

1. REFERATI, SAOPŠTENJA I PRIKAZI

NEKI TEHNOLOŠKI PROBLEMI U PROIZVODNJI EKSTRUDIRANOG MATERIJALA OD LAKIH METALA

Josip Hribar, red. prof. FSB Zagreb.

1. Uvod

Tri ekstruziji šipkastog materijala od lakih metala u vidu profila raznoraznih složenih presjeka, punih i šupljih, sa i bez rebara, javlja se niz problema, koji nastaju

- a/ zbog zahtjeva na taj materijal s gledišta mehaničko-tehnoloških svojstava i određene kvalitete površine,
- b/ zbog složenosti presjeka profila i neophodnih dimenzionalnih tolerancija,
- c/ zbog zahtjeva što veće tankostjenosti i mogućnosti što veće brzine ispreševanja u svrhu sniženja proizvodnih troškova i cijene proizvoda.

Rješavanje problema započinje redovito s izborom odgovarajućeg sastava metala, koji će zadovoljiti postavljene zahtjeve, uključuje konstrukciju ekstruzionog alata te izbor veličine preše i utvrđivanje optimalnog režima ekstrudiranja za zadani profil i materijal. Što se tiče sastava metala i njegovog utjecaja s gledišta ekstruzije, danas se, kako je poznato, sve vrste lakih metala više

ili manje uspješno ekstrudiraju, počevši od tehnički čistog aluminijskog tipa. Kemijski i strukturni sastav metala ima pri tome značajan utjecaj na postupak isprešavanja i to koliko s gledišta visine potrebne deformacione sile toliko i s gledišta dostizive tankostjenosti isprešavanog profila te najveće dozvoljene brzine isprešavanja. Sa složenošću sastava i strukture i porastom njihove čvrstoće i tvrdoće kod sobne temperature raste redovito i deformacioni otpor kod radne temperature isprešavanja, rastu i teškoće oko postizavanja tankostjenih profila uz primjetljivo odnosno znatno opadanje brzine isprešavanja a time i proizvodnog kapaciteta preše.

U ovom su prikazu obuhvaćene samo one pojedinosti, koje su od neposrednog interesa i utjecaja na uspjeh u proizvodnji ekstrudiranog materijala. a to su :

- 1/ Visina deformacione sile u ovisnosti o utjecajnim faktorima,
- 2/ Dostizive najmanje debljine stijenki pri isprešavanju tankostjenih profila.
- 3/ O dimenzioniranju i oblikovanju radnog otvora matrice.

Eksperimentalni dio ovog rada vršen je u TIM Borisa Kidriča, Šibenik-Ražine u suradnji sa stručnjacima tvornice : Ing. J. Čolović, Ing. J. Prigla i mr. Š. Lazinica.

2. Sila isprešavanja i specifični utrošak radnje.

Pri izboru veličine preše te konstruiranju i dimenzioniranju opterećenih dijelova ekstruzionog alata susrećemo se s pitanjem o visini potrebne sile isprešavanja, sa kojom će žig preše tlačiti na čelu ekstrudiranog trupca. Ova je sila ovisna, kako je poznato, o nizu faktora, od kojih kao posebno utjecajne uz vrst metala treba navesti stupanj deformacije, temperaturu isprešavanja te složenost i tankostjenost presjeka isprešavanog profila. U manjoj mjeri utječu brzina isprešavanja te duljina isprešavanog trupca.

Sila isprešavanja može se promatrati kao rezultanta dviju sila : od sile za plastično preoblikovanje trupca u oblik isprešavanog profila i sile trenja, koje vlada na kontaktnim površinama metala sa stijenkama recipijenta i matrice. Obje sile mijenjaju se tokom isprešavanja. U prvoj fazi zaprešavanja trupca na promjer recipijenta raste sila do maksimalne vrednosti u času, kada započinje istjecanje profila. Tokom daljnjeg isprešavanja dolazi zbog povišenja

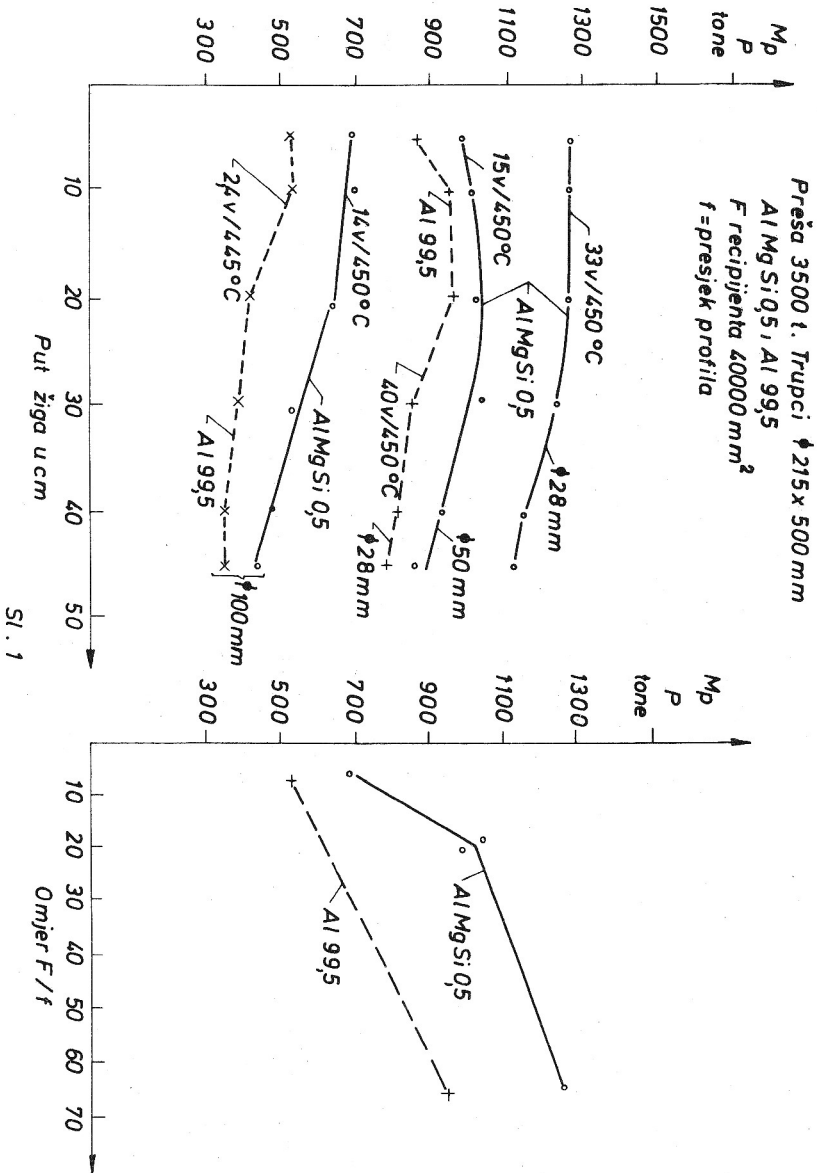
temperature uslijed pretvorbe mehaničke radnje u toplinu kao i zbog sve većeg skraćanja trupca do opadanja sile isprešavanja tako da možemo računati sa srednjom silom, koja je često puta oko 10 do 20 % manja od maksimalne. Od niza provedenih mjerenja dajemo ovdje u vidu dijagrama prikaz o utjecaju oblika i veličine za nekoliko profila te utjecaj temperature i brzine na silu isprešavanja.

Sl.1. pokazuje promjenu sile tokom isprešavanja okruglih \varnothing 28 do 190 mm profila na preši od 3500 Mp i to uz temperature prešanja od 450 te različite brzine od 2,4 do 40 m/min. Desni dio slike pokazuje jak utjecaj omjera između presjeka zaprešanog trupca i presjeka profila na silu isprešavanja. Materijal trupca bio je Al 99,5 i AlMgSi 0,5 a dimenzije trupca 217x500 mm.

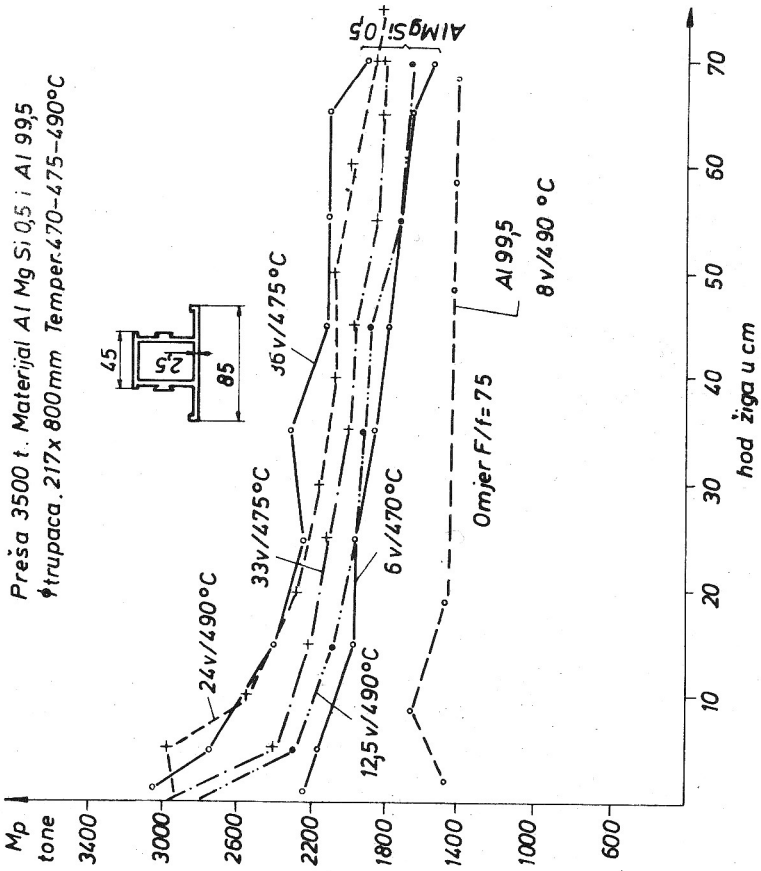
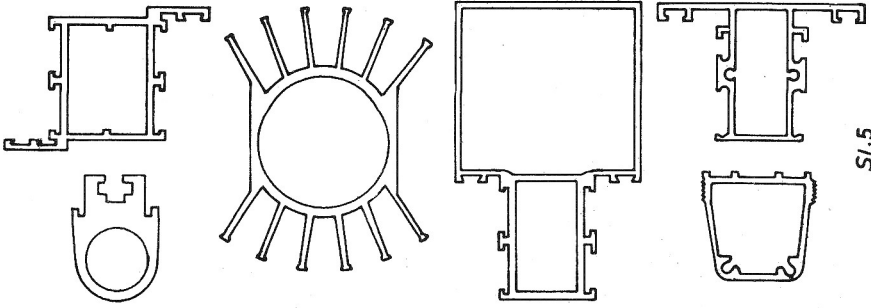
Sl.2. pokazuje promjenu sile tokom isprešavanja šupljeg tankostjenog profila na istoj preši ali iz trupca 217x800mm, također iz Al 99,5 i AlMgSi0,5. Planimetriranjem površina ispod ovih krivulja izračunate su specifične radnje isprešavanja. U tabl.1 sabrani su pregledno rezultati mjerenja sa podacima o visini pritiska p_{max} i p_{cr} na čelu trupca te o specifičnom utrošku radnje isprešavanja. Vidi se da AlMgSi0,5 zahtijeva za 30 do 50 % veće sile isprešavanja nego Al99,5 a dural za cirka 40% veće nego AlMgSi0,5.

Utjecaj temperature na silu isprešavanja ispitivan je isprešavanjem okrugle šipke \varnothing 30 mm od AlMgSi0,5 na preši od 1250 Mp i to za temperature trupca od 460 C i 360/375 C. Rezultate ispitivanja pokazuje sl.3. u kojoj je ucrtan i oblik pokusne matrice te označene dimenzije pokusnih trupca. Kako se vidi, sniženje temperature za 85° do 100°C ispod uobičajene temperature od 460°C povisuje maksimalnu silu prešanja za 50 do 90 %. Poznavanje tog utjecaja postaje interesantno, kada iz izvjesnih razloga moramo preći na niže temperature isprešavanja.

Utjecaj brzine ispitivan je isprešavanjem okruglih i kvadratnih šipki na preši od 1250 Mp i to od Al99,5 i AlMgSi0,5. Brzine isprešavanja kretale su se u granicama od 2,4 do 23 m/min. Iz sl.4 se vidi, da s porastom brzine raste nešto i sila isprešavanja, ipak taj je porast sile i za deset puta veće brzine isprešavanja relativno malen. Iz podataka literature /1,2,3/ može se međjutim zaključiti, da ti utjecaj brzine na visinu sile kod temperature isprešavanja i u području dovoljno visokih brzina deformacije trebao biti već i za povećanje brzine od samo deset puta vrlo izrazit i svakako znat-






Sl. 1



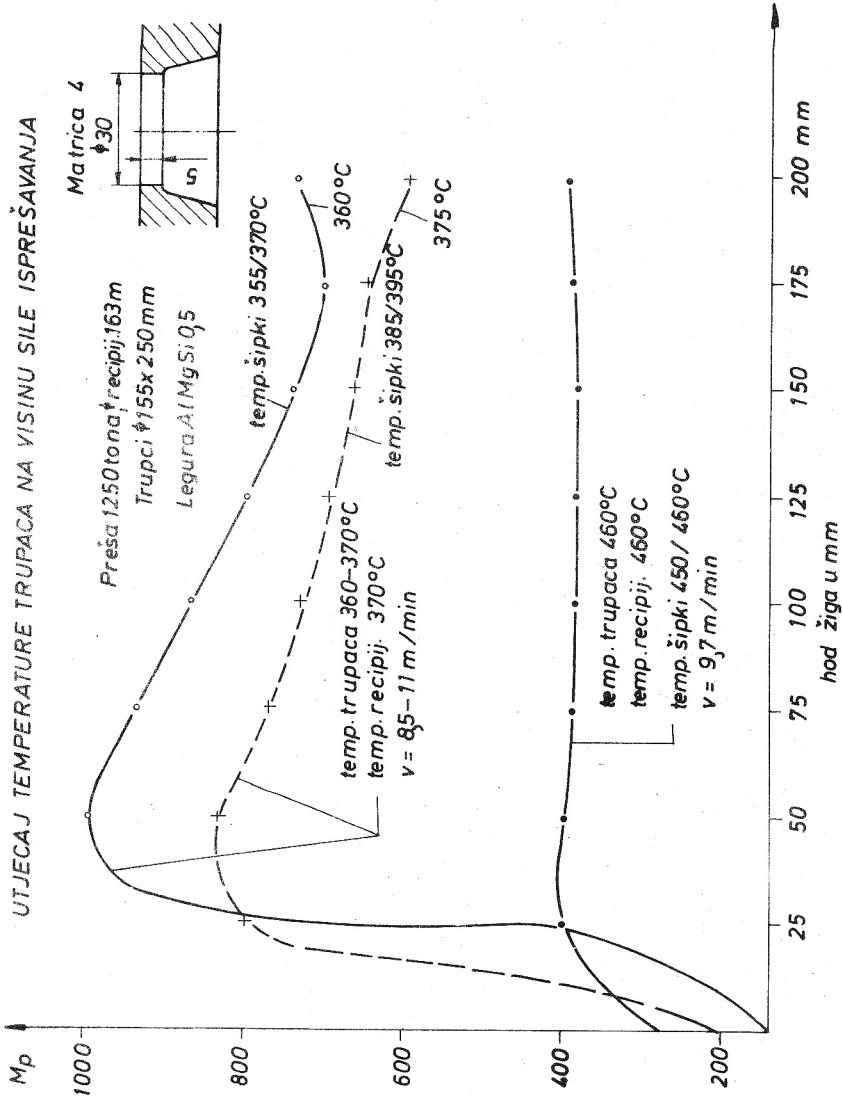
SI. 2

Tablica 1.
Pritisci na čelu trupca i specifični utrošak radnje

Profil	Materijal	Dimenzije trupca	Preša tone	Omjer F/f	Temper. °C	Pritisci na čelu trupca kp/mm^2		Spec. utrošak radnje	
						P_{mdx}	P_{sr}	t/toni	kwh/toni
	AlMgSi0,5	°217x800	3500	75	450-500	50-60 ^x	45-54 ^x	17000-20000	45-55
	Al99,5								36-43
φ100 mm	AlMgSi0,5	°217x500	3500	5,6	450	18	13	4700	13
	Al99,5					13,5	10	3700	10
φ28 mm	AlMgSi0,5	°217x500	3500	65	450	33	31	11000	30
	Al99,5					23	22		21
φ30 mm	AlMgSi0,5	°155x250	1250	29,5	460	19-32 ^x	18-29 ^x	8000-12000	22-23
	Al99,5					13-15	12-14	5600-6300	15,5-17,5
	Dural					370	50 53	47 74	20000
 45 x 45 mm	AlMgSi0,5	°217x500	3500	19	450	27	24	8700	24
	Dural					370	38	35	13000
 182 x 35	Dural	°295x600	5000	11,5	430	37	31	10800-11500	30-32

x) za nešto niže temperature trupca

UTJECAJ TEMPERATURE TRUPACA NA VISINU SILE ISPRESAVANJA



Sl.3

UTJECAJ BRZINE NA SILU ISPREŠAVANJA

Preša 1250t recip. 163 mm

Trupci $\phi 155 \times 250$ mm

Profili kvadratni 45 x 45 mm

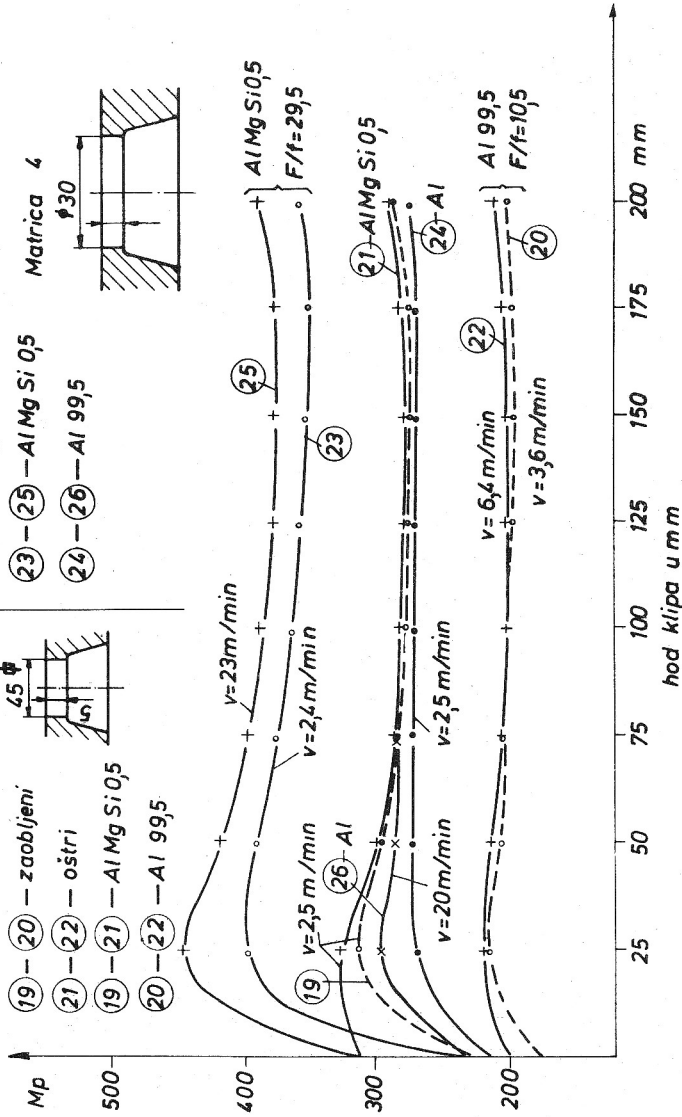
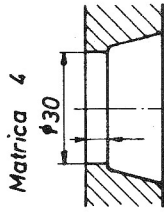
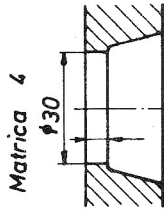
Profili okrugli $\phi 30$ mm

19 - 20 - zaobljeni

21 - 22 - ostri

19 - 21 - AlMgSi0,5

20 - 22 - Al 99,5



Sl.4

no izrazitiji nego što to slijedi iz rezultata pokusa prikazanih na sl.4. Razlog ovom nepoklepanju treba tražiti u činjenici, da tokom ekstruzije dolazi zbog pretvorbe mehaničke radnje do povišenja temperature, koje povišenje djeluje na sniženje deformacione sile. Može se očekivati, da će kod vrlo visokih brzina isprešavanja, na pr. od 50 i više m/min, kada se bude proces odvijao sve više adijabatski, utjecaj brzine na silu isprešavanja biti još manje izrazit, ukoliko bude utjecaj spomenutog povišenja temperature prevladavao i sve više kompenzirao utjecaj brzine na silu isprešavanja. Nastavak pokusa u tom smjeru treba da daje više uvida i sigurnijih podataka i o utjecaju u području vrlo visokih brzina.

3. O dostizivoj najmanjoj debljini stijenke kod isprešavanja šupljih tankostjenih profila.

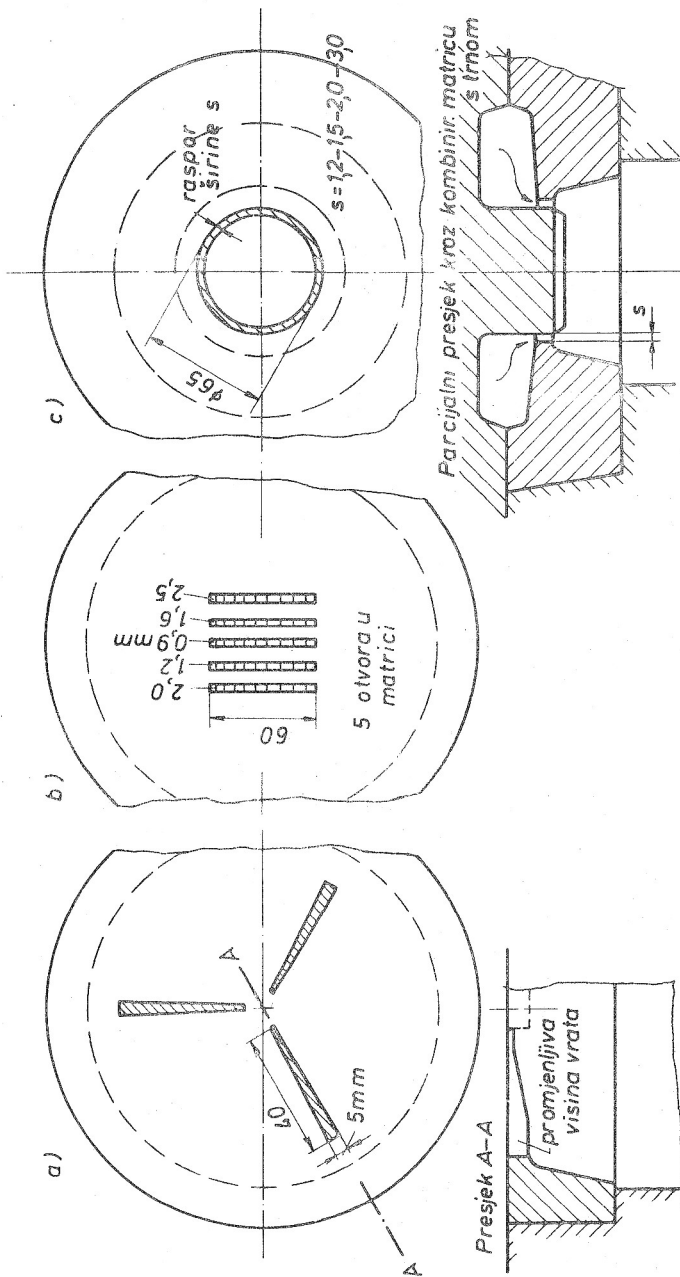
Problem postaje posebno interesantan u proizvodnji tzv. građevinskih profila te radijatorskih članaka za centralno grijanje. Radi se o profilima, sl. 5, koji se ističu složenošću presjeka a redovito i tankostjenošću radi uštede na težini i sniženju tržišne cijene. Povrh toga zahtijevaju se dovoljno uske tolerancije dimenzija i oblika da bi se osiguralo lako međusobno sklapanje profila. Sve to zajedno uzrokuje dodatnih teškoća u proizvodnji, počevši od složenije konstrukcije alata, izbora odgovarajuće vrste metala pa do razrade režima isprešavanja te završnih operacija proizvodnje. Poblje razmatramo samo problem utvrđivanja najmanje moguće debljine stijenke, sa kojom se još može ove profile bez škarta i posebnih teškoća proizvoditi. U tu svrhu korištene su slijedeće tri izvedbe pokusnih matrica, sl.6 :

- a/ sa tri radijalno usmjerena otvora u obliku klina,
- b/ sa pet pravokutna otvora različitih debljina od 0,9, 1,2, 1,6, 2,0 i 2,5 mm,
- c/ matrica za cijevaste profile vanjskog \varnothing / 65 mm i debljine stijenki od 3 mm na niže do 1,0 mm.

Pokusni su provodjeni na preši od 1250 Mp, sa trupcima \varnothing 155x500mm od AlMgSiO,5, koji se za ove proizvode najčešće upotrebljava.

Rezultati pokusa su slijedeći.

- a/ Klinasti uzorci, sa širinama od 0 na vrhu do 5,0mm na širem kraju, pokazali su ispunjenje vrha do debljine od 0,5



Sl. 6. Pokušne matrice za određivanje minimalne debljine stijenki

do 0,6 mm.

- b/ pravokutni uzorci dosegli su do najmanje debljine od 1,2 mm; protiskivanje metala kroz otvore od 0,9 mm debljine nije uspjelo,
- c/ cijevasti uzorci dosegli su do najmanje debljine stijenki od 1,4 mm.

Prema tome najmanje debljine stijenki kretale su se od 0,5 do 1,4 mm, ovisno o metodi ispitivanja. Sve tri opisane metode mogu zadovoljavati u komparativne svrhe, kada se dakle želi utvrditi eventualni utjecaj vrste metala s gledišta dostizive tankostjenosti. Za ocjenu o stvarno dostizivoj minimalnoj debljini stijenke na nekom zadanom profilu ove metode međjutim nisu dovoljno precizne. Pokazalo se naime, da na stvarnim profilima isti metal ispunjava i t tanje dijelove stijenki, pa čak i takove, koji svršavaju s oštrim bridovima ili uglovima, pogotovo onda ako je susjedni dio stijenke jače debljine i, ako kao takav može dočakati dotok metala u one susjedne tanje odnosno isturene oštre dijelove stijenke. Siguran odgovor o najmanjoj mogućoj debljini stijenke na nekom zadanom profilu može dati samo neposredno isprešavanje dotičnog profila, sa svim onim utjecajnim pojedinostima unutar njegovog složenog presjeka. Od tri opisane metode može se ipak klinaste uzorke smatrati kao najpodesnije za ovakova ispitivanja.

4. O dimenzioniranju i oblikovanju otvora matrice

Između svjetlog presjeka otvora matrice, izradjenog kod sobne temperature, i poprečnog presjeka ohlađenog profila lakon toplog isprešavanja postoje izvjesne razlike i to

- a/ dimenzionalne t.j. u duljinama stranica i debljinama stijenki,
- b/ eventualno i u obliku presjeka : ravne stranice isprešanog profila zahtijevaju više-manje bombirane pripadajuće stranice na otvoru matrice.

Za konstruktora ekstruzionog alata su stoga od koristi pobliži podaci o spomenutim razlikama pod a/ i b/ i njihovoj ovisnosti o utjecajnim faktorima.

Dimenzionalne razlike. Neka znače

a_p -duljina neke stranice ili debljina rebra ili stijenke na pro-

filu kod sobne temperature

a_M - duljina pripadajuće stranice ili širina raspore na otvoru matrice,

tada je

$$\frac{a_M - a_P}{a_P} = \frac{\Delta a}{a_P} \cdot 100\% = Z = \text{višak dimenzija na matrici u \% od } a_P$$

Možemo pretpostaviti, da će se ukupni višak Z sastojati od tri dijela, t.j. da će biti $Z = Z_1 + Z_2 + Z_3$, gdje su

Z_1 - višak zbog razlika u toplinskim dilatacijama između materijala matrice i materijala profila,

Z_2 - višak zbog zatvaranja otvora matrice pod djelovanjem tlačne sile isprešavanja,

Z_3 - višak zbog odvajanja profila od stijenke otvora matrice
Od ove tri veličine daje se samo višak Z_1 računski jednostavno odrediti iz izraza

$$Z_1 = \left[\frac{1 + \alpha_P \cdot \Delta t_P}{1 + \alpha_M \cdot \Delta t_M} - 1 \right] \cdot 100\% \dots \dots \dots 1./$$

gdje su

α_P - koefic. topl. dilatacije $26 \cdot 10^{-6}$ za lake metale

α_M - " " " $13 \cdot 10^{-6}$ za matricu od legiranog

Cr-Mo 1 čelika /UTOF Mo 1/

$$\Delta t_P = t_P - t_0$$

$$\Delta t_M = t_M - t_0$$

t_P = temperatura profila za vrijeme prešavanja

t_M = " " matrice " " " "

t_0 = sobna temperatura.

Grafički prikaz izraza 1/ dozvoljava zaključak, da će Z za lake metale iznositi, u ovisnosti o Δt_P i Δt_M , najčešće oko 0,6 do 0,3%, rjeđe i do 0,9%. Rad sa hladnim matricama t.j. bez predgrijavanja zahtijevao bi veće vrednosti za Z_1 . Tokom rada, kako se matrica zagrijava, doći će zbog dilatacije matrice do nešto jačih dimenzija na profilu.

Iskustvo i niz mjerenja izvršenih u TLM - Šibenik na punim i šupljim profilima pokazali su, da je stvarni t.j. ukupni višak Z redovito veći od Z_1 te da se vrlo često kreće za stranice nekog profila u ranicama od 0,8 do 1,5%, a za tanka rebra i stijenke šupljih profila i znatno iznad toga, čak i preko 10% za debljine

stijenki od svega 2 mm. To znači da na sumu viškova Z_2+Z_3 otpada najčešće 0,2 do 0,7%, a u slučaju tankih stijenki i daleko više, čak i preko 10%.

Što se tiče viškova Z_2 i Z_3 zasad se nemogu dati pobliži podaci. Sigurno je, da će višak Z_2 , koji predstavlja zatvaranje otvora matrice zbog njezine deformacije u radu, ovisiti o veličini sile isprešavanja i svih onih faktora, koji utječu na ovu silu kao i na stupanj deformacije i mehaničku krutost matrice i njezinog držača. Višak Z_3 zamišljamo kao posljedicu nejednolike razdiobe brzine dotoka metala do pojedinih dijelova otvora matrice. To dolazi prvenstveno do izražaja pri isprešavanju debelostjenih i relativno širokih profila i traka, gdje je brzina dotoka u sredini trake, smještenoj negdje u centru ili bliže centru recipijenta biti primjetljivo veća nego na udaljenim periferijskim dijelovima, što ima za posljedicu nejednako punjenje otvora matrice s metalom. U takovim slučajevima je redovito vrijednost omjera presjek trupca/presjek trake relativno niska i što je ta vrijednost niža to više će dolaziti do izražaja ovo nejednako punjenje otvora, dakle i sve veći višak Z_3 . O veličinama Z_2 i Z_3 , povezano ne samo sa razlikama u dimenzijama nego i u obliku između otvora matrice i presjeka profila, govori se u slijedećoj tački.

Razlike u obliku između svjetlog otvora matrice i preseka profila.

Do ovih razlika dolazi

- a/ zbog deformiranje otvora matrice pod djelovanjem sile isprešavanja,
- b/ zbog nejednolike brzine dotoka metala po presjeku otvora matrice.

Da bismo dobili više uvida o veličini Z_2 i njegovom udjelu u ukupnom višku Z izveden je pokus sabijanja olovnih matrica, u koje je urezan pravokutni otvor 10 x 40 mm. Matrice su umetnute u masivni prstenasti čelični držač i sabijane do različito velikog skraćivanja njihove visine. Skraćivanje od 1% pokazalo je na pr. nejednako zatvaranje otvora po opsegu, s uleknućem širih i užih stranica, koje je uleknuće u sredini širih stranica iznosilo oko 1,5% a na rubovima ispod 1%. Uleknuće užih stranica u sredini iznosilo je oko 0,13%. Slobodno sabijanje matrica van držača za isti iznos pokazalo je neznatno povećavanje otvora. Za čelične matrice, sabi-

jane u držaču do granice elastičnosti lanosio bi Z_2 na bazi ovih podataka najviše oko 0,2 do 0,3%. Bude li se međjutim i držač matrice mogao radijalno deformirati pod silom prešanja biti će stvarni Z_2 još znatno manji od ove vrednosti.

Za interesantan slučaj pod b/, kada naime dorazlika u prvobitnom obliku dolazi zbog nejednolike brzine metala po presjeku otvora te do različito velikog odvajanja isprešavanog profila od stijenke matrice, izvršeno je pokusno prešanje duralske trake velikog presjeka od 132 x 35 mm na 5000 tonskoj preši. Pokazalo se je, da ukupni višak Z u sredini širine trake iznosi 2,8 do 3,5%, a na rubovima 4,2 do 6%. Točan pravokutni presjek otvora matrice dao je dakle profil sa prema vani ispupčanom širom stranicom. Otvor matrice mora dakle biti izveden sa prema unutra uleknutom stranicom, da bi isprešana traka bila točno pravokutnog presjeka. U ovom slučaju može se matrice izraditi sa štitinom raspore uz rubove za 5% veća a u sredini stranice za 3,2% veća od nominalne debljine $b = 35$ mm, gdje su 5% odnosno 3,2% uzeti kao srednje vrednosti za višak Z uz rubove odnosno u sredini stranice. Širina otvora matrice biti će dakle uz rubove 36,75 mm a u sredini 36,12 mm, dok će na ohladjenom isprešanom profilu pripadajuće vrednosti biti uz rubove 34,55 do 35,23 mm a u sredini 34,93 do 35,13 mm. Najveća razlika prema nominali od 35,0 mm iznosit će dakle 0,45 mm, dok je prema standardu za ovu debljinu dozvoljeno do 0,6 mm.

Pri kraju ovog prikaza o veličinama Z_2 i Z_3 rezimiramo kako slijedi. Suma $Z_2 + Z_3$ je doduše ovisna o nizu utjecajnih faktora, međjutim za neki zadani slučaj možemo je smatrati konstantnom veličinom i neovisnom o duljini stranice a_p na profilu, koju treba pridodati stranici a_p , da bismo dobili stranicu na matrici

$$e_M = \frac{1 + \alpha_p \cdot \Delta t_p}{1 + \alpha_M \cdot \Delta t_M} \cdot a_p + Z_2 + Z_3 \quad \dots \quad 2/$$

Vrednosti za sumu $Z_2 + Z_3$ treba ovamo uvrstiti u mm, pri čemu će se kretati, u ovisnosti o veličini i obliku profila, u granicama od 0,2 do 0,6 mm najčešće a samo iznimno i iznad toga. Jedn. 2/ daje se za praktičke potrebe i grafički predočiti 3/.

Posljednjih godina vršena su vrlo interesantna laboratorijska ispitivanja sa matricama za isprešavanje / 4,5/ i to s gledišta visine deformacionih sila, utjecaja brzine, visine i razdiobe temperature unutar matrice te deformacije odnosno zatvaranja otvora matrice u radu. Postoji izvjesno poklepanje s rezultatima ovdje iznesenih ispitivanja.

Z a k l j u č e k

Za isprešavanje šupljih i tankostjenih profila, koji suvremenu proizvodnju posebno interesuju, potrebni su relativno visoki specifični pritisci na čelu isprešavanih trupaca, što ima utjecaja i na matricu i deformaciju njezinog radnog otvora.

Potvrdio se je očekivani jak utjecaj temperature na silu isprešavanja, dok se je utjecaj brzine pokazao praktički malenim.

Što se tiče dostizive najmanje debljine stijenki može se zaključiti, da se profili od lako preseljive legure $AlMgSiO,5$ mogu uspješno proizvoditi sa debljinama stijenki od cirka 2 mm, uz dobro ispunjavanje isturenih i tanjih dijelova stijenki kao i oštrih bridova i uglova. Za komparativna ispitivanja s gledišta dostizive najmanje debljine može se preporučiti metoda s klinastim uzorcima.

Razlika mjera na otvoru matrice i presjeku profila ovisi općenito o dimenzijama i obliku profila a iznosi obično oko 1 do 2%. Jedino za tanke stijenke i rebra penje se i na preko 10%. Zamisljamo, da je neophodni višak mjera na matrici sastavljen od tri dijela, od kojih se samo onaj dio, koji uzrokuju različite toplinske dilatacije materijala matrice i profila, može jednostavno računski odrediti. Ostala dva dijela pripisujemo zatvaranju otvora opterećene matrice i odvajanju profila od stijenke otvora. Razmotren je i slučaj, kada se zbog deformiranja otvora kao i zbog nejednolikog dotoka metala do otvora javljaju izvjesne razlike i u geometrijskom obliku između otvora matrice i presjeka profila.

Zusammenfassung.

Zum Auspressen von Hohl- und dünnwandigen Profilen sind relativ hohe spezifische Drücke an den Stirnflächen der Blöcke notwendig. Die Umformkraft ist, wie erwartet, stark von der Pressetemperatur abhängig, demgegenüber ist der Einfluss der Pressgeschwindigkeit praktisch wesentlich kleiner.

Was die kleinstmögliche Wandstärke betrifft, sind die Profile aus $AlMgSiO,5$ mit Wandstärken von circa 2 mm leicht herzustellen, sogar auch solche mit vorspringenden Teilen mit scharfen Kanten und Ecken. Zur komparativen Prüfung hinsichtlich der kleinsten

Wandstärke ist die Methode mit keilförmigen Proben zu empfehlen.

Der Massunterschied zwischen Matrizenöffnung und Profilquerschnitt ist von den Abmessungen und der Form des Profilquerschnittes abhängig und beträgt in meisten Fällen etwa 1 bis 2%. Nur für dünne Wände und Rippen erhöht sich dies auch auf über 10%. Dieser Masszuschlag ist aus drei Teilen zusammengesetzt vorzustellen, von denen ist nur derjenige Anteil, der von der unterschiedlichen Wärmedehnung des Matrizen- und Profilwerkstoffes herrührt, rechnerisch einfach zu erfassen. Die übrigen zwei Anteile sind einer Verschliessung der Matrizenöffnung bzw. der Abtrennung des Profils von der Matrizenwand zuzuschreiben. Es wurde auch der Fall betrachtet, wo gewisse Formänderung bzw. Formunterschied zwischen Matrizenöffnung und Profil zum Ausdruck kommt, sei es wegen einer Verformung der Öffnung unter der Presskraft oder wegen einer ungleichmässigen Metallzufuhr zur Matrizenöffnung.

L i t e r a t u r a

- /1/ Kadai i Manjoine, J.appl. Mech. 1941, Nr.2.
- /2/ Pironneau Y., Conference exposee devant les membres de l'A.F.I.T.A., 1952.
- /3/ Hribar J., Zbornik radova F.S.E. Zagreb, 3.sv.
- /4/ Dalheimer R., Bericht Nr. 20 Inst.für Umformtechnik Univ. Stuttgart, 1970.
- /5/ Gieselberg K., Bericht Nr. 32 Inst.f. Umformtechnik Univ. Stuttgart, 1975.