



UTICAJ TRENJA NA TEČENJE MATERIJALA I POJAVU DEFEKATA PRI ISTISKIVANJU

dr Velibor MARINKOVIĆ, dr Bojan RANČIĆ, *Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu*
dr Tomislav MARINKOVIĆ, *AD "Nissal", Niš, Srbija i Crna Gora*

Rezime:

Istiskivanje je proces deformisanja koji se koristi za izradu dugih, pravih, metalnih poluproizvoda, kao što su: šipke, puni i šuplji profili, cevi, žice i trake. Istiskivanje može da se vrši na sobnoj, ili povišenoj temperaturi, zavisno od legure i metode istiskivanja.

Uočeni su različiti tipovi tečenja materijala, koji mogu da se svrstaju u četiri tipa: S, A, B i C. Osnovni razlog za različito tečenje materijala jeste razlika vrednosti otpora trenja na zidu prijemnika. Sklonost ka defektima je najveća kod tipa C a najmanja kod S tipa tečenja.

Jedna od metoda za eliminisanje defekata istiskivanja jeste smanjenje površinskog trenja. Međutim, primena neadekvatnog maziva kod tipova A, B i C može da dovede do pojave mehurića i ljuspica na površini istisnutog proizvoda. Zbog toga je data analiza, kada treba primeniti podmazivanje, podela maziva prema temperaturskom opsegu primene, kao i koja maziva treba primeniti za odgovarajući tip tečenja. U radu su eksperimentalno određene vrednosti koeficijenta trenja za istiskivanje na toplo cevi od AlMgSi0.5 i to za slučaj bez podmazivanja i za podmazivanje koloidnim grafitom, kao i za istiskivanje na hladno cevi od Al99.5 za slučaj podmazivanja lojem. Ova maziva su dala dobre rezultate u pogledu kvaliteta istisnutih površina.

S druge strane, usavršavanje procesa i sredstava za obradu deformisanjem, usmereno je, između ostalog, i na promenu načina dejstva sila trenja - od reaktivnog ka aktivnom, pa su u radu date osnovne napomene o istiskivanju sa aktivnim dejstvom sila trenja.

1. UVOD

U literaturi i u praksi se upotrebljavaju dva termina: presovanje i istiskivanje¹. Proces istiskivanja se u principu ne razlikuje od presovanja. Uslovi deformisanja i stanja napona i deformacija su isti, a razlike su tehnološke prirode: kod presovanja se dobijeni proizvod odvaja od pres-ostatka, a kod istiskivanja se vadi iz alata pod dejstvom izbacivača; rastojanje čela pritiskivača od dna kalupa na završetku procesa uslovljeno je dozvoljenom visinom pres-ostatka, a ne dimen-

zijama dela kao kod istiskivanja; kod presovanja je dužina profila ograničena mogućnostima prese, a kod istiskivanja zadatim dimenzijama. Zbog toga će se u ovom radu upotrebljavati termin istiskivanje.

2. OSNOVE PROCESA ISTISKIVANJA

Istiskivanje je proces deformisanja koji se koristi za izradu dugih, pravih, metalnih poluproizvoda, kao što su: šipke, puni i šuplji profili, cevi, žice i trake. Princip je veoma jednostavan: Pod dejstvom velike sile, pripremak se iz zatvorenog prijemnika istiskuje kroz kalup, da bi se dobilo smanjenje poprečnog preseka. U zavisnosti od korišćenog materijala i kalupa, mogu se dobiti poprečni preseki različitog stepena složenosti.

¹ Termini su preuzeti iz nemačke literature (Strangpressen-Fliesspressen) i ruske literature (pressovanie-vidavlivanie) Na engleskom govornom području koristi se jedinstveni termin (extrusion).

Istiskivanje može da se ostvari na sobnoj temperaturi, ili na povišenoj temperaturi, zavisno od legure i metode. Na slici 1, prikazano je kako se od prese, preko umetnutog bloka, sila istiskivanja prenosi na pripremak. Prijemnik je sastavljen od više tankozidnih cilindara, umetnutih jedan u drugi (zbog velikih napona u radijalnom pravcu), koji pritežu čauru otpornu na habanje.

Prema DIN-u 8582 i 8583, istiskivanje spada u "deformisanje pritiskom", jer se kod istiskivanja, za razliku od većine drugih procesa obrade deformisanjem, javlja slučaj da su sva tri glavna napona - naponi pritiska. Normalni napon u aksijalnom pravcu σ_z je najveći po apsolutnoj vrednosti. Normalni naponi u radijalnom i tangencijalnom pravcu σ_p i σ_θ imaju približno iste vrednosti, ali su po apsolutnoj vrednosti manji od σ_z . Povoljno naponsko stanje pritiska ukazuje na veliku rezervu plastičnosti, pa je zbog toga moguće istiskivati materijale, koji se veoma slabo deformišu drugim metodama obrade deformisanjem.

Legure kao što su CuSn8 (kalajna bronza), ili legura aluminijuma za obradu na automatima za rezanje AlCuMgPb, koje je nemoguće valjati na toplo bez naprslina, mogu da se istiskuju sa izvanrednom površinom.

Idealno posmatrano, normalni napon u aksijalnom pravcu je jednak nuli na izlazu iz kalupa. Ipak, uticaj trenja može da dovede do pojave napona istezanja, koji uslovljavaju deformacije istezanja na površini različitih legura. Zbog

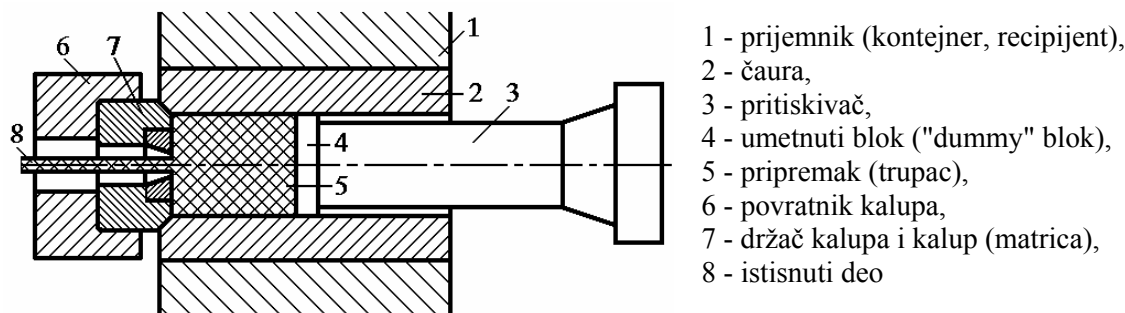
ovoga je ograničena pogodnost za istiskivanje mnogih metala i legura.

3. TIPOVI TEČENJA MATERIJALA

Istiskivanje se obično ostvaruje kao diskontinualan proces, tj. naredni pripremak se ne ubacuje, dok se prethodni ne istisne. Nestacionarna faza tečenja je izazvana promenom temperature u pripreмку i ograničenom dužinom pripreмка, a isto tako i trenjem između prijemnika i pripreмка i između umetnutog bloka i pripreмка. Ovo dovodi do neuniformnog tečenja od čela prema kraju pripreмка i uslovljava promene radnog pritiska (sile) u toku ciklusa. Razlike u temperaturama dovode do promene osobina materijala i po poprečnom preseku i duž istisnutog dela, što može da dovede do defekata.

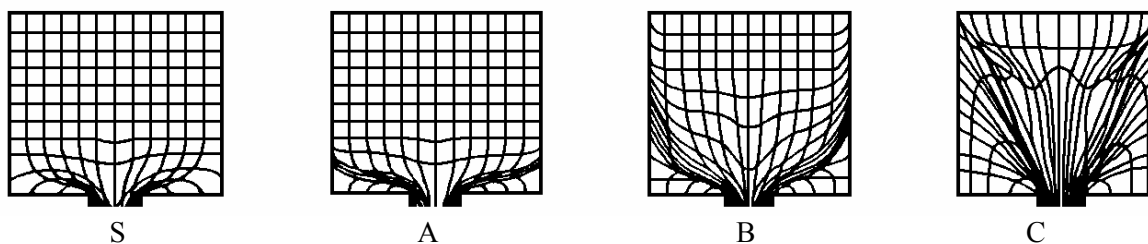
Korišćenjem disk metode (više istih diskova, od kojih svaki može da se identifikuje optički ili metalografski, se objedinjuju u pripremak), metode sa indikatorskim oznakama (dobijaju se podaci samo za površinski sloj) i najprimenjivnije metode mernih mreža, načinjeni su brojni modeli tečenja materijala u prijemniku pri istiskivanju.

Osnovni razlog za različito tečenje materijala je razlika vrednosti otpora trenja na zidu čaure. U nekim slučajevima istiskivanja na toplo dolazi do odvođenja toplote u kućište prijemnika, što uslovljava da je površina pripreмка hladnija od centralnog dela, pa je i napona tečenja u površinskim slojevima veći.



- 1 - prijemnik (kontejner, recipijent),
- 2 - čaura,
- 3 - pritiskivač,
- 4 - umetnuti blok ("dummy" blok),
- 5 - pripremak (trupac),
- 6 - povratnik kalupa,
- 7 - držač kalupa i kalup (matrica),
- 8 - istisnuti deo

Sl. 1. Šematski prikaz procesa istosmernog istiskivanja



Sl. 2. Šematski prikaz četiri različita tipa tečenja pri istiskivanju

Različiti tipovi modela tečenja mogu, prema rastućoj neuniformnosti tečenja, da se svrstaju u četiri tipa: S, A, B i C, [1], (sl. 2).

Tip tečenja S se odlikuje maksimalno mogućom uniformnošću tečenja u prijemniku. Plastično tečenje se odvija uglavnom u oblasti neposredno iznad otvora u kalupu. Veći deo neistisnutog priprema se kao čvrsto telo pomera kroz kalup, ostajući nedeformisan, dok čelo priprema na istom nivou ulazi u zonu deformisanja. Ovakvo tečenje može da se ostvari jedino kada nema trenja između alata i priprema. U praksi nije moguće istiskivanje bez trenja, ali se približan tip tečenja javlja pri primeni veoma efikasnog podmazivanja, na primer: pri hidrostatičkom istiskivanju ili istiskivanju čelika uz podmazivanje mazivom na bazi stakla, kao i kod suprotosmernog istiskivanja sa podmazivanjem kalupa. Materijal u uglu, zaprečen prijemnikom, kalupom i okolnim materijalom, zbog činjenice da se materijal kreće u pravcu najmanjeg otpora, obrazuje krutu, takozvanu "mrtvu zonu", koja je veoma mala kod tečenja tipa S.

Tip tečenja A nastaje, kada nema trenja između priprema i prijemnika, ali postoji znatno trenje na površini kalupa i držača kalupa. Ovo uslovljava smanjenje radijalnog tečenja u perifernim zonama i povećava udeo klizanja u ovom zonama. Zato je mrtva zona nešto veća u odnosu na tip tečenja S, a takođe i zona deformisanja. Ipak, deformisanje u centru je još uvek relativno uniformno.

Ovakvo tečenje nastaje pri istiskivanju sa podmazivanjem mekih metala i legura, kao što su: olovo, kalaj, α -mesinzi i kalajne bronze, ali i kod istiskivanja bakarnih priprema zaštićenih oksidnim slojem, koji služi kao mazivo.

Tip tečenja B nastaje, kada postoji trenje na zidovima prijemnika i kalupa i držača kalupa. Periferno tečenje se odvija na površini priprema/prijemnik, dok se središnji deo priprema, zbog manjeg otpora, ubrzava prema kalupu. Zona klizanja između zakočenih oblasti na površini i ubrzanog materijala u centru uslovljava povratak materijala u priprema. Zbog toga je ovde mrtva zona velika.

Na početku istiskivanja, deformacija smicanja je koncentrisana na periferne oblasti, ali sa razvojem deformisanja dolazi do širenja prema centru. Ovo povećava opasnost od uticanja materijala sa površine priprema (i unošenja uključaka nečistoća i maziva) u zonu klizanja i izlaženja ovih uključaka na površinu istisnutog profila u obliku mehurića i ljuspica. Dakle, mrtva

zona materijala nije potpuno kruta i može da ima uticaj, makar i u ograničenom obimu, na tečenje materijala. Tip tečenja B se viđa kod jednofaznih (homogenih) legura bakra, koje nemaju zaštitni oksidni sloj, kao i kod većine aluminijumskih legura.

Tip tečenja C se javlja kod istiskivanja na toplo, kada je trenje veliko kao kod tipa B, i kada je napon tečenja materijala u hladnijim, perifernim oblastima priprema znatno veći od onog u centralnoj oblasti, jer je površina priprema u obliku tvrde ljuske. Zbog toga je konična mrtva zona materijala mnogo veća i proteže se od čela priprema do završetka. Jedino je materijal unutar levka plastičan na početku istiskivanja i on se znatno deformiše pri uticanju u otvor kalupa. Tvrda ljuska i mrtva zona se, sa smanjenjem dužine priprema, aksijalno sabijaju i preusmeravaju iz spoljašnje u centralnu oblast na zadnjem kraj priprema, a zatim utiču u otvor kalupa.

Ovaj tip tečenja se sreće kod $(\alpha+\beta)$ -mesinga. Tečenja tipa C se javlja i tamo gde postoji tvrda ljuska na pripremu, a kada je istovremeno i trenje na čauri prijemnika veliko. Ovaj tip tečenja se javlja i kada je napon tečenja povećan zbog velike razlike temperatura između priprema i prijemnika.

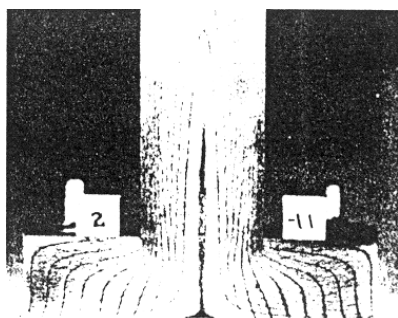
3.1 Defekti istiskivanja izazvani tečenjem materijala

Defekti istiskivanja, koji će se ovde ukratko opisati, posledica su neuniformnog tečenja u prijemniku. Sklonost ka defektima je najveća kod tipa C i opada, preko B i A, do S tipa tečenja. Osim nastajanja levka ("dimnjaka") u pres-ostatku, skoro da ni jedan defekt ne nastaje pri tečenju tipa S, dok tipovi tečenja A i B mogu da dovedu do pojave ljuske, a tip C do pojave "lule". Ukoliko se primenjuje mazivo, kod poslednja tri tipa može da dođe do pojave mehurića i ljuspica.

"Dimnjak"

Materijal oko ose priprema utiče u otvor kalupa mnogo brže, nego onaj sa ivica priprema (zbog trenja o zid prijemnika i kalupa). Zbog toga kada kraj priprema prođe kroz kalup, dolazi do nastajanja šupljine u pres-ostatku. Ovaj "dimnjak" može da se protegne i u zadnji deo istisnutog profila, pa, zbog toga, priprema ne treba u potpunosti da se istiskuje. Optimalna dužina pres-ostatka mora da se odredi eksperimentalno.

"Dimnjak" se pojavljuje i kod suprotno-smernog istiskivanja punih profila, jer klizanje po kalupu nije sprečeno (sl. 3).



Sl. 3. "Dimnjak" nastao pri suprotosmernom istiskivanju olova, [2].

"Lula"

"Lula" predstavlja unutrašnje odvajanje materijala, (delimično ili potpuno deljenje poprečnog preseka istisnutog profila na unutrašnje jezgro i spoljašnju oblast, slika 4). Ovaj defekt se sreće u zadnjoj trećini istisnutog profila i ne treba ga mešati sa "dimnjakom". Defekt nastaje na periferiji umetnutog bloka, kada oksidnim slojem presvučena površina pripremljena dospe u materijal u centru, koji teče znatno brže. Oksidni sloj sprečava spajanje ovih slojeva materijala. Razlika u brzini između centralnog dela pripremljena i površinskih slojeva je najveća kod tečenja tipa C, pa se ovaj defekt istiskivanja prvenstveno sreće kod legura sa ovim tipom tečenja. Primeri su: $(\alpha+\beta)$ -mesinzi i neke legure aluminijuma.



Sl. 4. "Lula" u mesinganoj šipci, [3].

3.2 Metode za sprečavanje defekata istiskivanja

Sledeće metode mogu da se koriste za smanjenje defekata istiskivanja:

- istiskivanje sa omotačem (ljuskom) - prečnik umetnutog bloka je za 3 do 5 mm manji od prečnika prijemnika, pa se deo materijala pripremljena, koji je klizao oko umetnutog bloka i formirao cilindričnu ljusku, koja sadrži sve nečistoće, izbacuje posle svakog istiskivanja

(ako ljuska ostane u prijemniku, ili je samo delimično odstranjena, čeona površina narednog pripremljena će je ubaciti u centar istiskivanja, što dovodi do pojave defekata);

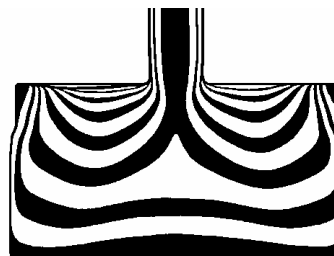
- mašinska obrada pripremljena (uspešnost metode je ograničena jedino oksidacijom obrađene površine pri zagrevanju pripremljena);
- istiskivanje sa dugim pres-ostatkom (uspešna, ali skupa metoda);
- izjednačavanje temperatura pripremljena i prijemnika (samo za temperature do 450°C).

Za eliminisanje defekata istiskivanja mogu da se koriste sve metode, koje zamenjuju neželjeni tip tečenja C sa mnogo homogenijim tipovima A i B, uključujući i smanjenje površinskog trenja i suprotno istiskivanje punih profila.

3.2.1 Smanjenje površinskog trenja

Tečenje tipa C može da se zameni tipom B, ili čak A, ako se kristi hidrostatičko istiskivanje, ili istiskivanje na hladno, sa podmazivanjem i korišćenjem koničnog kalupa. Ova metoda treba da se primeni da se sprečila pojava "lule". Ipak, visoki radni pritisci u alatu sprečavaju korišćenje ovih procesa za masovnu proizvodnju legura, kao što su mesinzi. Isto tako, podmazivanje kod normalnog istiskivanja na toplo nije praktično, jer se javljaju drugi defekti, kao što su nizovi mehurića, nastali od ubačenog maziva po površini proizvoda.

3.2.2 Suprotosmerno istiskivanje punih profila



Sl. 5. Približno S tip tečenja materijala

Ova metoda je veoma efikasna za promenu tipa tečenja u prijemniku. Ovde nema relativnog kretanja između površine pripremljena i prijemnika, pa se javlja tečenje tipa A, ili S (slika 5) Dakle, uslovi, koji dovode do pojave "lule", su otklonjeni.

3.3 Mehurići i ljuspice

Defekti, koji se javljaju na istisnutoj površini u obliku mehurića i ljuspica, mogu da nastanu pri deformisanju sa tečenjem tipa A i B. Ova vrsta defekta nastaje, (sl 6), kada površina pripremljena počne da utiče prema centru (po levku mrtve zone). Ako se na površini pripremljena nalaze nečistoće, oksidi ili mazivo, tada se male čestice,

ili čitavi slojevi ovih nečistoća ubacuju u zonu klizanja i skoro uvek ostanju neposredno ispod površine istisnutog proizvoda. Verovatnoća pojavljivanja ovog defekta raste proporcionalno veličini mrtve zone i prema zadnjem kraju istisnutog profila. I pri suprotosmernom istiskivanju punih profila se javlja ovaj defekt. Ponekad, mehurići ne nastaju neposredno posle istiskivanja, već posle zahtevane termičke obrade.



Sl. 6. Kretanje površine priprema ka centru, [4]

3.3.1 Sprečavanje pojave mehurića i ljuspica

Mogu da se koriste tri metode za sprečavanje uticanja površine priprema u centralni deo, tj. za sprečavanje pojave mehurića i ljuspica:

- (a) istiskivanje bez maziva i sa ravnim kalupom;
- (b) istiskivanje sa ljuskom i
- (c) istiskivanje sa podmazivanjem i koničnim kalupom.

3.3.1.1 Istiskivanje bez maziva i sa ravnim kalupom

Istiskivanje bez podmazivanja otklanja mogućnost pojave uključaka maziva u gotovom profilu, ali znatno povećava trenje između površine priprema po zidu prijemnika uslovljava da deo materijala priprema ne može da utiče u gotov profil. Dakle, tečenje materijala ne obuhvata površinu priprema, pa se zaostali površinski sloj, zajedno sa nečistoćama taloži na umetnutom bloku. Ova metoda, slična istiskivanju sa ljuskom, koristi se za istiskivanje aluminijuma. Metali sa oksidnim slojem (koji deluje kao mazivo) i koji su, prema tome, skloni pojavi mehurića i ljuspica (na primer: Cu, CuCr-legure i CuSn-legure), mogu se istiskivati ovom metodom bez defekata, ukoliko je površina priprema čista i po mogućstvu bez oksida. Od pomoći su i niža temperatura prijemnika i mali odnos dužine prema prečniku priprema.

3.3.1.2 Istiskivanje sa ljuskom

Ako se ljuspice i mehurići javljaju i kada se ne koristi mazivo, može da se koristi istiskivanje sa

ljuskom (koje se koristi i za sprečavanje pojave "lule").

3.3.1.3 Istiskivanje sa podmazivanjem i koničnim kalupom

Alternativa prethodno navedenim metodama jeste smanjenje mrtve zone, čime se smanjuje mogućnost uticanja površine priprema u istisnuti proizvod.

Ovo može da se ostvari korišćenjem dobrog maziva u prijemniku i kalupu (sl. 2, tečenje tipa S ili A).

Tada je površina istisnutog profila nastala od površine priprema, pa se koriste pripremi sa čistom, obrađenom površinom. Upotreba koničnog kalupa se preporučuje zbog toga, što se povećava homogenost tečenja. Ipak, mehurići ne mogu u potpunosti da se eliminišu, čak i korišćenjem koničnih kalupa i sa podmazivanjem. Zbog toga je potrebno vršenje eksperimenata, da bi se, za svaku leguru i njene parametre istiskivanja, odredio optimalni ugao konusa kalupa.

3.4 Podmazivanje pri istiskivanju cevi

Kod istosmernog (sl. 7, a) i suprotnosmernog (sl. 7, b) istiskivanja cevi sa trnom za kalibrisanje, deformisanje se vrši po spoljašnjoj površini priprema. Pritiskivač deluje na priprema, koji plastično utiče u otvor kalupa (sl. 7, a) ili u prorez između pritiskivača i trna (sl. 7, b). U oba slučaja unutrašnji prečnik cevi je definisan trnom za kalibrisanje.

Uzdužne deformacije pri istiskivanju cevi su relativno male, pa, zbog toga, trenje između površine priprema i prijemnika ne pravi probleme. S druge strane, trenje između trna i unutrašnje površine priprema, zavisno od legure i maziva, može da dovede do znatnih poremećaja tečenja na unutrašnjoj površini.

Legure, koje imaju tendenciju zavarivanja sa čelikom pri obradi na toplo (uključujući čist aluminijum, neke Al-legure i različite bronzes), se pri istiskivanju cevi deformišu slično tečenju tipa C, a zona klizanja se nalazi oko unutrašnje površine priprema. U izuzetnim slučajevima može da dođe do pojave razdvajanja materijala. Kao posledica, javljaju se ispupčenja, rupičasta unutrašnja površina, a materijal se zavaruje za trn i veoma ga je teško ukloniti.

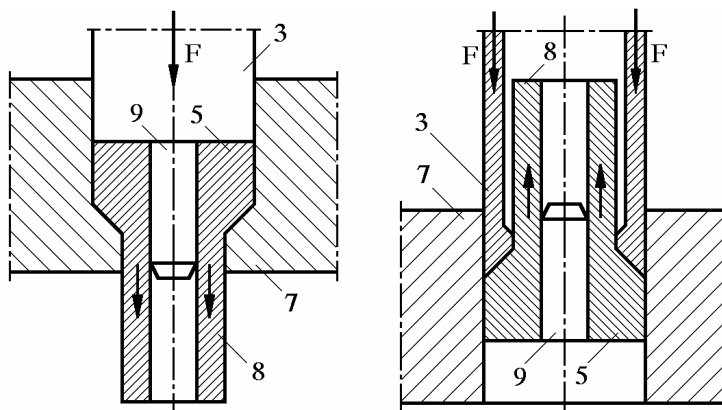
Bolja unutrašnja površina može da se ostvari korišćenjem maziva, koje mora da zadovolji sledeće uslove: da spreči kontakt između alata i materijala priprema u toku čitavog procesa, da se

lako nanosi, da dobro prijanja na materijal priprema, ali i da se lako uklanja sa istisnutog proizvoda.

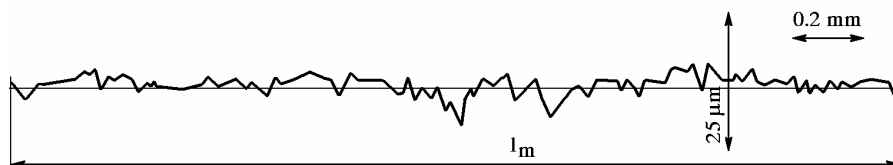
Za aluminijum i Al-legure su, za obradu u hladnom stanju, pogodna maziva: životinjske masti (loj), masne (oleinske) kiseline, srednje tvrdi vosak sa 25÷35% životinjske masti ili sapuna, natrijumov sapun itd., dok su za obradu u toplom stanju

pogodni: sulfidcelulozna potaša, sintetički vosak, mašinsko ulje sa 50% grafita, parafin sa grafitom (50/50%), natrijumhlorid sa 50% grafita itd.

Ipak, u mnogim slučajevima, primena maziva je opasna, jer mazivo može da prodre ispod unutrašnje površine cevi i da izazove defekte, o kojima je već bilo reči.



Sl. 7. a) Istosmerno istiskivanje cevi, b) suprotosmerno istiskivanje cevi



Sl. 8. Snimljeni dijagram mikrogeometrije unutrašnje površine istisnute cevi od Al99.5, [5]

U saradnji Katedre za proizvodno mašinstvo Mašinskog fakulteta u Nišu i Nissal-a iz Niša izvršene su probe istosmernog istiskivanja cevi, koje su namenjene za pneumatske cilindre amortizera za motorcikle, tako da je kvalitet unutrašnje površine površine cevi od velikog značaja, jer ova površina treba da obezbedi nesmetano kretanje klipa unutar cilindra, uz istovremeno dobro zaptivanje.

Materijal cevi je bio Al99.5, u dva stanja: nežaren i žaren na 380°C (30 min). Istiskivanje je vršeno kroz konične kalupe, sa uglom nagiba konusa: 45° i 65°.

Prečnik otvora u kalupu bio je 55 mm, a prečnik trna bio je 50 mm, (debljina zida cevi $s = 2.5$ mm), a spoljašnji prečnik priprema 61 mm i 65 mm, tako da su ostvarivana dva stepena deformacije $\varphi = 0.84$ i $\varphi = 1.19$.

Kao mazivo je primenjen loj, čime je ostvaren koeficijent trenja $\mu \approx 0.12$ (koji je određen eksperimentalno probom na sabijanje cilindričnih priprema pritiskivačima sa konusnim vrhom).

Ispitivanje kvaliteta unutrašnje površine cevi izvršeno je na Profilograf-profilomeru, tipa A1, model 252 (proizvodnja SSSR). Pre merenja, sa unutrašnje površine cevi je odstranjeno sredstvo za podmazivanje - brisanje krpom i odmašćivanje acetonom.

Broj klase hrapavosti je određivan prema JUS-u M.A1.020, a određivanje kvaliteta unutrašnje površine izvršeno je pri referentnoj dužini $l = 2.5$ mm. Jedan od dijagrama hrapavosti (mikrogeometrije) unutrašnje površine cevi, prikazan je na sl. 8.

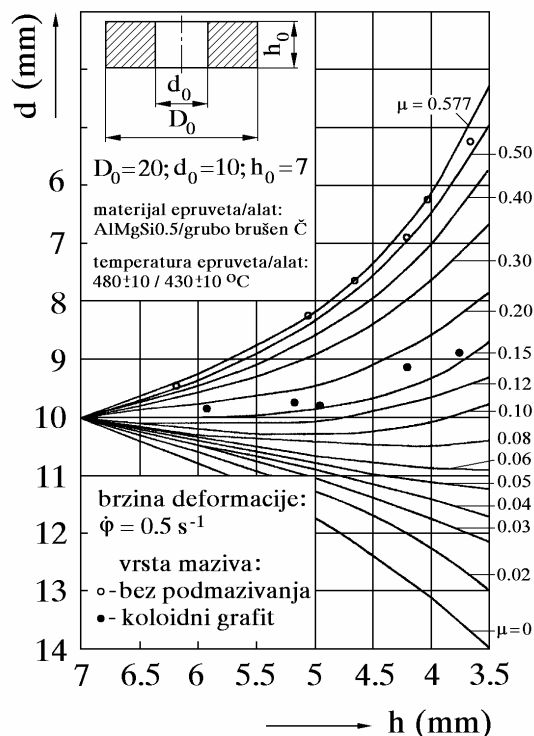
Kvalitet unutrašnje površine cevi zavisi i od stepena deformacije, i od ugla nagiba konusa u kalupu i od stanja materijala i kretao se od klase hrapavosti N6 do N8. Najbolji kvalitet unutrašnje površine cevi (N6), dobija se za žareni pripremak, pri $\varphi = 0.84$, $\alpha = 45^\circ$, [5].

Međutim, u jednoj veoma značajnoj i produktivnoj oblasti obrade deformisanjem - istiskivanju šupljih aluminijumskih profila u mostnim alatima - ne vrši se podmazivanje.

Kako je tada uticaj kontaktnog trenja veoma veliki, vrlo je važno utvrditi vrednost koeficijenta trenja.

Za aluminijumsku leguru AlMgSi0.5 (koja se smatra reprezentom svih Al-legura, koje se obrađuju u toplom stanju), primenom poznate metode M. Burgdorfa, u dve serije opita (sl. 9) utvrđeni su sledeći koeficijenti trenja, [6]:

- bez podmazivanja (suvo trenje): $\mu \approx 0.52$;
- podmazivanje koloidnim grafitom: $\mu \approx 0.16$.



Sl. 9. Nomogram za određivanje vrednosti koeficijenta trenja po M. Burgdorf-u

4. PRIMENA PODMAZIVANJA

Podmazivanje je preporučljivo ili potrebno u sledećim slučajevima:

(a) Istiskivanje na hladno ili istiskivanje na malo višim temperaturama (do 300°C);

(b) Istiskivanje nekih teškodeformabilnih legura kroz koničan kalup u srednjem temperaturnom opsegu (600 do 1000°C) - na primer, legura bakra;

(c) Istiskivanje teškodeformabilnih legura pri temperaturama iznad 1000°C (na primer, legure nikla, čelici). Preporučuje se upotreba koničnog kalupa i maziva na bazi stakla.

Priroda i funkcija maziva se menjaju sa porastom temperature istiskivanja. Podmazivanje na nižim temperaturama (tačka (a) i u nekim slučajevima tačka (b) iz prethodne podele) se koristi jedino da bi se smanjilo trenje. U srednjem

temperaturnom opsegu (tačka (b)) se takođe javlja neka izolacija između toplog priprema i alata, jer se koristi delimično rastopljeno mazivo, a njegova isparenja pomažu efektu podmazivanja, a pogotovo kod legura teških za istiskivanje. Tanak sloj (film) maziva može da spreči i pojavu oksidacije.

U odnosu na temperaturu obrade, maziva mogu da se podele u dve grupe:

(a) Ispod 1000°C: "masna" maziva - masti, grafit, MoS₂, liskun, puder, sapunica, bentonit (vrsta gline, koja bubri u vodi), asfalt i plastične mase (na primer: visokotemperaturni poliamidi) i

(b) Iznad 1000°C: "staklena" maziva - staklo, bazalt, kristalni prah.

5. ISTISKIVANJE SA AKTIVNIM DEJSTVOM SILA TRENJA

Sile trenja u klasičnim postupcima obrade deformisanjem proizvode u svemu negativne efekte. Zato se čine veliki naponi da se dejstvo sila trenja svede na najmanju moguću meru. S druge strane, usavršavanje procesa i sredstava za obradu deformisanjem, usmereno je, između ostalog, i na promenu načina dejstva sila trenja - od reaktivnog ka aktivnom.

Aktivno dejstvo sila trenja se primenjuje u nekim procesima obrade deformisanjem, ali je najširu praktičnu primenu, za sada, našlo kod istiskivanja, [7], [8], [9], [10], [11], [12], [14].

Klasifikacija postupaka istiskivanja sa aktivnim dejstvom sila trenja, data je u Tabeli 1. Klasifikacija se odnosi na istosmerno istiskivanje, ali potpuna analogija važi i za suprotosmerno istiskivanje, dok za istiskivanje šupljih profila treba uzeti u obzir i kretanje trna.

Sušтина postupka istiskivanja sa aktivnim dejstvom sila trenja najlakše se može objasniti pomoću šeme 1 iz Tabele 1. Naime, kretanjem kontejnera (W_k) u smeru pritiskivača (W_p), ali većom brzinom ($W_k > W_p$), smer sile kontaktnog trenja (T_k) u kontejneru je isti sa smerom isticanja materijala iz alata i samim tim pospešuje proces obrade.

Kod složenijih šema istiskivanja, aktivno dejstvo sila trenja se može ostvariti i bez kretanja kontejnera ($W_k = 0$). Neke šeme se mogu realizovati u više varijanti, zavisno od odnosa i smera brzina kretanja pojedinih delova alata. Efikasnost ovih procesa zavisi, pre svega, od kinematike kretanja elemenata alata i tehnoloških uslova.

Tabela 1. Šeme procesa istiskivanja sa aktivnim dejstvom sila trenja

Šeme procesa								
	1	2	3	4	5	6	7	8
Oznake veličine								
Brzina istiskivanja pripremk $W = \frac{\Delta H}{t}$	W_p	W_m	$ W_m - W_p $	$ W_m + W_p $	$ W_m + W_p $	$ W_m - W_p $	$ W_m - W_p $	$ W_p - W_m $
Koeficijent relativnog pomeranja kontejnera i matrice $K_a = \frac{\Delta k \cdot m}{\Delta H}$	$\frac{W_k}{W_p}$	$\frac{W_k + W_m}{W_m}$	$\frac{W_m}{W_p - W_m}$	$\frac{W_m}{W_p - W_m}$	$\frac{W_k + W_m}{W_p - W_m}$	$\frac{W_k + W_m}{W_p - W_m}$	$\frac{W_m - W_k}{W_p - W_m}$	$\frac{W_k - W_m}{W_p - W_m}$
Odnosi brzina elemenata alata $W_k; W_p; W_m$	$W_m = 0$ $W_p < W_k$	$W_p = 0$ $W_k > 0$	$W_k = 0$ $ W_m > W_p $	$W_k = 0$ $ W_m > W_p $	$W_k > W_p$	$ W_m > W_p $ $W_k > 0$	$ W_m > W_p $ $> W_k $	$ W_k > W_p $ $> W_m $
Inicijator aktivnog trenja	Kontejner	Kontejner	Pripremak	Pripremak	Kontejner	Kontejner pri $ W_k > W_p $ Pripremak pri $ W_k < W_p $	Pripremak	Kontejner
Karakter istiskivanja pripremk i isticanja materijala	Jednostrano; istosmerno	Jednostrano; suprotosm.	Jednostrano; suprotosm. sa pomeranjem pripremk	Dvostrano; pri $ W_m \gg W_p $ preovladava suprotosm.	Dvostrano; pri $ W_m \gg W_p $ preovladava istosmerno	Jednostrano; suprotosm. sa pomeranjem pripremk	Isto kao za šemu (6)	Jednostrano; istosmerno sa pomeranjem pripremk

Kinematska karakteristika istiskivanja sa aktivnim dejstvom sila trenja, definiše se kao:

$$K_w = \frac{W_k - W_m}{W_p - W_m}, \quad (1)$$

gde su: W_k , W_p i W_m - brzine kretanja kontejnera, pritiskivača i matrice, respektivno.

Za ostvarivanje efekta aktivnog dejstva sila trenja, potrebno je da bar dva elementa alata budu pokretna. Dakle, proces se može ostvariti na presama dvostrukog dejstva (šeme 1, 2, 3, 4) ili trostrukog dejstva (šeme 5, 6, 7, 8).

Do sada je najviše razvijen postupak po šemi 1. Postupak po šemi 5 se odlikuje velikom produktivnošću (zbog kretanja matrice nasuprot pritiskivača). Postupak po šemi 6 je manje produktivan, a kontejner je znatno veće dužine.

Ravnomernija raspodela opterećenja elemenata alata predstavlja veliku prednost ovih postupaka istiskivanja u odnosu na klasične. Osim toga, ostvaruje se ravnomernija raspodela deformacija po zapremini dela (što obezbeđuje homogenost mehaničkih svojstava i smanjenje vrednosti zaostalih napona), smanjuju se zone

zastoja pri istiskivanju, povećava se brzina deformisanja i slično.

6. ZAKLJUČAK

Najvažnija je činjenica, da podmazivanje ima odlučujući uticaj na završnu površinu, ukoliko je tečenje materijala uglavnom nehomogeno (tipovi tečenja B ili C), ali i da mazivo (kada je stešnjeno trenjem u prijemniku) može da prodre u istiskivani proizvod. Zbog toga, podmazivanje prijemnika treba izbegavati koliko god je to moguće, ukoliko ne može da se isključi tečenje materijala tipa B ili C.

Ovo je slučaj kod aluminijumskih legura i kod onih legura bakra, koje se istiskuju bez zaštitnog omotača i nemaju oksidni sloj od maziva.

Ipak, mnogi materijali se tako teško istiskuju, da mora da se koristi optimalno podmazivanje i koničan kalup, da bi se ostvarilo što homogenije tečenje bez defekata površine.

Za materijale sa oksidnim slojem (na primer, bakar) i materijale čije tečenje odgovara tipu B i kod kojih podmazivanje dovodi do lošeg kvaliteta površine profila (na primer, Al- legure), istiskivanje treba vršiti bez podmazivanja i zaštitne ljuske.

Kod materijala, čije tečenje odgovara tipu C (na primer, mesing) i materijala, koji se lako lepe za zid prijemnika (kompleks Al-bronzi), preporučuje se istiskivanje bez podmazivanja i sa zaštitnom ljuskom.

Ovo isto važi i za materijale, koji lako oksidišu pri zagrevanju priprema, tj. za materijale kod kojih se po svaku cenu mora sprečiti tečenje po tipu B u oksidnom sloju (nisko-legirane Cu legure).

Istiskivanje sa podmazivanjem bez zaštitne ljuske, preporučuje se za materijale, čije su karakteristike tečenje u prijemniku slične tečenju tipa A, (uz korišćenje koničnih kalupa), kao i materijale, koji se obrađuju istiskivanjem na hladno, uključujući hidrostatičko istiskivanje, a takođe i za legure koje se teško istiskuju (Ni-legure, čelici i metali sa visokom tačkom topljenja).

LITERATURA

[1] Laue K., Stenger H.: Axtrusion (Processes, Machinery, Tooling). American Society for Metals, Ohio, 1981.

- [2] Thomsen E.G., Young C.T., Bierbower J.B., Publ. in Engineering, Vol. 5, No. 4, University of California, 1954.
- [3] Lotz W., Steiner U., Stichler H., Schrelzke E., Pressfehler beim Strangpressen von Kupfer-Zink-Legierungen, Symposium "Strangpressen" der DGM, Dr Riederer-Verlag, 1970.
- [4] Weber R.D., The Effect of Metal Flow on Extrusion Force During Hot Extrusion, The Wire Industry, Febr., 1966.
- [5] Rančić B., neobjavljeni rukopis.
- [6] Marinković T., Marinković V.: Koeficijent trenja u procesima obrade deformisanjem aluminijumskih legura u toplom stanju. "IMK-14", god.VII, No 1/2, 2001.
- [7] Marinković V.: Nove mogućnosti obrade materijala istiskivanjem u hladnom stanju. Zbornik radova Mašinskog fakulteta u Nišu, knjiga 2., 1980.
- [8] Berezhnoy V.L.: Multipurpose Friction-Assisted Indirect Extrusion (FAIE) Technology. 7thInternational Aluminium Extrusion Technology Seminar "ET 2000", Chicago, 2000.
- [9] Scherba V., Ovechkin N., Eliseyev N.: On the friction assisted extrusion of rod out of 2024, 6082 and 7075 alloys. 4thWorld Congress "ALUMINIUM 2000", Brescia, Italy, 2000.
- [10] Geiger R.: Der Stofffluss beim kombinierten Napffliesspressen, Verlag W.Girardet, Essen, 1976.
- [11] Levanov A.N.: Tehnologičeskaja effektivnost osadki i šampovki s aktivnim dejstvijem sil trenija, "Kuznečno - šampovočnoe proizvodstvo", No 2, 1995.
- [12] Levanov A.N, Kolmogorov V.L. i dr.: Kontaktnoe trenie v processah obrabotki metallov davleniem. "Metallurgija", Moskva, 1976.
- [13] Ohrimenko J.M. i dr.:Analiz i razrabotka novih shem pressovanija, "Kuznečno-šampovočnoe proizvodstvo", No 8, 1973.
- [14] Ohrimenko J.M. i dr.: Tehničeskaja harakteristika shem pressovanija polih izdelij, "Kuzn.-šampovoč. proizvodstvo", No 10, 1977.
- [15] Marinković T., Istraživanje međusobnog uticaja faktora procesa i konfiguracije alata u tehnologiji izrade profila od Al-legura istosmernim istiskivanjem, doktorska disertacija, Mašinski fakultet Univerziteta u Nišu, Niš, 2000.