

O UTJECAJU ULAZNOG OBLIKA MATRICE I REŽIMA PREŠANJA
NA VISINU DEFORMACIONE SILE I PROMJENU DIJAMETRA PRI
ISPREŠAVANJU ŠIPKI OD Al 99,5, AlMgSi0,5 i Pb.

Prof. Dr. Josip Hribar, F.S.B. Zagreb,
Mr. Igor Duplančić, F.E.S.B. Split.

1. Uvod.

Pregled stručne literature /1-15/ od posljednjih desetak godina pokazuje živ interes stručnjaka za probleme u proizvodnji raznovrsnog šipkastog materijala pomoću ekstruzije. Postoji veći broj faktora, koji u toj proizvodnji imaju utjecaja na lekoću isprešavanja, na kvalitet isprešanog proizvoda, na visinu škarta, na vijek trajanja ekstrusionog alata te, konačno, i na visinu proizvodnih troškova. U okviru ovog prikaza dajemo rezultata provedenih ispitivanja o utjecaju oblika ulaznog kanala matrice te utjecaju temperature i brzine isprešavanja na visinu maksimalno potrebne sile isprešavanja te na točnost profila isprešane šipke. Domaći pokusi /6-8/, provedeni na velikim industrijskim prešama, dali su o utjecaju bar nekih od navedenih faktora korisnih podataka za potrebe prakse, međutim za detaljnije proučavanje procesa ekstruzije, specijalno što se tiče utjecaja različito oblikovanog ulaznog dijela matrice, pokazale se neophodnim, da se pokusi nastave preciznijim ispitivanjem u laboratoriju. U tu svrhu proveden je dosad niz pokusa ekstruzije na univerzalnoj 60-tonskoj hidrauličkoj ki-

daljici u izvedbi firme MAN. Kako najveća dostiziva brzina gibanja klipa na ovoj kidalici iznosi svega 60 mm/min. Bile su i dostizive brzine isprešavanja relativno niske, oko 50 do 100 puta niže od onih u industrijskoj proizvodnji. Ovako niskim brzinama isprešavanja pripadaju, kako ćemo kasnije pokazati, relativno niske brzine deformacije, koje su se kretale kod ovih pokusa od cirka 0,1 do 0,35 s⁻¹, dakle u mnogo slučajeva oko 3 do 5 puta ispod onih u proizvodnji. Zbog poznatog utjecaja brzine deformacije na visinu deformacione sile, pogotovo kod preoblikovanja u toplom stanju, mogu se stoga očekivati i izvjesne razlike prema rezultatima mjerenja u proizvodnji. Treba ipak naglasiti, da do ovih razlika može doći i zbog drugih razloga. Kao jedan od tih razloga navedimo, da proces na kidalici odgovara tzv. indirektnom postupku prešanja, koji se s gledišta visine deformacione sile može razlikovati od direktnog postupka, koji se sasud u praksi najčešće koristi.

2. Plan pokusa

Povrh uvodno navedenih glavnih utjecajnih faktora uvršteni su u plan ispitivanja i vrst metala te dužina pokusnih trupčica, tako da je provedeni plan pokusa obuhvatio :

- vrst metala,
- temperaturu i brzinu isprešavanja,
- dužinu trupčica,
- geometriju ulaznog kanala matrice.

Od geometrije ulaznog kanala obuhvaćeni su : koničnost ulaza u matricu, visina vrata te zaobljenost ulazne površine matrice.

Što se tiče stupnja deformacije kao jedne od vrlo utjecajnih veličina, ispitivanje je uprošteno u toliko, da je provedeno uz istodobno variranje brzine isprešavanja i stupnja deformacije i to u rasponu od istodobno najmanjih brzina i stupnjeva do najvećih raspoloživih, što nas s gledišta njihovog utjecaja na promjene poprečnog presjeka šipke može zadovoljiti.

2.1. Izbor pokusnih metala

Pokusi isprešavanja vršeni su sa metalima Al 99,5 AlMgSi0,5 i Pb. Navedene dvije vrste lakih metala odabrane su obzirom na posebni interes domaće proizvodnje ekstrudiranog materijala. Olova je odabrano iz dva razloga : a/ zbog njegove visoke plastičnosti i kod sobne temperature te niske - približno sobne - temperature

rekristalizacije, što može uzrokovati specifično ponašanje u postupku isprešavanja, i b/ radi mogućnosti usporedbe s rezultatima drugih autora, koji su pokuse vršili iz razloga pod a/ i a olovom.

Pokusni Al 99,5 i AlMgSiO,5 bili su u obliku ekstrudiranih šipki, koje su omekšavane kod 380 C i zatim istokarene u trupčice \varnothing 38 mm. Tvrdoća trupčica nakon mekšanja iznosila je za Al 99,5 22 HV a za AlMgSiO,5 26 HV. Za ispitivanje utjecaja pojedinih faktora iznosila je duljina trupčica 60 mm, dok je u svrhu određivanja utjecaja duljine njihova duljina varirala od 40 do 100 mm.

U svrhu ispitivanja toka materijala razrezano je nekoliko trupčica uzdužno i zacrtana kvadratna mrežica veličine 3 x 3 mm.

Olovni trupčici odliti su u kokile i obradjeni na \varnothing 38x60 mm.

2.2 Stupanj deformacije.

Ovaj je stupanj definiran sa $\varphi = \ln A_0/A_1$, gdje su

A_0 - presjek zaprešanog trupčica = 1256 mm²,

A_1 - " isprešane šipke = $\frac{1}{4}d^2\pi$

Utjecaj stupnja deformacije ispitivan je s matricama ravnog čela i uvijek iste visine vrata $s = 3$ mm. Promjer D variran je u granicama od 7 do 33 mm, čemu odgovara promjena stupnja φ od 0,38 do 3,5.

2.3. Temperatura isprešavanja.

Trupčici od lakih metala isprešavani su samo u toplom stanju a olovni samo kod sobne temperature. Utjecaj temperature praćen je u granicama od 300° do 500°C i to za uvijek isti stupanj $\varphi = 1,96$. Određjivanje utjecaja pojedinih faktora u toplom stanju vršeno je kod 450°C. Prostor kontejnera bio je tada također predgrijan na 450°C.

2.4. Brzine istjecanja.

Pokusni su vršeni pretežno uz najveću moguću brzinu klipa kralice od cirka 6 cm/min, tako da su se brzine istjecanja šipki iz matrice kretale, -ovisno o promjeru d - u granicama od 7 do 195 cm/min.

2.5. Brzina deformacije.

Za određjivanje brzine deformacije kao jedne od osnovnih utjecajnih veličina na visinu deformacione sile koristimo u proces-

su isprešavanja slijedeći izraz :

$$\text{brzina deformacije } \dot{\varphi} = \varphi \cdot \frac{V_s}{V_{zd}} \quad \dots \quad 1.)$$

gdje su

V_s - sekundni volumen isprešanog materijala = $A_1 \cdot V_i$

V_{zd} - volumen zone deformacije

V_i - brzina istjecanja šipke iz matrice

U jednostavnom slučaju isprešavanja šipki kružnog presjeka pretpostavljamo, da se sav proces preoblikovanja odvija unutar šrafiranog volumena zone deformacije V_{zd} , sl.1, /2/, dakle između kućnih kapica i plašta krnjeg stošca, izvodnice kojeg su nagnute pod kutem α prema osi šipke. Volumen zone deformacije određuje se iz izraza :

$$V_{zd} = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{\sin^3 \alpha} (D^3 - d^3) = c \cdot (D^3 - d^3) \quad \dots \quad 2.)$$

gdje su

D = \varnothing zaprešanog trupca = 40 mm,

d = \varnothing isprešane šipke.

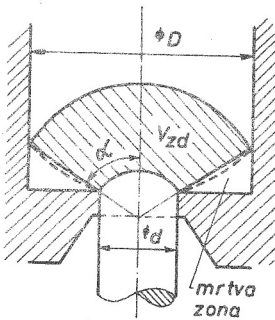
Veličina $C = \frac{\pi}{12} \cdot \frac{1 - \cos \alpha}{\sin^3 \alpha}$ mijenja se s kutem α kako pokazuje slijedeća tablica

$$\alpha = 15^\circ \quad 30^\circ \quad 45^\circ \quad 60^\circ \quad 75^\circ \quad 90^\circ$$

$$C = 0,51 \quad 0,28 \quad 0,22 \quad 0,20 \quad 0,22 \quad 0,26$$

Veličina C postiže svoju najmanju vrijednost približno za $\alpha = 60^\circ$ tako da izraz /2/ poprima jednostavni oblik

$$V_{zd} = 0,2 \cdot (D^3 - d^3) / \dots \dots \dots / 3 /$$

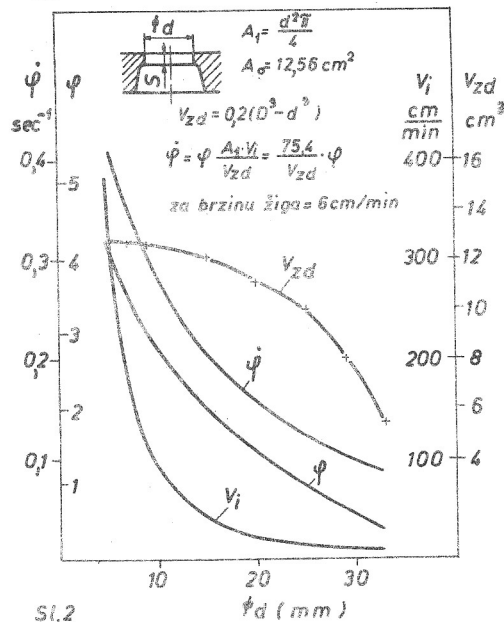


Sl.1. Zona deformacije

Prostor između šrafiranog volumena V_{zd} i ravnog čela matrice je mrtva zona, oblik i visina koje ovise također o kutu α kao i o stupnju deformacije φ . Fokusna prešanja vodjena su uz konstantnu brzinu tlačnog žige od 6,0 cm/min, tako da je brzina istjecanja $V_i = 6,0 \cdot \frac{A_0}{A_1} = \frac{75 \cdot 4}{A_1}$. Na sl. 2 prikazani su brzina V_i , stupanj deformacije φ , volumen V_{zd} i brzina deformacije $\dot{\varphi}$ u ovisnosti o promjeru šipke d . Kako se očetle vidi, brzina V_i kretala se je kod ovih pokusa za $\varnothing d = 7$ do 33 mm u granicama od 8,7 do 196 cm/min, stupanj deformacije φ od 0,38 do 3,5, a brzina deformacije $\dot{\varphi}$ od 0,09 do 0,35 s⁻¹. Za niz pokusa kroz

matricu $\varnothing 15$ mm je prema tome brzina deformacije $\dot{\varphi}$ oko $0,20 \text{ s}^{-1}$, što je cirka 4 do 5 puta manje od uobičajenih vrednosti u proizvodnji. To ima za posledjicu izvjesnog utjecaja na napon tečenja k_f , kako slijedi iz dijagrama $k_f = \text{funkc.}[\varphi, \dot{\varphi}]$, [5], a time i na visinu deformacione sile. Još veća odstupanja od rezultata u proizvodnji mogu se očekivati kod pokusa s matricama $\varnothing 20$ do 33 mm, kada je brzina deformacije $\dot{\varphi}$ bila i do desetak puta manja od onih u proizvodnji.

Za određivanje brzine deformacije $\dot{\varphi}$ postoje u literaturi [5] izrazi, koji pretpostavljaju nešto manji volumen deformacione zone V_{zd} , što stoga daje i nešto veće vrednosti za brzinu deformacije.

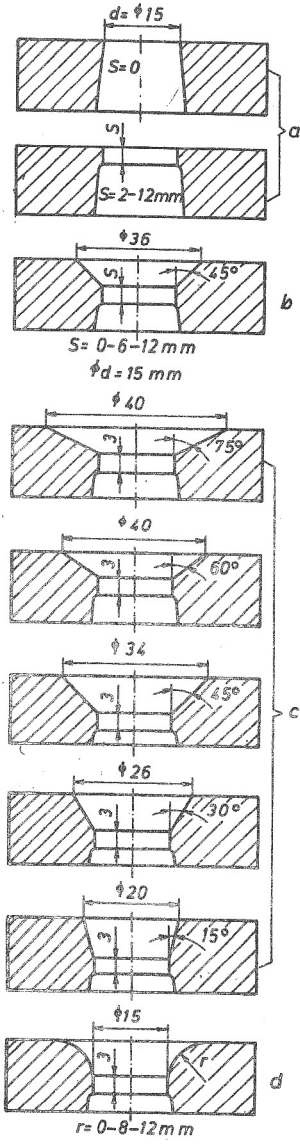


2.6. Geometrija ulaznog oblika matrice.

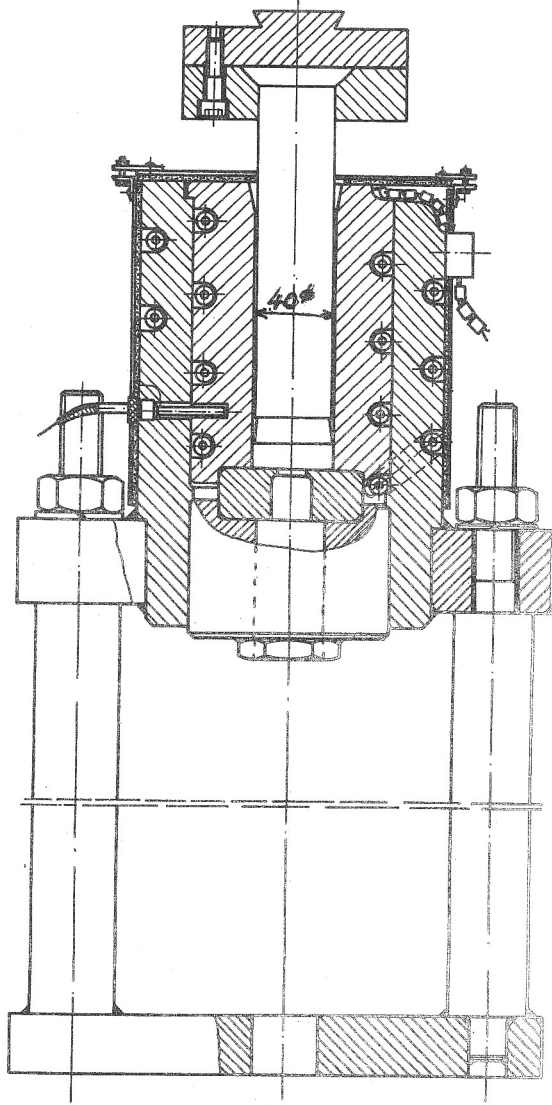
Za ispitivanje utjecaja ulaznog oblika izradjeno je ukupno 18 matrica, sve promjera $d = 15 \text{ mm}$, sl. 3 i to:

7 matrica s ravnim čelom i različitim visina vratova S od 0 do 12 mm , sl. 3 a,

3 matrice s koničnim ulazom konicitete 45° i različitim visina vratova S od 0 do 12 mm , sl. 3 b,



Sl. 3 a-d



Sl. 4.

5 matrica s koničnim ulazom koniciteta od 75° do 15° i iste visine vratova $S = 3$ mm, sl. 3 c,

3 matrice sa zaobljenim ulazom zaobljenja $r = 0$ do 12 mm i visine vratova $S = 3$ mm, sl. 3 d.

Brzina istjecanja kroz sve matrice iznosila je $V_i = 42,6$ cm/min.

2.7. Pokusna naprava.

Sl. 4 pokazuje uzdužni rez naprave za pokuse isprešavanja, pritegnute na poprečnoj pokretnoj gredi univerzalne hidraulične kralice, s tlačnim žigom upetim u nepomičnoj gornjoj gredi te ugrađenim električnim grijačima. Kontejner naprave izveden je djelno t.j. u obliku dva cijevasta elementa, s dimenzijama radnog prostora $\varnothing 40 \times 125$ mm. Materijal matrice Č 4150.

3. O razlikama između promjera otvora matrice d_M i isprešane šipke d_S kod sobne temperature.

Određivanjem razlika $d_M - d_S = \Delta d$ u ovisnosti o utjecajnim faktorima dobivamo podatke, potrebne za ispravno dimenzioniranje otvora matrice. Do razlika Δd dolazi općenito:

- zbog različitih toplinskih dilatacija između materijala matrice i materijala šipke,
- zbog deformiranja i zatvaranja otvora matrice pod djelovanjem tlačne sile isprešavanja,
- zbog eventualnog odvajanja isprešavane šipke od stijenke otvora matrice.

Pod pretpostavkom, da su za razliku Δd odgovorne samo različite toplinske dilatacije, odnosno da se mogu zanemariti deformacija otvora matrice i odvajanje šipke od matrice, može se računski jednostavno odrediti promjer matrice d_M kod sobne temperature t_0 za zadani promjer šipke d_S iz izraza :

$$d_M = d_S \cdot \frac{1 + \alpha_S \cdot \Delta t_S}{1 + \alpha_M \cdot \Delta t_M} \dots \dots \dots / 4 /$$

α_M, α_S = koeficijenti toplinske dilatacije materijala matrice odnosno isprešavane šipke,

$$\Delta t_S = t_S - t_0$$

$$\Delta t_M = t_M - t_0$$

t_S, t_M = temper. isprešav. materijala odnosno matrice u radu.

Izraz /4/ sveden na oblik

$$\frac{\Delta d}{d_s} = \frac{1 + \alpha_s \cdot \Delta t_s}{1 + \alpha_M \cdot \Delta t_M} - 1 \quad \dots \dots \dots / 5 /$$

označuje onaj višak, za koji treba promjer matrice d_M izraditi većim od promjera šipke d_s . Na sl. 5 je izraz /5/ grafički prikazan i to za

$\alpha_s = 26 \cdot 10^{-6}$ za lake metale,

$\alpha_M = 13 \cdot 10^{-6}$ za matricu od Cr-Mo čelika /UTOP Mo 1/,

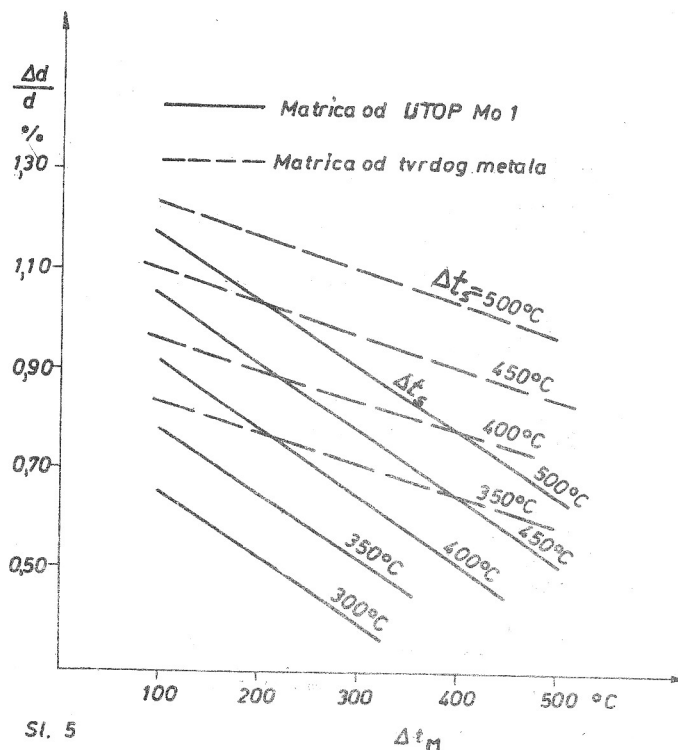
$\alpha_M = 6,5 \cdot 10^{-6}$ za matricu od tvrdog metala na bazi WC + Co.

u ovisnosti o temperaturama Δt_M i Δt_s . Pune linije odnose se na čeličnu matricu a crtkane na matricu od tvrdog metala. Vidi se, da će na pr. za $\Delta t_M = \Delta t_s = 450^\circ$ C biti matrica za oko 0,6 % većeg promjera od d_s . Redi li se s relativno hladnom matricom, za koju je na pr. $\Delta t_M = 300^\circ$ C biti će taj višak oko 0,8 %. S porastom temperature prešanja raste i potreban višak za inače konstantnu temperaturu matrice. Prelazom na matricu od tvrdog metala biti će vrednosti za višak $\Delta d/d_s$ primjetljivo veće za inače isti Δt_M , Δt_s .

Ako se je za neki zadani slučaj pokusom utvrdio nešto veći višak nego što bi pripadalo na bazi sl. 5, tada se ta razlika može pripisati: dodatnom zagrijavanju materijala u zoni deformacije, zatvaranju otvora opterećene matrice te odvajanju šipke od otvora matrice. Uspije li se, na bazi utroška radnje deformacije, računski odrediti spomenuto dodatno zagrijavanje šipke i matrice, moglo bi se, koristeći dijagram na sl. 5, odrediti onaj dio viška $\Delta d/d_s$, koji otpada samo na zatvaranje otvora matrice i odvajanje šipke od matrice. Razumljivo je, da će točnost takovog proračuna jako ovisiti o dovoljno točnoj procjeni dotičnih temperatura.

4. Ispitivanje toka i strukture isprešavanog metala.

Utvrdjivanjem tečenja metala, oblika deformacione zone, visine i oblika mrtve zone te usitnjavanja strukture u ovisnosti o obliku matrice izvršeno je ucrtavanjem kvadratne mreže i ispitivanjem makrostrukture. Mreža je zacrtana na uzdužnom presjeku trupaca od Al 99,5, koji su isprešavani kroz matrice $\varnothing 15$ mm promjenljivog ulaznog kuta od 90° do 15° . Razvijanjem makrostrukture uzdužnog presjeka trupaca u zoni deformacije te dijela isprešane šipke praćen je tok i struktura na trupcima od AlMgSiO,5, prešanim kroz matrice različite koničnosti i zaobljenosti na ulazu.



Sl. 5

 Δt_M

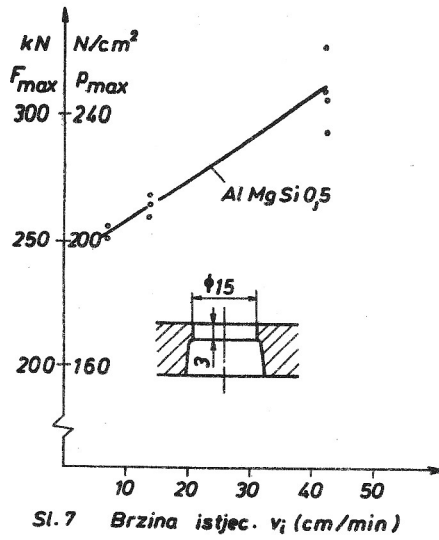
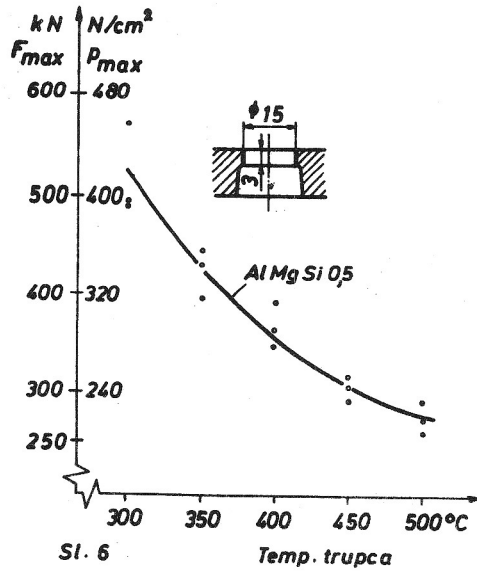
5. Rezultati pokusa*

A. Utjecaj pojedinih faktora na maksimalnu silu prešanja F_{\max}

5.1. Utjecaj temperature. Sl. 6. pokazuje očekivani jaki utjecaj temperature prešanja na maksimalnu silu prešanja F_{\max} odnosno na specif. pritisak na čelu trupca $p_{\max} = F_{\max}/A_0$. Vidi se, da povišenje temperature od 300°C na 500°C snižuje F_{\max} i p_{\max} za oko 47. % kod isprešavanja legure AlMgSi0,5.

5.2. Utjecaj brzine istjecanja. Sl. 7. pokazuje rezultate mjerenja s legurom AlMgSi0,5 u području brzina od 7 do 43 cm/min. Vidi se, da cirka 6 puta veća brzina zahtijeva za oko 24 % veću silu F_{\max} . Iz podataka o utjecaju brzine deformacije na otpor tečenja k_f može se zaključiti, da se veliki dio od navedenih 24%

*/ I. Duplančić, Magist. rad, FSB-Zagreb, 1977.

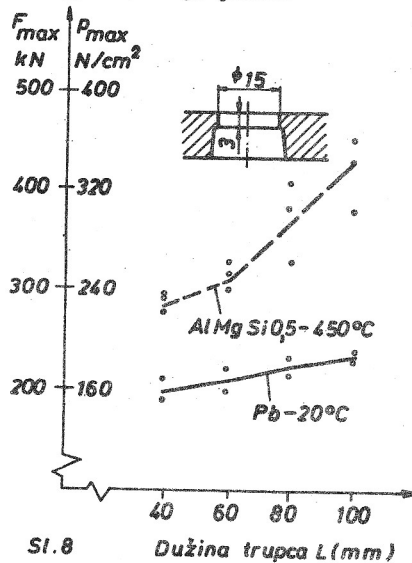


može pripisati povećanom k_p pri 6 puta većim brzinama istjecanja.

5.3. Utjecaj duljine trupca. Iz sl. 8. se vidi izraziti porast sile s porastom duljine trupca L . Dvaput veća duljina zahtijeva za 32 do 44 % veću silu F_{max} za $AlMgSi0,5$ i 13 do 15 % za Pb . Izračunamo li radi usporedbe silu prema poznatoj formuli

$$F = A \cdot k_p \cdot \left(\frac{2L}{D} + \frac{\varphi}{\sigma} + \frac{4S \cdot \mu}{d} \right)$$

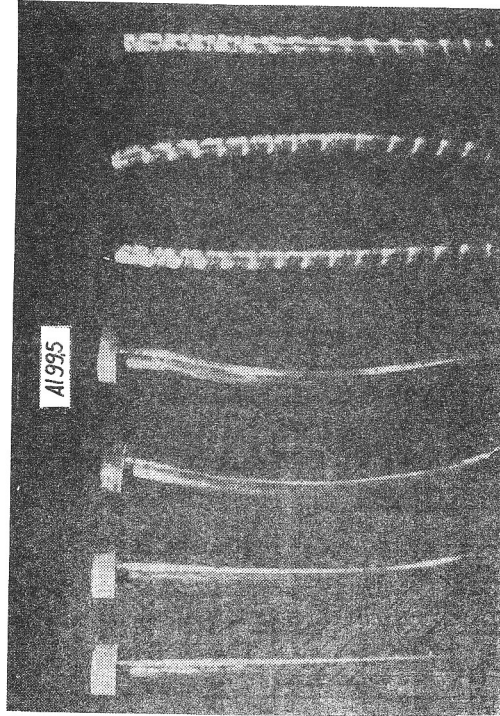
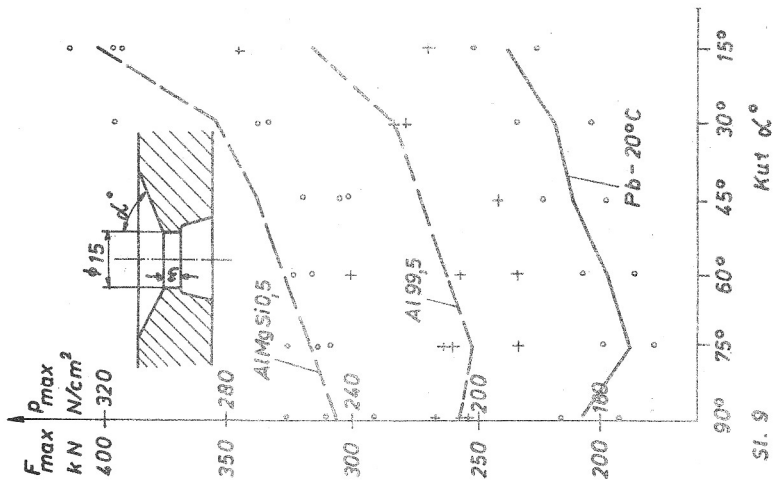
dobivamo, da će za dvostruko veću duljinu L sila porasti za 47 - 53 %, dakle nešto više nego što daje pokus.



Sl. 8 Dužina trupca L (mm)

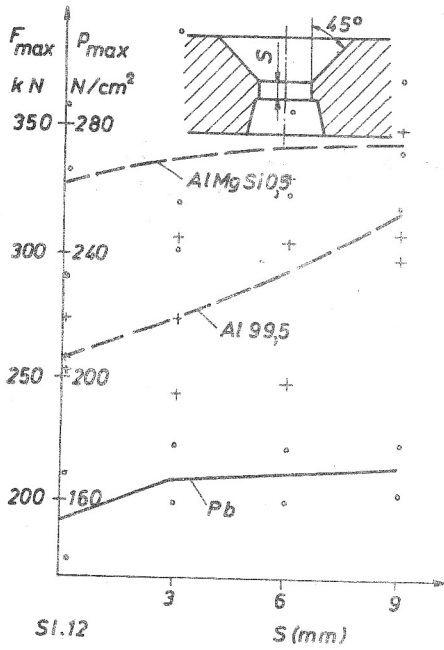
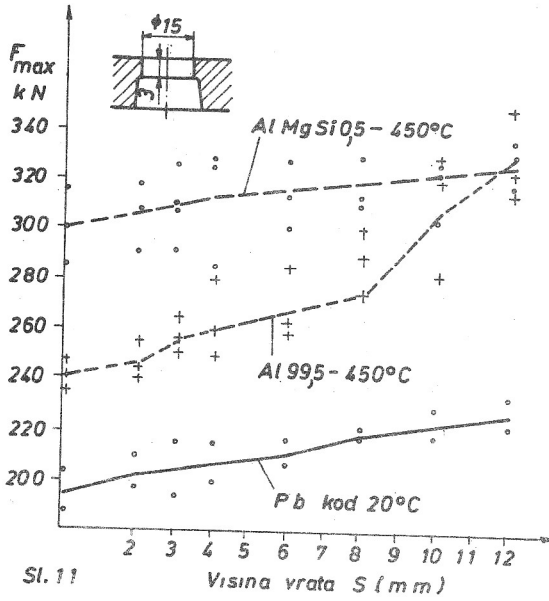
5.4. Utjecaj ulaznog kuta matrice. Sl. 9 pokazuje promjenu sile F_{max} s opadanjem kuta α . Iz toga krivulja za Pb i $Al 99,5$ moglo bi se naslućivati postojanje nekog optimalnog kuta α_{opt} za koji će sila biti najmanja. Nešto nagliji porast sile javlja se kod kuta ispod 30° . Kod matrice s kutom od 15° zapaženo je osim toga torziranje šipki od $Al 99,5$ i $AlMgSi0,5$, kako pokazuje sl.10 desno. Brzina istjecanja V_i iznosila je u ovoj seriji pokusa 42,6 cm/min.

5.5. Utjecaj visine vrata S. Slike 11 i 12 pokazuju taj utjecaj na silu F_{max} i to sl.11 za matrice s ravnim čelom $\alpha = 90^\circ$ a sl. 12 za matrice koničnog ulaza s kutem $\alpha = 45^\circ$. U oba slučaja



Sl. 10.

Sl. 9



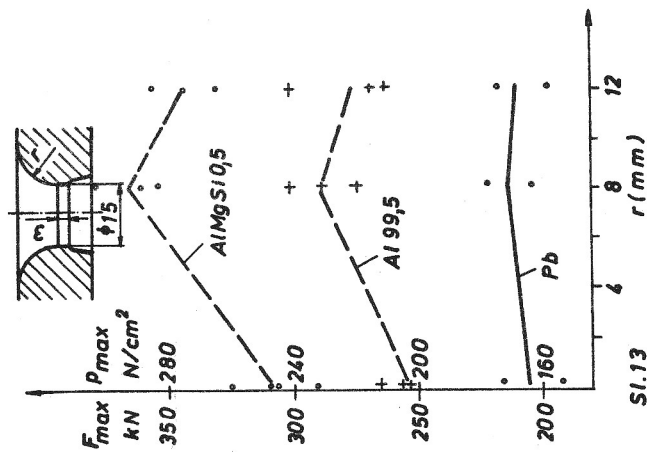
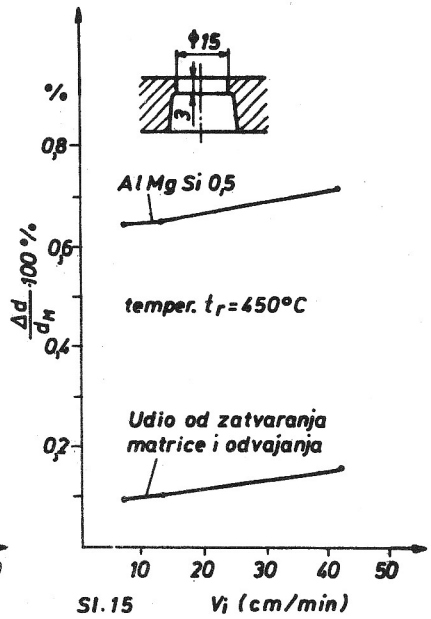
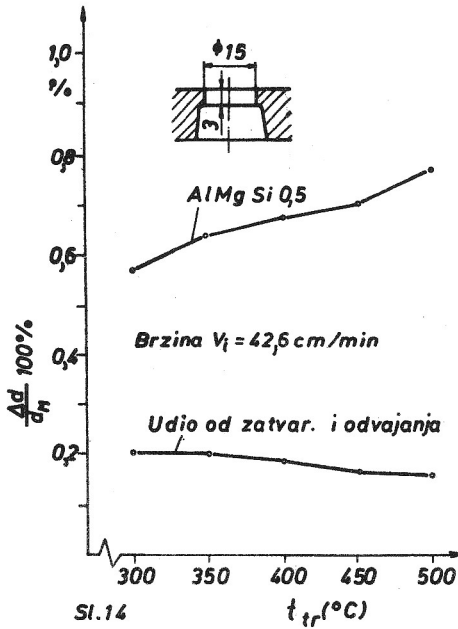
bila je brzina V_i 42,6 cm/min a stupanj deformacije $\varphi=1,96$. Vidi se, da s porastom visine vrata S raste sila F_{max} te da je taj porast nešto izrazitiji za Al 99,5, što pripisujemo jačem lijepljenju aluminija uz površinu matrice. Kod matrica s visinom vrata iznad 6 mm javlja se povrhn toga neadekvatno jako tordiranje šipki. Iz ovih mjerenja slijedi zaključak :

- sile isprešavanja F_{max} rastu s povećanjem visine vrata S,
- sila isprešavanja je za olovne trupce iste veličine za ravne i za konične matrice pri svim visinama vrata S,
- sila isprešavanja za lake metale je za 7-8 % manja kod ravnih matrica nego kod koničnih s kutem $\alpha = 45^\circ$,
- matrice s visinom vrata iznad 6 mm nisu pogodne za Al,99,5, jer izazivaju tordiranje šipki.

5.6. Utjecaj radiusa zaobljenja ulaza u matricu. Primjetljivi utjecaj zaobljenja pokazali su samo Al 99,5 i AlMgSiO,5, kako se vidi iz sl. 13 i to zbog tordiranja šipki, koje se javlja pri zaobljenjima s radiusom od 8 i 12 mm.

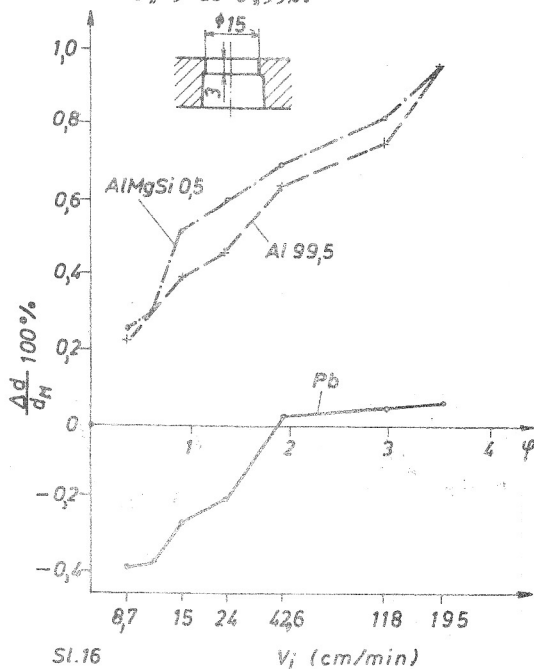
B. Utjecaj pojedinih faktora na razliku promjera $\Delta d = d_M - d_s$

5.7. Utjecaj temperature. S izrazom $\Delta d/d_M \cdot 100\%$ odredjen je, kako je već objašnjeno, onaj višak u %, za koji treba \varnothing matrice d_M izraditi većim od \varnothing šipke d_s . Sl. 14 pokazuje ovisnost ovog viška o temperaturi trupca, koja je uzeta jednakom temperaturi kontejnera odnosno i matrice. Vidi se porast viška s porastom temperature, što je u skladu s dijagramom na sl.5, koji vrijedi, kako je objašnjeno, pod pretpostavkom, da su utjecajne samo razlike u toplinskim dilatacijama između matrice i isprešavane šipke. Iz sl.14 za AlMgSiO,5 slijedi, da će se vrednosti viškova za temperaturno područje od 300° do 500° kretati u granicama od 0,57 do 0,78%, dok bi prema sl.5 bilo 0,4 do 0,65%, dakle nešto manje. Razlike od 0,17% kod 300° i 0,13% kod 500° mogu se u idealnom slučaju izotermičkog postupka prešanja pripisati zatvaranju otvora opterećene matrice i odvajanju šipke od matrice. Donja krivulja u sl.14 pokazuje udio ovog zatvaranja i odvajanja u % u području od 300° do 500° . Stvarni tok krivulje ovog udjela ležat će ipak nešto niže zbog neizbježnog dodatnog zagrijavanja.



5.8. Utjecaj brzine istjecanja V_i . Sl.15 pokazuje taj utjecaj na višak $\Delta d/d_M$ priisprešavanju trupaca od $AlMgSi0,5$ kroz ravnu matricu $\varnothing 15$ mm. Vidi se relativno mala promjena spomenutog viška s povećanjem brzine. te da 6 puta veća brzina daje tek za 10% veći višak. Udio, koji pripisujemo zatvaranju matrice i odvajanju šipke u slučaju izotermičkog procesa, pokazuje donja krivulja i iznosi, kako se vidi, oko 0,1 do 0,15% i raste s povećanjem brzine V_i .

5.9. Utjecaj stupnja deformacije φ . Sl.16 pokazuje promjenu viška $\Delta d/d_M$ za slučaj, kada su se istodobno mijenjali stupanj deformacije φ i brzina V_i . Stupanj φ varirao je od 0,38 do 3,5 a brzina V_i od 8,7 do 195 cm/min, što je za lake metale uzrokovalo promjenu viška od cirka 0,25 do 0,95%.



Kođ ovih pokusa upada u oči konstatacija, da u području vrlo malih brzina V_i i st.đ. φ imamo vrlo mali $\Delta d/d_M$, od svega 0,25%, dok bi prema sl. 5 trebalo da iznosi za ovu temperaturu od 450° oko 0,58%. Ova razlika može se objasniti samo tako, da nakon pro-

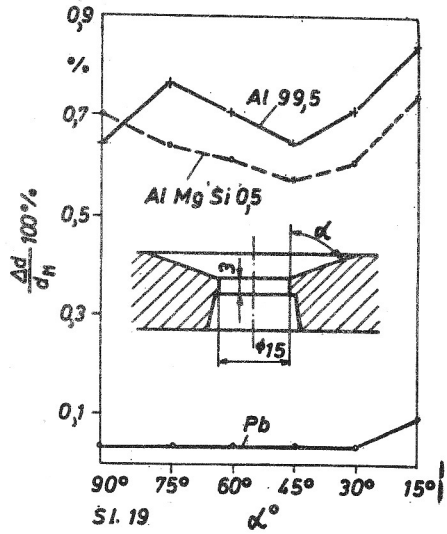
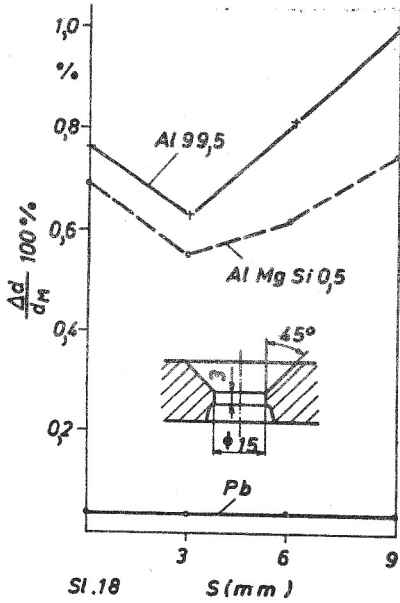
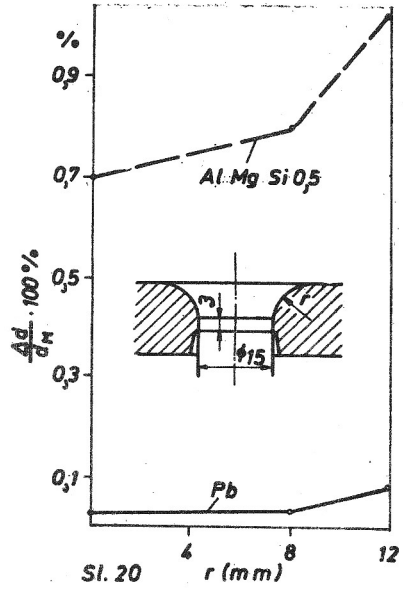
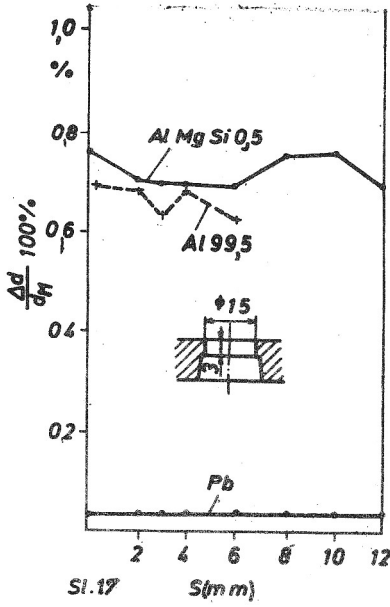
laza šipke kroz otvor matrice dolazi do elastičnog vraćanja t.j. do izwjesnog povećanja promjera šipke, tako da postane $d_s > d_M$. Pojava elastičnog vraćanja je posebno izražajna pri isprešavanju olovnih šipki kod sobne temperature, kada su vrednosti $\Delta d/d_M$ bile čak i negativne i kretale su se od 0 do -0,4%u području za φ ispod 2, kako se vidi iz sl.16.

5.10. Utjecaj ulaznog oblika matrice na $\Delta d/d_M$. Sl.17 pokazuje utjecaj visine vrata S matrice s ravnim čelom. Vidi se, da za olovo taj utjecaj praktički ne postoji, važno je međjutim da S bude dovoljno velik, ne ispod 6 mm, kako bi se dobile ravne šipke. Za toplo prešanje šipki od Al 99,5 treba visina S biti ispod 6 mm, da bi se izbjegla pojava tordiranja. Kao najpovoljnija pokazala se matrica sa S = 0 mm, koja daje posve ravne šipke bez krivljenja, vidi sl. 10, lijevo. Pri isprešavanju šipki od AlMgSiO,5 je utjecaj visine vrata S na $\Delta d/d_M$ takodjer neznatan. Kvalitet i ravnost šipki je vrlo dobra za sve visine do 12 mm, kada se počinje javljati tordiranje.

Sl.18 pokazuje utjecaj visine vrata pri isprešavanju kroz matrice s koničnim ulazom s $\alpha = 45^\circ$. Vidi se, da visina S za olovne šipke nema utjecaja na $\Delta d/d_M$, važno je ipak, kao i za ravne matrice, dovoljno veliki S, kako bismo dobili pravilne ravne šipke. Za isprešavanje šipki od Al 99,5 i AlMgSiO,5 daje matrica s visinom S = 3 mm najmanji $\Delta d/d_M$, međjutim najpravnije šipke daje ipak matrica sa S = 0 mm. Kod matrica sa S = 6 mm i više javlja se tordiranje šipki od Al 99,5, dok šipke od AlMgSiO,5 ostaju i tada još pravilne.

Sl. 19 pokazuje utjecaj ulaznog kuta α na matricama \varnothing 15 mm i visine S = 3 mm. Vidi se da za olovo kut α nema utjecaja na $\Delta d/d_M$ sve do 30° . Najniže vrednosti $\Delta d/d_M$ pokazale su šipke od Al 99,5 isprešane kroz matrice s $\alpha = 90^\circ$ i $\alpha = 45^\circ$, a za AlMgSiO,5 kroz matricu s $\alpha = 45^\circ$, koja osim toga daje šipkama i najbolju ravnost. Sl. 20 pokazuje utjecaj zaobljenja ulaza matrice. Kako se vidi, ovo zaobljenje za olovne šipke ostaje praktički bez utjecaja na

$\Delta d/d_M$ sve do $r = 8$ mm. Velika zaobljenjase $r = 8$ i 12 mm uzrokuju tordiranje, pogotovo kod šipki od Al 99,5 a nešto manje i kod šipki od AlMgSiO,5.



C. Ispitivanje toka materijala i strukturnih promjena.

Sl. 21 prikazuje trenutno stanje deformacija ucrtane mrežice pri isprešavanju kroz ravnu matricu \varnothing 15 mm. Metal Al 99,5 a temperatura prešanja 450°C . Vidi se, da najveće deformacije postoje u blizini otvora matrice te da središnji dio trupca istječe brže od površinskoga. Vidi se takodjer, da je kod ove matrice prostor mrtve zone relativno velik te da nagib strujnica na granici sa zonom deformacije iznosi oko 45° .

Sl. 22 pokazuje područje intenzivnog tečenja, drobljenja i usitnjavanja strukture pri isprešavanju trupca od AlMgSiO_5 , te volumineznu krupnozrnatu mrtvu zonu. Sitnozrnata struktura zone jakog klizanja povećava se tokom isprešavanja i pri kraju procesa ulazi u šipku, što ima izvjesnog utjecaja i na razlike u mehaničkim svojstvima po poprečnom presjeku između početka i kraja šipke.

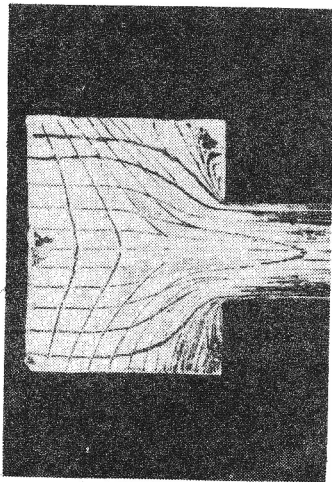
Sl. 23 pokazuje tok materijala AlMgSiO_5 za koničnu matricu s $\alpha = 60^{\circ}$. Intenzivno klizanje ide uz koničnu stijenku matrice, gdje je i struktura vrlo usitnjena. Struktura poprečnog presjeka isprešane šipke je jednolična a mrtva zona je iščezla.

Sl. 24 vrijedi za matricu s kutem $\alpha = 30^{\circ}$. Ističu se dva područja jakog klizanja i mala mrtva zona u uglu cilindra.

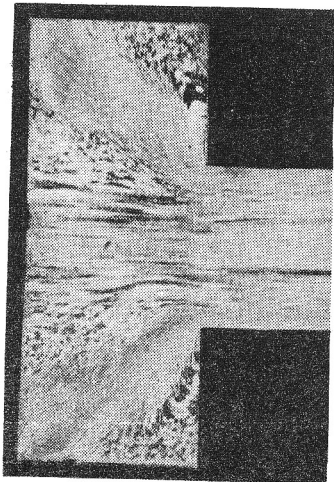
Sl. 25 vrijedi za matricu zaobljenog ulaza radiusom $r = 8$ mm. Središnji dijelovi trpca pokazuju krupnozrnatu strukturu, koja se ulaskom u matricu izdužuje i usitnjava. Vidi se mala mrtva zona u dnu cilindra, koja posve nestaje za veći $r = 12$ mm, za koji će zaobljena površina zahvatiti čitav presjek cilindra.

Sl. 26 pokazuje strukture šipki od AlMgSiO_5 isprešanih kod 450°C uz dva nešto različita stupnja deformacije φ . Povećanjem stupnja φ raste usitnjenost strukture.

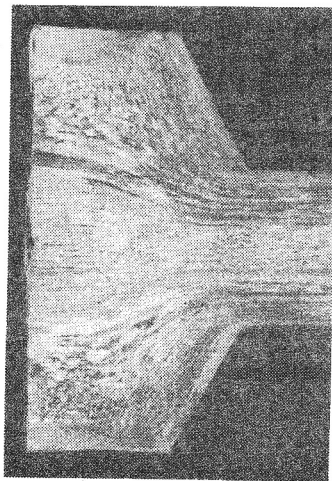
Šipke od AlMgSiO_5 isprešavane pri različitim temperaturama od 300°C do 500°C nisu pokazale strukturnih razlika.



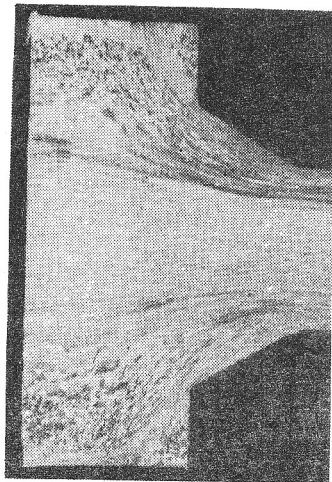
SI.21. Al99.5 $t=450^{\circ}\text{C}$ $\alpha=90^{\circ}$



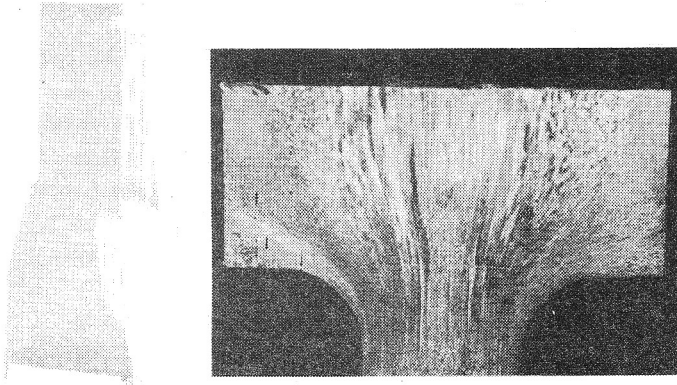
SI.22. AlMgSi0.05 $t=450^{\circ}\text{C}$ $\alpha=90^{\circ}$



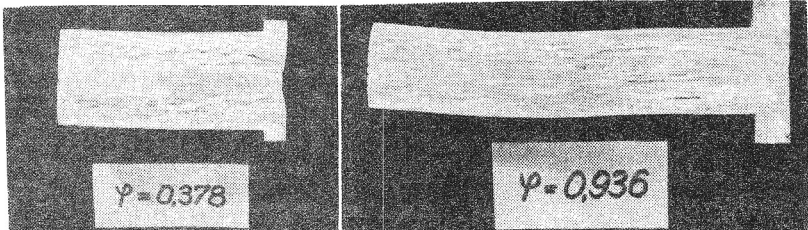
SI.23. AlMgSi0.05 $t=450^{\circ}\text{C}$ $\alpha=60^{\circ}$



SI.24. AlMgSi0.05 $t=450^{\circ}\text{C}$ $\alpha=30^{\circ}$



Sl. 25. $AlMgSi0,5$ $t=450^{\circ}C$ $r=8mm$



Sl. 26. $AlMgSi0,5$ $t=450^{\circ}C$.

Z a k l j u č a k

Na osnovu provedenih pokusa i statističke obrade rezultata dolazi se do slijedećeg zaključka.

Sila isprešavanja F_{\max} raste s povećanjem visine vrata, sniženjem ulaznog kuta matrice te povećanjem radija zaobljenja na ulazu u matricu. Sile isprešavanja kroz matricu ravnog čela ($\alpha=90^\circ$) manje su od sila kroz matricu s koničnim ulazom. Radij zaobljenosti na ulazu nema primjetljivog utjecaja na silu pri hladnom isprešavanju olovnih šipki. Zbog pojave tordiranja šipki od Al 99,5 i AlMgSi0,5 treba izbjegavati velike radije zaobljenosti na matricama.

Razlike između \varnothing matrice d_M i \varnothing šipke d_S rastu s povećanjem temperature prešanja, brzine istjecanja i stupnja deformacije. Temperatura prešanja ima zbog različitih toplinskih dilatacija između materijala matrice i šipke relativno najjačeg utjecaja na razliku $\Delta d = d_M - d_S$.

Za hladno isprešavanje olovnih šipki treba koristiti matrice s većim visinama vrata, koje daju pravilne ravne šipke. Visina vrata do 6 mm nema kod ravnih matrica značajnijeg utjecaja na razliku Δd . Najmanje razlike Δd kod matrica s koničnim ulazom postižu se s visinama vrata od 3 mm. Matrice s visinama iznad 6 mm izazivaju tordiranje šipki od Al 99,5.

Veličina ulaznog kuta nema signifikantnog utjecaja na razliku Δd . Matrice s malim ulaznim kutovima ispod 30° treba izbjegavati zbog pojave tordiranja šipki.

Za isprešavanje šipki od Al 99,5 i AlMgSi0,5 mogu se preporučiti kao najpovoljnije matrice ravnog čela s visinom vrata od 3 mm, koje daju pravilne ravne šipke uz najmanje razlike Δd a zahtijevaju i relativno najmanju silu isprešavanja F_{\max}

L i t e r a t u r a

- /1/ D. Achenbach : Strangpressen von Aluminium. Aluminium 1970/9.
- /2/ M.Z. Ermanok, V.J. Feigin : Proizvodstvo profilei iz aljuminijevih splavov. Metallurgija, Moskva 1972.
- /3/ K.V. Gagen-Torn, F. Ševakin, R.J. Tarnopoljakaja : Vlijanije kontaktnog trenija na istećenije metala pri pressovaniji. Cvetn. met. 1974/11.
- /4/ P. Glebov, V.S. Gorohov : Skorosti istećenija pri pressovanii so smaskoj prutkov iz aljuminijevih splavov. Cvetn. met. 1975/5.
- /5/ H.H. Heinemann : Formänderungsfestigkeit verschiedener Aluminium- und Kupferlegierungen bei hohen Formänderungsgeschwindigkeiten und Umformtemperaturen. Düsseldorf 1962, Schließemann.
- /6/ J. Hribar : Problem visine poprečnih deformacija pri ekstruziji šipkastog materijala od lakih metala. Zagreb-Šibenik 1975.
- /7/ J. Hribar : O dimenzioniranju ekstruzionih matrica u proizvodnji šipkastog materijala od lakih metala. Zbornik radova III 1976, Fak. stroj. i brodogr. Zagreb.
- /8/ J. Hribar : Dimensionieren von Matrizenöffnungen zum Strangpressen von Leichtmetallen. Industrie Anz. 1977/12.
- /9/ E. Kursetz : Das Warmpressen von Aluminium und Aluminiumlegierungen. Werkstatt u. Betrieb, 1964/8.
- /10/ B. Musafija : Pressovanje aluminija metodom istosmjernog istiskivanja. Naučno-stručni skup Obrada deformis. Banjaluka 1977.
- /11/ B. Musafija : Modelska analogija procesa ravninskog deformacionog stanja. Obrada deform. u mašinstvu, br.3. Niš 1977.
- /12/ M. Vater, H.P. Heil : Der Einfluss der Profilform auf den Kraftbedarf beim Strangpressen. Aluminium 1969/3.
- /13/ D. Ruppin, W. Strehmel : Direktes Strangpressen mit konstanter Austrittstemperatur. Aluminium 1977/4.
- /14/ D. Gieselberg : Untersuch. an Strangpressmatrizen. Ber. 22, Inst. f. Umformtechnik, Stuttgart 1975.
- /15/ R. Dahlheimer : Beitrag zur Frage der Spannungen, Formänderungen und Temperaturen beim axialsymmetr. Strangpressen. Ber.20, Inst. f. Umformtechnik, Stuttgart 1970.

ÜBER DEN EINFLUSS DER EINTRITTSFORM DER MATRIZE UND
DES PRESSREGIMES AUF DIE PRESSKRAFT UND PROFILÄNDE-
RUNG BEIM STRANGPRESSEN VON RUNDEN STANGEN AUS Al 99,5,
AlMgSi_{0,5} UND Pb.

Zu diesem Zweck wurden runde Blöcke $\varnothing 38 \times 60$ mm durch Versuchsmatrizen nach Bild 3 stranggepresst. Als Presse diente universelle Werkstoffprüfmaschine von 600 kN Presskraft, Bauart MAN. Blöcke aus Leichtmetallen wurden nur im warmen Zustand, Pb-Blöcke nur bei Raumtemperatur gepresst. Wegen der beschränkten Kolbengeschwindigkeit der Presse war auch die Austrittsgeschwindigkeit bei diesen Versuchen verhältnismässig niedrig und betrug, je nach Matrizenöffnung, etwa 8 bis 196 cm/min. Aus demselben Grunde musste auch die Umformgeschwindigkeit niedrig gehalten werden: 0,1 bis 0,35 s⁻¹.

Versuchsergebnisse können folgenderweise zusammengefasst werden.

Presskraft F_{\max} wächst mit der Vergrößerung der Halstiefe der Matrizenöffnung und mit dem kleiner werdenden Eintrittswinkel an der konischen Matrize, wächst aber auch mit der Abrundung an der Eintrittsseite, Bilder/6 - 9/. Konische Matrizen verlangen zum Pressen von Al 99,5 und AlMgSi_{0,5} um etwa 7 bis 8 % höhere F_{\max} . Wegen der Neigung zum Tordieren von runden Stangen aus Leichtmetallen sind die Matrizen mit grossen Abrundungen zu vermeiden, /Bild 10 rechts/. Der Unterschied $d_M - d_s = \Delta d$ / $d_M = \varnothing d$. Matrizenöffnung, $d_s = \varnothing$ der runden Stange/ wächst mit der Erhöhung der Presstemperatur, der Pressgeschwindigkeit und des Umformgrades. Der Einfluss der Presstemperatur auf die Differenz Δd kommt dabei wegen der unterschiedlichen Wärmedehnungen zwischen Matrize und Pressmetall sehr stark zum Ausdruck /Bild 5/. Um gerade und massrichtige Stangen zu erhalten sind zum Kaltpressen von Pb-Stangen die Matrizen mit grösseren Halstiefen von 8 bis 12 mm zu verwenden. Die Halstiefe an ebenen Matrizen bleibt für Leichtmetalle ohne Einfluss auf Δd /Bild 17/, demgegenüber wird bei konischen Matrizen ein Kleinstwert von Δd für Halstiefe von 3 mm erreicht /Bild 18/. Der Einfluss der Konizität ist nicht signifikant/Bild 16/. Die Winkel unter 30° sind wegen der Tordierung von Stangen zu vermeiden. Für Leichtmetalle ist ebene Matrize mit der Halstiefe von 3 mm zu empfehlen.