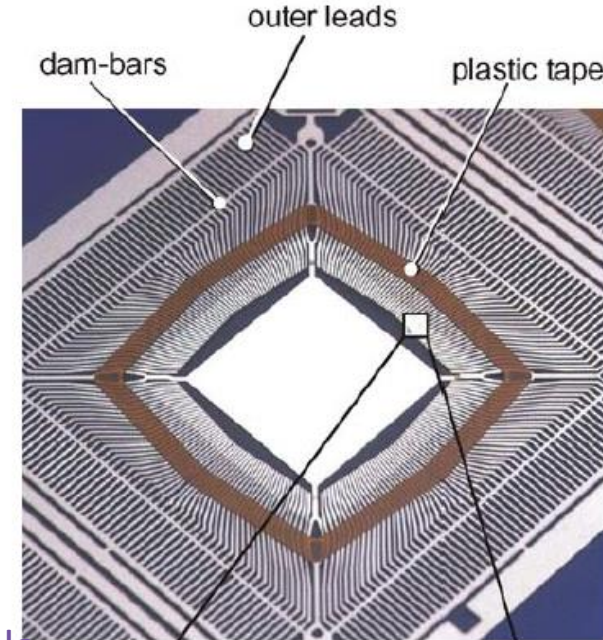
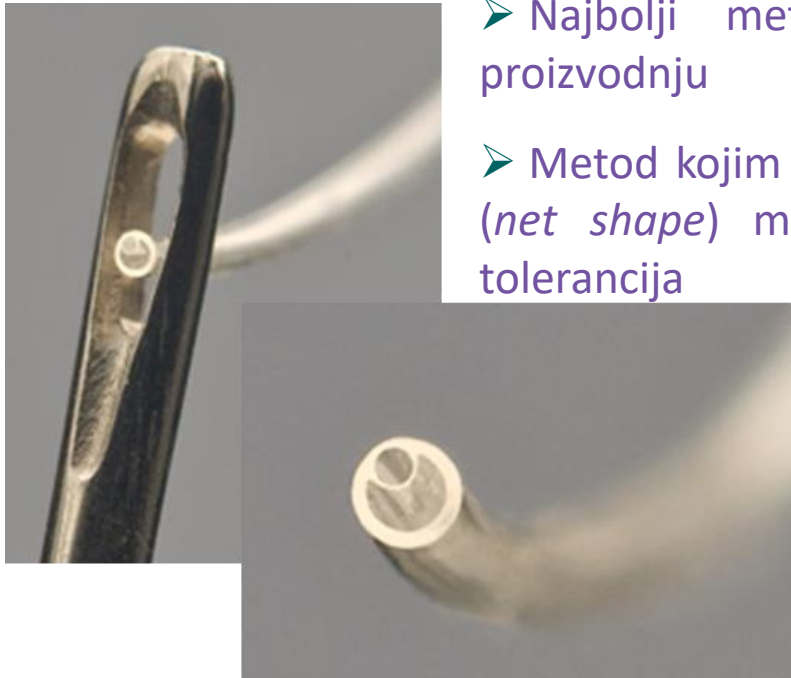


Figure 2: Leadframe (Shinko)

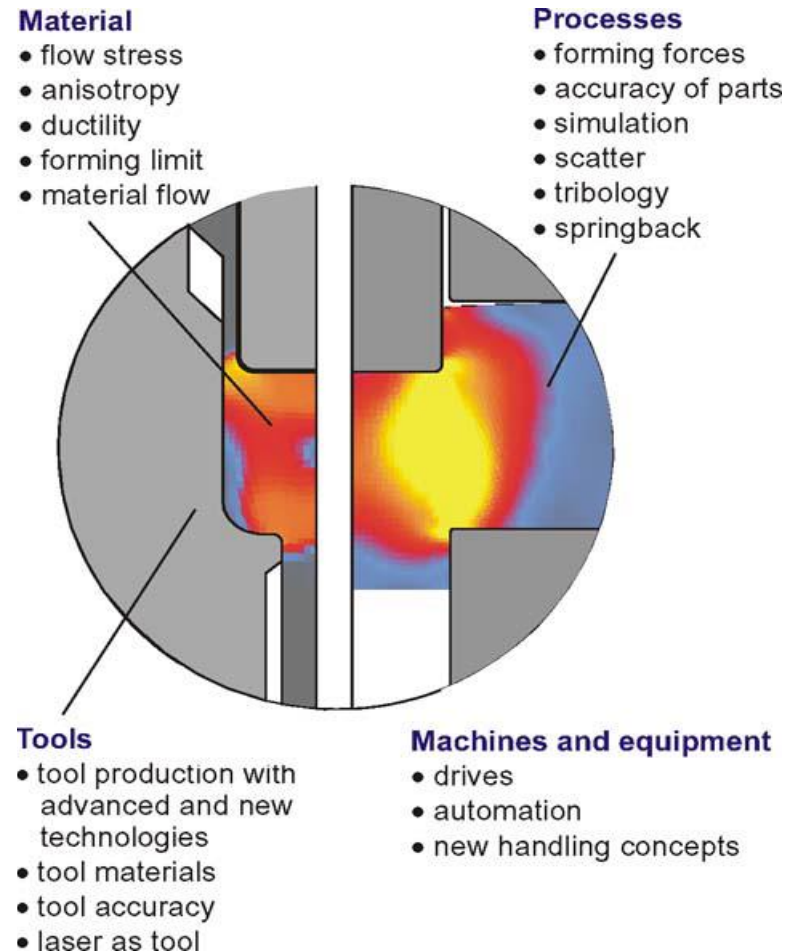
NEDOSTACI:

- Izrada alata za zapreminsko oblikovanje, posebno složenih kontura
- Ostvarenje tesnih tolerancija i visokog kvaliteta obrađene površine, pogotovo kod primene istiskivača i kalupa

Alternativne metode izrade prevazilaze ove probleme.

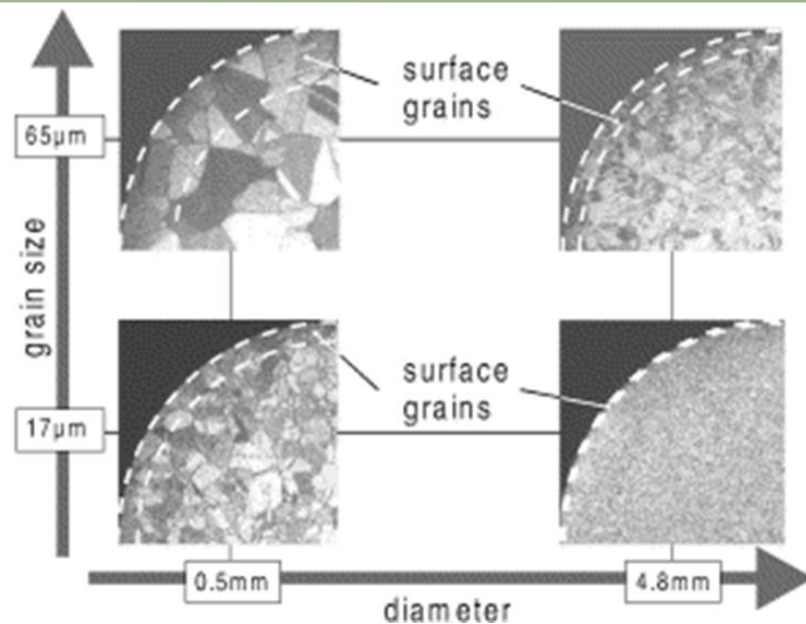
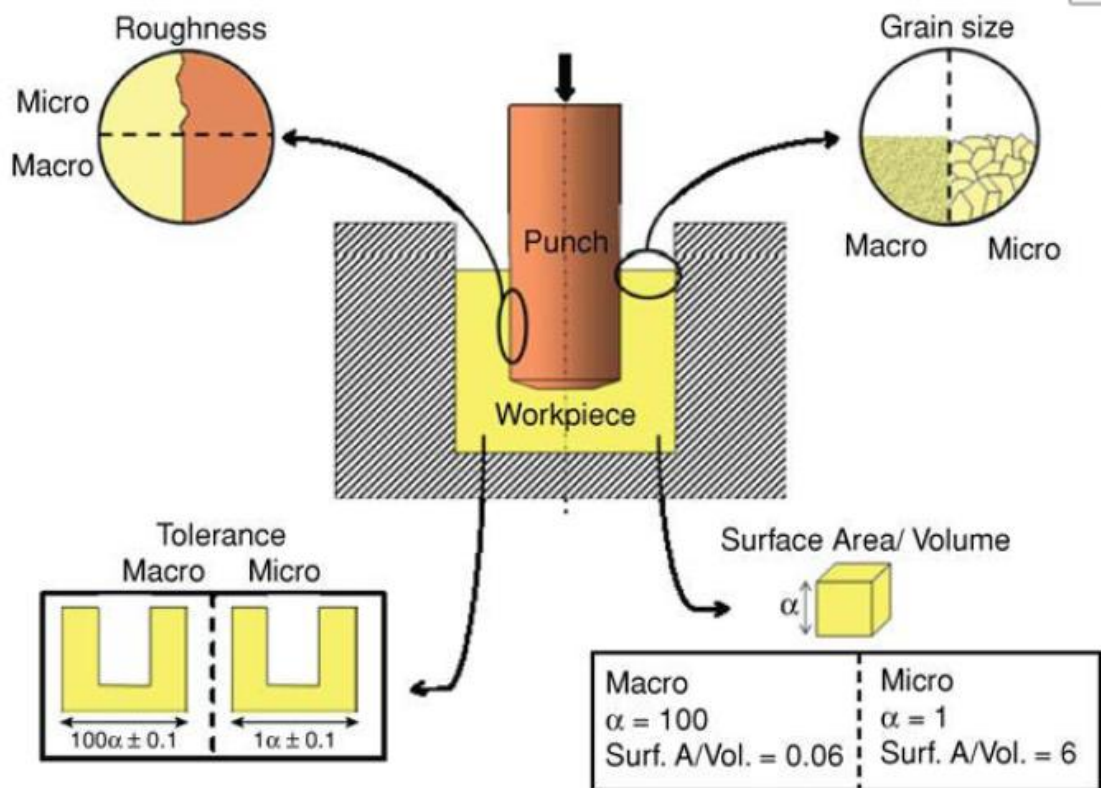
EFEKAT VELIČINE

- Primena mikro oblikovanja je ograničena problemima koji se javljaju pri transferu znanja iz makro u mikro područje.
- Napon tečenja, anizotropnost, žilavost i granica izvlačenja zavise od veličine priprema i mikrostrukture, što utiče na projektovanje procesa.
- Deformacione sile, tribologija, elastično vraćanje, nedovoljna tačnost gotovih delova moraju se dodatno uzeti u obzir.



MIKRO OBRADA I KARAKTERIZACIJA – MIKRO OBLIKOVANJE PL.DEF.- 3

➤ Efekat veličine se ogleda u smanjenju broja zrna koja ulaze u celokupnu zapreminu dela, u povećanju odnosa površine spram zapremine i uticaju hrapavosti koja utiče na sakupljanje lubrikanta u „džepovima“.

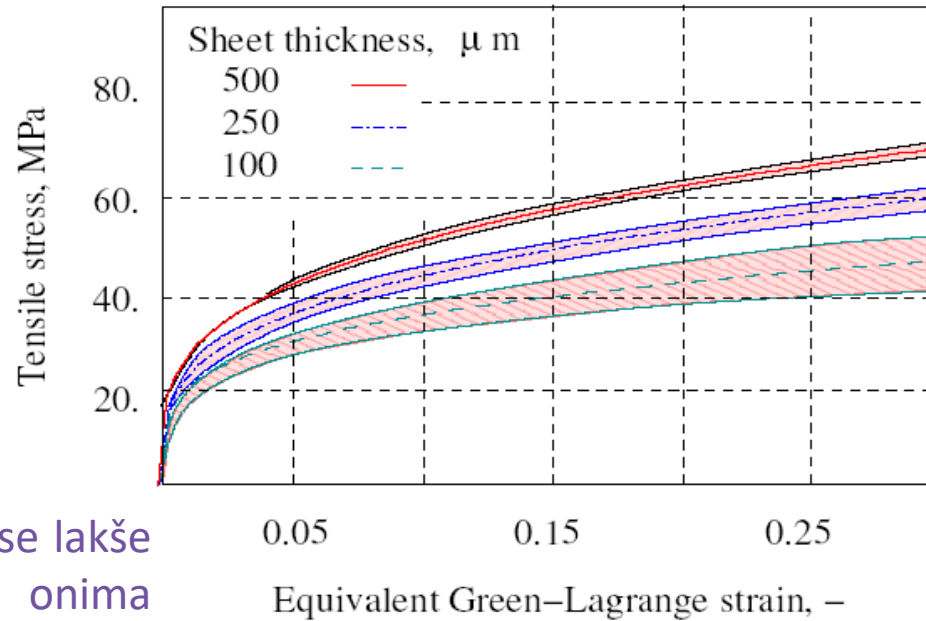


Manji delovi imaju veći odnos površina/zapremina

$$S \sim a^2$$

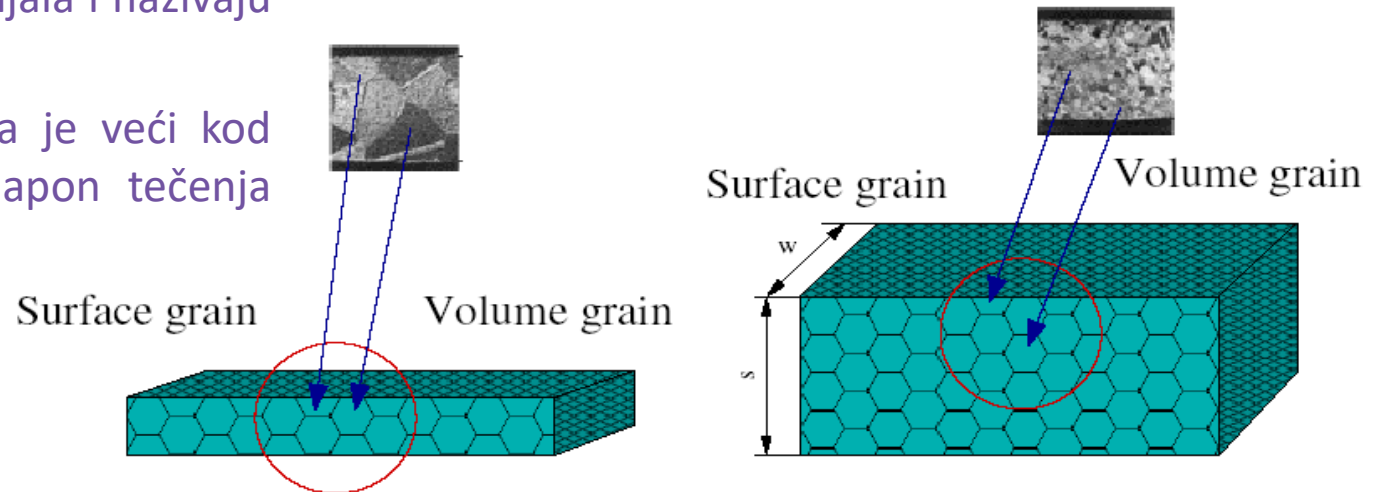
$$V \sim a^3$$

Posledica uticaja promene odnosa površina/zapremina je smanjene napona tečenja



➤ Zrna na graničnoj površini se lakše pomeraju u poređenju sa onima unutar strukture materijala i nazivaju se slobodna zrna

➤ Udeo slobodnih zrna je veći kod mikro delova, te je napon tečenja manji u tom slučaju.

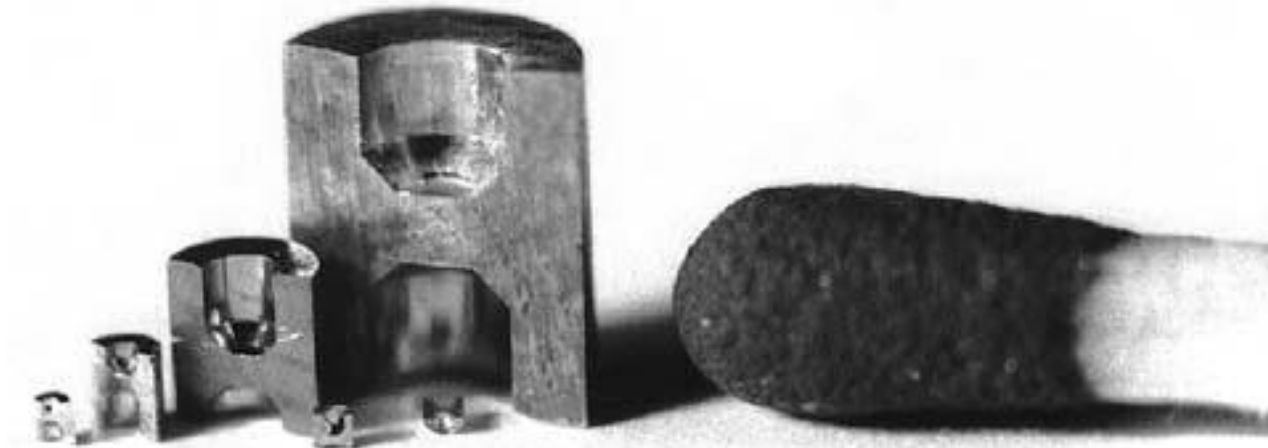
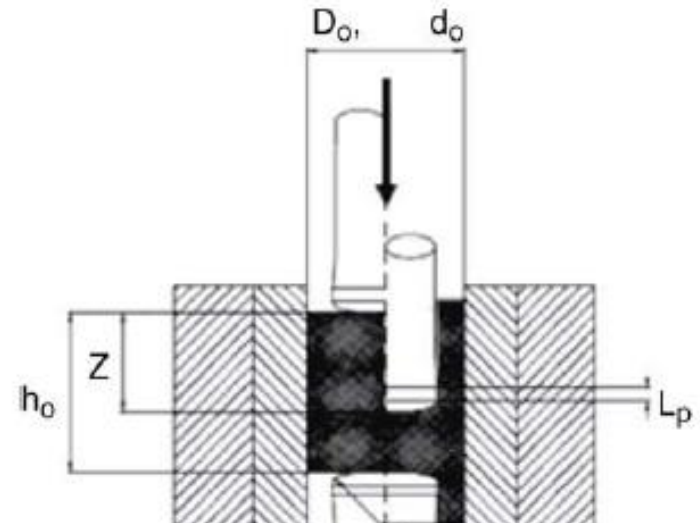


MIKRO ISTISKIVANJE

- Poledica smanjenja broja zrna po zapremini je uvećanje pritiska na istiskivač usled povećanog trenja. Ovo je jedan od aspekata efekta veličine, koji ima uticaja samo kod obrade sa podmazivanjem. U suprotnom (bez podmazivanja), trenje je nezavisno od efekta veličine.
- Test kombinovanog istiskivanja sa podmazivanjem dvostrane čaure se koristi za određivanje trenja u makro obradi istiskivanjem. Poređenjem visina čaura dobijenim istosmernim i suprotnosmernim istiskivanjem se utvrđuje koeficijent trenja za određeni materijal alata i/ili obratka i izbor lubrikanta.

Trenje zavisi od:

- Površinske hrapavosti kontaktnog para
- Materijala kontaktnog para
- Kontaktne pritiska
- Sredstva za podmazivanje
- Temperature



- Test kombinovanog istiskivanja čaure sa vratilom se koristi za određivanje trenja u mikro obradi istiskivanjem. Pokazatelj uvećanja trenja je povećanje visine čaure koja se formira pri suprotnosmernom istiskivanju.

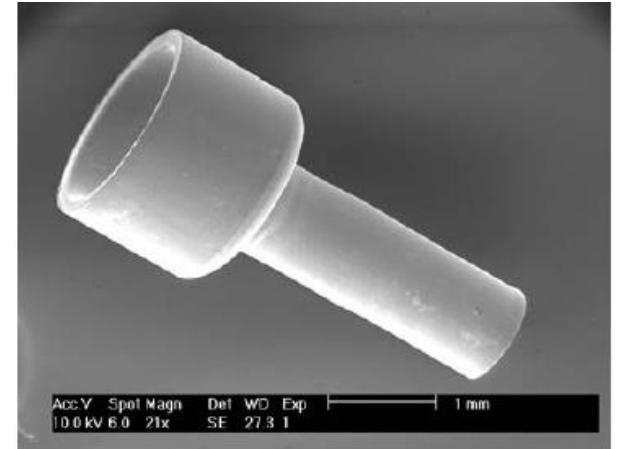
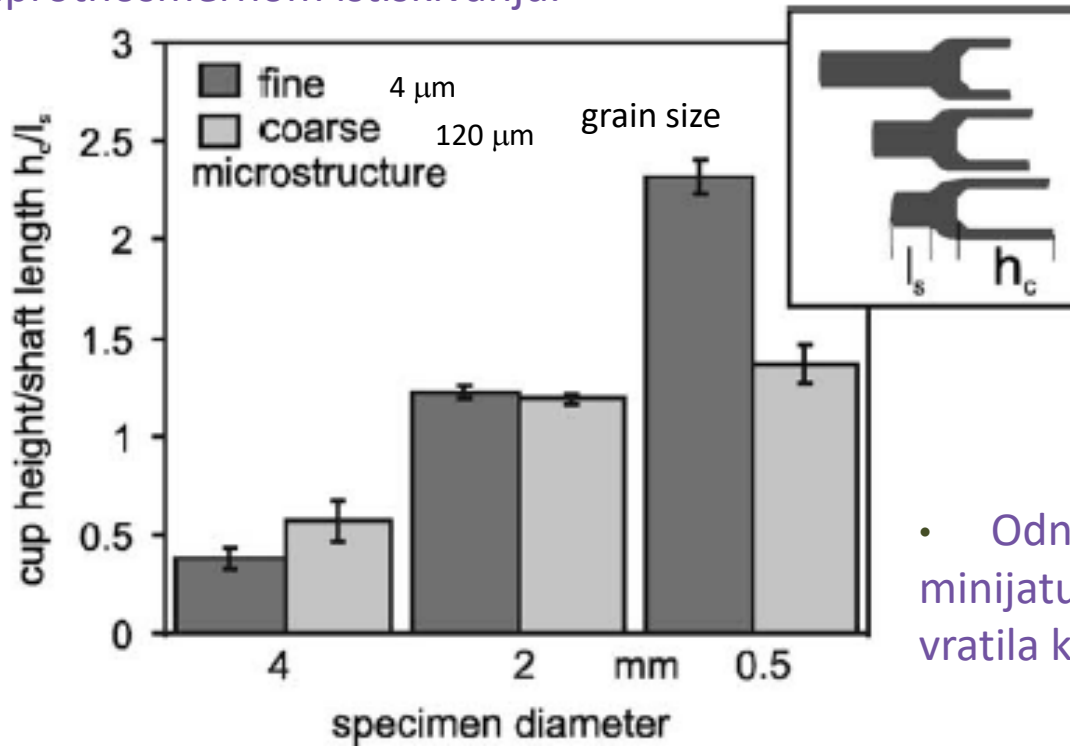


Figure 4: Shaft of a micro motor; material: SPCE steel [9]

- Odnos visine čaure i vratila sa minijaturizacijom raste (čaura je viša od vratila kod treće skice dela).
- Trenje se posebno uvećava u slučaju fine strukture materijala (tamni stubići na dijagramu).
- Kod grube strukture materijala odnos visine čaure i vratila je manji nego u slučaju fine strukture, jer je velikim zrnima lakše da teku kroz veći nego kroz manji procep.
- Veličina zrna direktno utiče na stepen deformacije.

Trenje na mikro nivou se može objasniti preko MODELA OTVORENIH I ZATVORENIH DŽEPOVA kod izvlačenja sa sredstvom za podmazivanje.

➤Kada deformaciona sila deluje na podmazanu površinu obratka, neravnine (uzvišenja) se plastično deformišu. Time se povećava pritisak na sredstvo za podmazivanje, koje se nalazi zarobljeno u udubljenjima (zatvoreni džepovi). Na taj način se opterećenje raspoređuje na površinu zatvorenog džepa i smanjuje komponente oterecenja duž normale, a shodno tome i trenje.

➤Udubljenja koja su povezana sa ivicom (otvoreni džepovi) ne mogu zadržati sredstvo za podmazivanje, koje pod dejstvom opterećenja iscuri. Tako se opterećenje raspoređuje samo na uzvišenjima, te je povećano trenje. Ispravljanje hrapavosti je u ovom slučaju intenzivnije, jer je povećan pritisak na manji broj uzvišenja.

➤Zatvoreni džepovi utiču na smanjenje trenja, nasuprot otvorenima, koji se javljaju na određenoj udaljenosti od ivice.

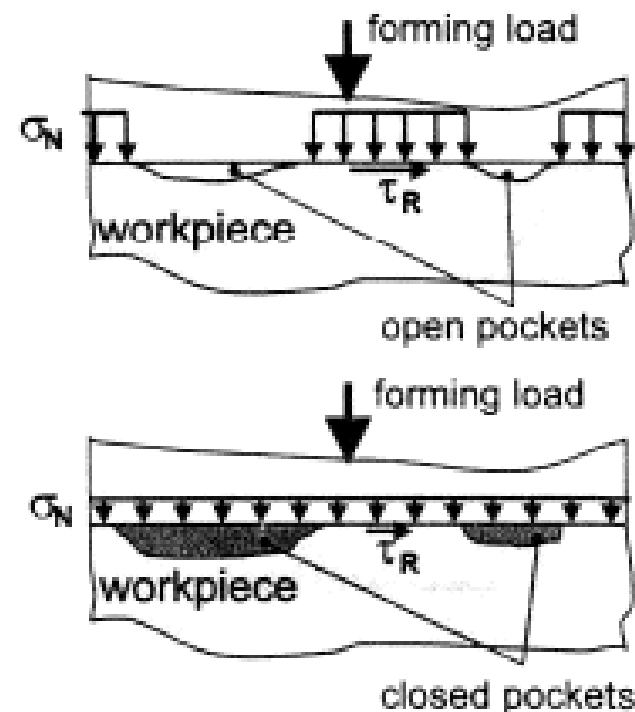
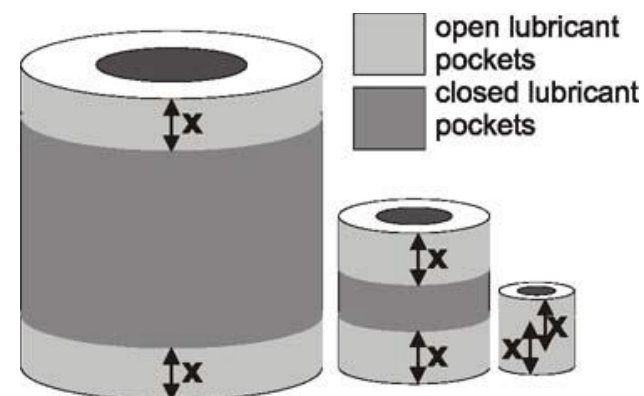
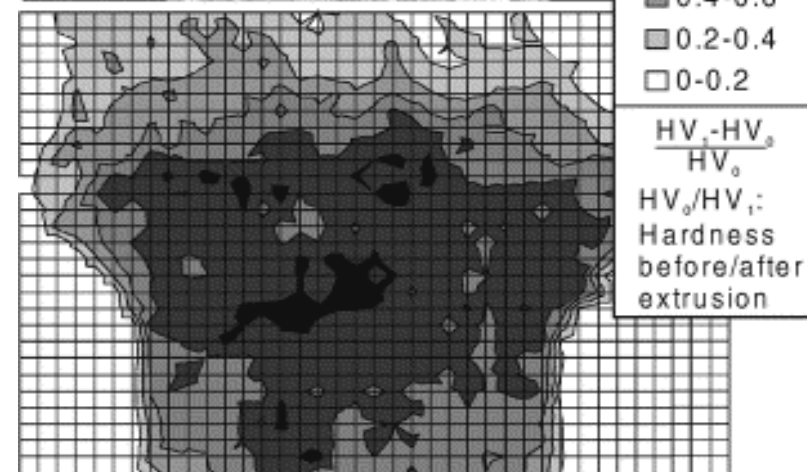
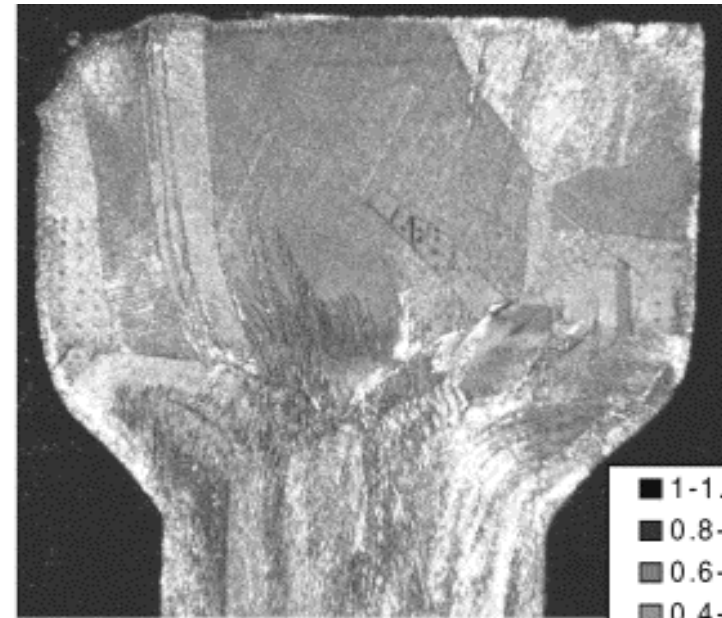
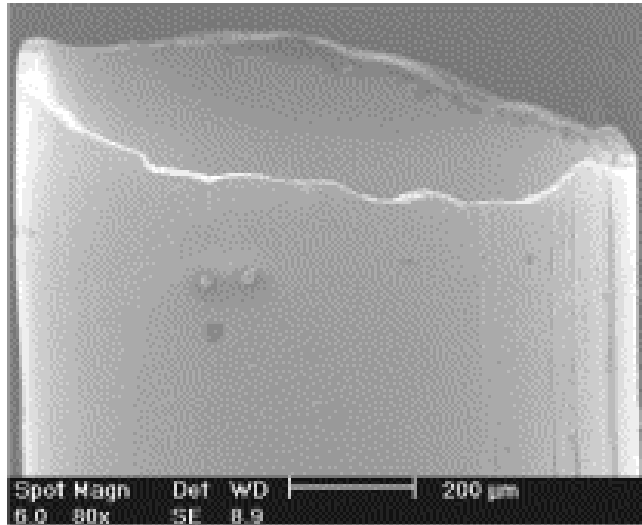


Figure 4. Open and closed lubricant pockets



Formiranje ruba je posledica različitih veličina zrna i njihove orijentacije, koja pod dejstvom deformacione sile teku kroz procep između kalupa i istiskivača. Ovo je jedan od aspekata efekta veličine.

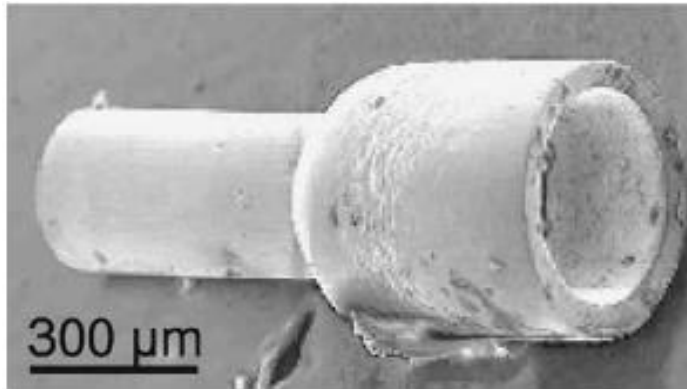


Tvrdoća nakon procesa istiskivanja nije ravnomerno raspoređena, već se najveće otvrdnjavanje (crne zone na slici) raspoređuje na zrna u zavisnosti od orijentacije, veličine i lokacije u materijalu.

mISTISKIVANJE -PRIMERI

Najmanji gotov deo, koji se nalazi u industrijskoj primeni je vratilo od bakra prečnika 0.8 mm i debljine zida čaure od 125 μm -Proizvodi se kombinovanim istiskivanjem, tako što se čaura dobija suprotnosmernim, a vratilo istosmernim istiskivanjem

Na istraživačkom nivou najmanji gotov deo dobijen je kombinovanim istiskivanjem, prečnika vratila 300 μm i debljine zida čaure 50 μm



Izvlačenje superplastičnih materijala kao što je Al-78Zn se koristi za izradu ozupčenih vratila sa modulom od 10 μm i podeonim krugom od 100 μm

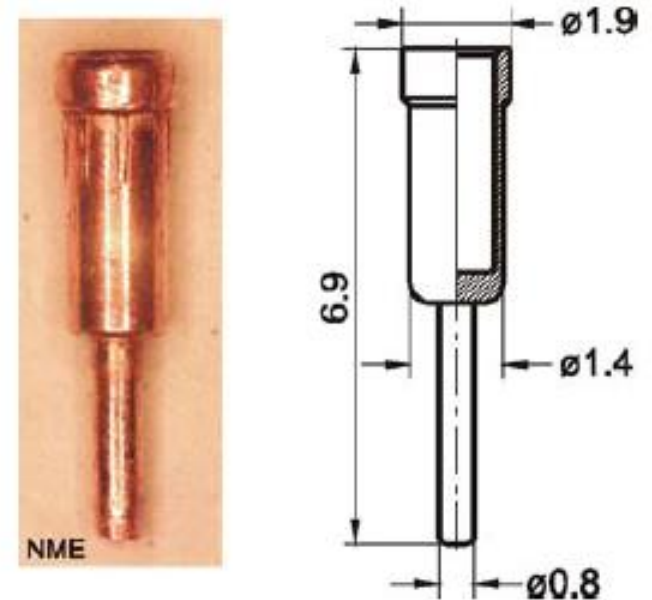
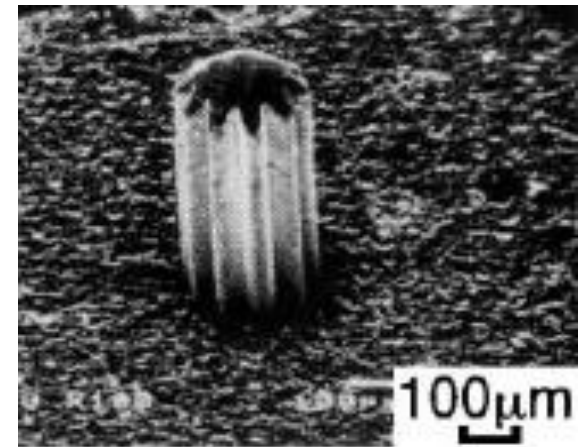


Figure 6: Extruded copper pin (NME)



mSAVIJANJE - PRIMERI

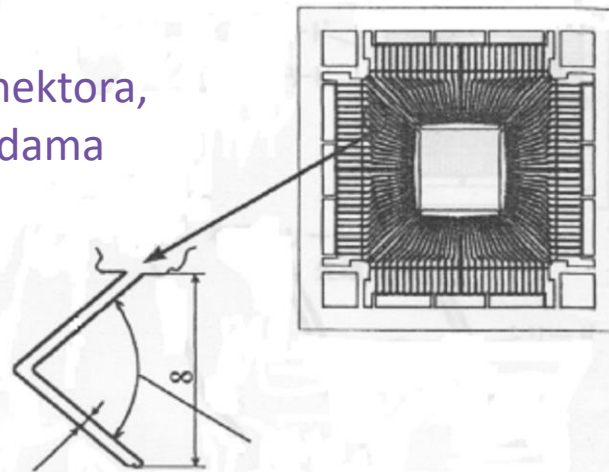
Važna primena mikro obrade lima se zasniva na industriji konektora, kontaktnih opruga i okvira provodnika.-Oni se dobijaju metodama savijanja i delimičnog prosecanja. Debljina lima je $150\ \mu\text{m}$.

Savijanje žice je metod kojim se dobijaju delovi (spirale) za elektro i medicinsku primenu

- 450 spirala u minuti prečnika žice oko $100\ \mu\text{m}$
- Endoskopske spirale imaju prečnik i do $60\ \mu\text{m}$



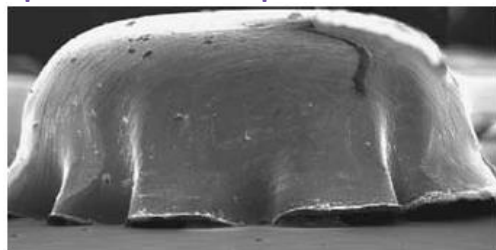
Figure 5: Micro springs and filaments (Wafios)



Probijanje, prosecanje i savijanje se primenjuje i u biomedicinskoj oblasti.

mIZVLAČENJE

Mikro obrada lima izvlačenjem je u fazi ispitivanja po metodama pokušaja i greške uz pomoć softvera za simulaciju preslikanih iz makro oblasti. Nastanak defekata je kombinacija parametara procesa obrade.



Blank thickness: 0.02 mm
 Drawing ratio: 1.8
 Punch diameter: 1.0 mm
 Drawing depth: 0.5 mm
 Drawing velocity: 1.0 mm/s

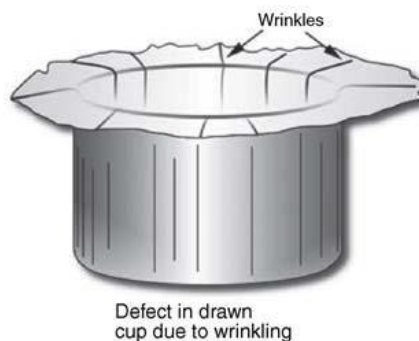
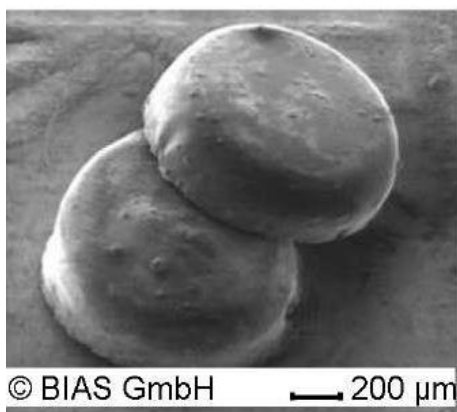
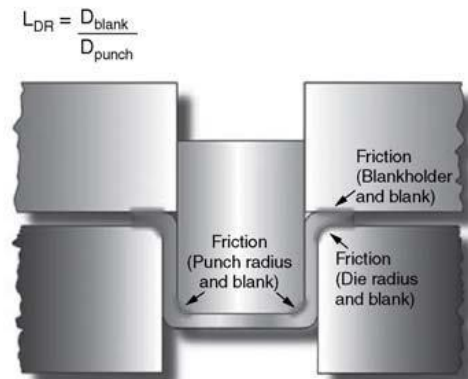
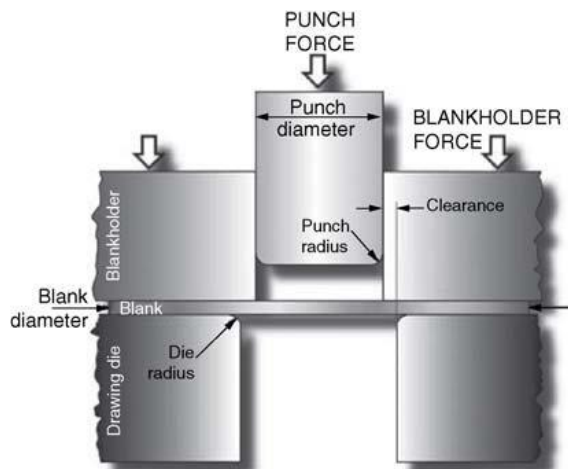
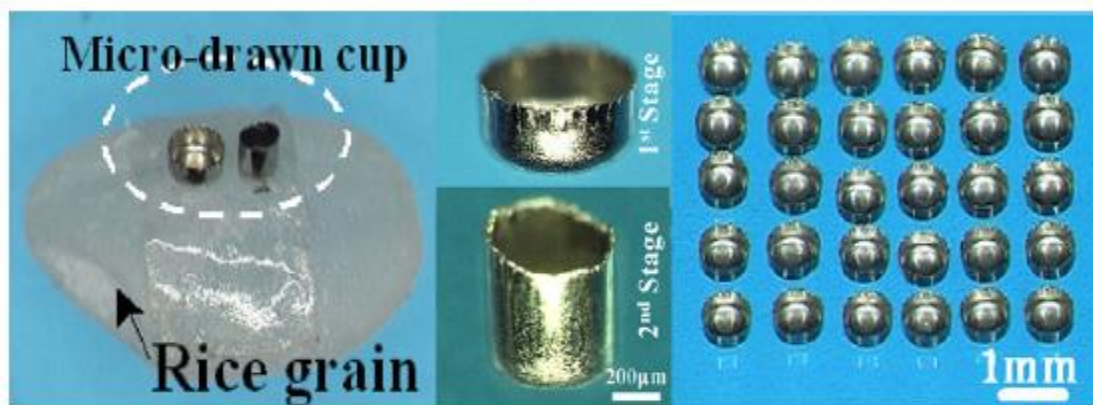
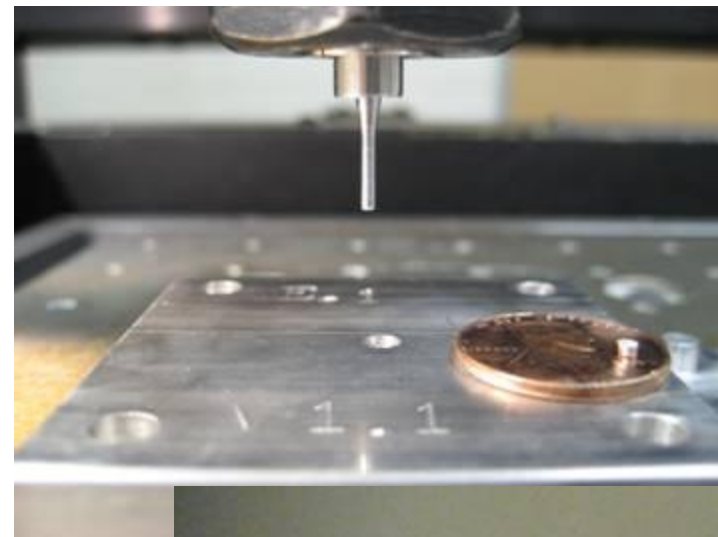


Fig. 4 - Appearance of microcups (a) on a rice grain and close-up images at each stage, (b) 30 microcups of SUS304-H.

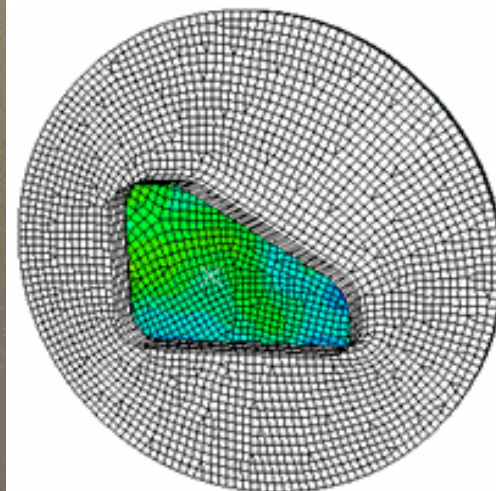


(a)

(b)

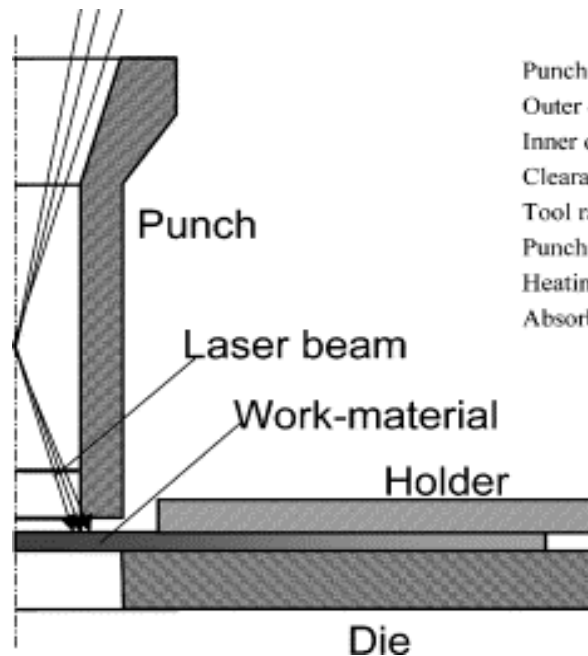
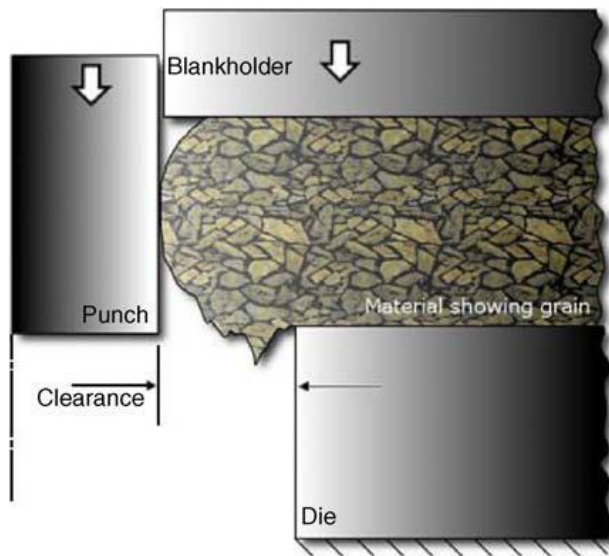


mIZVLAČENJE I –PRIMERI dela i alata

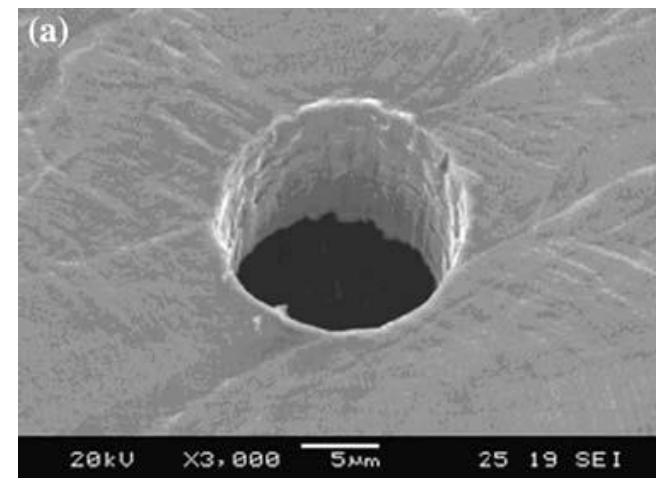
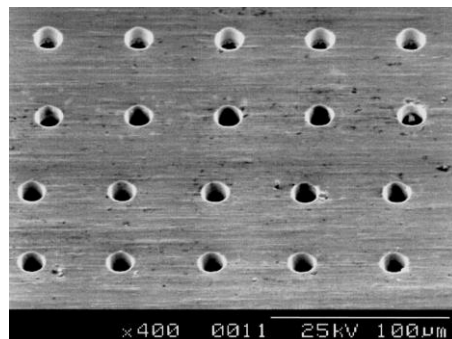
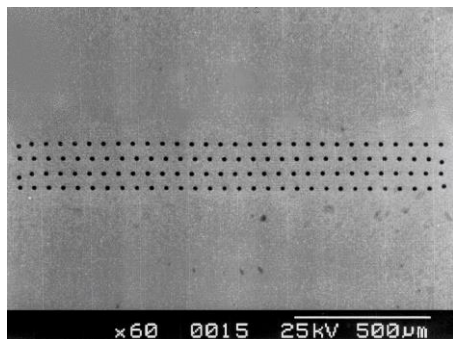


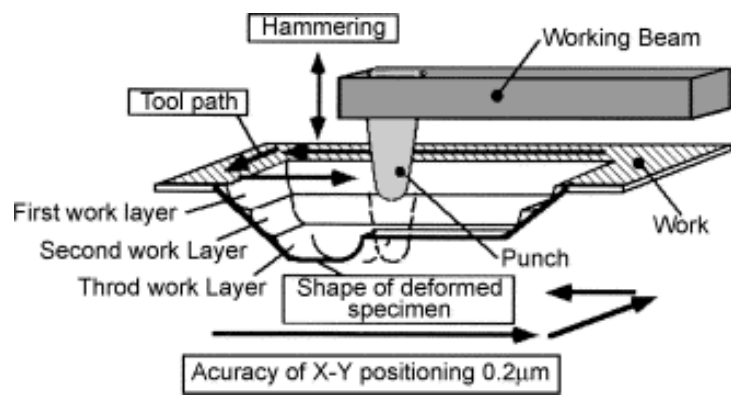
mPROBIJANJE-PRIMERI

Važna je primena probijanja kod izrade otvora mlaznica. Najmanji otvor dobijen probijanjem je $50 \mu\text{m}$

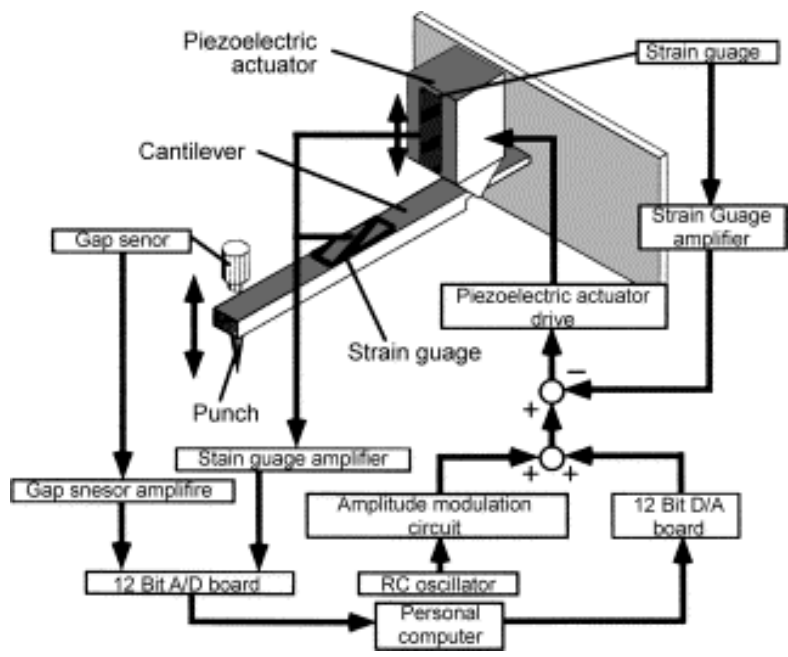
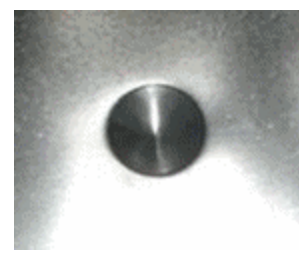


Punch:
 Outer diameter: 4.0mm
 Inner diameter: 2.5mm
 Clearance: $10 \mu\text{m}$
 Tool radius: $10 \mu\text{m}$
 Punch speed: 5mm/sec.
 Heating time interval: 2.4sec.
 Absorbed laser energy:
 0J, 48J, 96J and 120J

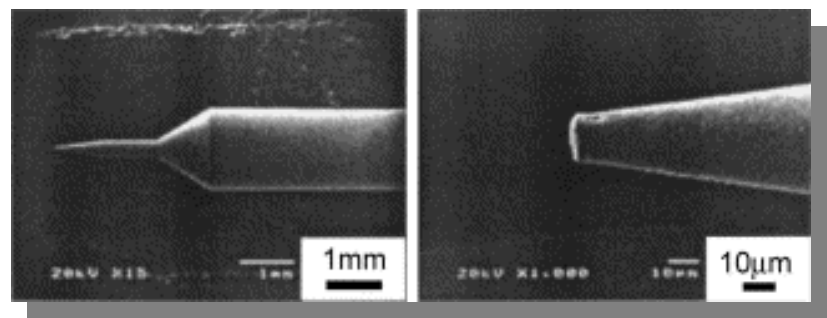
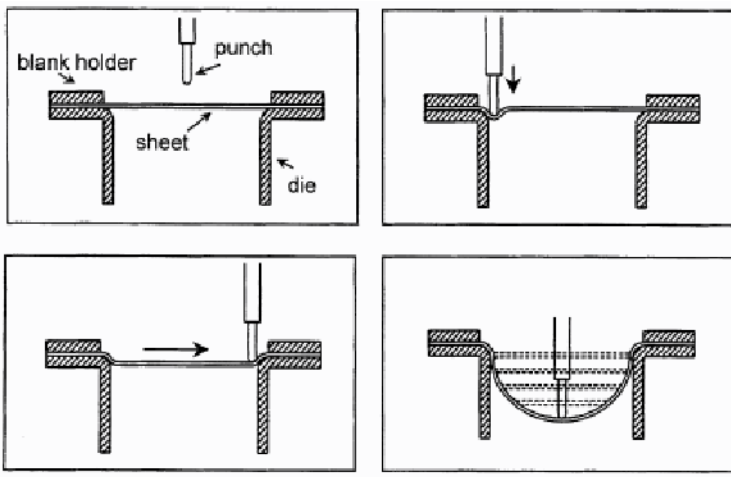




Staro-novi PRINCIP INKREMENTALNOG OBLIKOVANJA LIMA



Podsystem koji ostvaruje udarno dejstvo vrha “čekića”



Vrh “čekića”

mVALJANJE - PRIMER

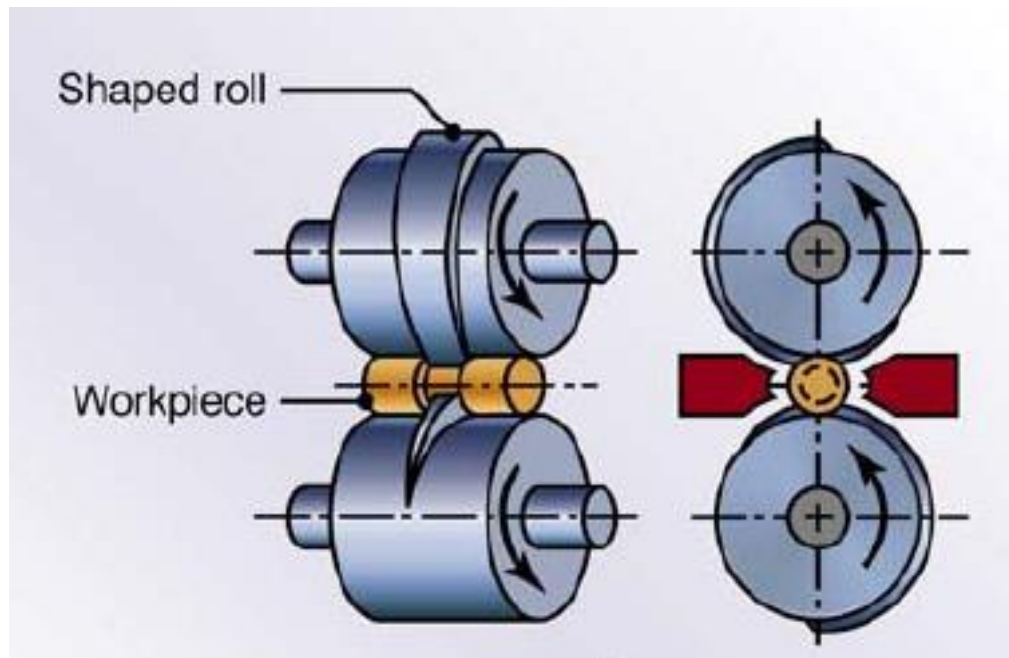


Figure 8: Micro screws (SFS)

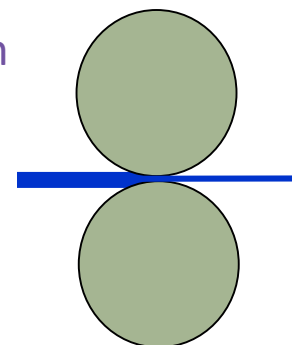


(Unit : mm)

Tanke folije od bakra, aluminijuma, nikla, srebra i čelika debljine od 6-10 μm se dobijaju procesom valjanja

Aluminijumske folije debljine od 6 - 250 μm imaju primenu u elektronici i pakovanju:

- ❖ Najtanja folija se koristi za umatanje čokoladnih poslastica 6 μm
- ❖ Folija za domaćinstvo 11-18 μm
- ❖ Folija za poklopce 30-40 μm
- ❖ Folija za posude za hranu 40-90 μm
- ❖ Limenke 150 –250 μm



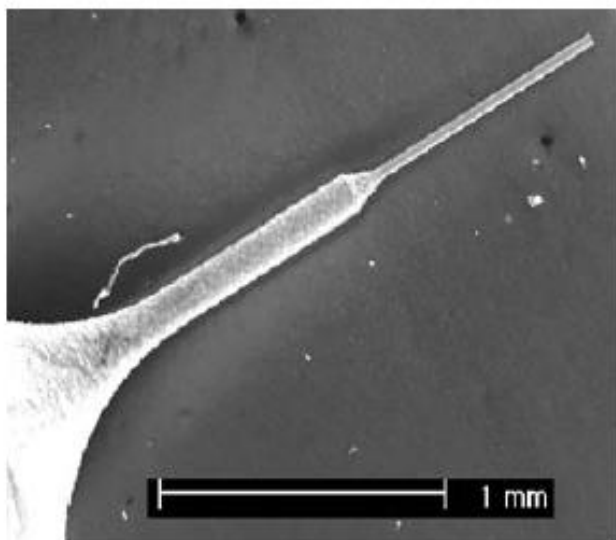
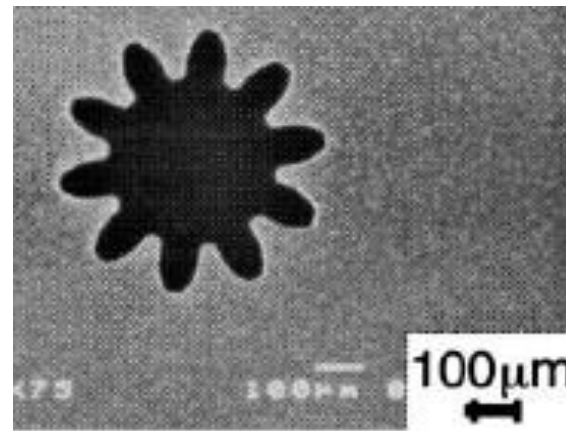


Figure 39: Punch, smallest diameter 60 μm (MPK Kemmer)

IZRADA ALATA

Konvencionalni metod obrade – brušenje, se koristi za izradu veoma tačnih alata za mikro obradu probijanjem



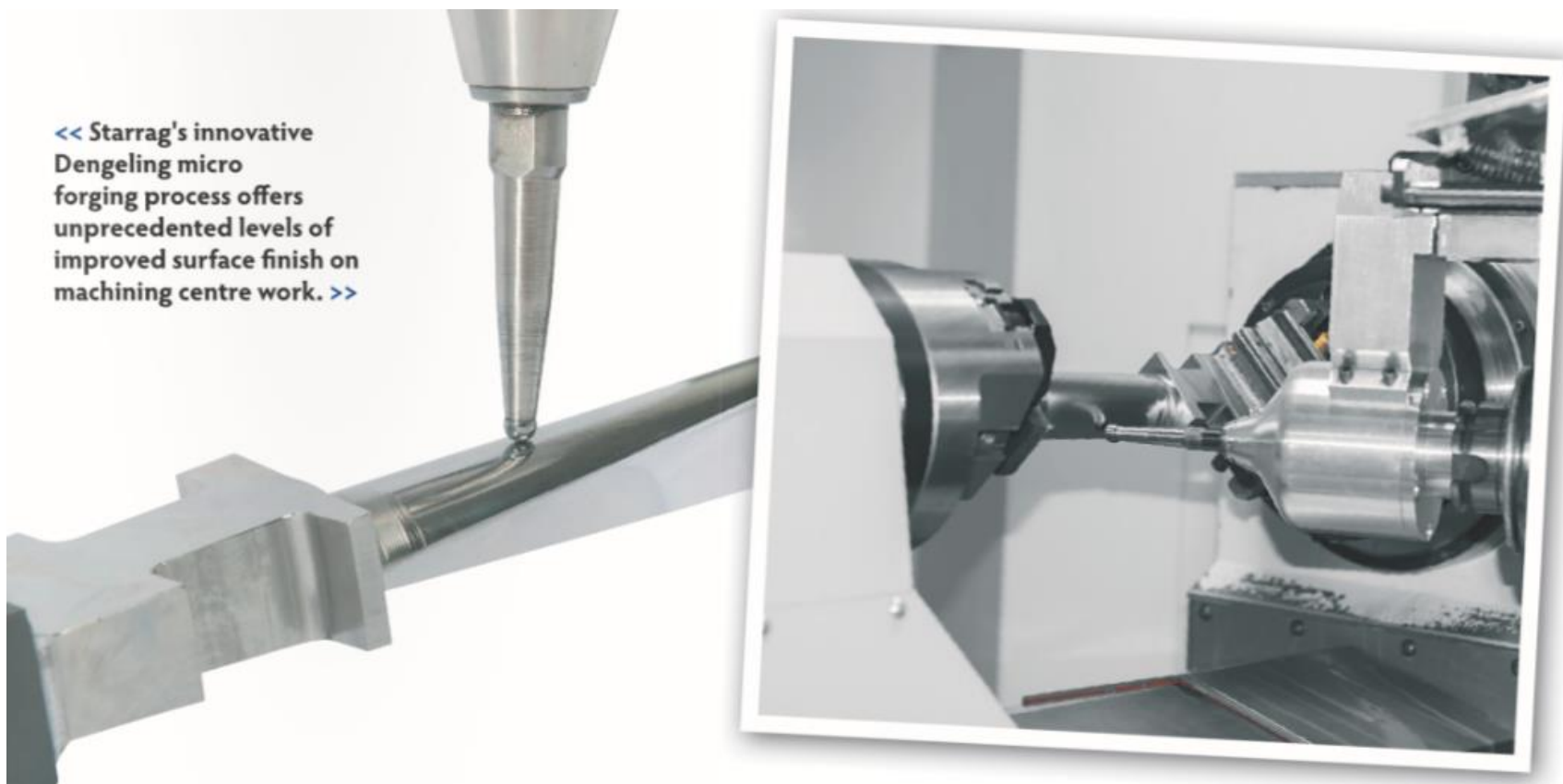
Micro-die fabricated from photochemically machinable glass.

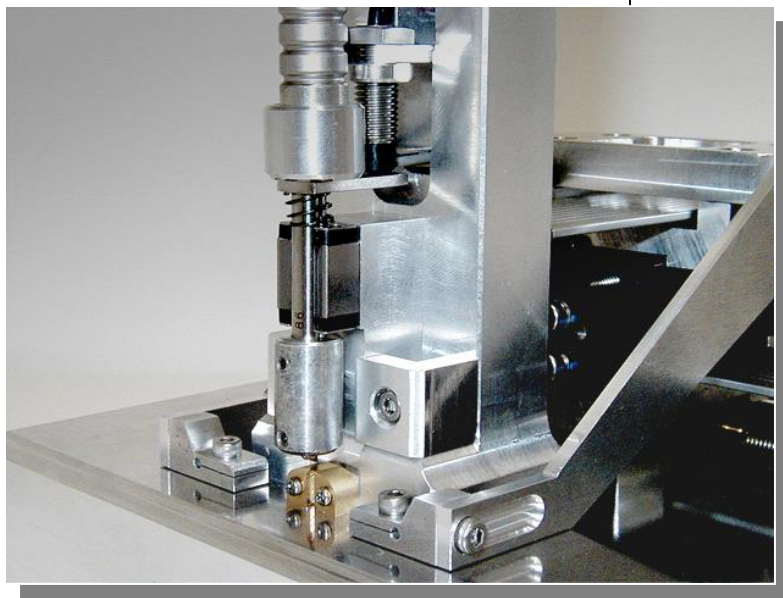
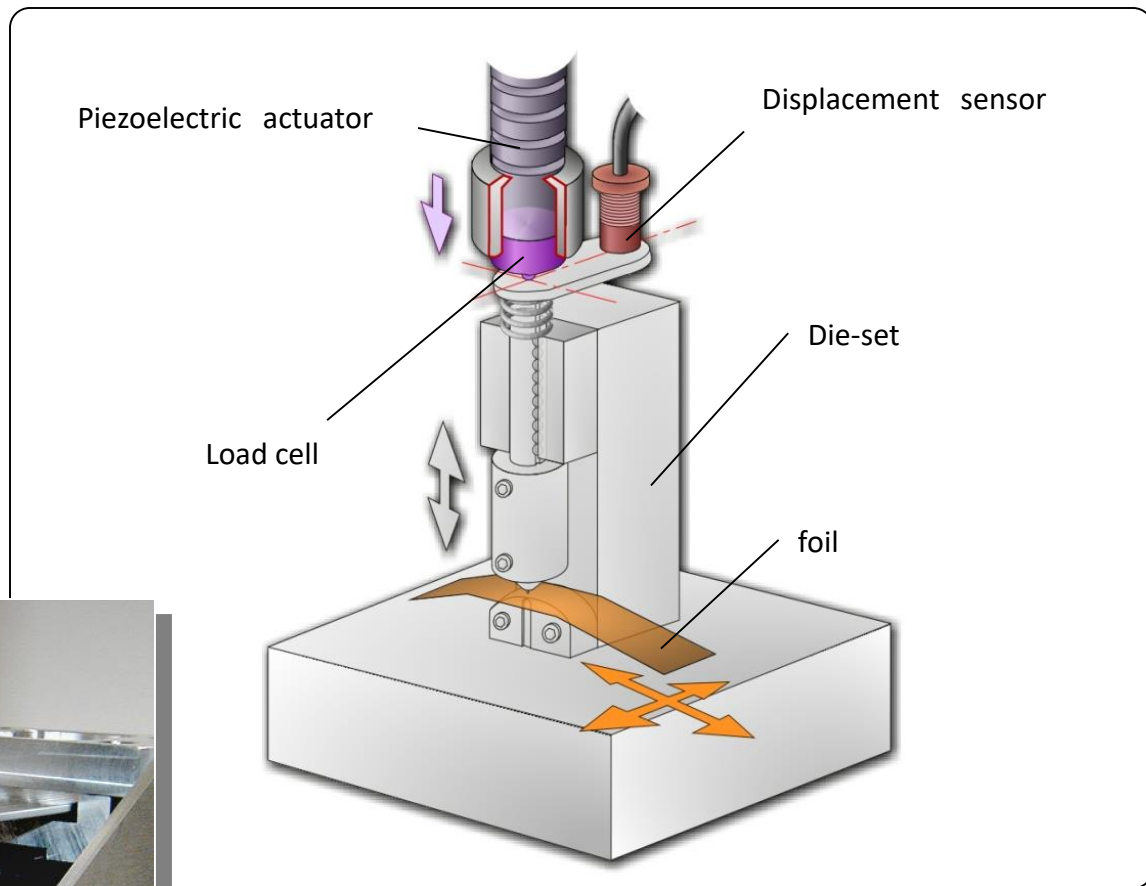


Elektroerozivna obrada žicom je poznata kao metod za izradu alata i kalupa za oblikovanje pl. def. Primenjuje se sa uspehom i u mikro oblasti.

Proces **mikrovanja** smanjuje površinsku hrapavost, umanjuje zaostale napone u površinskom sloju i unapređuje otpornost na habanja. Proces poliranja se može eliminisati uvođenjem mikrovanjem.

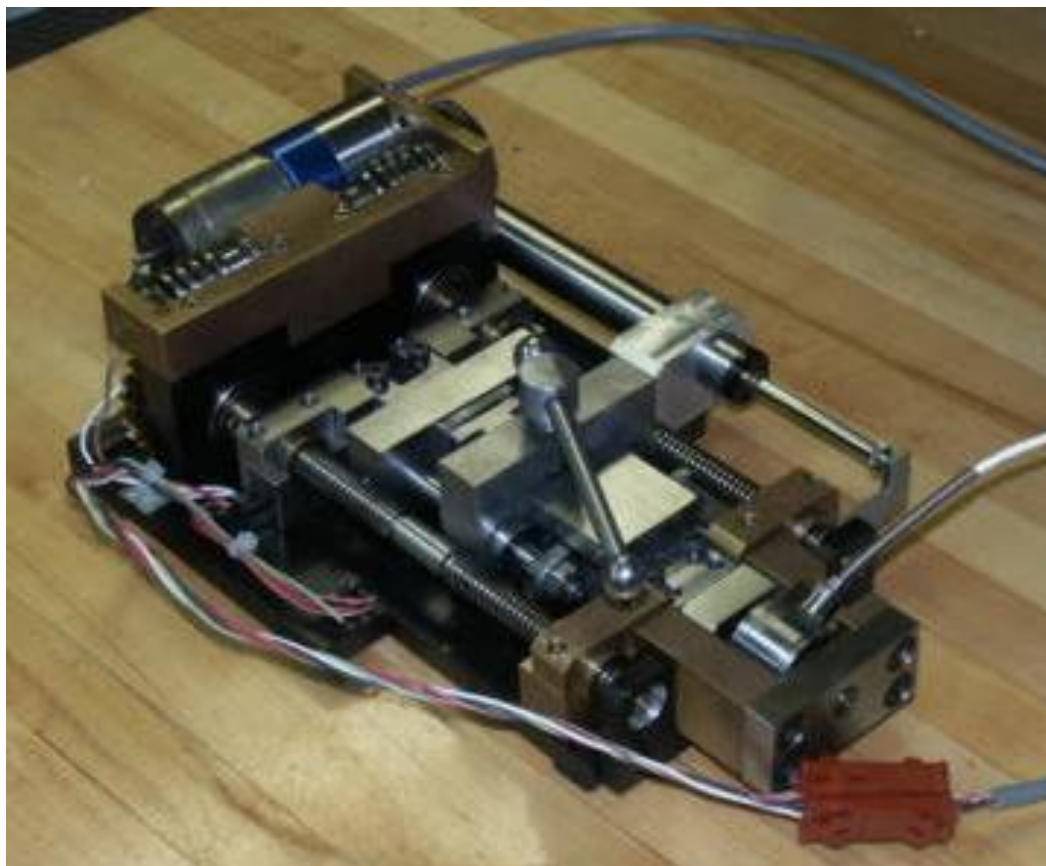
Ilustracije radi nakon glodanja se postiže hrapavost od $Ra=2.2\mu m$, a nakon mikrovanja se postiže $Ra=0.2\mu m$.





PRIMER MAŠINE ALATKE
Mikro-presa za probijanje

PRIMER ZA MAŠINU ALATKU Presa za mikro-izvlačenje



- 1st generacija NU mikro-presa
- Deformaciona sila: 10kN
- Max. brzina pritiskivača: 0.18 mm/sec
- Linearne vođice

LITERATURA

CIRP Annals Vol. 50/2, 2001

Journal of Materials Processing Technology Vol. 113, 2001

Journal of Materials Processing Technology Vol. 125-126, 2002

Journal of Materials Processing Technology Vol. 151, 2004

Transaction of the ASME Vol. 126, 2004

WEAR Vol. 260, 2006

Journal of Materials Processing Technology Vol. 204, 2008

CIRP Annals Vol. 59/1, 2008

Journal of Materials Processing Technology Vol. 209, 2009

CIRP Annals Vol. 60/2, 2011

Microelectronic Engineering Vol. 88, 2011

<http://www.schobertechnologies.de>

<http://www.epe-j.co.jp/eng/technology>

<http://www.microspecorporation.com>

<http://www.gla.ac.uk/schools/engineering/research/divisions/systems/materialsgroup/>