

O PROBLEMU ODREĐIVANJA VIŠKA MATERIJALA PRI KOVANJU U OTVORENIM KALUPIMA

dr Velibor MARINKOVIĆ

dr Velibor J. Marinković (1947) je diplomirao na Mašinskom fakultetu u Nišu. Na istom fakultetu je magistrirao 1978. godine i odbranio doktorsku disertaciju 1982. godine. Zaposlen je na Mašinskom fakultetu u Nišu u zvanju redovnog profesora. Drži nastavu iz predmeta Mašinska obrada. Objavio je veći broj naučnih i stručnih radova u domaćim i internacionalnim časopisima i u zbornicima naučno-stručnih skupova. Autor je tri udžbenika i jedne monografije. Učestvovao je u izradi većeg broja naučno-istraživačkih projekata u svojstvu rukovodioca ili saradnika. Recenzirao je veći broj univerzitetskih udžbenika i radova za domaće i međunarodne časopise.



Kategorija rada: STRUČNI RAD
Recezent: prof. dr Miroslav Plančak
UDK/UDC: 621.73.073
Rad primljen: 18. 12. 2004.

ADRESA:

18000 Niš
Mašinski fakultet
A. Medvedeva 14

1. UVOD

Opšte je poznata činjenica da se u procesima obrade materijala deformisanjem (OMD) postižu znatno veći stepeni iskorišćenja materijala, nego u procesima obrade materijala rezanjem (OMR). To, naravno, važi i za procese obrade kovanjem [1], [2].

Međutim, treba odmah naglasiti da se postupcima OMD, što znači i kovanjem (sem u retkim slučajevima, kada se radi o prostim oruđima i priboru), ne dobijaju gotovi delovi, već poluproizvodi. Drugim rečima, npr. otkovci, dobijaju svoju upotrebnu vrednost tek naknadnom obradom postupcima OMR.

Kako utrošak materijala u procesima OMD, a naročito pri kovanju, u značajnoj meri utiče na cenu gotovih delova (proizvoda), čine se ogromni mapori u cilju usavršavanja ove tehnologije, kako bi otkovci po obliku i dimenzijama bili što "sličniji" gotovim delovima, odnosno kako bi se višak materijala (primarni i / ili sekundarni) sveo na minimum [3].

Usavršavanje tehnologije kovanja u tom smislu se kreće od šireg uvođenja u praksu postupaka kovanja u zatvorenim kalupima i postupaka preciznog kovanja, do integralnog koncepta kovanja finalnih delova (koncept "near net shape") [2], [4], [5], [6], [7].

To, naravno, nikako ne znači odbacivanje tehnologije kovanja u otvorenim kalupima. Zbog široke nomenklature otkovaka (različitih konfiguracija i masa), relativno velikog veka trajanja alata, jednostavnijeg tehnološkog postupka u celini, manje opasnosti od loma alata ili havarije mašina, kovanje u otvorenim kalupima predstavlja još uvek dominantnu tehnologiju izrade otkovaka.

2. STEPEN ISKORIŠĆENJA MATERIJALA

Kako je već rečeno u procesima OMD stepen iskorišćenja materijala je relativno visok (≥ 55 - 85 %). Ovde treba odmah napomenuti da se najniži stepen iskorišćenja postiže pri kovanju i to pri kovanju u otvorenim kalupima. Ovo je veoma važno, jer je poznato da troškovi materijala učestvuju u ceni proizvoda sa 60 - 70 %, a cena alata sa približno 10 - 20 %.

U konvencionalnoj komadnoj proizvodnji podrazumeva se da se gotovi komadi (delovi) dobijaju nakon primene jednog ili više postupaka OMR, pri čemu se poluproizvodi dobijaju livenjem ili postupcima OMD (valjanje, kovanje, istiskivanje i dr.).

Uzimajući u obzir ceo proizvodni ciklus, kako za druge postupke OMD tako i za kovanje može se definisati ukupni (globalni) koeficijent iskorišćenja materijala u obliku [8]:

^{*)} Rad predstavlja deo istraživanja koja se vrše na projektu MIS.3.02.0071.B. koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije

$$\eta_{mu} = \eta_{m1} \cdot \eta_{m2} \cdot \eta_{m3} = \frac{m_{iz}}{m_{ot,n}} \cdot \frac{m_{ot,n}}{m_{pr}} \cdot \frac{m_{pr}}{m_{uk}} = \frac{m_{iz}}{m_{uk}} \quad (1)$$

gde su:

η_{m1} (-) - stepen iskorišćenja materijala obratka,

η_{m2} (-) - stepen iskorišćenja materijala priprema,

η_{m3} (-) - stepen iskorišćenja materijala sirovog materijala,

m_{iz} (kg) - masa izratka (prema crtežu),

$m_{ot,n}$ (kg) - masa čistog (nominalnog) otkovka,

m_{pr} (kg) - masa priprema,

m_{uk} (kg) - masa ukupno utrošenog materijala.

Detalji o načinu određivanja pojedinih masa u izrazu (1) mogu se naći u literaturi [8]. Na primer, masa priprema određuje se iz relacije:

$$m_{pr} = m_{ot} + m_{om} = m_{ot,n} + m_{tr} + m_{om}^{1)} \quad (2)$$

gde su:

m_{ot} (kg) - masa otkovka (u alatu),

m_{tr} (kg) - masa primarnog tehnološkog rashoda materijala,

m_{om} (kg) - masa obgorelog materijala u procesu kovanja i sečenja priprema.

3. VIŠAK MATERIJALA

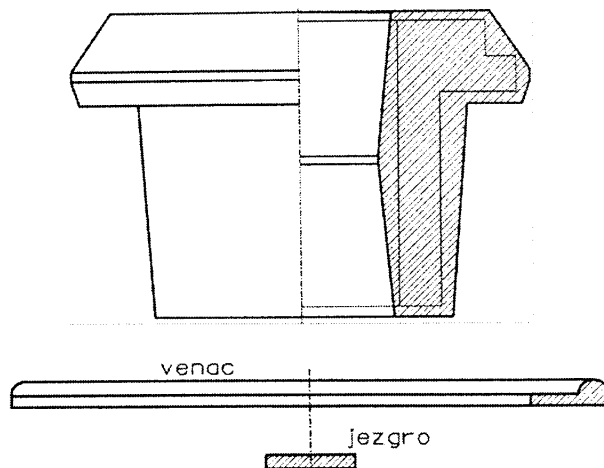
Masa otkovka (u kalupu) je znatno veća od mase gotovog komada, što znači da otkovak sadrži višak materijala koji se mora odstraniti mehaničkim putem. Ova količina materijala se tretira kao rashod materijala (otpadak). Kod kovanja se rashod materijala uvek pojavljuje u dva vida, kao:

- primarni tehnološki rashod materijala, i
- sekundarni tehnološki rashod materijala.

Pomenuti rashodi materijala imaju atribut tehnološki, jer praktično bez njih nije moguće realizovati postupak kovanja u otvorenim kalupima.

U primarni tehnološki rashod materijala spadaju venac otkovka i jezgro, koji se nakon vađenja otkovka iz kalupa odstranjuju odsecanjem i probijanjem na specijalnim mašinama (presama).

Nakon pomenutih operacija dobija se čist (nominalni) otkovak (Slika 1).



Slika 1. Čist (nominalni) otkovak i primarni tehnološki rashod materijala (otpadak)

Sekundarni tehnološki rashod materijala se javlja u vidu dadataka za naknadne operacije OMR i skida se sa otkovka u vidu strugotine. Glavni razlozi za ovaj rashod materijala se ogledaju u nedovoljnoj tačnosti dimenzija i kvalitetu površina otkovka, kao i nemogućnosti da se pri kovanju u otvorenim kalupima formiraju poprečni žlebovi (spoljašnji/unutrašnji), mali prelazni radijusi i sl.. Dodatni razlog su nagibi (spoljašnji/unutrašnji) šupljina kalupa, koji se obavezno propisuju radi neometanog vađenja otkovaka iz kalupa.

Jezgro otkovka postoji kada se radi o delovima koji sadrže jedan centralni otvor. Može ih biti i više, ako su u pitanju delovi sa više otvora u vertikalnoj ravni preseka. Naravno, postoji čitava nomenklatura otkovaka (naročito nerotacionih), koji ne sadrže jezgro.

Venac otkovka karakteriše proces kovanja u otvorenim kalupima. On se javlja zbog:

- a) nesavršenosti tehnološkog procesa obrade kovanjem, i
- b) potrebe popunjavanja gravure kalupa.

Nesavršenost tehnološkog postupka ogleda se u sledećem:

- nepreciznom određivanju dimenzija priprema (zbog variranja preseka sirovog materijala, obgorevanja materijala, toplotnih dilatacija, habanja kalupa),
- greškama pri odsecanju priprema,
- neadekvatnom izboru dimenzija prelaznog mostića (zbog nedovoljno proučenog uticaja na proces kovanja u otvorenim kalupima),
- neravnomernosti formiranja venca otkovka (zbog neparalelnosti i nesaosnosti delova alata i dr.).

¹⁾ Za kovačke alate sa velikim vekom trajanja, trebalo bi ukupnu masu, odnosno masu priprema povećavati srazmerno intenzitetu habanja alata. U praksi se, međutim, procentualno povećanje zapremine (mase) propisuje za sve pripreme, od početka do kraja upotrebe datog alata, što je neekonomično.

Kovanje u otvorenim kalupima predstavlja tipičan nestacionaran proces, koji se odvija u više faza (I-II-III-IV) [9]. Popunjavanje gravure kalupa (naročito kada su u pitanju otkovci sa visokim rebrima i tankim zidovima) vrši se u poslednjoj fazi kovanja, kada višak materijala počne da ističe preko prelaznog mostića u magacin. Naime, u ovoj fazi je tečenje materijala u radijalnom pravcu znatno otežano, zbog velikih otpora na prelaznom mostiću, te se tečenje materijala usmerava prema nepopunjenim šupljinama u kovačkom kalupu. Stvaranje naponskog stanja po šemi tzv. "svestranog pritiska" predstavlja povoljnu okolnost u ovoj fazi kovanja.

Kada bi bilo moguće izbeći poslednju fazu kovanja (IV), dobijali bi se otkovci bez venca. Pošto postojanje venca nije u vezi sa potrebom naknadne obrade postupcima OMR, to se pojam višak materijala praktično vezuje samo za količinu materijala na prelaznom mostiću i magacinu.

Višak materijala povećava ukupne troškove proizvodnje, odnosno cenu otkovaka i gotovih delova, kroz:

- veći utrošak materijala,
- veću potrošnju energije pri kovanju,
- manji vek trajanja alata.

Poznato je da se u poslednjoj fazi kovanja ostvaruju veoma mali stepeni deformacije, ali se troši veliki procenat ukupno potrebne energije (30-40%). Ukoliko se zbog loše projektovanog tehnološkog postupka pojavi velika količina viška materijala, to može izazvati dodatno sabijanje materijala u magacinu, što će proizvesti dodatno (rapidno) povećanje sile i deformacionog rada u zadnjoj fazi kovanja.

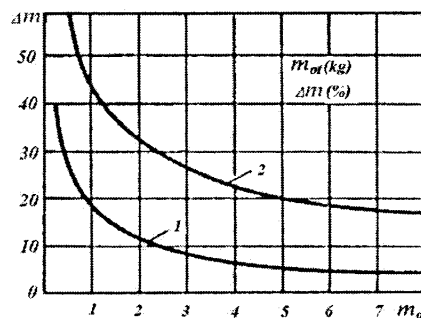
Očigledno je da višak materijala treba svesti na najmanju moguću meru. Praksa je pokazala da se smanjenje mase viška materijala može postići i pravilnim izborom položaja ravni (linije) razdvajanja delova kalupa. Naime, ako se za prelazni mostić i magacin izabere mesto (ravan) sa najvećim otporom tečenja materijala, potrebna je manja količina materijala da se postigne isti cilj – potpuno ispunjavanje gravure kalupa. Pri tome se mora voditi računa da se ne povećavaju sekundarni rashodi materijala, što bi poništilo efekat smanjenja mase venca otkovka.

3.1. Određivanje mase viška materijala

Za proračun mase viška materijala do sada nije razvijen teorijski metod. Zato se inženjeri-tehnolozi u praksi oslanjaju na preporuke iz literature i sopstveno iskustvo. Međutim, i u literaturi su ove preporuke često divergentne i nedovoljno obrazložene. Sumirajući podatke iz mnogih

literaturnih izvora može se izvesti zaključak da masa viška materijala treba da iznosi najmanje 10-20% od mase čistog otkovka. Kod ovakvih preporuka inženjeri-tehnolozi se obično radi sigurnosti odlučuju za veću masu viška materijala.

Nešto preciznije se masa viška materijala može odrediti na osnovu dijagrama sa slike 2. [9].



Slika 2. Uticaj mase otkovka na masu viška materijala
1 – za otkovke manje složenosti, 2 – za otkovke veće složenosti

Nedostatak preporuka sa slike 2. sastoji se u tome što praktično uzimaju u obzir samo jedan parametar (u konkretnom slučaju, stepen složenosti podleže subjektivnoj proceni).

U cilju prevazilaženja velikih proizvoljnosti u određivanju mase viška materijala G. P. Teterin [10] je statističkom analizom više od 200 podataka direktno iz proizvodnje postavio empirijske obrasce za proračun procentualnog učešća mase viška materijala u masi čistog otkovka u obliku:

a) za kovanje na čekićima²⁾,

$$\frac{m_{vm}}{m_{ot}} = -0,54 + 15,44 m_{ot}^{-0,2} + 0,117 m_{ot}^{-0,2} T - 0,01383 \frac{b}{h} T - 0,703 \frac{b}{h} [\%] \quad (3a)$$

b) za kovanje na presama,

$$\frac{m_{vm}}{m_{ot}} = -0,680 + 12,30 m_{ot}^{-0,2} + 0,0777 T m_{ot}^{0,2} - 0,022 T - 0,130 \sqrt{T} [\%] \quad (3b)$$

gde su:

b (mm) - širina prelaznog mostića,

h (mm) - visina prelaznog mostića,

T (-) - parametar složenosti.

Parametar (kriterijum) složenosti T je definisan sledećom relacijom:

$$T = \gamma^2 S (D_0 / D_{ot})^2 \quad (4)$$

²⁾ U daljem tekstu će, zbog jednostavnosti pisanja, pri označavanju mase čistog otkovka biti izostavljen indeks "n"

gde su:

γ (-) - parametar položaja,

S (-) - relativni stepen složenosti,

D_0 (mm) - prečnik priprema nakon pedsabijanja,

D_{ot} (mm) - spoljašnji prečnik čistog otkovka.

Parametar položaja γ se definiše sledećom relacijom:

$$\gamma = \frac{H_{ot}}{h_0 + h_{rk}} \quad (5)$$

gde su:

H_{ot} (mm) - visina čistog otkovka,

h_0 (mm) - razmak površina na kraju kovanja, na koje se oslanja pripremak u početnom položaju,

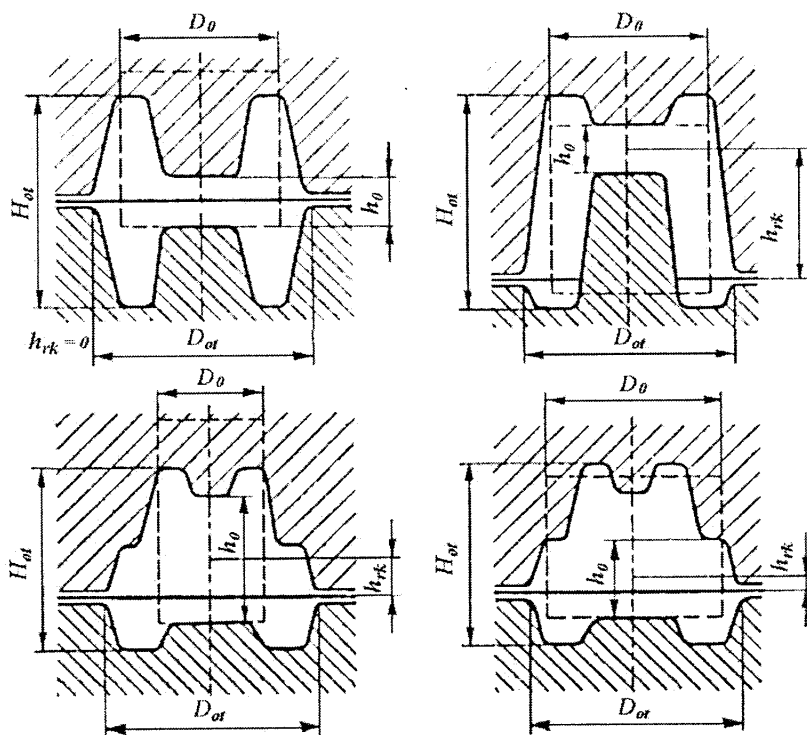
$$S_{pr} = \frac{(O^2 / A)_{pr}}{(O^2 / A)_{pr,c}} \frac{2R_{t,pr}}{R_{pr}} \quad (7b)$$

gde su:

$(O^2 / A)_{ot}$ (mm) - odnos kvadrata obima i površine uzdužnog preseka otkovka,

$(O^2 / A)_{ot,c}$ (mm) - odnos kvadrata obima i površine uzdužnog preseka cilindra opisanog oko otkovka,

$(O^2 / A)_{pr}$ (mm) - odnos kvadrata obima i površine uzdužnog preseka priprema,



Slika 3. Varijante pomeranja spoljašnje linije razdvajanja kalupa i promena početnog položaja priprema

h_{rk} (mm) - razmak spoljašnje i unutrašnje ravni (linije) razdvajanja kalupa.

Geometrijski parametri iz relacija (4) i (5) su naznačeni na slici 3.

Relativni stepen složenosti se definiše kao odnos stepena složenosti oblika otkovka (kalupa) i stepena složenosti oblika priprema [10]:

$$S = S_{ot} / S_{pr} \quad (6)$$

gde su:

$$S_{ot} = \frac{(O^2 / A)_{ot}}{(O^2 / A)_{ot,c}} \frac{2R_{t,ot}}{R_{ot}} \quad (7a)$$

$(O^2 / A)_{pr,c}$ (mm) - odnos kvadrata obima i površine uzdužnog preseka cilindra opisanog oko priprema,

$R_{t,ot}, R_{t,pr}$ (mm) - apscisa težišta polovine uzdužnog preseka otkovka i priprema, respektivno,

R_{ot}, R_{pr} (mm) - poluprečnik čistog otkovka i priprema, respektivno.

Analizom izraza (7) lako se zaključuje da je za cilindrične pripreme (što je najčešći slučaj): $S_{pr} = 1$; $S \equiv S_{ot}$.

Kako se u obrascima G.P.Teterina pojavljuje prečnik D_0 , statističkom analizom podataka o kovanju 220-250 otkovaka isti autor je postavio empirijske obrasce za proračun dimenzija sabijenog pripremla u obliku [10]:

a) za kovanje na čekićima,

$$\begin{aligned} \frac{H_0}{D_0} = & 0,291 + 0,119 \frac{H_{ot}}{D_{ot}} - 0,921 \cdot 10^{-3} m_{pr} - \\ & - 0,801 \cdot 10^{-1} S_{ot} + 1,360 \left(\frac{H_{ot}}{D_{ot}} \right)^2 + \\ & + 0,594 \cdot 10^{-5} m_{pr}^2 + 0,904 \cdot 10^{-2} S_{ot}^2 \end{aligned} \quad (8a)$$

b) za kovanje na presama,

$$\begin{aligned} \frac{H_0}{D_0} = & 0,176 + 0,679 \frac{H_{ot}}{D_{ot}} + 0,864 \cdot 10^{-2} m_{pr} - \\ & - 0,862 \cdot 10^{-1} S_{ot} + 0,624 \left(\frac{H_{ot}}{D_{ot}} \right)^2 - \\ & - 0,164 \cdot 10^{-3} m_{pr}^2 + 0,947 \cdot 10^{-2} S_{ot}^2 \end{aligned} \quad (8b)$$

Određivanje stepena složenosti otkovka predstavlja složen postupak, koje se precizno može obaviti samo primenom računara, dok je njegov uticaj na odnos H_0/D_0 relativno mali. Zato se napred navedeni izrazi mogu uprostiti uvođenjem "srednje" vrednosti ovog parametra. Ako se usvoji $S = \bar{S} \approx 4$ (v. sliku 6), tada se dobija:

a) za kovanje na čekićima,

$$\begin{aligned} \frac{H_0}{D_0} \cong & 0,115 + 0,119 \frac{H_{ot}}{D_{ot}} + 1,360 \left(\frac{H_{ot}}{D_{ot}} \right)^2 + \\ & - 0,921 \cdot 10^{-3} m_{pr} + 0,594 \cdot 10^{-5} m_{pr}^2 \end{aligned} \quad (9a)$$

b) za kovanje na presama,

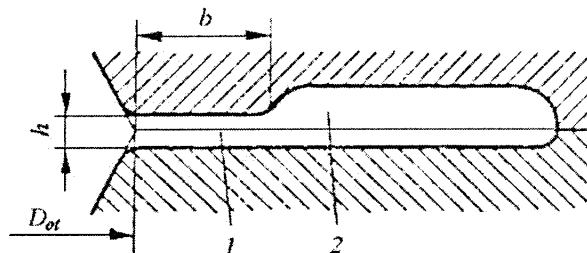
$$\begin{aligned} \frac{H_0}{D_0} \cong & -0,017 + 0,679 \frac{H_{ot}}{D_{ot}} + 0,624 \left(\frac{H_{ot}}{D_{ot}} \right)^2 - \\ & + 0,864 \cdot 10^{-2} m_{pr} - 0,164 \cdot 10^{-3} m_{pr}^2 \end{aligned} \quad (9b)$$

Prečnik se dobija iz uslova postojanosti zapremine(mase) pripremla:

$$D_0 = \sqrt[3]{\frac{4000 m_{pr}}{7,85 \pi (H_0/D_0)}} \quad (10)$$

3.2 Dimenzionisanje prelaznog mostića

Iz obrasca (3a) proizilazi da su dimenzije prelaznog mostića važan faktor uticaja na masu viška materijala. I inače, dimenzionisanje prelaznog mostića predstavlja najvažniji i najteži problem u tehnologiji obrade kovanjem u otvorenim kalupima (Sl. 4.).



Slika 4. Uobičajena geometrija prelaznog mostića i kalupa
1 – prelazni mostić, 2 – magacin

Kada višak materijala dospe u magacin, tj. kada širina venca postane veća od širine prelaznog mostića, tada se povećanje pritiska u šupljini kalupa postiže samo zahvaljujući smanjenju visine prelaznog mostića, odnosno smanjenja debljine venca otkovka. Ova situacija odgovara zadnjoj fazi kovanja o kojoj je već bilo reči. Sa smanjenjem visine h i/ili povećanjem širine b , odnosno povećanjem odnosa b/h raste sila i deformacioni rad kovanja, ali opada i potrebna količina metala u magacinu.

Polazeći od toga da prelazni mostić ima, pre svega, ulogu da pruži otpor isticanju materijala u magacin, može se postaviti sledeća relacija [11]:

$$\left(1 + 2\mu \frac{b}{h} \right) \cdot \exp \left(2\mu \frac{b}{h} \right) \geq 2 \quad (11)$$

Polazeći od toga da se pri kovanju ostvaruje relativno visok koeficijent trenja ($\mu \geq 0,2$), (ne)jednačina (11) može poslužiti samo kao prva aproksimacija pri proračunu dimenzija prelaznog mostića.

U praksi se za proračun visine prelaznog mostića najčešće koristi formula M.V.Afanasjeva-A.V.Rebeljskog [9], [12]:

a) za osnosimetrične otkovke,

$$h = 0,015 \cdot D_{ot} \quad (12.a)$$

b) za izdužene otkovke

$$h = 0,015 \sqrt{A_{ot}} \quad (12.b)$$

gde je:

A_{ot} (mm²) - površina projekcije otkovka na ravan razdvajanja kalupa.

U literaturi se često citiraju obrasci koje je postavio K.Viergge [1], [10], [11]:

$$h = 0,017 D_{ot} + \frac{1}{\sqrt{D_{ot} + 5}} \quad (13.a)$$

$$\frac{b}{h} = \frac{30}{\sqrt[3]{D_{ot} \left[1 + \frac{2 D_{ot}^2}{H_{ot} (2 R_{t,ot} + D_{ot})} \right]}} \quad (13.b)$$

H.Wolf [13] je na osnovu statističke analize proizvodnje osam nemačkih kovačnica postavio sledeće empirijske obrasce za proračun dimenzija prelaznog mostića:

$$h = 1,13 + 0,89 \sqrt{m_{ot}} - 0,017 m_{ot} \quad (14.a)$$

$$\frac{b}{h} = 3 + 1,25 e^{-1,09 m_{ot}} \quad (14.b)$$

Po metodologiji opisanoj ranije o kovanju 200-250 otkovaka G.P.Teterin [10] je postavio empirijske obrasce za proračun dimenzija prelaznog mostića u obliku:

a) za kovanje na čekićima,

$$h = -0,09 + 2 \sqrt[3]{m_{ot}} - 0,01 m_{ot} \quad (15.a)$$

$$\frac{b}{h} = -0,02 + 0,0038 \frac{D_0}{h} S + \frac{4,93}{m_{ot}^{0,2}} \quad (15.b)$$

b) za kovanje na presama,

$$h = 2,17 + 1,39 m_{ot}^{0,2} \quad (16.a)$$

$$\frac{b}{h} = -1,985 + 0,0256 \frac{D_0}{h} + \frac{5,258}{m_{ot}^{0,1}} \quad (16.b)$$

Obrasci (15) i (16) su slični po strukturi obrascima (14), stim što su nešto kompleksniji.

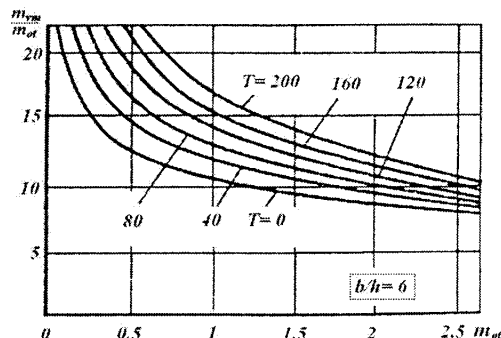
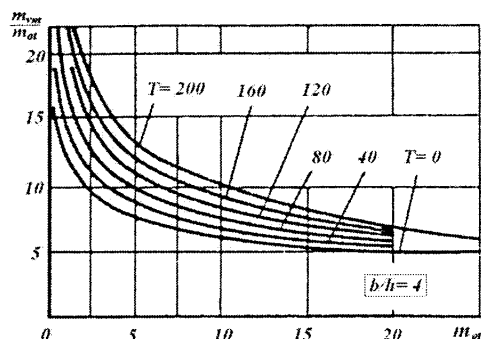
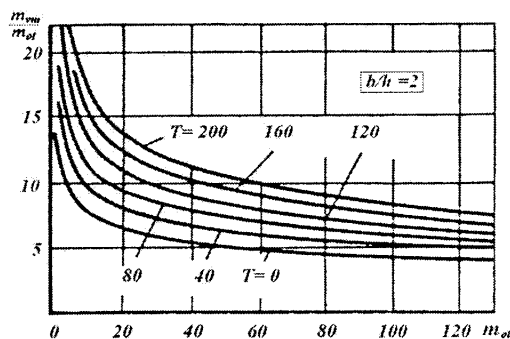
Analizom mnogobrojnih realizovanih primera kovanja u praksi, kao i navedenih obrazaca, može se zaključiti da na dimenzije prelaznog mostića odlučujući uticaj ima masa otkovka.

Zato se za preliminarna istraživanja mogu usvojiti sledeće relacije:

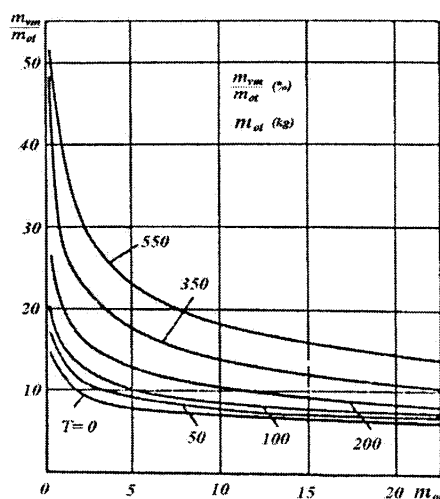
$$\frac{b}{h} \approx 4 \div 8 \quad (\text{za } m_{ot} < 2 \text{ kg}) \quad (17)$$

$$\frac{b}{h} \approx 2 \div 4 \quad (\text{za } m_{ot} > 2 \text{ kg})$$

U navedenim relacijama veće vrednosti b/h se odnose na složenije otkovke, kao i otkovke manjih prečnika (dužina). Takođe, kod presa je odnos



a)



b)

Slika 5. Zavisnost mase viška materijala od mase otkovka:
a) pri kovanju na čekićima b) pri kovanju na presama

b/h manji nego kod čekića i to tako da je visina h uvećana, a širina prelaznog mostića b umanjena.

Obrasci (3) za proračun viška materijala su testirani i pokazali visok stepen determinacije sa primerima realizovanim u praksi. Jedini njihov nedostatak je složenost proračuna. Naime, da bi se ovi obrasci primenili neophodno je prethodno primeniti i mnoge druge obrasce, na primer, obrasce (4-10) i (15-16).

Da bi se inženjerima u praksi unekoliko olakšao posao formirani su dijagrami prikazani na slici 5. [10]. Takođe, da bi se izbegao komplikovani proračun, stepen složenosti forme otkovka se može proceniti na osnovu primera sa slike 6.

$$C_m = m_{uk} C_{uk} - m_r C_r \text{ (din)} \quad (18)$$

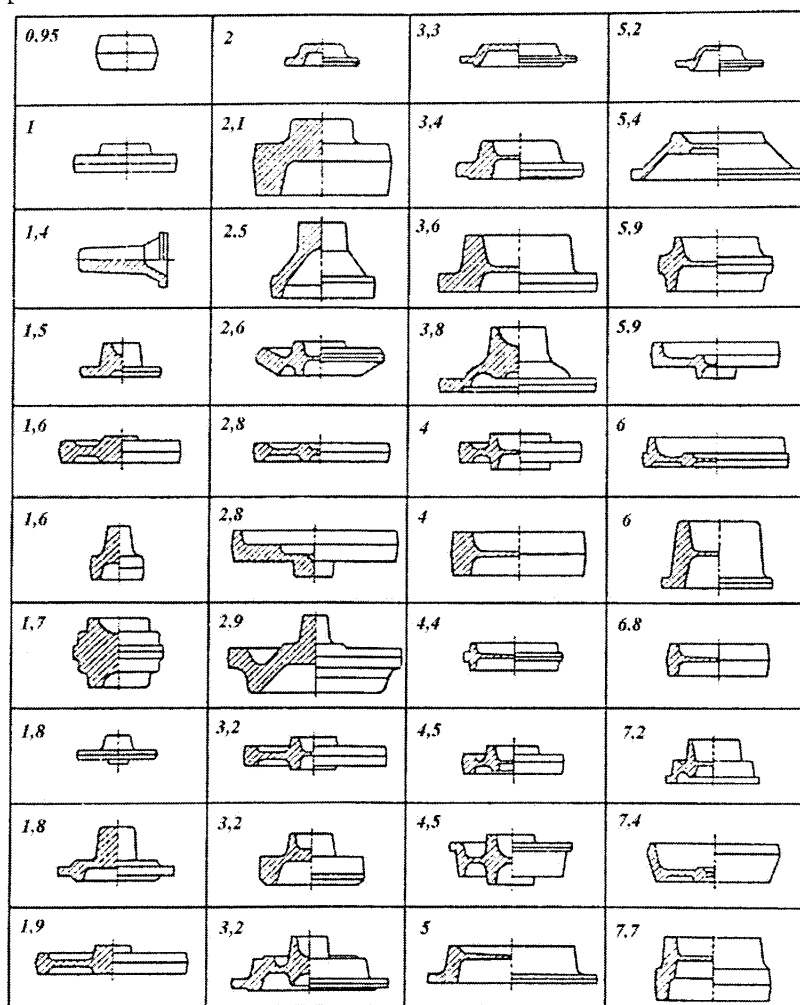
gde su:

m_{uk}, m_r (kg) - masa utrošenog (sirovog)

materijala i masa rashoda materijala u tehnološkom procesu izrade gotovih delova, respektivno,

C_{uk}, C_r (din/kg) - cena po jedinici mase utrošenog

(sirovog) materijala i cena po jedinici mase rashoda materijala (venca, jezgra, strugotine), respektivno.



Slika 6. Stepen složenosti forme za karakteristične otkovke

4. O EKONOMIČNOSTI SMANJENJA MASE UTROŠKA MATERIJALA

Masa viška materijala, koja znatno prevazilazi masu gotovog komada (izratka), direktno utiče na cenu otkovka, pa time i gotovih komada. Cena utrošenog materijala može se izraziti jednačinom oblika [9]:

Za dalju analizu je pogodno uvesti relaciju:

$$\Delta C = C_{uk} - C_r \quad (19a)$$

S druge strane, iz jednakosti (1) sledi:

$$m_r = m_{uk} - \eta_{uk} m_{uk} = m_{uk} (1 - \eta_{uk}) \quad (19b)$$

Unošenjem jednakosti (19) u izraz (18), nakon izvesnih transformacija, dobija se:

$$C_m = m_{iz} \left(\frac{\Delta C}{\eta_{uk}} + C_r \right) \quad (20)$$

Analizom obrasca (20) može se zaključiti sledeće. Ako je stepen iskorišćenja materijala $\eta_{uk} = 1$, tada važi jednakost $m_{iz} = m_{uk}$, odnosno $C_m = m_{iz} C_{uk} = C_{m,min}$. Ako je $C_r = C_{uk}$ (u slučaju da se otpadak koristi u daljoj proizvodnji), tada je $C_m = m_{uk} C_{uk} > C_{m,min}$.

Dakle, udeo cene utrošenog materijala u ceni gotovog dela može se smanjiti smanjenjem cene polaznog materijala i/ili smanjenjem mase polaznog materijala utrošenog na izradu priprema.

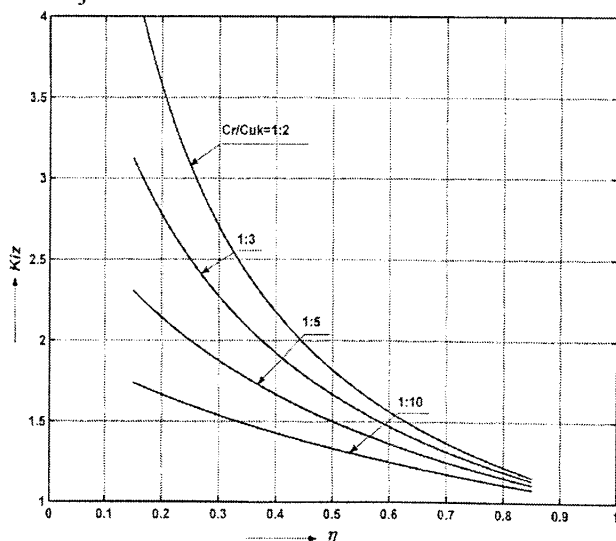
Izvedena analiza je pojednostavljena utoliko što je uzeto da je cena svih parcijalnih rashoda materijala ista.

Kako su u cenu gotovog dela ukalkulisani svi troškovi (materijal, energija, živi rad i dr.), gotov deo ima znatno veću vrednost (cenu) od vrednosti (cene) polaznog materijala. U tom smislu je pogodno analizirati koeficijent povećanja cene gotovog dela po obrascu [9]:

$$K_{iz} = \frac{1}{\eta_{uk} + C_r / C_{uk} (1 - \eta_{uk})} \quad (21)$$

Na slici 7. je dat grafički prikaz izraza (21).

Da bi proizvod bio konkurentan na tržištu mora imati povoljnu cenu. Sa slike 7. je očigledno da treba povećavati ukupni stepen iskorišćenja materijala i odnos cene otpatka prema ceni sirovog materijala.



Slika 7. Koeficijent povećanja cene gotovih delova

5. ZAKLJUČAK

Za povećanje ukupnog stepena iskorišćenja materijala pri kovanju u otvorenim kalupima, kroz smanjenje mase viška materijala, koji se nalazi u vencu otkovka, potrebno je obezbediti:

- veću geometrijsku i dimenzionalnu tačnost priprema (uložnog materijala) prilikom odsecanja,
- tačnije pozicioniranje priprema u alatu,
- preciznije vođenje delova alata,
- tačnije određivanje mase obgorelog materijala prilikom kovanja,
- precizno praćenje stanja pohabanosti alata,
- optimalne dimenzije prelaznog mostića i magacina viška materijala,
- optimalni tehnološki postupak kovanja, od predsabijanja, preko prelaznih formi, do završnog oblika otkovka,
- optimalnu temperaturu zagrevanja priprema i kalupa,
- adekvatnu mašinu za kovanje.

Optimizacija geometrijskih, temperaturnih i brzinskih parametara procesa treba da omogući "slobodno" tečenje materijala i lako popunjavanje kalupnih šupljina. Izbor optimalnih parametara treba da omogući okončanja procesa (završnog) kovanja na samom početku formiranja venca otkovka, što znači svodenje viška materijala u magacinu na minimum.

Optimizacija procesa se može izvršiti metodom fizičkog modeliranja, upotrebom modelskih materijala (plastelina) i jeftinih modelskih materijala od bakelita, stakla, plastike i sl. [14], [15].

S druge strane, do optimalnih parametara procesa kovanja može se doći upotrebom računara i komercijalnih softverskih paketa za MKE analizu i simulaciju procesa tečenja materijala [15], [16], [17]. Ovaj metod je brz i jeftin, ali pored poznavanja tehnologije obrade, zahteva i viši nivo znanja iz informacionih tehnologija.

Do praktičnih rešenja najbrže i najracionalnije se može doći kombinacijom ova dva metoda.

6. LITERATURA

- [1] Spur G. , Stöferle Th. : Handbuch der Fertigungstechnik, Band 2/2 - Umformen. Carl Hanser Verlag, München/Wien, 1984.
- [2] Lange K. : Modern metal forming technology for industrial production. Journal of Materials Processing Technology 71 (1997) 2-13.
- [3] Vajsburd R. A. , Šifrin B. A. : Analiz rashoda metalla na šampovannie pokovki. " Kuznečno-šampovočnoe proizvodstvo", N 2, 1977.
- [4] Douglas R. , Kuhlmann D. : Guidelines for precision hot forging with applications. Journal of Materials Processing Technology 98 (2000) 182-188.
- [5] Dietze M.: Entwicklung präzisions - geschmiedeter Serienteile. Schmiede Journal, No 9, 2002.
- [6] Kudo H. : Towards net-shape forming. Journal of Materials Processing Technology 22 (1990) 307-342.
- [7] Balendra R. : Nett-shape forming: state-of-the-art. Journal of Materials Processing Technology 115 (2001) 172-179.
- [8] Marinković V. : Stepen iskorišćenja materijala u procesima obrade deformisanjem. "IMK-14", god X, br. 1-2, 2004.
- [9] Ohrimenko J. M. : Tehnologija kuznečno-šampovočnog proizvodstva,"Mašinostroenie", Moskva, 1976.
- [10] Teterin G. P. , Poluhin P. I. : Osnovi optimizaciji i avtomatizaciji proektirovanija tehnologičeskikh processov gorjačej objemnoj šampovki. "Mašinostroenie", Moskva, 1979.
- [11] Tomov B., Radev R., Gagov V.: Influence of flash design upon process parameters of hot die forging. Journal of Materials Processing Technology 157-158 (2004) 620-623.
- [12] Atrošenko A. P. , Zinovjev I. S. i dr. : Kovka i šampovka, Tom 2 - Gorjačaja šampovka (pod red. E.I.Semenova), "Mašinostroenie", Moskva, 1986.
- [13] Wolf H.: Zusammenhang zwischen Grat-verhältnis, Grattedicke und Endmasse beim Gesenkschmieden. Fertigungstechnik und Betrieb, No 13, 1963.
- [14] Ravn B. G. , Andersen C. B. , Wanheim T. : Pressure contours on forming dies, Part 1. Simulation using physical modelling technique. Journal of Materials Processing Technology 115 (2001) 212-219.
- [15] Mandić V. : Fizičko medeliranje i numerička simulacija kao osnova novog koncepta projektovanja alata za toplu zapreminsku obradu. Doktorska disertacija. Mašinski fakultet, Kragujevac, 2002.
- [16] Kim H., Yagi T., Yamanaka M.: FE simulation as a must tool in cold/warm forging process and tool design. Journal of Materials Processing Technology 98 (2000) 143-149.
- [17] Slagter W., Hambrecht J.: Schmiedesimulation: Umfrageergebnisse zur Wirtschaftlichkeit. Schmiede Journal, No 9, 2002.

REZIME: Kovanje u otvorenim kalupima se odlikuje viškom materijala, koji predstavlja razliku između mase materijala priprema i mase gotovog komada. Najveći deo viška materijala obrazuje venac otkovka. Manja količina pomenutog viška materijala proizvodi nedovoljno popunjavanje gravure kalupa, dok uvećana količina izaziva: veći utrošak materijala, veći utrošak energije (deformacionog rada), smanjenje veka trajanja alata, rapidno povećanje sile na kraju procesa kovanja.

Inženjeri-tehnolozi najčešće određuju potrebnu količinu viška materijala na osnovu praktičnog iskustva. U radu je prikazan metod proračuna kojim se izbegava proizvoljnost u određivanju mase viška materijala. Time se postižu i značajni ekonomski efekti.

Ključne reči: kovanje u otvorenim kalupima, pripremak, otkovak, izradak, prelazni mostić, magacin, višak materijala, ekonomski efekti

ON THE PROBLEM OF DETERMINING THE EXCESSIVE MATERIAL IN OPEN-DIE FORGING

SUMMARY: Open-die forging is characterized by excessive material that represents a difference between the billet material mass and that of the finished piece. The greatest part of the excessive material forms a flange around the forged part.

A smaller quantity of the above-mentioned excessive material induces an insufficient filling of the die cavity while an increased quantity causes a larger material expenditure, a greater energy use (deformation work), reduced work life of the tools and a rapid increase of the force at the end of the forging process.

Engineers-technologists most often determine the needed quantity of excessive material relying on their practical experience. The paper presents a calculation method that avoids arbitrariness in determining the excessive material mass. In this way considerable economic effects are achieved.

Key Words: Open-die Forging, Billet, Forged Part, Machined Part, Bridge, Gutter, Excessive Material-Flash, Economic Effects

Ovog puta objavljujemo i literaturu za rad prof. dr Velibora Marinkovića pod nazivom STEPEN ISKORIŠĆENJA MATERIJALA U PROCESIMA OBRADE DEFORMISANJEM koji je objavljen u prethodnom broju časopisa IMK "14. OKTOBAR" (18-19 1-2/2004)

- | | |
|--|---|
| <p>[1] Schwartz J. : Wirtschaftliche Fertigung rotationssymmetrischer Schmiedestücke. Werkstatt und Betrieb 113(1980)5.</p> <p>[2] Teterin G. P. , Poluhin P. I. : Osnovi optimizaciji i avtomatizaciji projektovanja tehnoloških procesov gorjačej objemnoj šampovki, "Mašinostroenie", Moskva, 1979.</p> <p>[3] Nakagawa T.: New Technologies of Metal Forming. Annals of the CIRP, Vol.5/2/1986.</p> <p>[4] Arenas J.M, Sebastian M.A., Gaya C.G.: Parametric classification based on technico-economic approaches to optimize the design and manufacturing of hot forged parts. Journal of Materials Processing Technology 150 (2004).</p> <p>[5] Vajsburd R. A. , Šifrin B. A. : Analiz rashoda metalla na šampovannie pokovki. "Kuznečno - šampovočnoe proizvodstvo", No 2, 1977.</p> <p>[6] Molodkina M.N.: Ob ocenke progressivnosti norm rashoda metalla v kuznečno-šampovočnom proizvodstve. " Kuznečno-šampovočnoe proizvodstvo", No 3, 1986.</p> | <p>[7] Balendra R.: Net-shape forming: State-of-the-art. Journal of Materials Processing Technology 115 (2001).</p> <p>[8] Douglas R. , Kuhlmann D. : Guidelines for precision forging with applications. Journal of Materials Processing Technology 98 (2001).</p> <p>[9] Zoshimura H., Tanaka K.: Precision forging of aluminium and steel. Journal of Materials Processing Technology 98 (2001).</p> <p>[10] Wepner L. , Mielke G. : Genauscheren von Stabstahl. Paul Ferd. Peddinghaus, Gevelsberg.</p> <p>[11] Doege E., Hartke G., Fleischer H.: Precision of Weight and Shepe with Shered Billets. Annals of the CIRP, Vol. 35/1/1986.</p> |
|--|---|