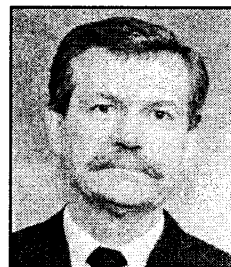


STEPEN ISKORIŠĆENJA MATERIJALA U PROCESIMA OBRADE DEFORMISANJEM

Prof. dr Velibor J. Marinković

Prof. dr Velibor J. Marinković (1947) je diplomirao je 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: PRETHODNO SAOPŠTENJE

Recezeni: Prof. dr Dragiša Vilotić

UDK/UDC: 621.7

Rad primljen: 13. 07. 2004

ADRESA:

18000 Niš

Mašinski fakultet

A. Medvedeva 14

1. UVOD

Jedna od najvažnijih prednosti procesa obrade deformisanjem (OMD) u odnosu na proces obrade materijala rezanjem (OMR) jeste znatno veći stepen iskorišćenja materijala. Naime, u procesima OMR velika količina (masa) materijala se pretvara u strugotinu, tako da je ovaj stepen relativno mali (40 %). S druge strane, u procesima OMD stepen iskorišćenja materijala je relativno visok (55-85 %), pri čemu se u nekim posebnim slučajevima mogu dobiti gotovi proizvodi praktično bez gubitka materijala. Ovako širok interval stepena iskorišćenja materijala jeste posledica široke nomenklature proizvoda koji se mogu izrađivati postupcima OMD, trenutnog stanja date tehnologije i stepena složenosti gotovih komada (izradaka).

O stepenu iskorišćenja materijala u procesima OMD mora se voditi posebna pažnja, jer je poznato da troškovi materijala učestvuju u ceni proizvoda sa oko 60-70 %, a cena alata oko 10-20 %. Ovi podaci ne zavise od činjenice da u serijskoj i masovnoj proizvodnji (koja je karakteristična za OMD) sa porastom obima proizvodnje (broja komada) ukupni troškovi proizvodnje opadaju sa izraženim gradijentom.

Višak mase priprema u odnosu na masu izratka u procesima OMD (sem u izuzetnim slučajevima) je neophodan iz tehnoloških razloga.

Tehnološki višak (rashod) materijala može se tretirati kao primarni i kao sekundarni. Primarni višak je neophodan za nesmetano odvijanje procesa OMD, a sekundarni za realizaciju (naknadnog) procesa OMR. Naime, u procesima OMD se formira obradak (poluproizvod) od kojeg se potom u procesima OMR dobija izradak (proizvod). Primarni tehnološki višak materijala (venac, jezgro, "presostatak" i sl.) može se smanjiti usavršavanjem tehnološkog postupka, čime se, posredno, utiče i na smanjenje sekundarnog rashoda materijala. Na veličinu sekundarnog rashoda materijala (strugotinu) može se direktno uticati povećanjem tehnološkičnosti proizvoda. Ovaj rashod materijala treba posebno imati u vidu, bez obzira što je ponekad manji od primarnog, jer je poznato da su troškovi OMR po jedinici mase obratka višestruko veći od troškova OMD. Zato se u tzv. komadnoj proizvodnji teži ka minimalnim dodacima za naknadnu obradu, koji pri tome ne ugrožavaju realizaciju procesa OMD. Međutim, tek se preciznom tehnokoekonomskom analizom može utvrditi njen optimalni iznos 1, 2, 3, 4.

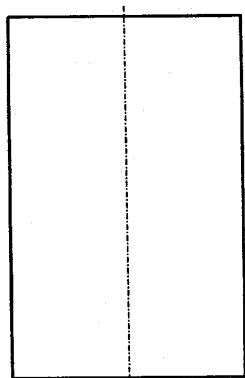
2. DEFINICIJA STEPENA ISKORIŠĆENJA MATERIJALA

Kada su u pitanju postupci OMD stepen iskorišćenja materijala može imati parcijalni i globalni karakter. Oko načina definisanja ovog pokazatelja u naučnoj i stručnoj javnosti još postoje izvesne dileme. Da bi se

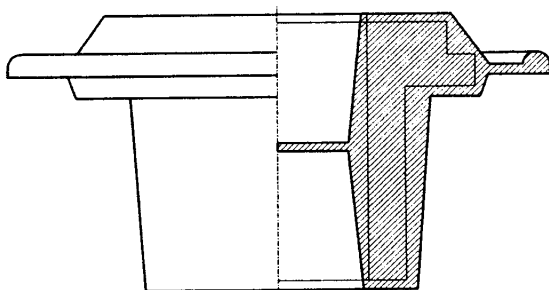
^{*)} Rad predstavlja deo istraživanja koja se vrše na projektu MIS.3.02.0071.B. koji finansira Ministarstvo nauke i zaštite životne sredine Republike Srbije

lakše shvatila razlika između pojedinih stepena iskorišćenja materijala potrebno je pratiti faze transformacije priprema u izradak (Slika 1.).

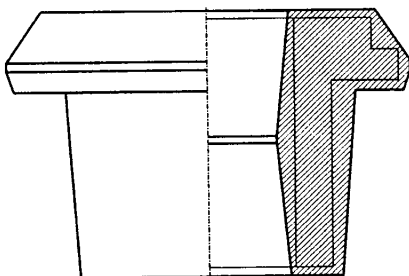
pripremak



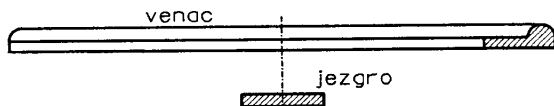
obradak (u alatu)



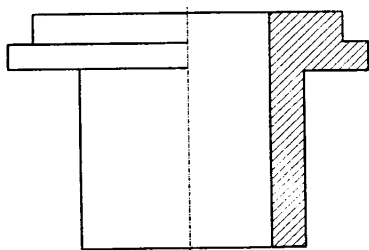
nominalni obradak



primarni otpadak



izradak



Polazeći od stavova većine autora koji su tretirali ovu problematiku, parcijalni stepeni iskorišćenja materijala se mogu definisati sledećim relacijama:

a) Stepen iskorišćenja materijala obratka¹:

$$\eta_{m1} = \frac{m_{iz}}{m_{ob,n}} \quad (1)$$

gde su:

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

$m_{ob,n}$ (kg) - masa nominalnog (čistog) obratka.

Masa obratka (u alatu) se može definisati matematički sledećom relacijom:

$$m_{ob} = m_{ob,n} + m_{lr} \quad (1a)$$

gde je:

m_{lr} (kg) - masa primarnog tehnološkog rashoda (viška) materijala.

b) Stepen iskorišćenja materijala priprema:

$$\eta_{m2} = \frac{m_{ob,n}}{m_{pr}} \quad (2)$$

gde je:

m_{pr} (kg) - masa priprema.

Masa priprema se može definisati na sledeći način²:

$$m_{pr} = m_{ob} + m_{om} = m_{ob} + (m'_{om} + m''_{om}) \quad (2a)$$

gde su:

m'_{om} (kg) - masa obgorelog materijala u procesu deformisanja,

m''_{om} (kg) - masa obgorelog materijala u procesu rezanja priprema.

Masa obgorelog materijala se može (realitvno tačno) proračunati, ali se u praksi izražava kao procentualni iznos mase obratka, odnosno mase priprema. U tom smislu može se napisati:

$$\begin{aligned} m'_{om} &= \xi' \cdot m_{ob}; m''_{om} = \\ &= \xi'' (m_{ob} + m'_{om}) = \xi'' (1 + \xi') \cdot m_{ob} \end{aligned} \quad (2b)$$

Unošenjem relacije (2b) u izraz (2a) dobija se³:

¹ U ruskoj literaturi se ovaj stepen definiše i kao "koeficijent masene tačnosti (obratka)"

² Neki autori zanemaruju masu m'_{om} a masu m''_{om} , računavaju u masu obratka (npr. pri kovanju)

³ Npr. za kovanje čelika u uobičajenim uslovima je . Pri višestrukom zagrevanju ovaj se koeficijent uvećava.

Sl. 1. Tehnološke faze transformacije priprema u izradak postupcima OMD i OMR

$$m_{pr} = \left[1 + \xi' + \xi'' (1 + \xi') \right] \cdot m_{ob} = v \cdot m_{ob} \quad (2c)$$

Za slučaj obrade i sečenja priprema u hladnom stanju, saglasno zakonu o postojanosti zapremine, važi identitet:

$$m_{pr} \equiv m_{ob} \quad (2d)$$

c) Stepen iskorišćenja sirovog (polaznog) materijala:

$$\eta_{m3} = \frac{m_{pr}}{m_{um}} \quad (3)$$

gde je:

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

Masa utrošenog materijala (svedena na jedinicu proizvoda) definiše se kao suma parcijalnih rashoda (utroška) materijala u proizvodnji:

$$m_{um} = m_{pr} + m_{dk} + m_{nd} + m_{st} + m_{os} \quad (3a)$$

gde su:

m_{dk} (kg) - masa defektnih krajeva sirovog materijala (šipke),

m_{nd} (kg) - masa otpadaka zbog nedeljivosti šipke,

m_{st} (kg) - masa strugotine ili istopljenog materijala pri sečenju šipke na mernu dužinu priprema.

m_{os} (kg) - masa ostatka materijala pri deljenju šipke, nastala iz tehničkih razloga.

d) Stepen ukupnog iskorišćenja materijala:

$$\eta_{mu} = \frac{m_{iz}}{m_{um}} \quad (4)$$

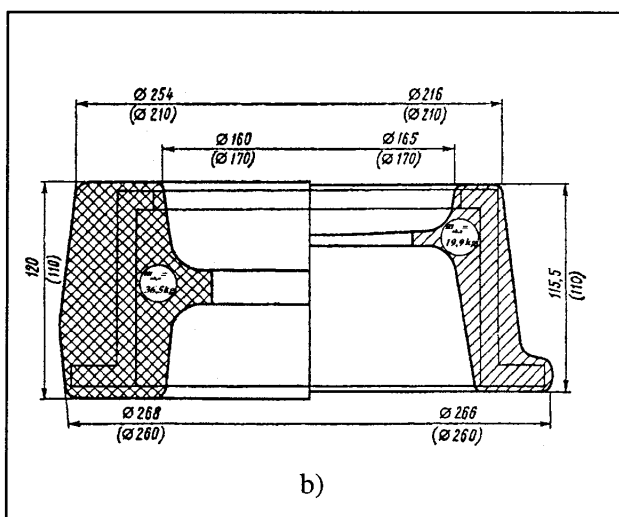
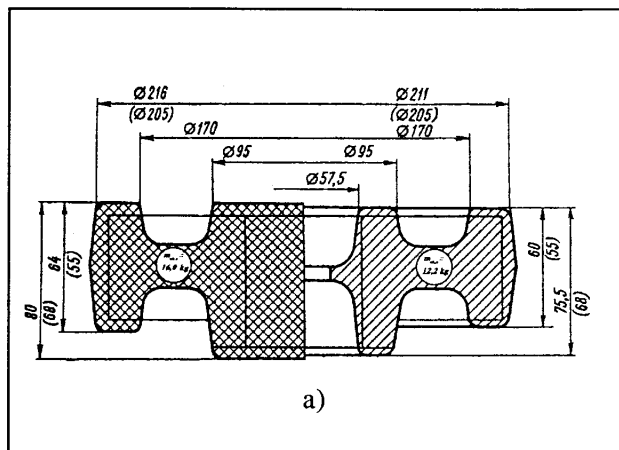
Jasno je da se povećanjem parcijalnih povećava i ukupni stepen iskorišćenja, jer važi sledeća relacija:

$$\eta_{mu} = \eta_{m1} \cdot \eta_{m2} \cdot \eta_{m3} \quad (5)$$

Procenjuje se da za proces kovanja važi $\eta_{mu} = 55 \text{ } 60 \%$.

Parcijalni stepeni iskorišćenja materijala su različitih vrednosti ($\eta_{m2} > \eta_{m1} < \eta_{m3}$). Poznato je da se na globalni stepen iskorišćenja materijala najviše se može uticati povećanjem stepena iskorišćenja. η_{m1}

Stepen iskorišćenja materijala ukazuje na kvalitet projektovanog tehnološkog postupka. Ovaj stepen se može povećati smanjenjem mase čistog obratka, što se može postići usavršavanjem ili zamenom postojeće tehnologije (Slika 2.) 5.



Sl. 2. Primeri uštede materijala usavršavanjem tehnologije

U prikazanim primerima ušteda u materijalu iznosi približno 24 %, odnosno 45 %.

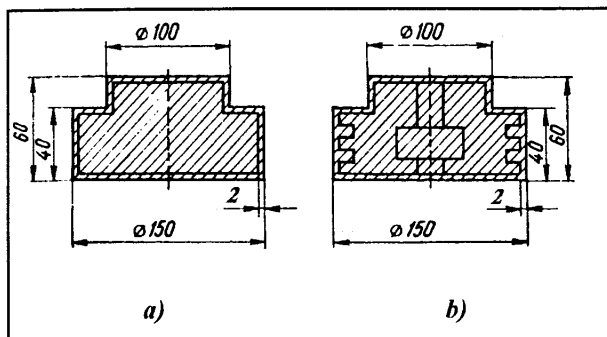
Povećanjem utiče se bitno na smanjenje ukupnih troškova proizvodnje, odnosno na cenu proizvoda i to:

- direktno, smanjenjem utroška materijala
- smanjenjem troškova naknadne obrade rezanjem,
- manjim utroškom energije u procesu OMD.

S druge strane može se desiti da se od istovetnog obratka ($m_{ob}^I = m_{ob}^{II}$) izrađuju gotovi delovi različiti po konfiguraciji i masi ($m_{iz}^I \neq m_{iz}^{II}$) (Slika 3.) . Izradak naznačen na slici 3b) se ne smatra tehnološkim, jer se predviđena šupljina ne može ostvariti postupcima obrade deformisanjem [6].

⁴ U ruskoj literaturi se ovaj stepen definiše i kao " koeficijent tačnosti krojenja (priprema)"

⁵ Neki autori u masu utrošenog materijala uračunavaju i masu škarta u proizvodnji i masu uzoraka za mehanička i metalografska ispitivanja, što može stvoriti zabunu u analizi stepene iskorišćenja. Gubitke ove vrste treba uzeti u razmatranje pri analizi ukupnih troškova proizvodnje.



Sl. 3. Uticaj forme izratka na stepen iskorišćenja

U tom smislu neki autori insistiraju na uvođenju pojma koeficijenta (stepena) tehnološkiosti izratka u obliku:

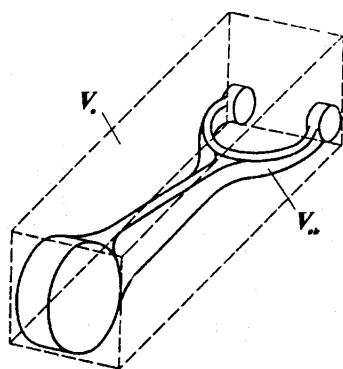
$$\kappa_T = \frac{m_{ob}}{m_{ob,o}} = \frac{V_{ob}}{V_{ob,o}} \quad (6)$$

gde je:

$m_{ob,o}$ (kg) - masa geometrijski pravilnog tela (cilindra, paralelopipeda) opisanog oko obratka (Sl. 4.).

Postoje mišljenja da je umesto opisanog tela oko izratka praktičnije definisati "etalon obradak", pri čemu se pod ovim pojmom podrazumeva obradak sa minimalnim utroškom materijala ($m_{ob,e} = m_{um,min}$).

U tom slučaju je $\kappa_T = \eta_{mu,max}$.



Sl. 4. Primer opisanog tela oko obratka (O.Kinze, Standard GOST 7505-74)

Kod otkovaka se ovaj pojam poklapa sa pojmom složenosti otkovka. U literaturi se mogu naći i nešto složenije definicije ovog pojma [2].

Stepen iskorišćenja je relativno visok, jer se masa nominalnog (čistog) obratka malo ili ni malo ne razlikuje od mase priprema, osim u nekim slučajevima, kao npr. kod kovanja u otvorenim

kalupima, istiskivanju itd. 7, 8, 9.

Mada stepen iskorišćenja materijala η_{m3} može biti, takođe, visok, ni u kom slučaju se ne može prenebrignuti. Pokazalo se da pri korišćenju šipkastog materijala u pripremi proizvodnje (serijske ili masovne) rashod materijala može iznositi i do 15 %.

Kada se problem svede na pogone (preduzeća) sa tehnologijom OMD, onda se osnovni pokazatelj ekonomičnosti trošenja materijala definiše relacijom (3), koja se tada može izraziti u nešto oštrijem obliku:

$$\eta_{m3}' = \frac{m_{ob}}{m_{um}} = \frac{1}{v} \cdot \frac{m_{pr}}{m_{um}} = \frac{1}{v} \cdot \eta_{m3} \quad (7)$$

Iz svega izloženog uočava se neadekvatnost planiranja, normiranja i obračuna (godišnje) proizvodnje po naturalnim (fizičkim) pokazateljima. Ukupna godišnja produkcija izražena u masi (tonama) ne ukazuje direktno na efektivnost i progresivnost date proizvodnje. Ovakav pokazatelj ne stimuliše uštedu materijala, usavršavanje tehnologije i osvajanje novih proizvoda kompleksnije geometrije, povišene tačnosti i kvaliteta, već izaziva suprotne efekte.

Objektivniji prikaz rezultata proizvodnje postiže se uvođenjem pojma relativne cene izradaka:

$$\bar{C}_{iz} = \frac{C_{iz}}{m_{iz}} \quad (\text{din/kg}) \quad \vee \quad \frac{C_{iz}}{l_{iz}} \quad (\text{din/m}) \quad (8)$$

gde su:

C_{iz} (din) - cena izratka,
 m_{iz} (kg) - masa izratka, dobijenog od datog obratka.
 l_{iz} (m) - dužina izratka.

Prema relaciji (8) relativna cena se može smanjiti smanjenjem cene obratka, na koju u znatnoj meri utiče stepen iskorišćenja materijala, tehnološkiost izratka, masa obratka, veličina serije, vrsta materijala, vrsta proizvodne opreme, nivo organizovanosti proizvodnje i dr.

3. STEPEN ISKORIŠĆENJA SIROVOG MATERIJALA

Kao polazni materijal za izradu priprema u serijskoj i masovnoj proizvodnji delova služe valjane i vučene šipke. Proračunski prečnik priprema (d_{pr}) se usaglašava sa standardnim prečnikom šipke (d_0), tako da se kao konačne dimenzije priprema usvajaju:

$$d_{pr} \equiv d_0 \quad (9)$$

$$l_{pr} = \frac{4V_{pr}}{\pi d_0^2} = \frac{4m_{pr}}{\rho \pi d_0^2}$$

gde su:

V_{pr} - zapremina priprema,
 ρ (kg/mm³) - specifična zapremina
(gustina) materijala.

Očigledno je da se izraz (3) može svesti na odnos odgovarajućih dužina, kao što će se kasnije pokazati.

Pri određivanju dimenzija priprema treba imati u vidu da zbog odstupanja prečnika šipke (koje raste sa porastom prečnika) može doći do značajnog odstupanja mase priprema, ako se odsecanje vrši prema nominalnom prečniku. Prema nekim istraživanjima ovo odstupanje može iznositi 0,2 ÷ 9% (manje vrednosti se odnose na vučene, a veće na valjane šipke).

Zato se proračun dužine priprema treba da vrši na osnovu faktičke (merene) vrednosti prečnika šipke. Savremene (automatizovane) mašine utvrđuju tekuće dimenzije šipke d_f i saglasno tome vrše automatsko doziranje (pomeranje upora na potrebno odstojanje, odnosno na potrebnu dužinu priprema). Time se greška mase priprema pri sečenju smanjuje do 1%.

Problem racionalnog “krojenja” sirovog materijala svodi se na tačno deljenje šipke na merne dužine priprema, sa minimalnim otpadom. Ovom problemu se u literaturi, naročito našoj, ne posvećuje dovoljna pažnja.

Na povećanje stepena iskorišćenja η_{m2} može se bitno uticati smanjenjem mase utrošenog materijala.

m_{um} Ova činjenica je veoma važna, ako se zna da se pri tome ni na koji način ne remeti usvojeni tehnološki postupak.

Na razmatrani stepen iskorišćenja najveći uticaj ima odnos mase (dužine) priprema i mase (dužine) šipke. Ovaj odnos determiniše masu (dužinu) otpatka pri odrezivanju priprema, a time i stepen iskorišćenja materijala. U tom smislu se i narudžbina šipkastog materijala razlikuje. Naime, šipke datog prečnika (preseka) mogu biti:

- intervalne (trgovačke) dužine (I),
- merne dužine s ostatkom (II),
- kratne dužine (III),
- merne dužine (IV).

Dužina šipke prvoga tipa je predviđena standardom ili internim normama proizvođača, dok su dužine ostalih tipova šipki definisane zahtevima naručioca.

Ako se cena šipki intervalne dužine tretira kao nominalna, cena šipki ostalih tipova se uvećava za doplatu, koja može iznositi nekoliko procenata ($\leq 6\%$) od nominalne cene. Pri tome cena raste pri pooštavanju zahteva u narudžbini (III → III → V). S druge strane, sem u izuzetnim slučajevima, otpadak je najveći kod šipki prvoga tipa, a time i troškovi materijala. Zato se odluka o vrsti narudžbine može doneti tek nakon precizno sprovedene tehno - ekonomske analize. U svakom slučaju neophodno je

odrediti masu utrošenog materijala, odnosno stepen iskorišćenja polaznog materijala. Na ove parametre u priličnoj meri utiče i metod “krojenja” sirovog (šipkastog) materijala (Tablica 1.).

METODI I SREDSTVA ZA IZRADU PRIPREMAKA	ODSTUPANJA (GREŠKE) PO DUŽINI (mm)
Toplo rezanje testerama	$\pm 0,50 \div 1,50$
Hladno rezanje testerama	$\pm 0,25 \div 0,75$
Odsecanje na makazama	$\pm 1,00 \div 5,00$
Odsecanje u alatima (na presama)	$\pm 0,30 \div 0,75$
Hladno lomljenje	$\pm 1,00 \div 3,00$
Sečenje plamenom	$\pm 1,00 \div 3,00$
Sečenje plamenom	$\pm 0,40 \div 1,20$
Anodno-mehaničko odsecanje	$\pm 0,10 \div 0,50$
Elektroeroziono odsecanje	$\pm 0,10 \div 0,25$

Od svih navedenih metoda “krojenja” šipkastog materijala danas se još uvek u najvećoj meri primenjuju dva:

- sečenje testerama (kružnim, trakastim - konačne i beskonačne dužine),
- odsecanje alatima (otvorenim, zatvorenim) na presama.

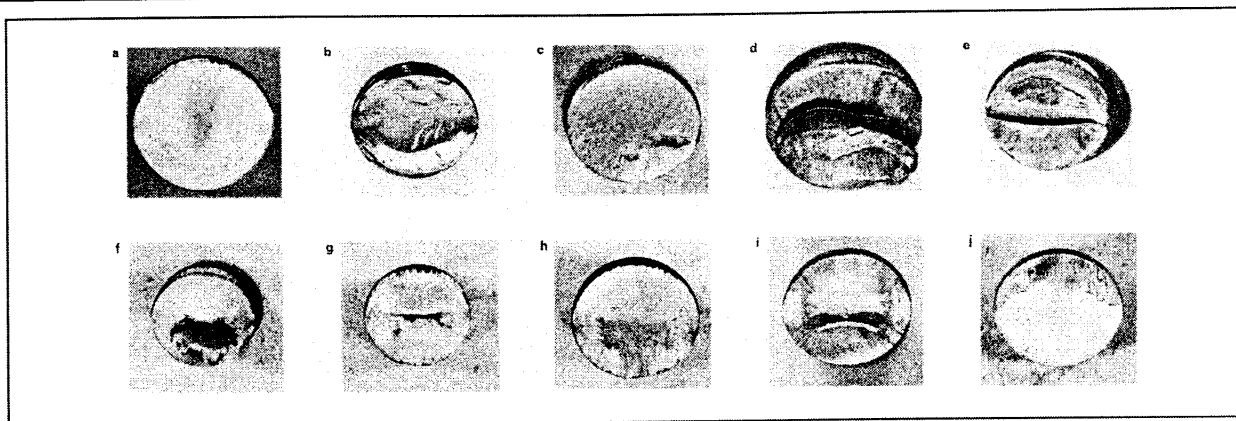
Prvi postupak ima značajnu prednost jer obezbeđuje ravnu presečnu površinu i upravnost te površine na osu priprema, jednom reči pripremak visoke tačnosti. Međutim, vreme sečenja je dugo, naročito kod velikih prečnika, uz dodatni utrošak materijala, koji zavisi od širine proreza, odnosno od debljine lista testere ($1,5 \div 8$ mm).

Drugi postupak je manje precizan (Slika 5.) i primenjuje se za prečnike ograničenog intervala ($d_0 \leq 50$ mm) [10, [11. Međutim, ovaj postupak je, zbog visoke produktivnosti, praktično nezamenljiv u serijskoj i masovnoj proizvodnji delova. Zato se mašine za odsecanje stalno usavršavaju (u smislu povećanja tačnosti, produktivnosti i stepena automatizovanosti), o čemu postoji brojna specijalizovana literatura.

Na tačnost odsecanja utiču sledeći faktori:

- materijal (vrsta, oblik i odstupanje mera šipke, temperatura zagrevanja),
- alat (reznna geometrija noževa, metod odsecanja, način držanja, materijal alata),

⁶ Najveću tačnost sečenja obezbeđuju “erozimati”, ali je sečenje na ovim mašinama skupo i dugotrajno, pa se ovaj način sečenja ne primenjuje u serijskoj proizvodnji.



Sl. 5. Izgled presečenih površina pri odsecanju u alatima
a) kvalitetna presečena površina ; b-j) nekvalitetne presečene površine

- mašina (krutost mašine, položaj alata).

Kao što je rečeno, ponekad se odsecanje priprema vrši sa zagrevanjem šipke. Jedanput je razlog dobijanje kvalitetnije presečne površine, kada se zagrevanje vrši u temperaturnom intervalu koji prouzrokuje "krti" lom (za meke čelike: $250 \div 300^\circ \text{C}$), a drugi razlog je značajno smanjenje sile odsecanja (za visokougljenične i legirane čelike: $440 \div 700^\circ \text{C}$).

Najzanimljiviji sa stanovišta naručioca jeste problem "krojenja" sirovog materijala (šipke) intervalne dužine. Analiza koja sledi odnosi se na slučaj odsecanja istovetnih priprema ($d_{pr} \times l_{pr}$), u alatu na presi (Slika 6.).

Na slici 7. je prikazana šema "krojenja" šipke intervalne (trgovačke) dužine, koja praktično važi za sve metode sečenja navedene u tablici 1.

Na osnovu slike 6. i slike 7. ukupna dužina šipke može se izraziti u vidu sledeće relacije:

$$L_0 = L_{k,ust} - l_{dk} - l_{nd} - l_{os} = n \cdot (l_{pr} + l_{st}) + l_{dk} + l_{nd} + l_{os} \quad (10)$$

gde su:

$L_{k,ust}$ (mm) - uslovna korisna dužina šipke,

l_{nd} (mm) - dužina otpatka zbog nedeljivosti šipke,

l_{os} (mm) - dužina ostatka šipke u alatu (neophodne iz tehničkih razloga),

l_{dk} (mm) - dužina defektnih krajeva šipke,

n (-) - uslovni broj priprema,

l_{st} (mm) - dužina proreza pri rezanju šipke na pripreme,

l_{pr} (mm) - dužina priprema.

Izraz (10) važi za sve metode "krojenja" sirovog materijala.

Pri proračunu se može uzeti da je dužina defektnih krajeva šipke (čeonih odsečaka):

$$l_{dk} \approx \begin{cases} 0,5 \cdot d_0, & \text{za } d_0 \leq 50 \text{ mm;} \\ 0, & \text{za } d_0 > 50 \text{ mm.} \end{cases} \quad (11)$$

Dužina ostatka materijala je promenljiva veličina i može se izraziti u vidu relacija:

$$l_{os} = c - f, \quad \text{za } l_{pr} < c - f; \\ l_{pr} + c \geq l_{os} \geq c + f, \quad \text{za } l_{pr} \geq c + f. \quad (12)$$

Može se pretpostaviti da će najverovatnija dužina ostatka biti:

$$l_{os} \approx 0,5 \cdot l_{pr} - c - f \quad (12a)$$

gde su:

c (mm) - otporna baza alata (konstruktivna karakteristika),

f (mm) - minimalni "prepust", neophodan za držanje šipke ($f = 10 \div 20$ mm).

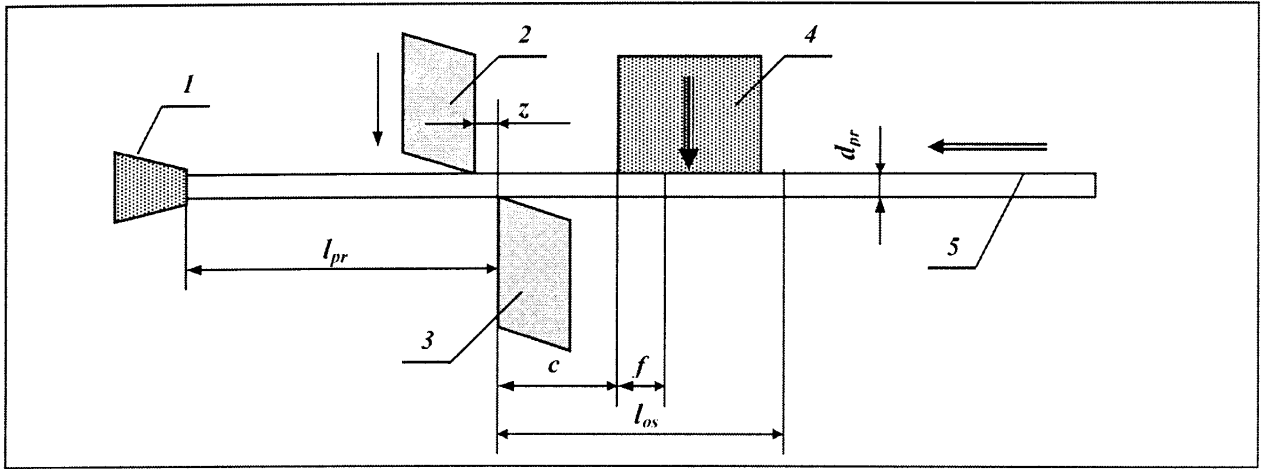
Dužina otpatka zbog nedeljivosti šipke nije unapred poznata, već se određuje proračunom. U prvoj aproksimaciji može se uzeti:

$$l_{nd} \approx 0,5 \cdot l_{pr} \quad (13)$$

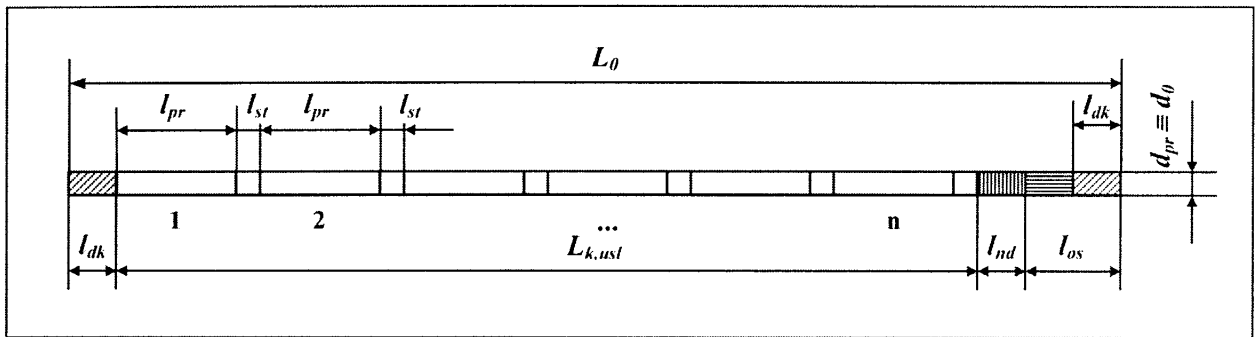
Dužina proreza zavisi od metoda "krojenja" sirovog materijala; za slučaj odsecanja u alatima može se uzeti da je $l_{st} = 0$. Pošto je dužina šipke L_0 poznata (merljiva) veličina, kao i dužine c , f , l_{st} , l_{dk} , uslovni broj priprema se određuje po obrascu:

$$n = \frac{L_0 - 0,5 \cdot l_{pr} - (0,5 \cdot l_{pr} + c - f) - l_{dk}}{l_{pr} + l_{st}}$$

Konačno se za broj priprema usvaja prvi (bliži) ceo broj - $[n]$.



Sl. 6. Šematski prikaz odsecanja priprema u alatu na (krivajnoj) presi
1. odstojnik 2. pokretni nož 3. nepokretni nož 4. držač 5. šipka



Sl. 7. Šematski prikaz "krojenja" šipke intervalne (trgovačke) dužine

Pošto se pri odsecanju zadnjeg priprema mora obezbediti (minimalni) ostatak $l_{os} = c - f$, iz obrasca (10) se dobija:

$$l_{nd} = L_0 - l_{dk} - [n] \cdot (l_{pr} - l_{st}) - (c - f) \quad (15)$$

Ukoliko je $l_{nd} > l_{pr}$ treba povećati $[n]$ za jedinicu i ponovo primeniti obrazac (15). Teorijski se može desiti da je $l_{pr} = c - f$, a $l_{nd} \geq l_{dk} - l_{st}$. Tada se obrtanjem ostatka šipke i odsecanjem dužine l_{nd} dobija još jedan priprema!

Kada se konačno utvrde vrednosti za $[n]$ i l_{nd} tada se može odrediti stepen iskorišćenja materijala po obrascu:

$$\eta_{m3} = \frac{L_k}{L_0} = \frac{[n] \cdot l_{pr}}{[n] \cdot (l_{pr} + l_{st}) + l_{dk} + l_{nd} + l_{os}} = \frac{l}{l + \frac{l_{st}}{l_{pr}} + \frac{1}{[n]} \cdot \left(\frac{l_{dk}}{l_{pr}} + \frac{l_{nd}}{l_{pr}} + \frac{l_{os}}{l_{pr}} \right)} \quad (16)$$

Kako pri odsecanju u alatima na presama važe relacije $l_{dk} / l_{pr} : 1$, $l_{st} / l_{pr} = 0$ i $[n] \gg 1$, sledi:

$$\eta_{m3} \approx \frac{l}{1 + \frac{1}{[n]} \cdot \left(\frac{l_{nd}}{l_{pr}} + \frac{l_{os}}{l_{pr}} \right)} \quad (16a)$$

Jedan hipotetični primer proračuna dat je u tablici 2., za slučaj odsecanja priprema u alatima i na testerama. Pri tome su korišćeni obrasci (11), (12a), (14), (15), (16).

Na slici 8. je dat grafički prikaz izraza (16a), za široki interval odnosa $q = l_{nd} / l_{pr}$ i $p = l_{os} / l_{pr}$.

4. ZAKLJUČAK

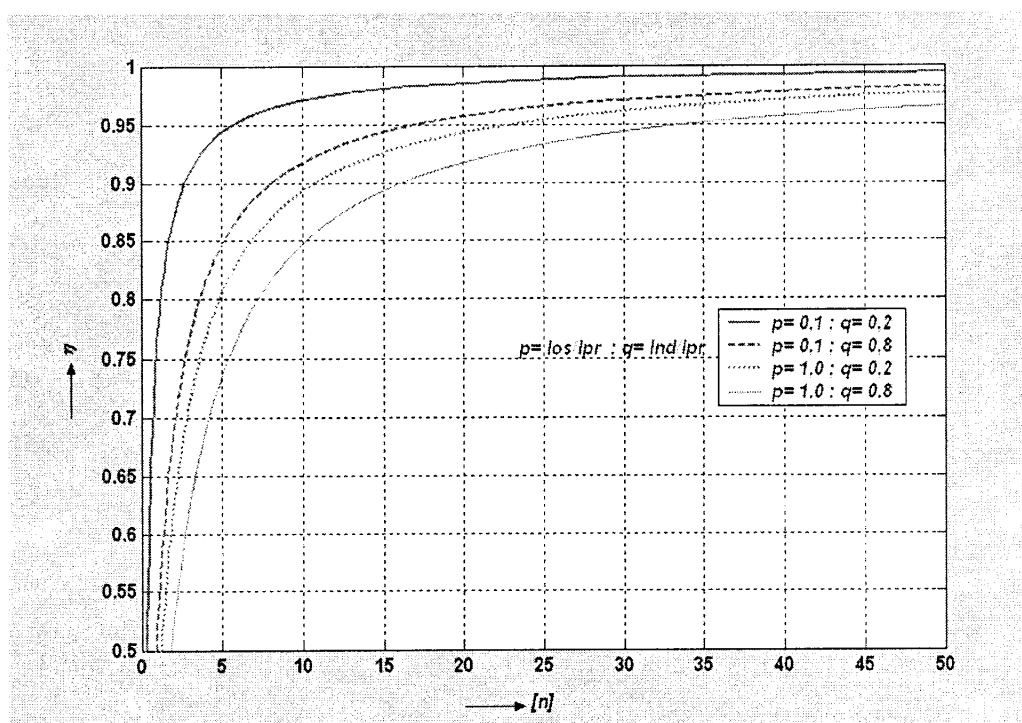
Poznata je činjenica da u tehnologijama obrade materijala (deformisanjem, rezanjem) cena proizvoda opada sa porastom broja komada. To je posledica smanjenja tzv. fiksnih troškova proizvodnje. Troškovi materijala, međutim, spadaju u proporcionalne troškove i u najvećoj meri utiču na cenu (polu)proizvoda u serijskoj i masovnoj proizvodnji.

Povećanjem parcijalnih stepena iskorišćenja materijala povećava se i ukupni (globalni) stepen iskorišćenja materijala, što direktno utiče na smanjenje cene (polu)proizvoda.

Tablica 2.

$d_0 = 90 \text{ mm}$; $l_{os} = c+f = 30+15 = 45 \text{ mm}$; $l_{dk} = 17 \text{ mm}$					
L_0	l_{pr}	l_{st}	l_{nd}	$[n]$	η_{m3}^*
2500	35	0	23	69	0.966
	70		58	34	0.952
	125		63	19	0.950
4500	35	0	28	126	0.980
	70		28	63	0.980
	125		63	35	0.972
2500	35	1.5	29	66	0.924
	70		7.0	34	0.952
	125		34.5	19	0.950
4500	35	1.5	21.5	121	0.941
	70		5.0	62	0.964
	125		10.5	35	0.972

*Prema kriterijumu (7) dobijaju se vrednosti za nekoliko procenata niže

Slika 8. Grafički prikaz parcijalnog stepena iskorišćenja materijala η_{m3}

Parcijalni stepeni iskorišćenja materijala ukazuju na nesavršenost proizvodnog procesa u pojedinim njegovim segmentima (proizvodnim pogonima), a ukupni stepen iskorišćenja materijala ukazuje na njegov kvalitet u celini i odnosi na prduzeće i/ili ceo metaloprerađivački kompleks.

Uticaj stepena iskorišćenja sirovog materijala se često zanemaruje. Međutim, analiza sprovedena u ovom radu pokazuje je pri vrlo malim serijama njegova vrednost relativno mala, te da se gubici sirovog materijala tada moraju uzeti u obzir pri

određivanju cene gotovih delova. Pokazalo se, takođe, da na ovaj stepen iskorišćenja materijala utiče i način "krojenja" šipke, karakteristike mašine za sečenje (odsecanje) materijala i dr. Materijalni gubici u ovom smislu se mogu (eventualno) smanjiti upotrebom preostalog materijala za odsecanje priprema manjih dužina (masa), za izradu delova iz drugog proizvodnog programa.

REZIME: U prezentovanom radu su definisani parcijalni stepeni iskorišćenja materijala (stepen iskorišćenja materijala priprema, stepen iskorišćenja materijala obratka, stepen iskorišćenja sirovog materijala). Ukupni stepen iskorišćenja materijala se dobija kao proizvod parcijalnih. Posebna pažnja je posvećena analizi stepena iskorišćenja sirovog materijala. Utvrđeno je da pri veoma malim serijama ovaj stepen iskorišćenja ima relativno malu vrednost, te u značajnoj meri utiče na ukupni stepen iskorišćenja materijala, odnosno na ukupne troškove proizvodnje.

Ključne reči: priprema, obradak, izradak, stepen iskorišćenja materijala

DEGREE OF STOCK UTILIZATION IN THE METAL FORMING PROCESSES

SUMMARY: The presented paper defines partial degrees of the stock utilization (degree of the billet utilization, degree of the workpiece utilization, degree of raw material stock utilization). The overall (global) degree of the stock utilization is obtained as a product of the partial ones. A special attention is devoted to the analysis of the raw material stock utilization degree. It is determined that at a very small series this degree of utilization has a relatively small value so that it considerably affects the overall degree of the stock utilization, that is, the overall manufacturing costs.

KEY WORDS: Billet, Workpiece, Finished Part, Degree of Stock Utilization