

Semestar: **zimski**
Školska godina: **2010/2011.**



UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI

Katedra za proizvodne tehnologije
Odsjek: Održavanje
Predmet:

PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I
(3+2)
- Prezentacije sa predavanja -

Nastavnik: prof. dr. Himzo Đukić
Saradnik: v. as. mr. Ibrahim Plančić

NPP: ODSJEK, ODRŽAVANJE

PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I (IV semestar, 45 + 30)

Program predavanja:

- Uvod.** Osnovni pojmovi i definicije, materijalna i nematerijalna tehnologija. **Pojam tehnologije i proizvodnje.** Značaj tehnologije obrade u industriji prerade metala. **Sistemi i procesi u industriji prerade metala.** Struktura, podjela, definicije, primjeri. **Ivjenje.** Tehnologija izrade odlivaka: ivjenje u kalupima, školjkama, precizno ivjenje, ivjenje u kokle, ivjenje pod pritiskom i centrifugaino ivjenje. **Zavarivanje i srodni postupci.** Osnovni pojmovi, Metalurški aspekt zavarivanja. Postupci zavarivanja: ručno elektrolučno, zavarivanje pod praškom, zavarivanje u zaštitnom gasu, zavarivanje električnim otporom, gasno zavarivanje, specijalni postupci zavarivanja, postupci srodni zavarivanju. **Obrada deformacijom.** Osnovni pojmovi – napon, deformacije, veza napon – deformacije, uslovi plastičnosti, glavni parametri. Postupci obrade lima (odsijecanje, savijanje, razvijavanje presovanjem, duboko izvlačenje). Postupci zapremnskog deformisanja (valjanje, kovanje, istiskivanje). Mašine i alati.

Program vježbi:

- Na auditornim vježbama se rade zadaci i računski primjeri iz oblasti koje su obrađene na predavanjima. Na laboratorijskim vježbama se studenti upoznaju sa tehnološkim postupcima obrade metala. U sklopu vježbi se organizuju i stručne posjete fabrikama. U sklopu vježbi radi se jedan program iz oblasti projektovanja tehnologije obrade i jedna laboratorijska vježba iz oblasti identifikacije parametara nekog od postupaka obrade metala.

Literatura:

- Osnovna literatura: (1) Urošević S.: Proizvodno mašinstvo, Naučna knjiga, Beograd, 1987. (2) Kovač R.: Tehnologija izrade odlivaka, Univerzitet u Novom Sadu, Novi Sad, 2002., Dopunska literatura: (1) Ekinović S.: Obrada rezanjem, Dom štampe, Zenica, 2001. (2) Ekinović S.: Postupci obrade rezanjem, Mašinski fakultet, Zenica, 2003., (3) Ekinović S.: Alati mašine – u pripremi, (4) Pašić O.: Zavarivanje, Svjetlost, Sarajevo, 1998., (5) Musafija B.: Tehnologija obrade deformacijom, Svjetlost, Sarajevo, 1988.

R.br.	Naziv literaturnog izvora	Autor(i)	Godina izdanja	Napomena	Broj primjeraka u bibl.
1.	Uputstvo za izradu tehnologije kovanja sa primjerima	Sabahudin Ekinović	1985	Osnovna literatura za Vježbe	✓
2.	Praktikum laboratorijskih vježbi iz tehnologije plastičnosti	M. Plančak i dr. Univerzitet u Novom sadu	2002.	Pomoćna literatura za vježbe	
3.	Obrada metala plastičnom deformacijom	Binko Musafija	1988.	Pomoćna literatura za vježbe	✓
4.	Teorija plastične prerade metala	Mustafa Čaušević	1979		
5.	Obrada metala valjanjem	Mustafa Čaušević	1983		
6.	Plastična obrada metala	Josip Hribar	1975		
7.	Obrada metala deformisanjem	Branislav Devedžić	1981		
8.	Obrada deformisanjem u mašinstvu	Vlado Vujović	1977		
9.	Osnovi tehnologije plastičnog oblikovanja metala	R. Lipold	1970		
10.	Alati za obradu deformacijom	Himzo Đukić			
11.	Alati za obradu deformisanjem	Milan Šijvić	1990		
12.	Matematičko modeliranje inženjerskih sistema.	Milan Jurković	1990.	Mašinski fakultet u Bihaću.	✓
13.	Predrag Popović, Obrada deformisanjem-teoretske osnove.	Himzo Đukić	1988.	Univerzitet "Džemal Bijedić" u Mostaru, Mostar	✓
14.	Metal Forming Practice, Processes – Machines – Tools.	Heinz Tschaetsch,	2005.	Originally German edition published by Vieweg Verlag, Wiesbaden	✓
15.	Tehnologija plastičnog deformisanja.	Plančak, M., Viličić, D.	2003.	Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad.	

PROIZVODNE TEHNOLOGIJE I

- I predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ I:

- Osnove obrade deformisanjem-**primjeri primjene**
- Područje obrade deformisanjem
- **Značaj i prednosti obrade deformisanjem**
- Ograničenja u primjeni obrade deformisanjem
- **Podjela obrade deformisanjem**
- **Izbor tehnološkog procesa obrade deformisanjem**
- **Mašine za obradu deformisanjem**
- **Alati za obradu**


Cilj predmeta:

- Upoznavanje sa osnova odabranih postupaka izrade i primjene dijelova proizvedenih metodama obrade deformisanjem (bez skidanja materijala), te stjecanje neophodnih znanja za dalje praćenje predmeta iz područja proizvodnog mašinstva.

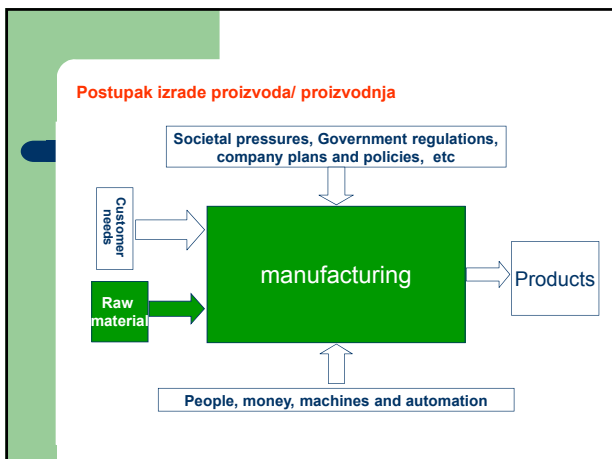
Kompetencija:

- Osposobljenost za izbor odgovarajućeg tehnološkog postupka ili kombinacije postupaka proizvodnje potrebnih za pretvorbu sirovog materijala u gotov proizvod.

Primjer spajalice za papir (funkcijski zahtjev → treba držati listove papira zajedno, s dovoljnom silom, kako papiri ne bi iskliznuli):



Dizajn	Materijal	Postupak proizvodnje
<ul style="list-style-type: none"> • Kako uzeti komad žiće i oblikovati je u spajalicu za papir? <ul style="list-style-type: none"> - Ručno, koristiti napravu? - Stroj? Koja vrsta? - Što ako je narudžba 100 spajalica odnošeno 1 milion? 	<ul style="list-style-type: none"> • Da li treba biti metalni ili nemetalni? • Da li treba imati određenu krutost, čvrstoću? • Kako promjer žiće utječe na spajalicu? • Što je s olinenom? • Otpornost na koroziju? 	<ul style="list-style-type: none"> • Može li se materijal savijati bez napuknuća ili puknuća u odabranom postupku proizvodnje? • Sigurnost? Hoće li postupak ostaviti oštre rubove, srtkove? • Kako skinuti oštre rubove? • Koliko će koštati strojevi?



MOTO

- Nije umijeće izraditi proizvod, umijeće je izraditi ga **uz nisku cijenu, dovoljno kvalitetno i na vrijeme**

Komparacija različitih tehnologija i postupka proizvodnje

Izbor **postupka proizvodnje** nije lagani zadatak jer se isti dio može oblikovati na niz načina, uz različitu kvalitetu, vrijeme izrade i troškove.

Primjer različitih postupaka izrade jednostavne pozicije:

1. OSNOVE OBRADE DEFORMISANJEM

Terminologija (sinonimi):
 Obrada metala deformisanjem (OMD), Tehnologija plastičnog deformisanja (TPD), Tehnologija plastičnog oblikovanja (TPO), Plastično deformisanje metala (PDM), tehnologija plastičnosti...
METAL FORMING (eng.), **UMFORMUNG** (UMFORMTECHNIK) (nem.), **ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ** (rus.)

Obrada metala deformacijom ili obrada bez skidanja strugotine podrazumijeva metode obrade kojima se metalu daje željeni oblik deformacijom i odvajanjem.

Ovaj vid obrade je, za razliku od obrade skidanjem strugotine, vezan za uslove **serijske proizvodnje**.

1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM

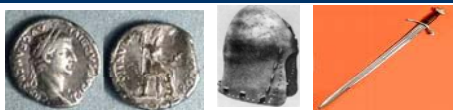
Osnovna osobina OD jeste očuvanje neprekidnosti strukture oblikovanog materijala uz poboljšanje karakteristika čvrstoće i nepromenljivost zapremine.

Cilj obrade deformisanjem

je da se sa najmanjim mogućim otpatkom i najmanjim brojem radnih operacija dobiju gotovi komadi, koji se uz minimalnu obradu skidanjem strugotine ili bez nje mogu upotrijebiti ili ugraditi u odgovarajući sklop, kao njegov sastavni element.

1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM

1.1 PRIMJERI PRIMJENE-povijest primjene



1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM

1.1 PRIMJERI PRIMJENE



1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM
1.1 PRIMJERI PRIMJENE



1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM
1.1 PRIMJERI PRIMJENE



1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM
1.1 PRIMJERI PRIMJENE



Slika 1.1 Primjeri primjene

1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM
1.1 PRIMJERI PRIMJENE

Materijal se može obrađivati deformacijom samo kad se dovede u stanje plastičnog tečenja, tj. kad se optereti iznad granice elastičnosti.

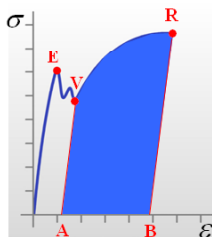
1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM
1.2 PODRUČJE OBRADJE DEFORMISANJEM

Kad se materijal optereti iznad granice razvlačenja (granice plastičnog tečenja, dolazi do trajne deformacije. Taj vid obrade zove se obrada plastičnom deformacijom.

Ako se opterećenje dalje povećava, u jednom trenutku će doći do razdvajanja materijala.

Sa stanovišta deformacije, područje obrade metala se dijeli na:
 - Deformaciju do razaranja materijala;
 - Plastičnu deformaciju

1. OSNOVE OBRADJE DEFORMISANJEM
1.2 PODRUČJE OBRADJE DEFORMISANJEM



Slika 1.2 Dijagram za elastično-plastičan materijal

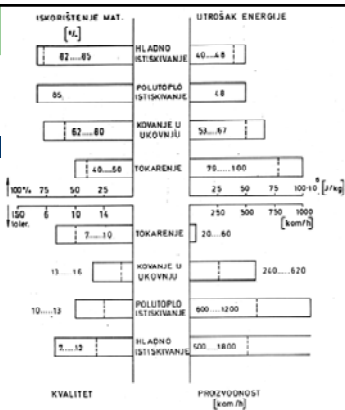
1. OSNOVE OBRADE DEFORMISANJEM
1.3 ZNAČAJ I PREDNOSTI OBRADE DEFORMISANJEM

Prednosti obrade deformisanjem mogu se definisati sa tehničko-tehnološkog i ekonomskog aspekta, i to:

1. Izrada proizvoda komplikovanog oblika ostvaruje se u jednom hodu mašine za deformaciju. Izrada istih proizvoda na drugi način ili ne bi bila moguća ili bi zahtjevala više radnih operacija.
2. Postiže se velika dimenzionalna tačnost proizvoda uz uske izradne tolerancije.

1. OSNOVE OBRADE DEFORMISANJEM
1.3 ZNAČAJ I PREDNOSTI OBRADE DEFORMISANJEM

3. Proizvodi imaju visoke mehaničke karakteristike i relativno malu težinu
4. Postiže se značajna ušteda u potrošnji materijala i energije.
5. Visok stepen produktivnosti, stabilnosti i pouzdanosti u radu.



Komparativne prednosti postupaka obrade deformisanjem

(Izvor: NEUBERGER, F., FACHTAGUNG UMFORMTECHNIK 83, ZWISOKAU 1983, s. 13-27)

1. OSNOVE OBRADÉ DEFORMISANJEM
1.3 ZNAČAJ I PREDNOSTI OBRADÉ DEFORMISANJEM

6. Mašine za obradu su jednostavne za posluživanje, tako da za proizvodnju nije neophodna visokokvalifikovana radna snaga.

7. Ekonomičnost u uslovima serijske i masovne proizvodnje.

1. OSNOVE OBRADÉ DEFORMISANJEM
1.4 OGRANIČENJA U PRIMJENI OBRADÉ DEFORMISANJEM

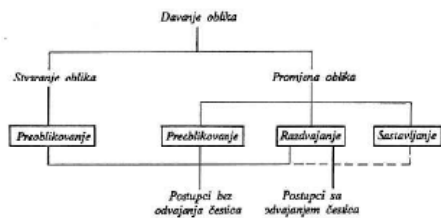
Ograničenja u primjeni su:

1. Neekonomičnost u uslovima pojedinačne i maloserijske proizvodnje.
2. Visoki investicioni troškovi prouzrokovani upotrebom skupih mašina i uređaja za obradu.
3. Složeni i komplikovani alati, čija je konstrukcija i izrada skupa.

2. PODJELA OBRADÉ DEFORMISANJEM

The flowchart illustrates the classification of plastic deformation of metals. It starts with 'PLASTIČNO DEFORMISANJE METALA' which branches into 'PRIMARNA OBRADA' and 'SEKUNDARNA OBRADA'. 'PRIMARNA OBRADA' is further divided into 'U HLAČNOM STANJU' (subdivided into 'VALJANJE' and 'VAĐENJE') and 'U TOPLOM STANJU' (subdivided into 'KOVANJE'). 'SEKUNDARNA OBRADA' is divided into 'U HLAČNOM STANJU' and 'U TOPLOM STANJU'. Under 'U HLAČNOM STANJU' for secondary processing, there are 'OBRADA RAZLIČITIM TIPIMA' (with sub-types 'SVAJANJE' and 'KABLJANJE') and 'POTPROJEDNO ODEKIVANJE'. Under 'U TOPLOM STANJU' for secondary processing, there are 'KOVANJE', 'PREČIŠĆAVANJE (doblavljanje)', 'IZLOMIVANJE', and 'VUCANJE'. A box on the left lists 'Površinski: zrnava, puzava, praska, čvrsta, črna, oksid.' pointing to 'VAĐENJE'.

2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM



Slika: Podjela postupaka deformisanja prema DIN 8580***

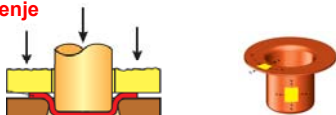
***Obrada deformisanjem=obrada čvrstih tijela kod koje se mijenja oblik tijela uz zadržavanje kontinuiteta i kompatibilnosti kontinuuma

2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM

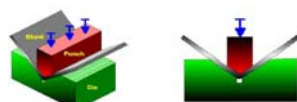


2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM 2.1 TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA LIMOVA

Duboko izvlačenje

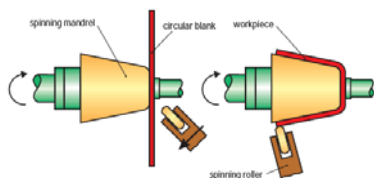


Savijanje



2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM
2.1 TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA LIMOVA

Rotaciono izvlačenje



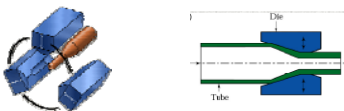
2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM
2.1 TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA LIMOVA

Specijalni postupci

Provlačenje



Sužavanje

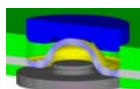


2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM
2.1 TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA LIMOVA

Proširivanje



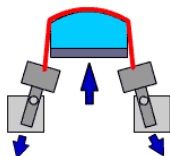
Clinching



2. PODJELA OBRADE DEFORMISANJEM

2.1 TEHNOLOGIJE OBLIKOVANJA LIMOVA

Razvlačenje



2. PODJELA OBRADE DEFORMISANJEM

2.2 IZBOR TEHNOLOŠKOG PROCESA OBRADE DEFORMISANJEM

Plastično deformisanje metala odvija se pod dejstvom odgovarajućeg spoljašnjeg opterećenja koje izaziva unutrašnje napone i trajnu promjenu oblika polaznog materijala.

Pri obradi deformisanjem ne smiju se prekoračiti vrijednosti graničnih iznosa deformacije, jer se u protivnom razara struktura materijala ili pojavljuju drugi neprihvatljivi defekti.

Zbog toga se za svaku tehnološku metodu OMD izvodi proračun komponenti napona i deformacija, zatim proračun deformacionih sila i rada. Ovi parametri neophodni su za pravilno dimenzionisanje alata i izbor odgovarajućih mašina.

Pravilan izbor tehnološkog procesa prerade deformacijom obuhvata:

- Analizu procesa plastične deformacije metala
- Konstrukciju alata
- Izbor mašine

2. PODJELA OBRADE DEFORMISANJEM

2.3 MAŠINE ZA OBRADU DEFORMISANJEM

Rad i sila se ostvaruju pomoću mašina za obradu deformacijom, kao što su: prese, kovački čekići, makaze, mašine za savijanje, itd.

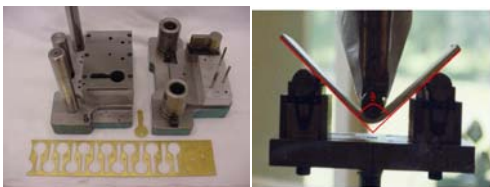


Slika 1.3

2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM

2.4 ALATI ZA OBRADU

Alat koji se postavlja na mašinu ima funkciju oblikovanja radnog proizvoda.



Slika 1.4

2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM

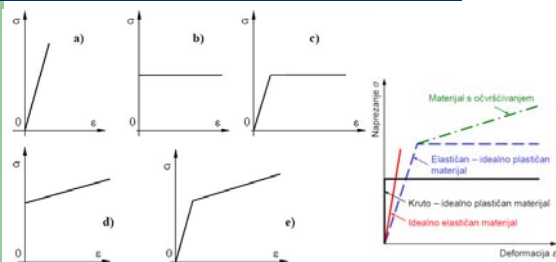
2.5 PRETPOSTAVKE U OBRADI DEFORMISANJEM

Uvode se pretpostavke koje često nisu sasvim realne ali (uz prihvatljivu grešku) daju rješenja za važne parametre procesa:

- a) hipoteza o homogenosti elastično-plastičnog tijela (zanemaruje se stvarna diskretna, kristalna, struktura metala),
- b) hipoteza o prirodnom naponskom stanju (prije početka deformisanja nema unutrašnjih napona ili su uravnoteženi),
- c) izotropnost strukture materijala (realni materijali imaju različita svojstva u raznim pravcima po zapremini),
- d) idealizacija elastičnih i plastičnih svojstava (slika),
- e) nepromjenljivost/ konstantnost zapremine

2. PODJELA OBRADJE DEFORMISANJEM

2.5 PRETPOSTAVKE U OBRADI DEFORMISANJEM



Idealizacija elastično-plastičnih svojstava materijala

PROIZVODNE TEHNOLOGIJE

I - II predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ II:

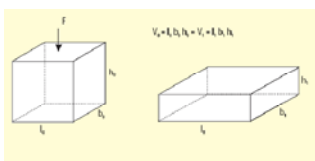
- **TEORETSKE OSNOVE**
 - Vrste deformacija
 - Nominalni i stvarni naponi
- **Brzina deformisanja**
- **Brzina deformacije**

2. TEORETSKE OSNOVE

2.1 Vrste deformacija

Promjena dimenzija, poprečnog presjeka i oblika tijela kod postupaka obrade deformisanjem usljed djelovanja vanjskih sila izražava se **stepenom deformacije**.

Deformacija predstavlja mjeru promjene oblika i dimenzija posmatrane zapremine ili tijela u cjelini.



Slika 2.1 Sabijanje paralelipeda

2. TEORETSKE OSNOVE

2.1 Vrste deformacija

Dimenzije paralelopipeda prije deformisanja:

$$b_0, l_0, h_0$$

Dimenzije paralelopipeda nakon deformisanja:

$$b_1, l_1, h_1$$

Odnos dimenzija paralelopipeda prije i nakon deformisanja:

$$h_1 < h_0; \quad l_1 > l_0 \quad i \quad b_1 > b_0$$

2. TEORETSKE OSNOVE

2.1 Vrste deformacija

Zapremina paralelopipeda prije, u toku procesa deformisanja i nakon procesa ostaje ista.

Zapremina je konstantna u svim procesima obrade deformisanjem.

$$V = h_0 l_0 b_0 = h_1 l_1 b_1 = \text{const.}$$

2. TEORETSKE OSNOVE

2.1 Vrste deformacija

1. Apsolutna deformacija

$$\Delta h = h_1 - h_0$$

$$\Delta l = l_1 - l_0$$

$$\Delta b = b_1 - b_0$$

2. Relativna deformacija

$$\varepsilon_h = \frac{\Delta h}{h_0} = \frac{h_1 - h_0}{h_0}$$

$$\varepsilon_l = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l_1 - l_0}{l_0}$$

$$\varepsilon_b = \frac{\Delta b}{b_0} = \frac{b_1 - b_0}{b_0}$$

2. TEORETSKE OSNOVE

2.1 Vrste deformacija

3. Logaritamska deformacija

$$\varphi_h = \int_{h_0}^{h_1} \frac{dh}{h} = \ln \frac{h_1}{h_0}$$

$$\varphi_l = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l} = \ln \frac{l_1}{l_0}$$

$$\varphi_b = \int_{b_0}^{b_1} \frac{db}{b} = \ln \frac{b_1}{b_0}$$

2. TEORETSKE OSNOVE

2.1 Vrste deformacija

Hipoteza o konstantnosti zapremine pri plastičnom deformisanju:

$$V = h_0 b_0 l_0 = h_1 l_1 b_1 = \text{const.} \quad (2.1)$$

Navedeni obrazac može se napisati na slijedeći način:

$$\frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{l_1}{l_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} = 1 \quad (2.2)$$

2. TEORETSKE OSNOVE

2.1 Vrste deformacija

Logaritmiranjem izraza dobija se:

$$\ln \frac{h_1}{h_0} + \ln \frac{l_1}{l_0} + \ln \frac{b_1}{b_0} = 0 \quad (2.3)$$

iii

$$\varphi_h + \varphi_l + \varphi_b = 0$$

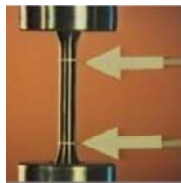
$$\varphi_h = -(\varphi_l + \varphi_b)$$

(2.4)

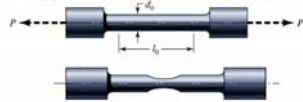
Izraz definiše dvije karakteristike logaritamske deformacije:

1. Pri plastičnoj deformaciji zbir logaritamskih deformacija u tri međusobno okomita pravca je jednak nuli.
2. Jedna logaritamska deformacija po apsolutnoj vrijednosti je najveća i odgovara zbiru ostale dvije deformacije sa suprotnim predznakom.

2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



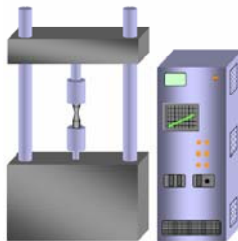
a) Mjerno područje epruvete



b) Skica epruvete

Slika 2.2 Probna epruveta

2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



Slika 2.3 Šematski prikaz kidalice

2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



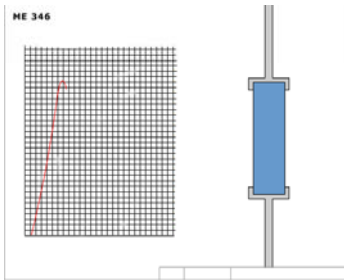
Izgled epruvete



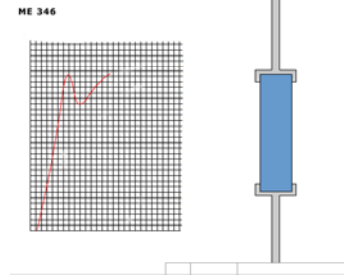
Epruveta nakon prekida

Slika 2.4 Ispitivanje jednoosnim istezanjem

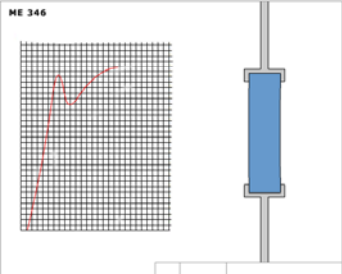
2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



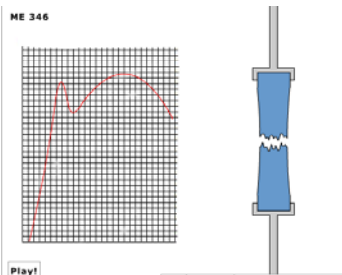
2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



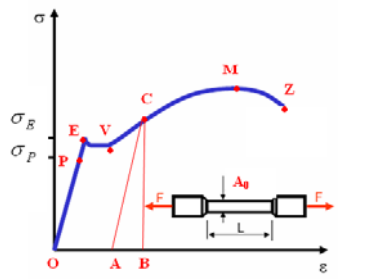
2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi

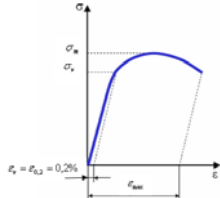


2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi

$$\sigma_v = \sigma_{0,2} = \frac{F_{0,2}}{A_0} \quad \text{za} \quad \varepsilon_v = \varepsilon_{0,2} = 0,2\% = 0,002 \quad (2.5)$$



Slika 2.6 Određivanje granice razvlačenja

2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi

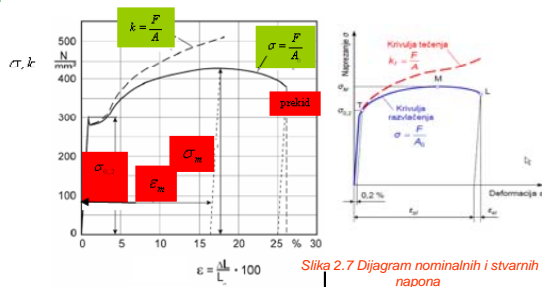
$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (2.6)$$

Nominalni naponi predstavljaju vrijednost sile redukovane na početni poprečni presjek epruvete.

$$k = \frac{F}{A} \quad (2.7)$$

Stvarni naponi su sile redukovane na trenutni ili stvarni presjek epruvete.

2. TEORETSKE OSNOVE
2.2 Nominalni i stvarni naponi



Slika 2.7 Dijagram nominalnih i stvarnih napona

2. TEORETSKE OSNOVE

2.2 Nominalni i stvarni naponi

Do početka lokalne deformacije (do tačke M) može se uspostaviti veza između stvarnih i nominalnih napona i deformacija I, II i III reda:

$$k = \frac{F}{A} = \sigma \frac{A_0}{A} = \sigma(1 + \varepsilon) = \frac{\sigma}{1 - \psi} = \sigma e^{\varphi}$$

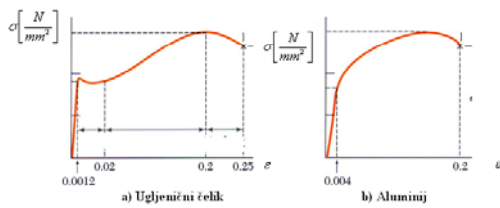
$V_0 = V$
 $A_0 x l_0 = A x l$
 $A_0/A = l/l_0$
 $\varepsilon = l/l_0 - 1$
 $\varepsilon + 1 = l/l_0$

$\psi = 1 - A/A_0$
 $A_0/A = 1/(1 - \psi)$

(2.8)

2. TEORETSKE OSNOVE

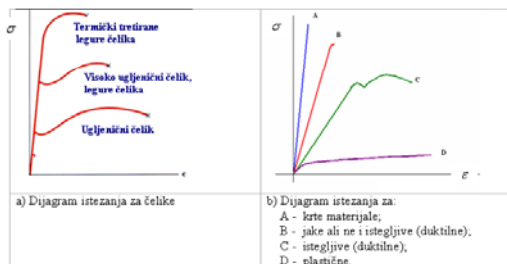
2.2 Nominalni i stvarni naponi



Slika 2.8 Dijagram istezanja za čelik i aluminij

2. TEORETSKE OSNOVE

2.2 Nominalni i stvarni naponi



Slika 2.9 Dijagram istezanja za razne materijale

2. TEORETSKE OSNOVE

2.3 Brzina deformisanja

Brzina deformisanja predstavlja brzinu kretanja alata i zavisi od mašine na kojoj se vrši obrada (oznake u, v).

$$u = \lim_{\Delta t \rightarrow 0} \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{dh}{dt} \quad \left[\frac{m}{s} \text{ ili } \frac{mm}{s} \right]$$

S obzirom da se brzina deformisanja kod većine mašina mijenja u toku procesa, uvodi se srednja brzina deformisanja u obliku:

$$u_{sr} = \frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{h_0 - h}{t_{sr}} \quad \left[\frac{m}{s} \text{ ili } \frac{mm}{s} \right]$$

2. TEORETSKE OSNOVE

2.4 Brzina deformacije

Brzina deformacije je brzina kretanja čestica materijala koji se deformiše (promjena stepena deformacije u jedinici vremena):

$$v = \Delta\varphi / \Delta t \text{ [%/s]}$$

Ovako definirana brzina pomnožena za 100% ima dimenziju %/s.

Npr. Ako je neki štap izdužen za $\varepsilon=15\%$ u vremenu od 30 sekundi, onda je $v=0,5\%$ /s.

Momentalna brzina deformacije je:

$$v = \dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{1}{h} \frac{dh}{dt} = \frac{u}{h} \quad [s^{-1}]$$

Srednja brzina deformacije je promjena logaritamskog stepena deformacije po vremenu za koje je deformacija izvršena:

$$v_{sr} = \frac{\varphi}{t_{sr}} = \frac{u_{sr}}{h_0 - h} \ln \frac{h_0}{h} = \frac{u_{sr}}{\varepsilon h_0} \ln \frac{1}{1 - \varepsilon} \quad [s^{-1}]$$

2. TEORETSKE OSNOVE

2.5 Brzina deformisanja i brzina deformacije



Slika. Dijagram brzine alata u_a čekića i prese

Slika. Dijagram brzine deformacije v čekića i prese

Sisterni stroja	Početna brzina alata (malja) u_a [m/s]	Brzina deformacije v [% [s ⁻¹]
Čekići	5 - 7	50 - 160
Frikcione prese	0.5 - 2	10 - 25
Hidraulične prese	0.1 - 0.3	1 - 5

OBRADA DEFORMISANJEM
- III predavanje -
v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ III:

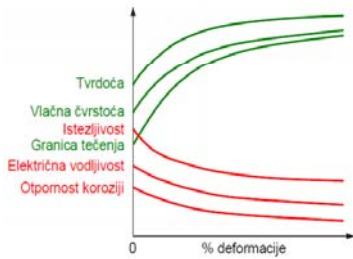
- **Krive očvršćavanja**

Krive očvršćavanja

Svi procesi obrade deformisanjem u hladnom stanju dovode do povećanja vrijednosti mehaničkih karakteristika koje predstavljaju pokazatelje njegove otpornosti prema tom deformisanju (granica razvlačenja, jačina materijala, tvrdoća).

Istovremeno dolazi do smanjenja vrijednosti pokazatelja plastičnosti (relativnog izduženja, kontrakcije poprečnog presjeka i žilavosti).

Krive očvršćavanja



Krive očvršćavanja

Pri velikom stepenu deformacije plastičnost se može toliko smanjiti da daljnja obrada postaje nemoguća bez odgovarajućih termičkih tretmana.

Deformisanje metala je praćeno i povećanjem broja dislokacija i drugih promjena fizičko-hemijske prirode.

Sve nabrojane promjene svojstava metala, izazvane njegovim deformisanjem u hladnom stanju, nazivaju se **OČVRŠĆAVANJE MATERIJALA**.

Dakle, efekat izraženog porasta napona tećenja sa povećanjem plastične deformacije praćen padom plastičnosti materijala predstavlja deformaciono ojaćavanje **/OČVRŠĆAVANJE/**.

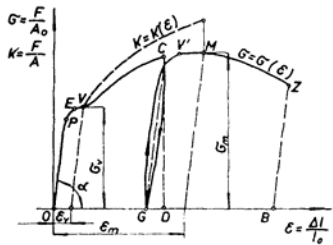
Najbolji način za kvantifikovanje tog procesa je preko krivih ojaćanja.

Krive očvršćavanja

Sa porastom stepena deformacije u hladnom stanju raste otpor prema deformaciji.

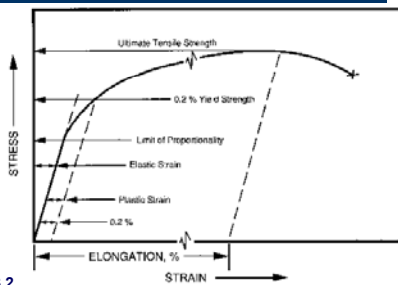
Sušćina porasta otpora deformaciji najlakše se može objasniti na dijagramu jednoosnog istezanja prikazanom na slici.

Krive očvršćavanja



Slika 3.1 Promjena granice razvlačenja zbog izvršenog plastičnog deformisanja

Krive očvršćavanja



Slika 3.2

Krive očvršćavanja

Na Slici 3.1 prikazan je dijagram stvarnih i nominalnih napona pri linearnom istezanju u zavisnosti od izduženja i promjena granice razvlačenja zbog ponovnog opterećenja.

Pri istezanju epruveta ulazi u plastično područje kada se postigne napon na granici razvlačenja .

Ako se u tački C izvrši rasterećenje, ono će teći po liniji CG, zbog elastičnih deformacija.

Ponovnim opterećenjem epruveta će ući u plastično područje tek kad napon dostigne vrijednost u tački V'.

Krive očvršćavanja

To znači da je zbog hladnog očvršćavanja, prvobitna granica razvlačenja pomjerena u novu granicu ($\sigma_v > \sigma_v$).

Sa stanovišta obrade u hladnom stanju, poželjno je da granica razvlačenja bude što manja.

Na taj način postižu se:
manje sile oblikovanja, manje opterećenje alata, što rezultira manjim habanjem, odnosno dužim vijekom alata.

Krive očvršćavanja

Ako je granica razvlačenja suviše visoka, često se sa obrade u hladnom stanju, zbog pojave veoma velikih sila, prelazi na obradu u toplom stanju.

Egzaktno posmatrano, deformisanje je u hladnom stanju ako je temperatura obrade niža od temperature rekristalizacije ($T < T_r$). To je temperatura na kojoj se obnavlja (oporavlja) kristalna struktura i njena plastičnost.

Tabela. Temperature rekristalizacije nekih značajnijih materijala

Temperatura rekristalizacije pojedinih metala. °C			
Volfram	1200	Mesing	270
Gvožđe	450	Aluminijum	150
Nelegirani čelici	450-600	Kalaj	0
Srednje i visoko legirani čelici	600-800	Olovo	0

Krive očvršćavanja

Deformisanje u **toplom stanju** vrši se ako je temperatura obrade viša od temperature rekristalizacije.

Osnovne karakteristike ove obrade (u odnosu na oblikovanje u hladnom stanju) su:

- znatno niži deformacioni otpor,
- povećana plastičnost,
- niži kvalitet površina i niža tačnost dimenzija,
- viši troškovi proizvodnje zbog zagrijavanja.

Postoji i **polutopla obrada** (temperatura obrade je u intervalu između hladne i tople obrade). Kod većine čelika taj temperaturni interval je između 450 i 700°C.

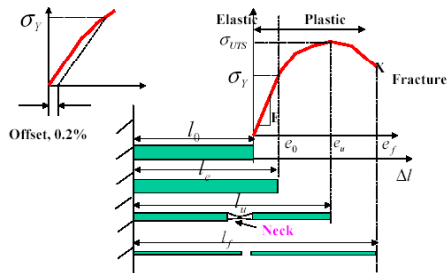
Krive očvršćavanja

Pojava deformacionog očvršćavanja materijala je povoljna, jer se sa njom postiže veća čvrstoća izrađenog radnog predmeta.

Pri obradi složenih radnih predmeta, koji imaju različite stepene deformacije po svom poprečnom presjeku, uslijed hladne obrade, očvršćavanje u svim presjecima nije isto, odnosno ono uglavnom prati veličinu stepena deformacije.

Korištenjem različitih postupaka za približno rješavanje, uticaj očvršćavanja se često svodi na najjednostavnije uprošćene izraze, tako da se ukupno očvršćavanje po složenom presjeku radnog predmeta prevodi na srednju vrijednost.

Krive očvršćavanja



Slika 3.3

Krive očvršćavanja

Pri obradi metala u hladnom stanju, dolazi do očvršćavanja materijala.

Otpor kojim se materijal suprotstavlja deformaciji neprekidno raste.

Ovaj otpor se često naziva specifični deformacioni otpor bez trenja.

Funkcionalna zavisnost između specifičnog deformacionog otpora i stepena deformacije predstavlja krivu očvršćavanja.

Krive očvršćavanja su monotono rastuće funkcije.

Krive očvršćavanja

Krive ojačavanja predstavljaju zavisnost deformacionog otpora (napona tečenja, deformacione čvrstoće, efektivnog napona) od ostvarene efektivne plastične deformacije.

Neposredno pokazuju intenzitet efekta deformacionog ojačavanja.

Izvorno, krive ojačavanja se određuju eksperimentalno, najčešće u uslovima jednoosnih naponskih stanja zatezanja i pritiska, kada postoji samo jedan glavni napon, u isto vrijeme jednak deformacionom otporu (naponu tečenja) i ekvivalentnom (efektivnom) naponu.

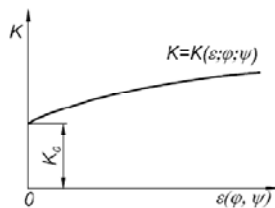
Krive očvršćavanja

U praksi se za izražavanje deformacija najčešće koriste izrazi za :

- deformacije prvog reda ε ;
- deformacije drugog reda ψ ;
- deformacije trećeg reda ili logaritamske deformacije φ

Krive očvršćavanja

$$k = k(\varepsilon)$$
$$k = k(\psi)$$
$$k = k(\varphi)$$



Slika 3.4 Krive očvršćavanja prvog, drugog i trećeg reda

Krive očvršćavanja

U literaturi postoji čitav niz izraza za krive očvršćavanja prvog, drugog i trećeg reda.

Veliki broj autora je predlagao različite obrasce za približno određivanje krivih očvršćavanja od kojih su najpoznatije [3]:

Krive očvršćavanja

$$k = A + B \cdot \varepsilon$$

$$k = C \cdot \varepsilon^n$$

$$k = k_0 + B \cdot \varepsilon^{n_1}$$

$$k = A + B \cdot \ln \frac{1}{1 - \varepsilon}$$

Krive očvršćavanja

$$k = k_0 + B \cdot \left(\frac{1}{1 - \varepsilon} \right)^n$$

$$k = C \cdot \psi^n$$

$$k = A + B \cdot \psi$$

$$k = k_0 + B \cdot \psi^{n_1}$$

Krive očvršćavanja

$$k = C \cdot \varphi^n$$

$$k = A + B \cdot \varphi$$

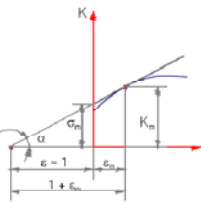
$$k = A + B \cdot \varphi^{n_1} \quad (1)$$

Krive očvršćavanja Prvog reda

$K = \sigma_m \cdot (1 + \varepsilon)$ Kriva očvršćavanja prvog reda u linearnoj zavisnosti

$K = \sigma_m \cdot (1 + \varepsilon_m) \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_m} \right)^{1+n_1}$ Kriva očvršćavanja prvog reda u stepenoj zavisnosti

Dovoljno je poznavati σ_m i ε_m , pa da se odrede analitički izrazi koji aproksimiraju zavisnost K od ε . Ti izrazi daju velika odstupanja specifičnog deformacionog otpora K od stvarnih vrijednosti. Zbog jednostavnije matematičke primjene, više se primjenjuje linearna zavisnost.



Krive očvršćavanja Drugog reda

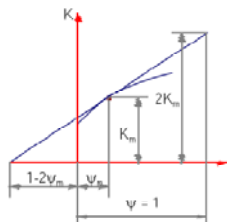
a) Linearna zavisnost

$$K = \frac{\sigma_m}{(1 - \psi_m)} (1 - 2\psi_m + \psi)$$

b) Stepena zavisnost

$$K = \frac{\sigma_m}{1 - \psi_m} \left(\frac{\psi}{\psi_m} \right)^{\frac{\psi_m}{1 - \psi_m}}$$

$$\psi_m = \frac{\varepsilon_m}{1 + \varepsilon_m}$$



Krive očvršćavanja Trećeg reda

Za istraživanje skoro svih procesa obrade deformisanjem u hladnom stanju, najveću primjenu ima **kriva očvršćavanja trećeg reda** u obliku:

$$k = C \cdot \varphi^n \quad (2)$$

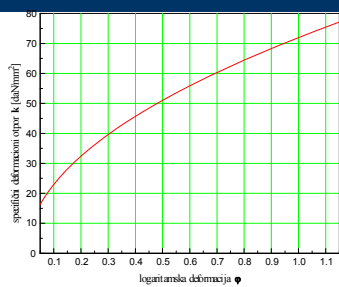
C – konstanta;
n – eksponent krive očvršćavanja.

$$C = \frac{K_M}{\varphi_{\text{eff}}^n}; \quad n = \varphi_{\text{eff}}$$

K_M – deformacioni otpor u trenutku postizanja maksimuma sile pri zatezanju,
 φ_{eff} – efektivna deformacija pri maksimalnoj sili zatezanja.

Poznavanje krivih očvršćavanja je neophodno za svaki materijal, kako bi se mogao izračunati deformacioni rad i deformaciona sila za svaki proces.

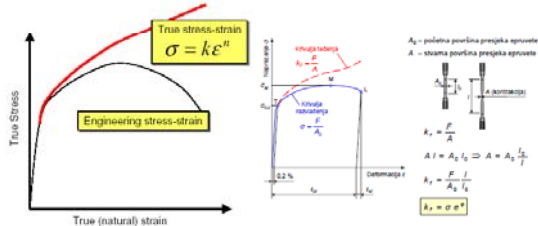
Krive očvršćavanja



Slika 3.6 Kriva očvršćavanja trećeg reda za CuZn 28

Krive očvršćavanja

Izgled stvarnih i nominalnih napona prikazan je na sljedećoj slici.

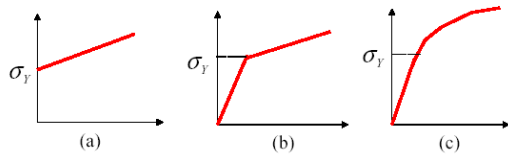


Slika 3.7 Dijagram stvarnih i nominalnih napona

Krive očvršćavanja

Types of Stress-Strain Curves

- ✓ Rigid, linearly Strain Hardening (a)
- ✓ Elastic, linearly Strain Hardening (b)
- ✓ Elastic, Power Strain Hardening (c)



Slika 3.5

Krive očvršćavanja Parametri procesa

Osnovni parametri procesa plastičnog deformisanja su: deformaciona sila, srednji površinski pritisak (radni pritisak, radni napon) i deformacioni rad.

Da bi se ostvario proces plastičnog deformisanja, najčešće izvršni element mašine (pritiskivač prese, bat kovačkog čekića, itd.) nosi pokretni dio alata i ima pravolinijsko kretanje.

Aktivna sila kojom se preko mašine djeluje na radni komad naziva se deformaciona sila i za pravilan izbor mašine potrebno je poznavati njen intenzitet.

F=pA

Najčešće se radni pritisak dovodi u vezu sa deformacionim otporom K preko izraza: **p=mK**

gde je m>1 koeficijent koji zavisi od kontaktnog trenja, geometrije komada i vrste obrade /definiše se analizom naponsko-deformacionog stanja u konkretnom procesu obrade/.

Krive očvršćavanja Parametri procesa

Deformacioni rad karakteriše energetski aspekt obrade i predstavlja ukupno potreban rad za izvođenje određenog procesa obrade tokom radnog hoda mašine i alata.

$$W = \int F dx \text{ ili pojednostavljeno } W = F_{sr} \cdot h,$$

gdje je $F_{sr} = \text{const.}$, srednja vrijednost deformacione sile tokom procesa.

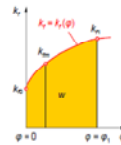
Pri zapreminskom oblikovanju (npr. sabijanju) izraz za rad je najčešće u obliku:

$$W = V \cdot \bar{p} \cdot \varphi_k$$

Krive očvršćavanja

Rad deformacije – specifični rad deformacije

Kod računskog određivanja deformacijske sile i rada zbog varijabilnosti vrijednosti naprezanja plastičnog tečenja potrebno je računati s nekom srednjom ili prosječnom vrijednošću k_m .



$$k_m = \frac{1}{2}(k_{r0} + k_{r1})$$

• Specifični rad plastične deformacije:

$$W = \int_0^{\phi} k_r d\phi = k_m \phi$$

Krive očvršćavanja

Rad deformiranja

Idealni slučaj bez trenja na kontaktnim ploham:

• Idealni rad plastične deformacije:

$$F = A k_m$$

$$dW = F dh$$

$$W = \int_{h_1}^{h_2} F dh = \int_{h_1}^{h_2} A k_m dh = V_0 k_m \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} \Rightarrow W = V_0 k_m \phi = V_0 W$$

• Ukupni rad deformiranja:

$$W_d = \frac{W}{\eta}$$

$$\eta = \frac{W_d}{W} < 1$$

• situaciji dobrotle (situaciji iskoristivosti obrade) ovisi o stanju naprezanja, a u postupcima oblikovanja deformiranjem u hladnom stanju kreće se u rasponu $\eta = 0,4 \dots 0,8$.

$$= 0,2-0,95.$$

Krive očvršćavanja

Poznavanje krivih očvršćavanja je neophodno za svaki materijal, kako bi se mogao izračunati deformacioni rad i deformaciona sila za svaki proces.

Za eksperimentalno određivanje krivih očvršćavanja najčešće se koristi standardna laboratorijska oprema, odnosno postupci jednoosnog istezanja ili sabijanja.

Postupak jednoosnog istezanja epruvete je jednostavniji, ali on ima i svoja ograničenja.

Naime, veza između stvarnih i nominalnih napona vrijedi samo u oblasti ravnomjernog deformiranja (do tačke σ_M).

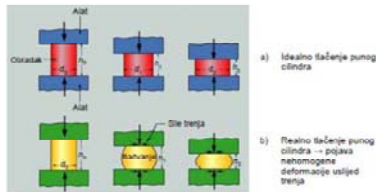
Krive očvršćavanja

Za većinu materijala ovo područje je relativno malo i kod većine čelika iznosi samo $\varphi_M \approx 0,2 - 0,3$

U tački (M) dolazi do lokalizacije deformacije, što znači da jednoosno naponsko stanje prelazi u prostorno naponsko stanje, pa je u tom području sve do razaranja iznalaženje stvarnog napona pogodnije vršiti probama na pritisak.

Krive očvršćavanja

Kod proba na pritisak javljaju se teškoće druge vrste, koje se očituju u pojavi uticaja trenja na čeonim površinama materijala.



Djelovanje vanjskog kontaktnog trenja

Krive očvršćavanja

Trenje se u potpunosti ne može izbjeći, već samo smanjiti preduzimanjem različitih mjera, kao što je podmazivanje ili izrada cilindričnih epruveta sa konusno udubljenim čelom.

Ugao ovog konusa je obično $3^\circ - 7^\circ$ i podešava se tako da se stvori radialna komponenta sile, usmjerena od centra ka periferiji u iznosu koji treba da kompenzira silu trenja

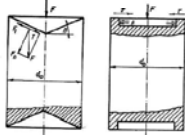


Krive očvršćavanja

U literaturi je često moguće naći, za istu vrstu materijala, različite krive očvršćavanja.

Razlika između tih krivih nastaje zbog :

- različite tačnosti mjerenja;
- uticaja anizotropije;
- uticaja trenja;
- uticaja temperature.



Krive očvršćavanja

U većini slučajeva ove razlike su relativno male, pa se praktično smatra da je kriva očvršćavanja nekog materijala jedinstvena, bez obzira da li je dobijena eksperimentima na zatezanje, na pritisak ili na neki drugi način.

U izrazu za krivu očvršćavanja trećeg reda eksponent krive očvršćavanja n je istovremeno i pokazatelj plastičnih svojstava materijala:

$$n = \varphi_M = \ln(1 + \varepsilon_M) \quad (3)$$

Krive očvršćavanja

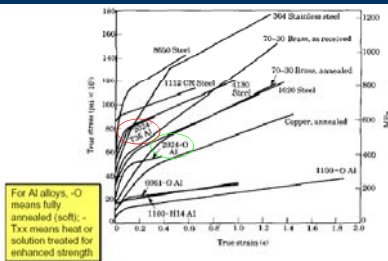
Ravnomjerno izduženje se može dobiti preko ispitivanja duge i kratke epruvete, koristeći izraz:

$$\varepsilon_M = 2\varepsilon_{10} - \varepsilon_5 \quad (4)$$

gdje su:

ε_5 i ε_{10} ukupna relativna izduženja poslije prekida kratke epruvete sa mjernom dužinom $l_0 = 5d_0$ i duge epruvete sa mjernom dužinom $l_0 = 10d_0$.

Krive očvršćavanja



Slika 3.8 Krive očvršćavanja za različite materijale

Krive očvršćavanja

Sa slike se uočavaju različiti efekti očvršćavanja za različite materijale, počevši od aluminijuma, preko bakra, mesinga do čelika.

Uticaj različitog termičkog stanja na očvršćavanje vidljiv je kod legure Al 2024, koja je ispitivana u stanju 0 i stanju T36.

Vrijednosti eksponenta krive očvršćavanja trećeg reda n i koeficijenta C za različite materijale date su u Tabeli 3.1.[1]

Krive očvršćavanja

	C (MPa)	n
Legure aluminijuma		
1100-O	180	0.20
2024-T4	690	0.16
6061-O	205	0.20
6061-T6	410	0.05
7075-O	400	0.17
Mesing		
70-30, žaren	900	0.49
85-15, hl. valjan	580	0.34
Leg. kobalta, žarena		
Bakar, žaren	315	0.54
Čelik		
Nisko uglj., žaren	530	0.26
Č 4731 žaren	1015	0.17
Č 4731 hl. valjan	1100	0.14
Č 5430 žaren	640	0.15
Č 4580 nerđ. žaren	1275	0.45
Č 4170 nerđ. žaren	960	0.10

Tabela 3.1

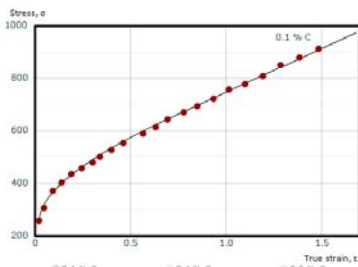
Krive očvršćavanja

U Tabeli 3.2 date su vrijednosti za konstantu C i eksponent n za različite vrste materijala i različite brzine deformacije prema [2].

Materijal [DIN]	C [N/mm ²]	n	$\dot{\varphi}$ [s ⁻¹]	Područje deformacije
				$\dot{\varphi}$
St 38	730	0.10		
St 42	850	0.23		
St 60	890	0.15		
C 10	800	0.24		
CK 10	730	0.22		
CK 35	960	0.15		
15Cr3	850	0.09	1.6	0.1-0.7
16MnCr5	810	0.09	1.6	0.1-0.7
20MnCr5	950	0.15		
100Cr6	1160	0.18		
Al99.5	110	0.24		
AlMg3	390	0.19	10 ⁻²	0.2-1.0
CuZn40	800	0.33	10 ⁻³	0.2-1.0

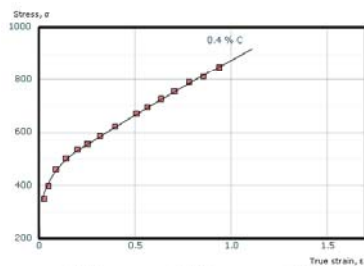
Tabela 3.2 Vrijednosti za C i n

Krive očvršćavanja



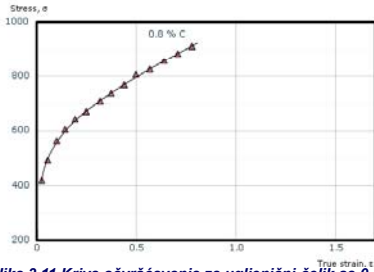
Slika 3.9 Kriva očvršćavanja za ugljenični čelik sa 0,1 % C

Krive očvršćavanja



Slika 3.10 Kriva očvršćavanja za ugljenični čelik sa 0,4 % C

Krive očvršćavanja



Slika 3.11 Kriva očvršćavanja za ugljeni čelik sa 0,8 % C

Krive očvršćavanja

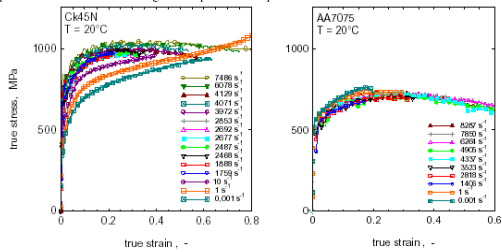
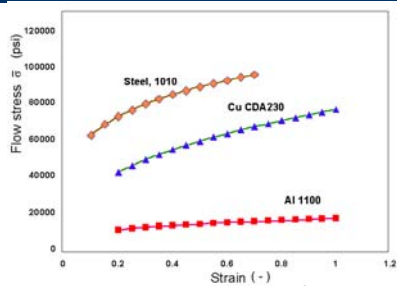


Fig. 2: Flow Curves of Ck45N and AA7075 at different mean strain rates

Slika 3.12

Krive očvršćavanja



Slika 3.13

OBRADA DEFORMISANJEM
- IV_1 predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ IV_1:

- Naponi
- Vrste naponskih stanja i njihove mehaničke šeme
- Deformacije
- Deformaciona stanja i njihove šeme
- Veza između napona i deformacija

1. NAPONI

Naponsko stanje u bilo kojoj tački napregnutog tijela određeno je tenzorom napona:

$$T_{ij} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_1 & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_2 & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_3 \end{bmatrix}$$

σ – normalni naponi; τ – tangencijalni naponi

Srednji (hidrostatsički) napon:

$$\sigma_m = \frac{1}{3}(\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3)$$

Ova vrijednost predstavlja intenzitet napona ravnomjernog pritiska ili zatezanja u posmatranoj tački i definiše tzv. sferni tenzor napona (T_o^s):

$$T_o^s = \begin{bmatrix} \sigma_m & 0 & 0 \\ 0 & \sigma_m & 0 \\ 0 & 0 & \sigma_m \end{bmatrix} \quad T_o = T_o^s + D_o$$

gde je D_o – devijator tenzora napona
Proces plastičnog deformisanja izvodi se upravo pod dejstvom devijatora tenzora napona dok tzv. sferni dio tenzora u tom smislu nije značajan.

1. NAPONI

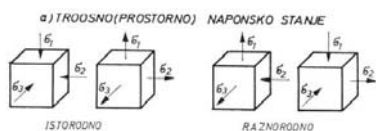
Efektivni (ekvivalentni) normalni napon:

$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2}$$

To je veoma značajna vrijednost jer predstavlja intenzitet fiktivnog jednoosnog napona čije dejstvo reprezentuje odgovarajuće troosno naponsko stanje.

Moguće je analizom npr. jednoosnog zatezanja dobiti univerzalne karakteristike vezane za proces plastičnog oblikovanja.

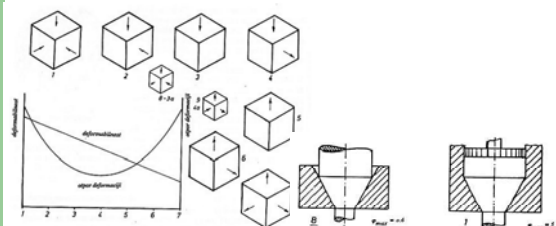
1.1 Vrste naponskih stanja i njihove mehaničke šeme



Grafičko predstavljanje različitih vrsta naponskih stanja koja nastaju pri različitim vidovima deformisanja-šema napregnutog stanja.

Sl. Šeme različitih naponskih stanja

1.1 Vrste naponskih stanja i njihove mehaničke šeme



Slika: Zavisnost deformabilnosti i otpora deformaciji od šeme naponskog stanja

3. DEFORMACIJE

Deformacija predstavlja mjeru promjene oblika i dimenzija posmatrane zapremine ili tijela u cjelini.

Slično naponima, deformaciono stanje u svakoj tački moguće je definisati **tenzorom deformacije**.

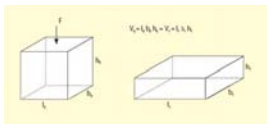
Slično efektivnom naponu moguće je definisati i efektivnu (ekvivalentnu, uopštenu) deformaciju:

$$\epsilon_e = \frac{\sqrt{2}}{3} \sqrt{(\epsilon_1 - \epsilon_2)^2 + (\epsilon_2 - \epsilon_3)^2 + (\epsilon_3 - \epsilon_1)^2}$$

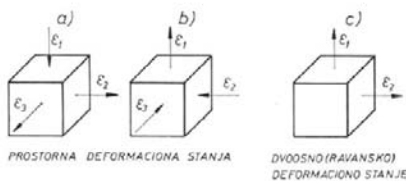
Ova veličina je pogodan reprezent deformacionog stanja.

Ranije je ukazano da se vrijednosti deformacija izražavaju se preko pokazatelja:

- apsolutna deformacija
- relativna (jedinična) deformacija
- deformacija površine (proš. ili suž.)
- prirodna (logaritamska) deformacija

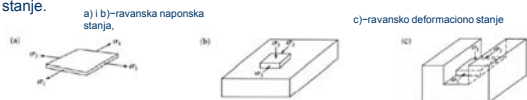


3.1 Deformaciona stanja i njihove šeme



Sl. Šeme deformacionih stanja

Deformaciona stanja se razlikuju od naponskih. Npr. čistom jednoosnom naponskom stanju pri zatezanju odgovara troosno (prostorno) deformaciono stanje.



4. VEZA IZMEĐU NAPONA I DEFORMACIJA

U oblasti elastičnosti postoji linearna jednoznačna veza između napona i deformacija definisana poznatim Hukovim (Hooke) zakonom /proračun i definisanje konstrukcija/.

Veza deformacija i napona iskazana je u funkciji modula elastičnosti i Poissonovog koeficijenta:

$$\epsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)] \quad \epsilon_1 = \frac{1}{E} [\sigma_1 - \nu(\sigma_2 + \sigma_3)]$$

$$\epsilon_2 = \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)] \quad \text{odnosno,} \quad \epsilon_2 = \frac{1}{E} [\sigma_2 - \nu(\sigma_1 + \sigma_3)]$$

$$\epsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)] \quad \epsilon_3 = \frac{1}{E} [\sigma_3 - \nu(\sigma_1 + \sigma_2)]$$

$$\nu = \frac{\psi}{\delta} \quad \text{Odnos kontrakcije i relativnog izduženja}$$

U elastičnom području: $0 < \nu < 0.5$

4. VEZA IZMEĐU NAPONA I DEFORMACIJA

U oblasti plastičnosti ta zavisnost je složena i nelinearnog karaktera. Pri veoma malim deformacijama pravi se analogija sa elastičnim deformisanjem i to su **Levi-Misesove jednačine (Levy-Misses)**.

U plastičnom području: $\nu=0.5$

$$d\varepsilon_1 = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_1 - \frac{1}{2}(\sigma_2 + \sigma_3) \right]$$

$$d\varepsilon_2 = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_2 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_3) \right]$$

$$d\varepsilon_3 = \frac{d\bar{\varepsilon}}{\bar{\sigma}} \left[\sigma_3 - \frac{1}{2}(\sigma_1 + \sigma_2) \right]$$



Richard von Mises
1883-1953

Značajne su pri teorijskim razmatranjima i numeričkim simulacijama procesa deformisanja.

OBRADA DEFORMISANJEM
- IV predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ IV:

- Uticajni parametri na specifični deformacioni otpor
- Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor
- Značajnost uticaja pojedinih parametara na specifični deformacioni otpor

1. Uticajni parametri na specifični deformacioni otpor

Specifični deformacioni otpor zavisi od velikog broja parametara, od kojih su najvažniji:

- φ - izvršeni stepen deformacije,
- T – temperatura deformisanja,
- $\dot{\varphi}$ - brzina deformacije,
- H – hemijski sastav materijala i
- S – strukturno stanje materijala.

1. Uticajni parametri na specifični deformacioni otpor

U opštem slučaju zavisnost specifičnog deformacionog otpora od navedenih parametara se može izraziti funkcijom:

$$K = K(\varphi, T, \dot{\varphi}, H, s) \quad (4.1)$$

Sveukupni uticaj navedenih parametara na specifični deformacioni otpor je veoma složen, i može se izraziti u obliku totalnog diferencijala:

$$dK = \frac{\partial K}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial K}{\partial T} dT + \frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}} d\dot{\varphi} + \frac{\partial K}{\partial H} dH + \frac{\partial K}{\partial S} dS \quad (4.2)$$

1. Uticajni parametri na specifični deformacioni otpor

Uticaj pojedinih parametara na specifični deformacioni otpor može se dobiti variranjem posmatranog parametra u određenim granicama uz istovremeno držanje svih ostalih parametara na određenom nivou.

Ispitivanjem materijala jednog hemijskog sastava i jednog strukturnog stanja, broj parametara u izrazu (4.2) se smanjuje na tri, i on tada glasi:

$$dK = \frac{\partial K}{\partial \varphi} d\varphi + \frac{\partial K}{\partial T} dT + \frac{\partial K}{\partial \dot{\varphi}} d\dot{\varphi} \quad (4.3)$$

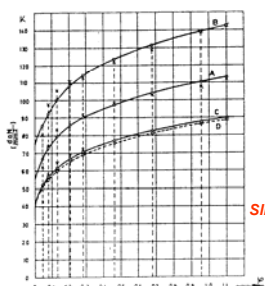
1. Uticajni parametri na specifični deformacioni otpor

Uticaj hemijskog sastava na specifični deformacioni otpor je značajan, i bio je predmet istraživanja velikog broja autora.

Hemijski sastav bitno utiče na plastična svojstva materijala, te se pri izboru materijala za oblikovanje deformisanjem o tome mora voditi računa.

Uticaj strukturnog stanja materijala na specifični deformacioni otpor na primjeru ispitivanja Č.5421 je prikazan na slici 4.1 [3]

1. Uticajni parametri na specifični deformacioni otpor



Slika 4.1 Uticaj strukturnog stanja na krivu očvršćavanja

1. Uticajni parametri na specifični deformacioni otpor

Krive očvršćavanja prikazane na Slici 4.1 odnose se na:

- normalizovano stanje Č.5421 (kriva B),
- stanje isporuke (kriva A),
- meko žareno stanje (krive C i D).

Provedena ispitivanja uvjerljivo pokazuju da strukturno stanje materijala utiče na vrijednost specifičnog deformacionog otpora.

Za iste vrijednosti logaritamske deformacije, specifični deformacioni otpor stanja C i D je za oko 60 % niži nego stanja B.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Veza između brzine deformacije i brzine deformisanja data je u obliku:

$$\dot{\varphi} = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{v}{h} \quad [s^{-1}] \quad (4.4)$$

Na osnovu izraza (4.4) može se zaključiti da postoji direktna veza između brzine deformacije i brzine deformisanja, te da brzina deformacije raste sa smanjenjem visine priprema, pri ispitivanju na mašini sa konstantnom brzinom deformisanja.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Da bi se olakšalo ispitivanje uticaja brzine deformacije na specifični deformacioni otpor, vrši se ispitivanje materijala istih dimenzija na mašinama sa različitim brzinama deformisanja. Na taj način moguće je uspostaviti direktnu zavisnost između brzine deformacije i brzine deformisanja.

Osnovne mehaničke osobine materijala se ispituju na mašinama čija brzina deformisanja nije veća od 0,01 m/s.

Ovako dobiveni podaci služe za projektovanje tehnoloških procesa obrade deformisanjem koji se odvijaju sa znatno većim brzinama deformisanja.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Srednja vrijednost brzine deformisanja izvršnih organa hidrauličnih presa kreće se u granicama od 0,1 do 0,25 m/s, a kod mehaničkih presa ova vrijednost je između 0,25 i 0,5 m/s.

Pri kovanju na čekićima, brzina sa kojom malj čekića udara u materijal je 5 do 10 m/s. Još veće brzine deformisanja javljaju se pri obradi materijala na brzohodnim čekićima, kod kojih brzina deformisanja dostiže vrijednosti i preko 30 m/s.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Najveće brzine deformisanja se javljaju pri eksplozivnoj obradi i drugim vidovima visokobrzinskih obrada.

Razlike između brzina deformisanja laboratorijskih mašina i mašina sa kojima se vrši visoko brzinska obrada materijala je i do nekoliko hiljada puta.

Prema istraživanjima datim u [3] uopšte se može reći da sa povećanjem brzine deformacije dolazi do povećanja specifičnog deformacionog otpora i smanjenja plastičnih svojstava materijala.

Intenzitet povećanja specifičnog deformacionog otpora zbog rasta brzine deformacije zavisi od temperature obrade i vrste materijala.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

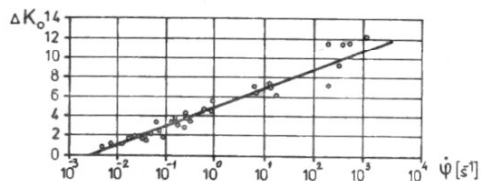
Sa povećanjem brzine deformacije dolazi do pada plastičnih svojstava nekih legura magnezija, legura bakra, visokolegiranih čelika i legura titana.

Većina legura aluminija, niskolegiranih i ugljeničnih čelika je znatno manje osjetljiva na promjenu brzine deformacije.

Uticaj brzine deformacije pri obradi u hladnom stanju je znatno manji nego pri obradi u toplom stanju.

Na Slici 4.2 je prikazano povećanje specifičnog deformacionog otpora K_0 čeličnog materijala pri rastu brzine deformacije i obradi u hladnom stanju.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor



Slika 4.2 Uticaj brzine deformacije na povećanje K_0 pri obradi u hladnom stanju

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Sa dijagrama prikazanog na Slici 4.2 uočava se da sa povećanjem brzine deformacije sa 10^{-3} na $10^3 s^{-1}$ dolazi do povećanja specifičnog deformacionog otpora K_0 za 12 %.

Prema istraživanjima S.I.Gupkin-a povećanje brzine deformacije za deset puta dovodi do povećanja specifičnog deformacionog otpora za 5 – 10 %.

Pri 100 puta većoj brzini specifični deformacioni otpor raste 10–22 %, a 1000 puta veća brzina izaziva povećanje specifičnog deformacionog otpora od 16 do 34 %.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Rezultati ovih istraživanja odnose se na hladnu obradu, a za repenu brzinu deformacije usvojena je brzina laboratorijskih uslova ispitivanja.

Uticaj brzine deformacije na specifični deformacioni otpor pri obradi u toplom stanju zavisi od brzine rekristalizacije materijala.

Kod male brzine rekristalizacije na nižim temperaturama, povećanje brzine deformacije može obradu u toplom stanju da prevede u nepotpuno toplu deformaciju.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Sa povećanjem brzine deformacije pri malim brzinama rekristalizacije dolazi do povećanja specifičnog deformacionog otpora i pada plastičnih svojstava materijala.

Pri obradi čelika na nižim temperaturama i nekih legura magnezija na normalnim temperaturama kovanja, koji ima veoma malu brzinu rekristalizacije, povećanje brzine deformacije, može dovesti do toga da se obrada u toplom stanju pretvori u obradu u polutoplom stanju, uz znatno smanjenje plastičnih svojstava materijala i rast specifičnog deformacionog otpora.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Uticaj brzine deformacije pri hladnoj obradi je znatno manji nego pri obradi u toplom stanju. Intenzitet rasta uticaja brzine deformacije je veći u području malih brzina.

Pri obradi u toplom stanju u materijalu se istovremno odvijaju dva suprotna procesa: Proces očvršćavanja izazvan određenim stepenom deformacije i proces razočvršćavanja zbog kristalizacije materijala i toplotnog efekta deformisanja.

Pod toplotnim efektom podrazumjeva se pretvaranje mehaničke energije u toplotnu pri obradi deformisanjem. Smatra se da se kod čistih metala 85 do 90 % mehaničke energije pretvara u toplotu, a kod legura taj procenat iznosi 75 do 85 %.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Ostatak mehaničke energije se troši na povećanje unutrašnje energije materijala.

Toplotni efekat dolazi do izražaja pri obradi u hladnom stanju sa velikim brzinama deformacije.

Tako u pojedinim slučajevima pri obradi sa velikim brzinama zbog toplotnog efekta može doći do povećanja plastičnih svojstava materijala odnosno do smanjenja specifičnog deformacionog otpora.

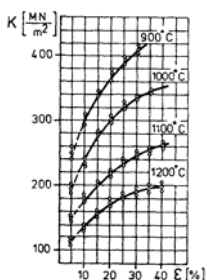
1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Obradom sa malim brzinama deformacije, toplotni efekat ne dolazi do izražaja jer dolazi do isijavanja toplote u okolinu, tako da se obrada odvija pri konstantnoj temperaturi, odnosno može se posmatrati kao izotermički proces.

Pri obradi u toplom stanju toplotni efekat je znatno manji, jer se sa povećanjem temperature smanjuje specifični deformacioni otpor, a samim tim smanjuje se i potrebna energija za deformaciju.

Na Slici 4.3 je prikazan uticaj temperature na krivu očvršćavanja legiranog čelika dobijene ispitivanjem sa brzinom deformacije od 150 s^{-1} .

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor



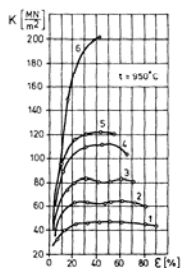
Slika 4.3
Uticaj temperature na krivu očvršćavanja legiranog čelika /brzina deformacije: 150 s^{-1}

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Uticaj brzine deformacije na krivu očvršćavanja čelika pri temperaturi obrade od 950°C, je prikazan na Slici 4.4. [3].

Promjena jačine materijala na kidanje niskougleničnog čelika u zavisnosti od brzine deformacije i temperature obrade prikazana je na Slici 4.5.

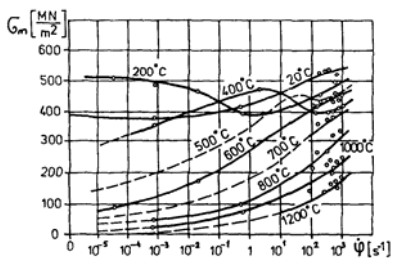
1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor



- 1 - 0,33 10⁻³ s⁻¹
- 2 - 0,33 10⁻² s⁻¹
- 3 - 0,33 10⁻¹ s⁻¹
- 4 - 0,33 10⁰ s⁻¹
- 5 - 0,33 10¹ s⁻¹
- 6 - 0,33 10² s⁻¹

Slika 4.4 Krive očvršćavanja čelika na temperaturi 950°C za različite brzine deformacije

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor



Slika 4.5 Uticaj temperature i brzine deformacije na jačinu materijala na kidanje niskougleničnog čelika

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Na osnovu dijagrama prikazanih na slikama 4.3, 4.4 i 4.5 može se zaključiti da nisu svi metali i legure podjednako osjetljivi na promjenu brzine deformacije, te da je taj uticaj različit za različite temperature obrade.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

U literaturi postoji više analitičkih obrazaca za proračun uticaja brzine deformacije na specifični deformacioni otpor, od kojih se najčešće primjenjuju:

$$K = K_0 \left(\frac{\dot{\varphi}}{\varphi_0} \right)^n \quad \dots(4.5)$$

$$K = K_0 + m \ln \frac{\dot{\varphi}}{\varphi_0} \quad \dots(4.6)$$

gdje su:

K i K_0 – specifični deformacioni otpor koji odgovara brzinama deformacije $\dot{\varphi}$ i φ_0

m i n – konstante koje zavise od vrste materijala

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Izraz (4.5) treba koristiti za procese koji se odvijaju na temperaturama koje dovode do nepotpunog i potpunog razočvršćavanja, a izraz (4.6) za procese koji se odvijaju na temperaturama koje dovode do nepotpunog i potpunog očvršćavanja.

Vrijednosti eksponenata (m i n) određuju se eksperimentalnim putem za određeni materijal i temperaturu obrade i za odabrani interval brzina deformacije.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Za približne proračune uticaja brzine na specifični deformacioni otpor može se koristiti izraz :

$$K = C_1 K_0 \quad (4.7)$$

gdje je:

C_1 – brzinski koeficijent koji pokazuje koliko se puta povećava specifični deformacioni otpor pri povećanju brzine deformacije.

Vrijednosti brzinskog koeficijenta C_1 date su u Tabeli 4.1 prema S.I.Gubkinu.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

$\frac{\varphi}{\varphi_0}$	VRIJEDNOSTI KOEFICIJENTA C_1			
	TEMPERATURA DEFORMISANJA			
	$\frac{T}{T_i} < 0,3$	$\frac{T}{T_i} = 0,3 - 0,5$	$\frac{T}{T_i} = 0,5 - 0,7$	$\frac{T}{T_i} > 0,7$
10	1,05 – 1,10	1,10 – 1,15	1,15 – 1,30	1,30 – 1,50
100	1,10 – 1,22	1,22 – 1,32	1,32 – 1,70	1,70 – 2,25
1000	1,16 – 1,34	1,34 – 1,52	1,52 – 2,20	2,20 – 3,40
udarno	1,10 – 1,25	1,25 – 1,75	1,75 – 2,50	2,50 – 3,50

*prelaz sa brzine $\varphi = 0,1 \text{ s}^{-1}$ na udarno opterećenje
 T_i – temperatura topljenja materijala
 T – temperatura deformisanja materijala

Tabela 4.1 Vrijednosti koeficijenta C_1 u jednačini (4.7)

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Funkcionalna zavisnost između specifičnog deformacionog otpora i temperature, pri konstantnoj brzini deformacije prema M. Zajkov-u glasi:

$$K = K_a e^{m(T_a - T)} \quad (4.8)$$

gdje su:

K i K_a – specifični deformacioni otpori pri temperaturama T i T_a , pri čemu je $T_a > T$ i

m – koeficijent koji zavisi od temperature, brzine deformacije i vrste materijala.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

Ispitivanja uticaja temperature na specifični deformacioni otpor zahtijevaju specijalnu opremu koja obezbjeđuje odgovarajuće temperaturske uslove ispitivanja.

Uticaj temperature na specifični deformacioni otpor može se izraziti u obliku:

$$\ln K = \ln A - mT \quad (4.9)$$

gdje su:

A i m - konstante koje zavise od vrste materijala, brzine deformacije i temperature.

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor

U literaturi postoji nekoliko izraza koji definišu istovremeni uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor.

Jedan od tih izraza ima oblik:

$$\ln \frac{K}{K_0} = m(T - T_0) \cdot \ln \frac{\dot{\varphi}}{\dot{\varphi}_0} \quad \dots(4.10)$$

gdje su:

m - koeficijent,
 T₀ - referentna apsolutna temperatura,
 T - temperatura ispitivanja,
 K₀ - specifični deformacioni otpor pri referentnoj temperaturi i
 $\dot{\varphi}$ i $\dot{\varphi}_0$ - brzine deformacije pri temperaturama T i T₀.

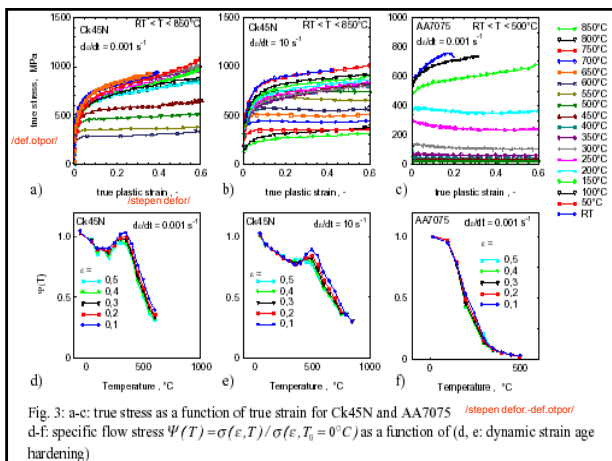
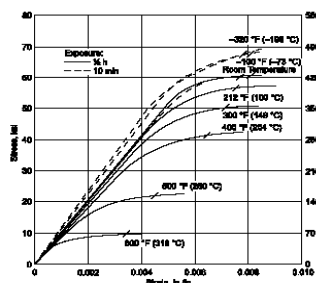


Fig. 3: a-c: true stress as a function of true strain for Ck45N and AA7075 /stepen defor.-def. otpor/ d-f: specific flow stress $\Psi(T) = \sigma(\epsilon, T) / \sigma(\epsilon, T_0 = 0^\circ C)$ as a function of (d, e: dynamic strain age hardening)

1.1 Uticaj brzine deformacije i temperature na specifični deformacioni otpor



WA.011 2014-T6 aluminum alloy, clad 2014-T6, bar, tensile stress-strain curves /zatezna čvrstoća/ Tested at various temperatures. Bar diameter: 19.05 mm (0.75 in.). Composition: Al-4.5Cu-1Mn-1Si-0.5Mg. UNS A92014

2. Značajnost uticaja pojedinih parametara na specifični deformacioni otpor

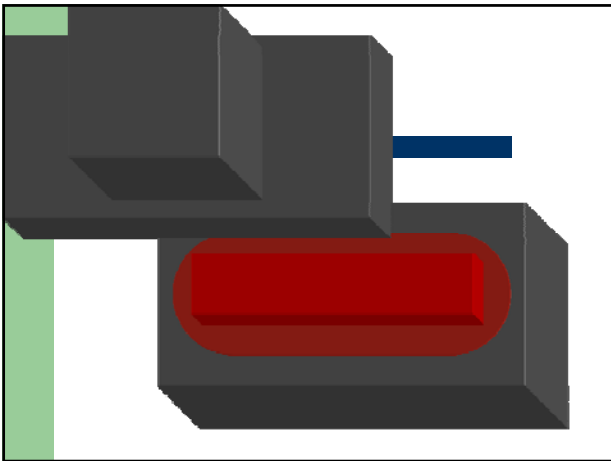
U prethodnom izlaganju opisani su skoro svi uticajni parametri koji djeluju na promjenu specifičnog deformacionog otpora.

Obzirom da se procesi obrade deformisanjem rade u toplom i hladnom stanju, uticaj pojedinih parametara na specifični deformacioni otpor je različit pri različitim vrstama obrade.

U Tabeli 4.2 je dat pregled različitih uticajnih parametara na specifični deformacioni otpor za toplu i hladnu obradu, poredanih po značajnosti uticaja, sa dobrim i lošim stranama.

	Hladno deformisanje ($t < t_c$)	Toplo deformisanje ($t > t_c$)
Znatniji uticaji na K	<ul style="list-style-type: none"> Svojstva materijala; Izvršeni stepen deformacije ϕ 	<ul style="list-style-type: none"> Svojstva materijala; Brzina deformacije $\dot{\phi}$; Temperatura deformacije t; Stepen deformacije ϕ pri brzini deformacije $\dot{\phi} > 0,1 \text{ s}^{-1}$
Manji uticaji na K	<ul style="list-style-type: none"> Brzina deformacije $\dot{\phi}$; Temperatura deformacije t; 	<ul style="list-style-type: none"> Stepen deformacije ϕ pri brzini deformacije $\dot{\phi} < 0,1 \text{ s}^{-1}$
Dobre strane	<ul style="list-style-type: none"> Povećanje otpornosti materijala zbog hladnog očvršćavanja; Veća tačnost radnog predmeta 	<ul style="list-style-type: none"> Mala deformaciona čvrstoća; Velika deformabilnost
Loše strane	<ul style="list-style-type: none"> Velika deformaciona čvrstoća (sile); Ograničena deformabilnost 	<ul style="list-style-type: none"> Mala tačnost radnog predmeta; Potreban uređaj za zagrijavanje

Tabela 4.2 Pregled različitih uticajnih parametara na specifični deformacioni otpor za toplu i hladnu obradu, poredanih po značajnosti uticaja, sa dobrim i lošim stranama



OBRADA DEFORMISANJEM

- V predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ V:

- Hipoteze o plastičnom tečenju materijala
- Deformabilnost
- Deformaciona sila i deformacioni rad

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Spoljšnje opterećenje uzrokuje elastičnu a zatim plastičnu deformaciju. Za prelaz iz elastičnog u plastično deformisanje, potrebno je da budu ispunjeni određeni uslovi.

Plastična deformacija nastaje kada se stvori određeno napregnuto stanje i kada naprezanje na smicanje po kliznim ravninama dostignu određenu kritičnu vrijednost.

Nije dovoljno samo stvoriti naprezanje.

Pretpostavlja se da do tečenja materijala dolazi samo ako postoji razlika glavnih napreznja: $\sigma_1 \neq \sigma_2 \neq \sigma_3$, odnosno $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ ili $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$
Ako je ispunjen uslov $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3$ - stanje hidrostatičkog pritiska.

Definisanje uslova plastičnog tečenja omogućuje poznavanje granice kada materijal iz područja elastičnosti prelazi u plastično područje.

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Definisanje kriterija granice plastičnog tečenja je ustvari određivanje uslova kada će nastupiti tečenje metala. Prelaz iz oblasti elastičnosti u oblast plastičnosti prati se pri jednoosnom naprezanju. U tu svrhu koriste se tzv. **hipoteze plastičnog tečenja**.

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala uspostavljaju zakonitost ponašanja materijala pri linearnom i ostalim naponskim stanjima.

To znači da one omogućavaju definisanje ponašanja materijala u uslovima složenog naponskog stanja, ako su poznate njegove osobine kod linearnog opterećenja (istezanje i pritisak).

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Postoji veći broj hipoteza, ali se za rješavanje problema obrade deformisanjem najčešće se primjenjuju:

1. Hipoteza najvećeg tangencijalnog (smicajnog) napona
2. Hipoteza najveće deformacione energija utrošene za promjenu oblika

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Hipoteza najvećeg tangencijalnog (smičnog) napona (Tresca-Saint Venant-1864) glasi:

Proces plastičnog deformisanja počinje kad maksimalni tangencijalni napon dostigne odgovarajuću kritičnu vrijednost.

Do deformacije dolazi kada vrijednost najvećeg naprezanja na smicanje u uslovima složenog naponskog stanja dostigne kritičnu vrijednost istog pri jednoosnom napregnutom stanju kod koga dolazi do trajne deformacije.

Ukoliko je naponsko stanje definisano odnosom: $\sigma_1 > \sigma_2 > \sigma_3$ tada plastično tečenje nastaje kada tangencijalni napon dostigne vrijednost napona tečenja (τ_v ili K_s) pri čistom smicanju, tj:

$$\tau_{max} = K_s = \text{const.}$$

$$\tau_{max} = \pm \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \tau_{13}$$

K_s - smicajni deformacioni otpor (može se odrediti čistim smicanjem)



Henri Tresca
1814-1884

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Pri jednoosnom istezanju: $\sigma_1 > 0$, $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$ i $\sigma_1 = K$

pa je $\tau_{\max} = 1/2 \sigma_1$, $\tau_{\max} = \frac{K}{2} = K_s$

Znači, prema ovom uslovu, da bi otpočelo plastično deformisanje u opštem slučaju naponsko-deformacionog stanja, potrebno je da **maksimalni smičući napon dostigne polovinu vrednosti deformacione čvrstoće.**

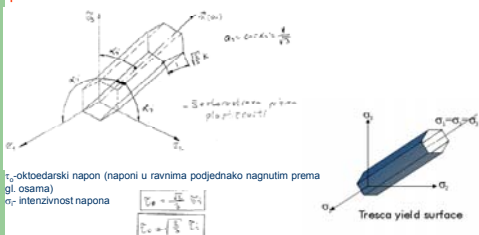
S druge strane, a sobzirom da se max izražava preko normalnih napona, može se reći da, prema uslovu najvećeg smicajnog napona, **plastično deformisanje nastupa kad razlika između najvećeg i najmanjeg glavnog normalnog napona dostigne vrijednost deformacionog otpora.**

Te je konačan oblik hipoteze maksimalnog tangencijalnog napona je:

$$|\sigma_{\max} - \sigma_{\min}| = K$$

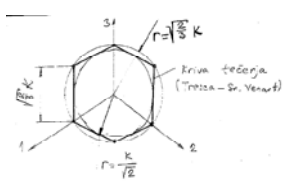
Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Grafički prikaz hipoteze maksimalnih tangencijalnih napona može se predstaviti istostranom šestostranom prizmom, gdje simetrala prizme zatvara jednak ugao prema koordinatnim osama.



Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

U koordinatnom sistemu glavnih osa kriva plastičnog tečenja po ovoj hipotezi se dobije kada se istostrana prizma presječe devijatorskom ravninom $\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3 = 0$, tako da se dobije pravilni šestougao.



Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Energetski uslov plastičnosti (Huber-Misses-Hencky ili HMM)

Poznat je i kao Mizesov kriterijum plastičnosti (Misses) i važi u opštem slučaju prostornih naponskih stanja.

Počiva na sledećoj energetskoj hipotezi: da bi otpočelo plastično deformisanje u napregnutom tijelu, količina unutrašnje energije elastične promjene oblika, po jedinici zapremine, treba da dostigne jedan kritičan iznos iste pri jednoosnom napregnutom stanju kod koje dolazi do trajne promjene oblika.

Po ovoj hipotezi materijal će iz elastičnog preći u plastično stanje kada intenzivnost napona dostigne veličinu jednaku specifičnom deformacionom otporu pri linearnom naponskom stanju.

$$\sigma_i = \sqrt{3|J_2|} = K \quad \text{gdje je } J_2 \text{ druga invarijanta devijatora tenzora napona.}$$

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Konačna forma ovog uslova može se dati preko sljedećeg izraza:

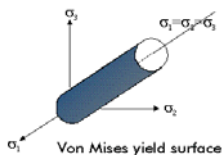
$$\sigma_e = \frac{\sqrt{2}}{2} \sqrt{(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2} = K \quad \sigma_e = \sigma_e \geq k \text{-plastično tečenje}$$

Odnosno,

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2k^2$$

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Geometrijska interpretacija energetskog uslova plastičnosti predstavlja cilindar podjednako nagnut prema koordinatnim osama glavnih napona.



Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

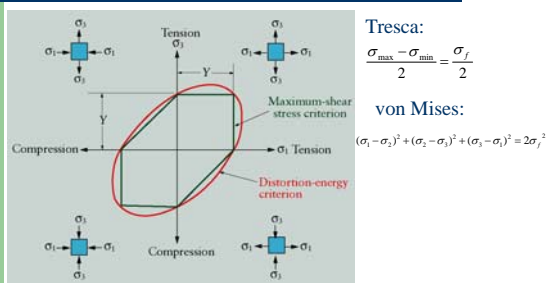
Ako je jedan od glavnih napona jednak nuli ($\sigma_1 = 0$) izraz za ravansko naponsko stanje glasi:

$$\sigma_2^2 - \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3^2 = K^2$$

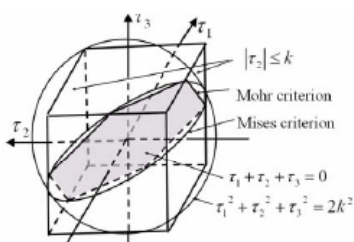
što geometrijski predstavlja elipsu.

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala

Hipoteze o plastičnom tečenju materijala



Hipoteze o plastičnom tečenju materijala



Deformabilnost

a) Definicija, uticajni faktori

U oblasti tehnologije plastičnog oblikovanja često se koriste termini: **deformabilnost, plastičnost, obradivost.**

Ako je riječ o trajnom (plastičnom) deformisanju **deformabilnost i plastičnost** se odnose na opštu sposobnost materijala da se trajno deformiše bez pojave razaranja ili nekog drugog oštećenja strukture.

Obradivost se najčešće vezuje za konkretan tip obrade (npr. dubokim izvlačenjem, istiskivanjem itd.).

Najznačajniji uticajni faktori na deformabilnost su:

- vrsta materijala (hemijski sastav),
- struktura,
- temperatura obrade,
- brzina deformacije i naponsko stanje.

Defornabilnost

Čelični materijali

S obzirom na defornabilnost dijele se na:

1. **Ugljične čelike** – koji mogu biti niskouglenični i čelici s povećanim sadržajem ugljenika. Bolja plastična svojstva imaju niskouglenični čelici.
2. **Legirane čelike** – koji se s obzirom na defornabilnost mogu podijeliti u dvije grupe:
 - a) čelici legirani sa Si, Ni, Co, Cu, Al i Mn povećavaju deformacioni otpor ali bitnije ne umanjuju defornabilnost materijala,
 - b) čelici legirani elementima koji stvaraju karbide: Mn → Cr → W → Mo → V → Ti i C. Porastom procentualnog učešća ovih elemenata u čeliku smanjuju se plastična svojstva materijala, dok se deformacioni otpor ne mijenja bitnije. Defornabilnost čelika s navedenim legirajućim elementima može se poboljšati sferoidizacijom karbida, što se postiže odgovarajućom termičkom obradom. Tvrdi nemetalni uključci u čeliku takođe smanjuju plastična svojstva materijala.

Defornabilnost

Struktura materijala zavisi od hemijskog sastava i termičkog tretmana materijala i značajno utiče na plastičnost. Najpovoljniji oblik strukture za plastično deformisanje je **meko žarena struktura s ravnomjernom krupnoćom zrna i čvrstih čestica loptastog oblika**.

Temperatura obrade takođe je jedan od važnih faktora defornabilnosti, čijim povećanjem raste mogućnost deformisanja odnosno defornabilnost.

Brizna deformacije utiče na mehanizme plastične deformacije, pa samim tim i na defornabilnost materijala. Kod konvencionalnih – kvazistatičnih procesa obrade ovaj faktor bitnije ne utiče na defornabilnost.

Naponsko stanje jedan je od najznačajnijih faktora koji utiču na veličinu deformacije prije pojave razaranja materijala. Ovaj faktor je važan i zato što se na njega može uticati promjenom elemenata obradnog sistema, prije svega konstrukcijom alata /slika: greške u materijalu i bolje dejstvo pritisnih napona/



Defornabilnost

b) Parametri plastičnosti

Parametri plastičnosti su veličine koje kvantifikuju početna plastična svojstva materijala, a dobijaju se standardnim ispitivanjem, najčešće ispitivanjem na zatezanje:

1. **Odnos granice razvlačenja i čvrstoće** $a = \sigma_f / \sigma_m \leq 1$ (0,5-1)
Za plastično deformisanje pogodni su materijali s nižim vrednostima
2. **Eksponent deformacionog ojačavanja** $n = \phi_f$ -pokazuje intenzitet ojačavanja i veličinu stepena deformacije u trenutku pojave lokalizacije deformacije. Veći eksponent n znači veća plastična svojstva.
3. **Kontraktija presjeka pri ispitivanju na zatezanje** ψ
nije pouzdan parametar plastičnosti, ali se načelno može reći da ako je
 $\psi > 60\%$ – materijal ima visoka plastična svojstva
 $\psi = 50-60\%$ – dobra plastična svojstva
 $\psi < 50\%$ – niska plastičnost materijala

Deformabilnost

c) Dijagram granične deformabilnosti pri zapreminskom deformisanju

Kvantitativna mjera koja izražava deformabilnost pri zapreminskom oblikovanju je granična ekvivalentna deformacija (ϕ_{eg}) u trenutku pojave oštećenja strukture (lokalizovano deformisanje ili razaranje).

Deformabilnost materijala zavisi od vrste materijala definisanog hemijskim sastavom (H), zatim od strukture materijala (S), temperature obrade (T), brzine deformacije ($\dot{\phi}$), naponskog stanja ($T\sigma$) i drugih faktora:
 $D=f(H,S,T,\dot{\phi},T\sigma, \dots)$

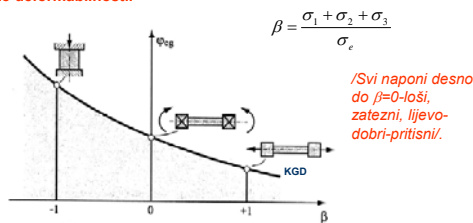
Ako se u ovoj jednačini faktori materijala (H), strukture (S), temperature (T) i brzine deformacije ($\dot{\phi}$) zadrže na konstantnom nivou, tada se funkcija deformabilnosti svodi na relaciju $\phi_{eg}=f(T\sigma)=f(\beta)$

β je – pokazatelj naponskog stanja,

$$\beta = \frac{\sigma_x + \sigma_y + \sigma_z}{\sigma_e} = \frac{3\sigma}{\sigma_e} = \frac{J_1}{\sigma_e}$$

Deformabilnost

Zavisnost ϕ_{eg} od naponskog pokazatelja β predstavlja dijagram granične deformabilnosti.



Dijagram granične deformabilnosti pri zapreminskom oblikovanju

Deformabilnost

Dijagram na prethodnoj slici moguće je dobiti preko tri tačke koje odgovaraju jednostavnim naponskim stanjima.

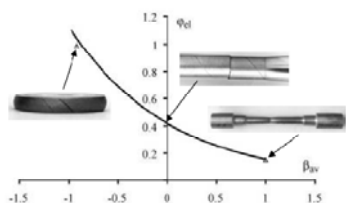
Na osnovu mnogobrojnih teorijsko-eksperimentalnih ispitivanja pokazano je da procesi obrade deformisanjem u kojima dominiraju pritiski naponi ($\beta < 0$) obezbjeđuju veće mogućnosti oblikovanja u odnosu na procese u kojima dominiraju zatezni naponi ($\beta > 0$).

Dijagram granične deformabilnosti određuje se eksperimentalno, primjenom jednostavnih metoda deformacije:

- jednoosno zatezanje $\beta = +1$
- jednoosno sabijanje $\beta = -1$
- torzija $\beta = 0$

Detaljnije definisanje zahtjeva primjenu složenijih naponskih stanja, odnosno neophodna je primjena drugih modela deformacije, koji imaju drugačije naponsko-deformaciono stanje..

Deformabilnost



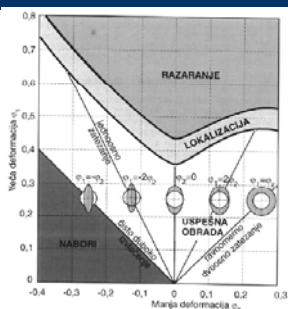
Dijagram granične deformabilnosti Č. 1431

Deformabilnost

Kod deformisanja limova, najčešće se deformabilnost izražava preko intenziteta glavnih deformacija u ravni lima u trenutku lokalizovanog deformisanja i razaranja.

Zavisnost veće glavne deformacije (φ_1) od manje (φ_2) pri graničnim uslovima predstavlja dijagram granične deformabilnosti kod limova, poznat i kao Kiler-Gudvinov dijagram (Keeler-Goodwin).

Deformabilnost



Dijagram granične deformabilnosti kod limova

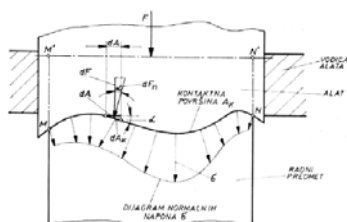
Deformaciona sila i deformacioni rad

Deformaciona sila i deformacioni rad su osnovni parametri tehnološkog procesa obrade deformisanjem.

Pri projektovanju tehnološkog postupka neophodno je odrediti maksimalnu deformacionu silu i potrebni deformacioni rad.

Na osnovu tih parametara se bira mašina za obradu.

Deformaciona sila i deformacioni rad



Princip određivanja deformacione sile

Deformaciona sila i deformacioni rad

Deformaciona sila za idealizovani slučaj sabijanja paralelopipeda (sabijanje bez trenja) može se izračunati po izrazu:

$$F = k \cdot A$$

gdje su:

k – specifični deformacioni otpor;
A – trenutna pritisnuta površina.

$$A = b \cdot l$$

Deformaciona sila i deformacioni rad

Rad ove sile na elementarnom putu dat je relacijom:

$$dW = Fdh = kAdh$$

Ukupni deformacioni rad dobije se integraljenjem prethodnog izraza :

$$W = \int_{h_1}^{h_2} kAdh$$

Deformaciona sila i deformacioni rad

Specifični deformacioni otpor je konstantan za sabijanje u vrućem stanju, pa se deformacioni rad računa po izrazu:

$$W = k \int_{h_1}^{h_2} Adh = kV \int_{h_1}^{h_2} \frac{dh}{h} = k \cdot V \cdot \varphi = k \cdot V_i$$

gdje je:

V_i – istisnuta zapremina

Deformaciona sila i deformacioni rad

Najveća deformaciona sila za vruće deformisanje dobija se po izrazu:

$$F_{\max} = k \cdot A_1$$

gdje je:

A_1 – površina paralelepipeda nakon sabijanja $A_1 = b_1 \cdot l_1$

Kod sabijanja u hladnom stanju specifični deformacioni otpor nije konstantan, pa se za proračun uzima njegova srednja vrijednost:

$$k_{sr} = \frac{k_0 + k_1}{2}$$

Deformaciona sila i deformacioni rad

gdje su:

k_0 – specifični deformacioni otpor na početku deformacije za $\varphi = 0$

k_1 – specifični deformacioni otpor na kraju deformacije za $\varphi = \ln \frac{h_0}{h_1}$

Deformacioni rad za sabijanje u hladnom stanju može se izračunati pomoću izraza:

$$W = \int_{h_1}^{h_2} k A dh = V \int_{h_1}^{h_2} k \frac{dh}{h} = V k_{sr} \ln \frac{h_0}{h_1} = k_{sr} \cdot V_i$$

Deformaciona sila i deformacioni rad

Najveća deformaciona sila za sabijanje u hladnom stanju iznosi:

$$F_{\max} = k_1 \cdot A_1$$

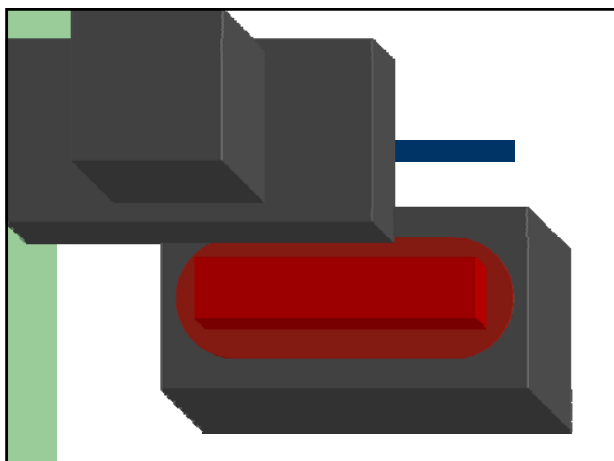
Dobivene vrijednosti deformacionog rada po navedenim izrazima odgovaraju idealnom radu.

Stvarni rad je veći od idealnog i dobije se ako se vrijednost idealnog rada podijeli sa stepenom korisnog dejstva (η).

Na taj način se uzimaju u obzir gubici uslijed trenja.

Vrijednost η određuje se prema Siebelu:

- za hladno sabijanje: $\eta = 0,85 + 0,95$
- za vruće sabijanje: $\eta = 0,60 + 0,80$



OBRADA DEFORMISANJEM

- VI predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ VI:

TEHNOLOGIJE RAZDVAJANJA

- **Probijanje i prosijecanje**

- Izbor zazora
- Metode racionalnog korištenja materijala
- Dimenzionisanje trake
- **Fino prosijecanje**
- Izgled rezne ivice za klasično i fino prosijecanje
- Naponska šema
- Deformaciona sila i deformacioni rad
- Mehaničke osobine materijala
- Izbor mašine
- Načini smanjenja sile
- Alati za probijanje i prosijecanje
- **Faze izrade radnih predmeta iz trake**
- Prese
- Prosijecanje krivolinijskih kontura

- **Odsijecanje na makazama**

- Mašine za odsijecanje

TEHNOLOGIJE RAZDVAJANJA

Razdvajanje se po svojim osobinama razlikuje od svih ostalih postupaka plastičnog deformisanja jer podrazumijeva fizičko odvajanje dijela polufabrikata razdvajanjem ("sječanjem").

Proces razdvajanja se ostvaruje smicanjem po površinama koje određuje geometrija komada, odnosno alata.

Osnovne razlike razdvajanja u odnosu na ostale metode obrade deformisanjem su:

- suština procesa razdvajanja je ostvarivanje tangencijalnih (smičućih) napona u određenim ravnima. Kad ti naponi dostignu maksimalnu vrijednost nastaje razdvajanje strukture,
- zona obrade je koncentrisana na usku oblast oko rezne ivice,
- zapremina gotovog komada uvijek je manja od zapremine polaznog komada.

TEHNOLOGIJE RAZDVAJANJA

Postupke razdvajanja je moguće podijeliti na:

1. prosjecanje i probijanje,
2. vibraciono razdvajanje
3. fino prosjecanje i
4. odsjecanje.

TEHNOLOGIJE RAZDVAJANJA

Probijanje i prosjecanje

Probijanje i prosjecanje je postupak obrade deformisanjem kod koga se razdvajanje materijala vrši po zatvorenoj konturi, pomoću alata na presama.

Kod ovog postupka iz priprema u vidu ploča i traka od lima dobijaju se izratci različitog oblika unutrašnje i vanjske konture.

Tako dobijeni izratci mogu se koristiti kao gotovi proizvodi ili kao pripremi za druge tehnološke postupke npr. duboko izvlačenje i savijanje.

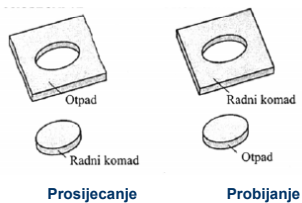
Probijanje i prosjecanje



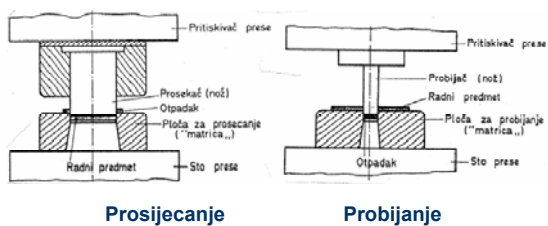
Primjeri probijanja i prosjecanja

Probijanje i prosijecanje

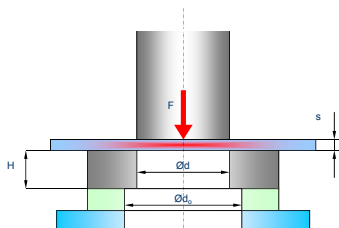
Termin **prosijecanje** podrazumjeva dobijanje finalnog komada sa spoljašnjom konturom, a termin **probijanje** – dobijanje finalnog komada sa unutrašnjom konturom.



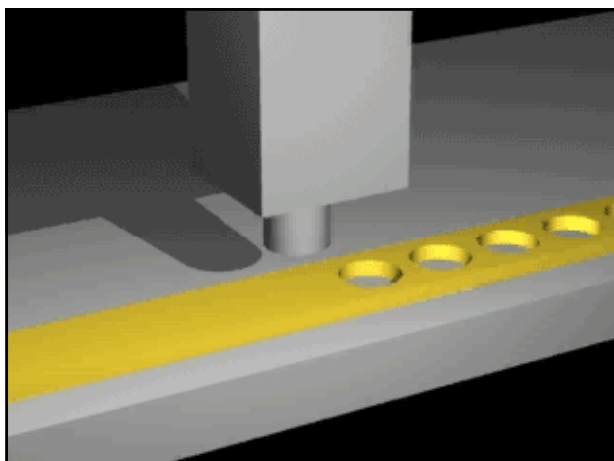
Probijanje i prosijecanje



Probijanje i prosijecanje



Šematski prikaz procesa



Probijanje i prosijecanje

Faze probijanja i prosijecanja

Od početnog položaja /važnost zazora/ preko faze elastičnog deformisanja, koja prerasta u plastično oblikovanje na skici c). Daljim rastom sile, zatežući naponi u okolini rezne ivice matrice prelaze kritičnu vrijednost i tu se javlja pukotina (d). Ona brzo propagira u pravcu rezne ivice prosjekača, što zavisi od vrste materijala i zazora i rezultira u gotovo udarnom razdvajanju.

Probijanje i prosijecanje

Pri projektovanju procesa probijanja i prosijecanja treba voditi računa o veličini zazora između izvršnih dijelova alata (probojca ili prosjekača) i prstena.

Zazor kod probijanja i prosijecanja

Probijanje i prosijecanje

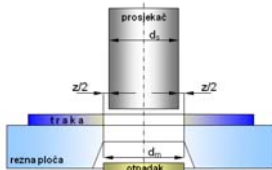
Izbor zazora

1. Analitički

$$z = d_m - d_s$$

$$z = 2s(1 - \epsilon_{ot}) \cdot \text{tg}\beta$$

gdje je:
 z – zazor u mm
 s – debljina materijala u mm
 ϵ_{ot} - relativna dubina prosijecanja
 β - ugao smicanja materijala



$\beta = 4^\circ \div 6^\circ$ - za čelike

Probijanje i prosijecanje

Izbor zazora

2. Tabelarno

Sigurniji način izbora zazora je iz odgovarajućih tabela za razne vrste materijala. Najpoznatije tabele su tebele firme SCHULER.

3. Preporuke

Zazor bitno utiče na proces razdvajanja i kvalitet prosečenog (probijenog) komada. Zazor nema stalnu vrijednost, već zavisi od stanja istrošenosti alata i vremenom se povećava. Za određivanje zazora postoji više preporuka, kao na primjer:

- za čelične limove
- $z = (0.03-0.06)$; $s \leq 3$ mm - za uobičajeni kvalitet razdvojenih površina
- $z = (0.02-0.04)$; $s \leq 3$ mm - za bolji kvalitet razdvojenih površina
- $z = (0.06-0.08)$; $s < 10-25$ mm - za bolji kvalitet razdvojenih površina

Uvijek je bolje birati zazor na donjoj granici računajući da će se habanjem alata isti povećavati. Mali zazor je uvijek lahko povećavati (brusi se prosekač ili matrica).


Probijanje i prosijecanje

Optimalna vrijednost zazora garantuje ravnu ivicu prosečenog (probijenog) komada i dobar kvalitet. Ukoliko se izabere mala ili suviše velika vrijednost zazora kao posljedica se javlja neravna prekidna površina

Manjim zazorom postiže se bolji kvalitet presječne površine, ali je deformaciona sila veća. Obrnuto, veći zazor daje lošiju presječenu površinu uz manju silu i smanjeno habanje alata.

Na slici je izgled rezne ivice radnog predmeta.

Ravni dio rezne ivice nastao je rezanjem, a neravni dio nastao je čupanjem materijala.



Izgled rezne ivice u radnom predmetu

Probijanje i prosijecanje

Metode racionalnog korištenja materijala

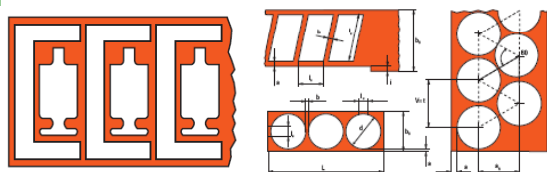
U uslovima većih proizvodnih serija od velikog je značaja ekonomično korišćenje materijala pri prosjecanju, t.j. obezbjeđenje pravilnog rasporeda komada na traci uz tehnološki geometriju, kako bi otpadak bio minimalan. Lim se dobija iz željezara najčešće u obliku tabli. Iz njih se odsjecaju trake odgovarajuće širine. Od takvih traka se, zatim, prosjecanjem i probijanjem dobijaju gotovi dijelovi ili polazni komadi za naredne operacije. Od posebnog je značaja pravilno konceptijsko rješenje, alata, položaja kontura na traci i širine trake. Najveći uticaj ima veličina serije i vrsta materijala lima.



a b *Raspored kontura na traci*

Probijanje i prosijecanje

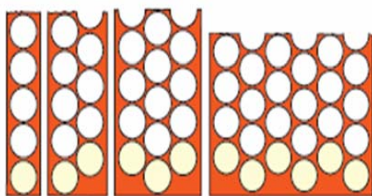
Metode racionalnog korištenja materijala



Raspored kontura na traci

Probijanje i prosijecanje

Metode racionalnog korištenja materijala

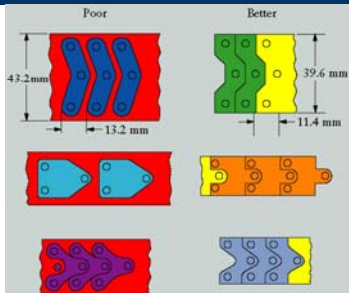


Stepen iskoristenja: 56,8% 65% 67,4% 73,2%

Primjeri jednorednog, dvoorednog, troorednog i šestorednog rasporeda

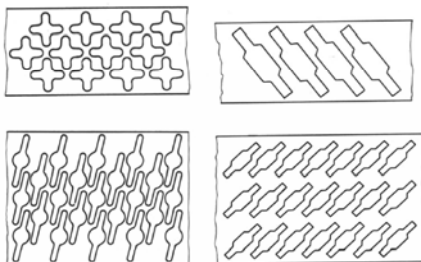
Probiranje i prosijecanje

Metode racionalnog korištenja materijala



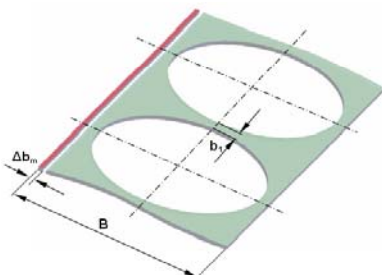
Probiranje i prosijecanje

Metode racionalnog korištenja materijala



Primjeri rasporeda kontura na traci

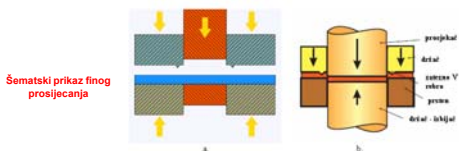
Dimenzionisanje trake



Probijanje i prosijecanje

Fino prosijecanje

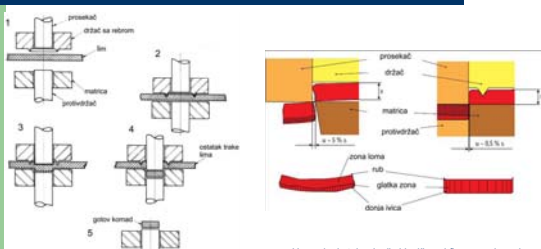
Pored klasičnog prosijecanja postoji i fino prosijecanje. Postupak se koristi za izradu radnih predmeta kod kojih se zahtijevaju uže tolerancije i veći kvalitet izrade.



Osnovna ideja postupka finog (preciznog) prosijecanja je ostvarivanje visokog bočnog pritiska u zoni razdvajanja (naponsko stanje svestranog pritiska) kako bi se zona smicanja raširila po čitavom presjeku.

Probijanje i prosijecanje

Fino prosijecanje



Princip ostvarivanja procesa finog prosijecanja

Probijanje i prosijecanje

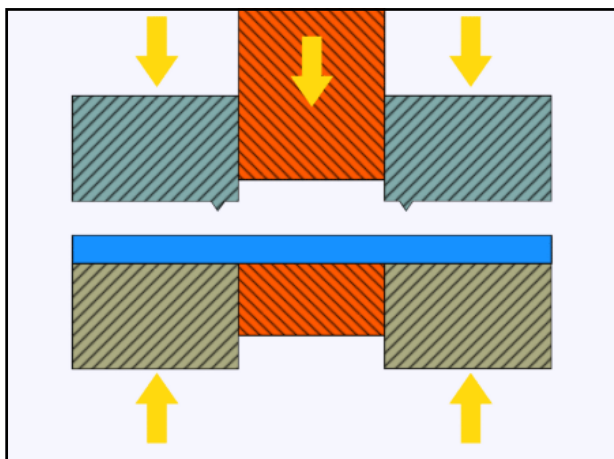
Fino prosijecanje

Fino prosijecanje se razlikuje od klasičnog prosijecanja po:

- obaveznoj konstrukciji zateznog V-rebra;
- obaveznoj upotrebi držača i izbijača lima i radnog predmeta i
- upotrebi prese trostrukog dejstva (dejstvo držača, prosjekača i pridrživača).

Finim prosijecanjem postiže se:

- završni kvalitet obrađene površine bez potrebe naknadnih obrada;
- velika tačnost obrađene površine i
- ravnost radnog predmeta po cijelom presjeku.



Probijanje i prosijecanje
Fino prosijecanje

- 1 – rezna ploča
- 2 – držač sa zateznim V rebrom
- 3 – fiksni prosjekač
- 4 – držač – izbijač

Geometrija rebra koje se utiskuje

Probijanje i prosijecanje
Fino prosijecanje

Schema alata za fino prosjecanje

Probijanje i prosijecanje
Fino prosijecanje

PREDNOSTI PROCESA FINOG PROSJEKANJA:

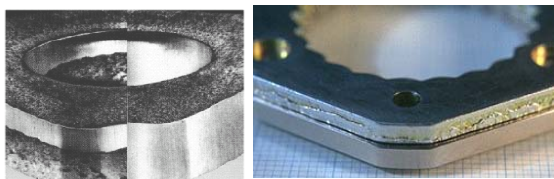
- znatno veći kvalitet obrađene površine, hrapavost reznog dijela kreće se u granicama $R_a = 0,3-1,5 \mu\text{m}$, što zavisi od vrste i debljine materijala,
- nema naknadne obrade rezne površine, niti potrebe za ravnanjem radnog predmeta,
- znatno veća tačnost svih dimenzija radnog predmeta i
- mogućnost kombinovanja sa drugim obradama tako da se može postići izrada veoma komplikovanih radnih predmeta.

Probijanje i prosijecanje
Fino prosijecanje

Nedostaci finog prosjecanja:

- većem utrošku materijala zbog utiskivanja zateznog V-rebra;
- pojavi srha i povlačenja materijala na dnu radnog predmeta i
- ograničenost primjene na različite materijale i debljine veće od 20 mm.

Probijanje i prosijecanje
Izgled rezne ivice za klasično i fino prosijecanje



Probiranje i prosijecanje
 Izgled rezne ivice za klasično i fino prosijecanje

Probiranje i prosijecanje
 Naponska šema

Probiranje i prosijecanje
 Deformaciona sila i deformacioni rad

Deformaciona sila za alate sa paralelnim reznim ivicama može se odrediti po obrascu:

$$F = \sum_{i=1}^n L_i \cdot s \cdot \tau_m \quad [N]$$

gdje su:
 $\sum_{i=1}^n L_i$ – obim svih dijelova koji se probijaju ili prosijecaju;
 s – debljina lima;
 τ_m – čvrstoća smicanja

Probijanje i prosijecanje**Deformaciona sila i deformacioni rad**

U cilju smanjenja deformacione sile koriste se alati sa zakošenim reznim ivicama.

Zakošenje reznih ivica se kod prosijecanja izvodi na prstenu, a kod probijanja na probojcu.

Deformaciona sila za alate sa zakošenim reznim ivicama može se odrediti po obrascu:

$$F = k \cdot L \cdot s \cdot \tau_m \quad [N]$$

$$\text{za } H = s \quad k = 0,4 \div 0,6$$

$$H = 2s \quad k = 0,2 \div 0,4$$

Probijanje i prosijecanje**Mehaničke osobine materijala**

Materijal	$\sigma_m [N/mm^2]$	$\tau_m [N/mm^2]$
Č.0145	280 - 500	240 - 400
Č.0146	280 - 420	240 - 340
Č.0147	280 - 400	240 - 320
Č.0148	280 - 380	240 - 340
Al 99,5	70 - 100	50 - 60
Al 99,0	80 - 110	60 - 75
AlMg2	180 - 230	115 - 150
AlMg5	230 - 270	140 - 180
Cu 99,5	250 - 300	200 - 240
Cu72Zn	250 - 320	220 - 270

Probijanje i prosijecanje**Deformaciona sila i deformacioni rad**

Rad probijanja i prosijecanja za alate sa paralelnim reznim ivicama može se odrediti pomoću obrasca:

$$W = x \cdot F_m \cdot s \quad [Nmm]$$

gdje su:

F_m - maksimalna sila probijanja (prosijecanja);

x - faktor koji se bira u zavisnosti od debljine i vrste materijala

$$x = \frac{F_{sr}}{F_m}$$

Probijanje i prosijecanje**Deformaciona sila i deformacioni rad**

Za alate sa zakošenim reznim ivicama deformacioni rad računa se po izrazu:

$$W = x_1 \cdot F_m \cdot (s + H) \quad [Nmm]$$

gdje su:

F_m - maksimalna sila probijanja (prosijecanja);
 x_1 - faktor koji se bira u zavisnosti od debljine i vrste materijala

za $H = s$ $x_1 = 0,5 \div 0,6$
 $H = 2s$ $x_1 = 0,7 \div 0,8$

Probijanje i prosijecanje**Izbor mašine**

Granična sila pritiskivača prese određuje se po obrascu:

$$F_g = \frac{F_n}{\sin \alpha} \cdot \sin \alpha_n$$

gdje su:

F_n - nominalna sila
 α - ugao krivaje
 α_n - nominalni ugao

Za prese za prosijecanje i probijanje $\alpha_n = 10^\circ \div 35^\circ$

Probijanje i prosijecanje**Izbor mašine**

Po prvom kriteriju za izbor prese mora biti ispunjen uslov:

$$F_m \leq F_g$$

gdje su:

F_m - maksimalna sila probijanja (prosijecanja)
 F_g - granična sila pritiskivača prese

$$F_M = F_g = 1,3F_m$$

Probijanje i prosijecanje

Izbor mašine

Nominalni rad koji presa može da ostvari je:

$$W_n = F_n h_n = F_n \frac{H}{2} (1 - \cos \alpha_n)$$

gdje je

h_n – hod pritiskivača koji odgovara nominalnom uglu α_n

Drugi kriterij za izbor prese dat je obrascem:

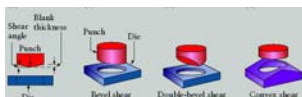
$$W \leq W_n$$

Probijanje i prosijecanje

Načini smanjenja sile

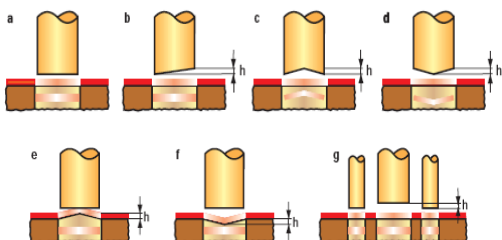
Ukupna sila probijanja i prosijecanja može se smanjiti na sljedeće načine:

1. Upotrebom alata sa zakošenim reznim ivicama,
2. Upotrebom alata sa različitim dužinom probojaca i prosjekača,
3. Probijanjem (prosijecanjem) na povišenim temperaturama.



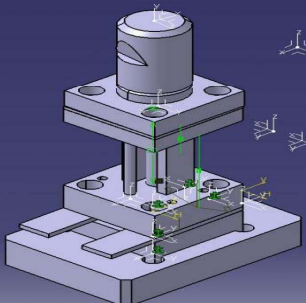
Probijanje i prosijecanje

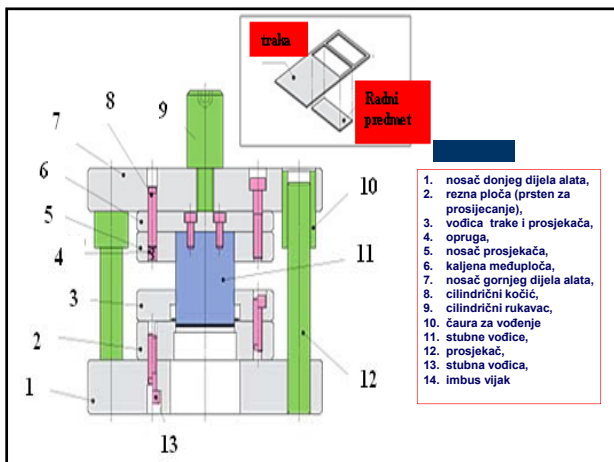
Načini smanjenja sile

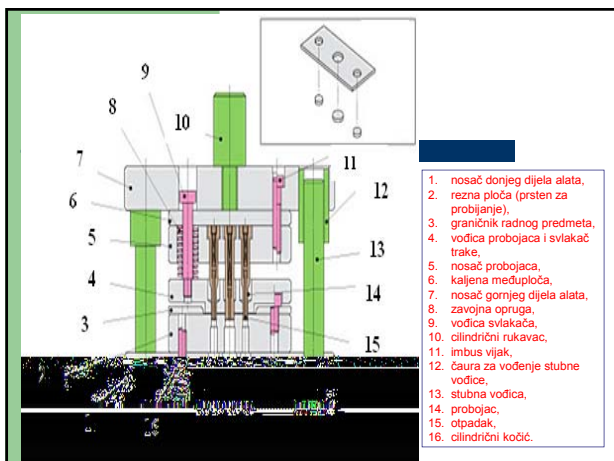


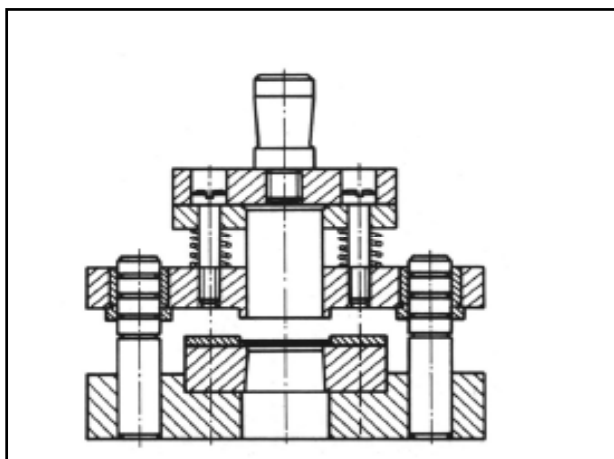
Probijanje i prosijecanje

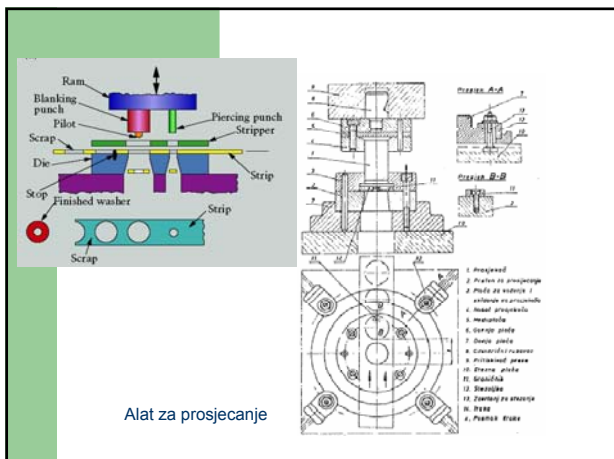
Alati za probijanje i prosijecanje

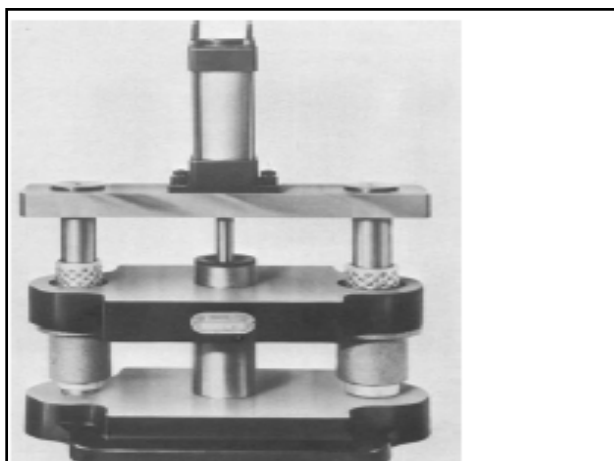


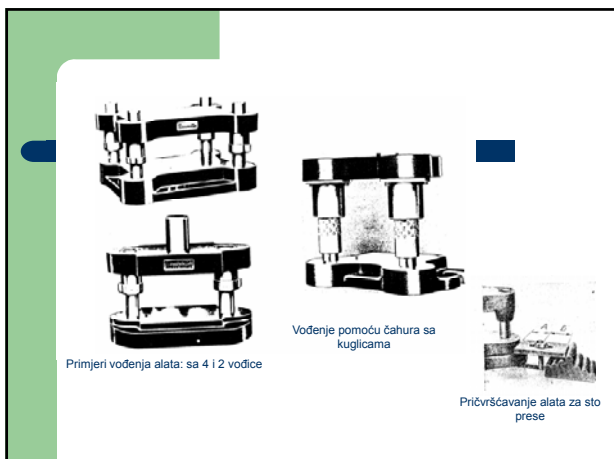


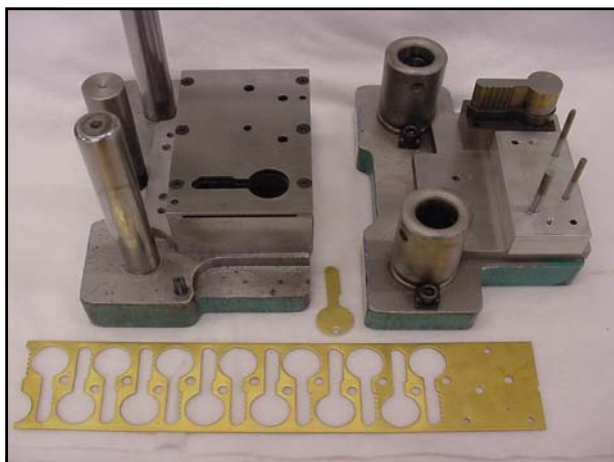


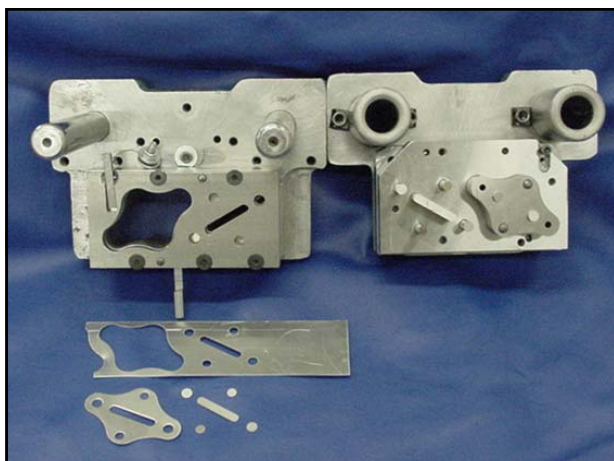


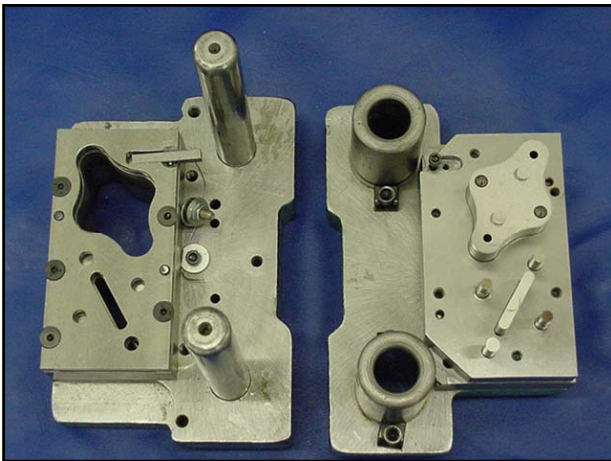


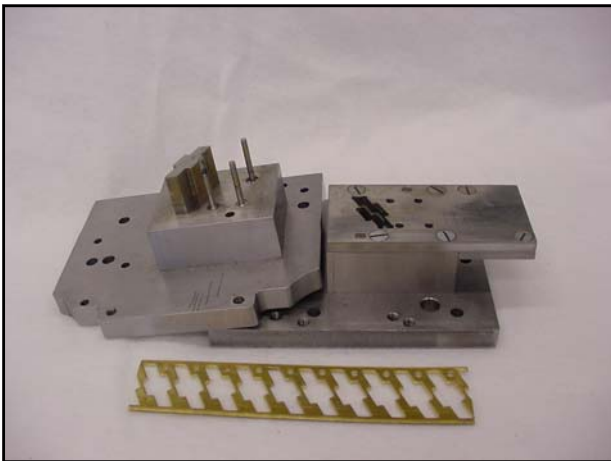


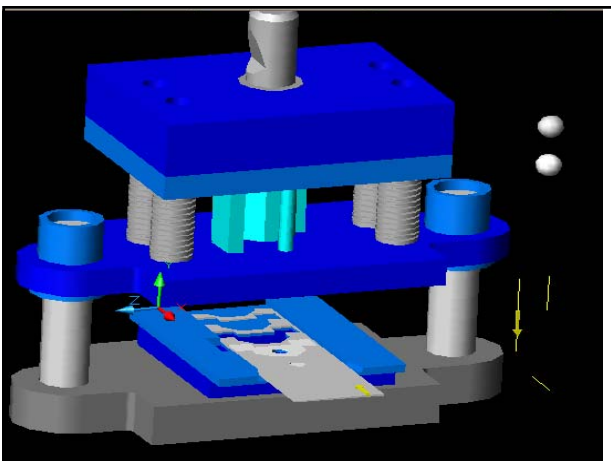


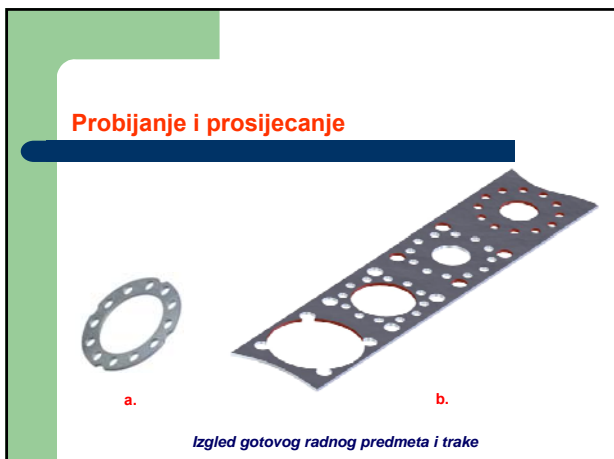








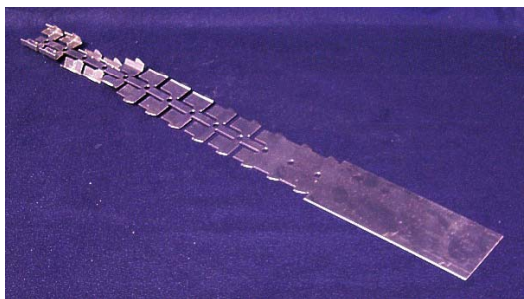








Faze izrade radnih predmeta iz trake



Prese



Šematske ilustracije tipova presa za operacije prerade limova

Prese



Jednostubna ekscentar presa

Prese



Ekscentar presa

Prese



Izgled prese trostrukog dejstva za fino prosjecanje

Radna glava kod vibracione mašine

Vibraciono razdvajanje je postupak pri kome se na specijalnim mašinama ostvaruje prosjecanje i probijanje po pravolinijskim ili krivolinijskim konturama. Noževi su relativno malih dimenzija i imaju veliki broj hodova u jedinici vremena.



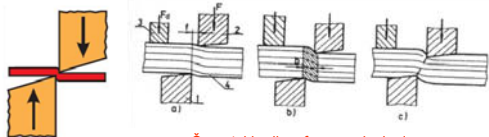
Prosijecanje krivolinijskih kontura

Ovakve mašine obično imaju CNC upravljanje, a moguće je koristiti i laser za sječenje umjesto noževa.

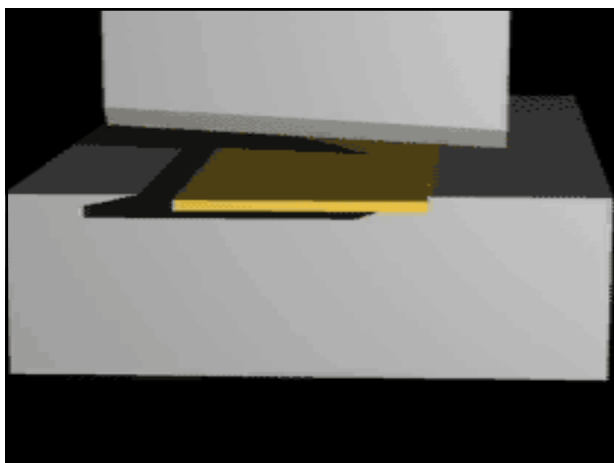


ODSJECANJE

Odsjecanje je postupak kojim se obrađuju najčešće limovi raznih debljina, ali i (rijeđe) šipke i profili. Linija razdvajanja je uvijek prava. Polazni komad se postavlja između pokretnog i nepokretnog noža. Prva faza procesa je elastično deformisanje. Porastom deformacione sile nastaje plastično deformisanje, a kada smičući napon u zoni razdvajanja dostigne maksimalnu vrijednost, tj. jačinu materijala na smicanje, dolazi do razaranja strukture, odnosno razdvajanja polaznog komada na dva dijela.



Šematski prikaz faza razdvajanja



Odsijecanje na makazama

Odsijecanje na makazama je postupak razdvajanja materijala pomoću noževa različitog oblika.

Odsijecanjem se iz limova dobijaju trake, koje se koriste za dalju preradu u alatima na presama.

Postupkom odsijecanja materijal se priprema za druge tehnološke postupke.

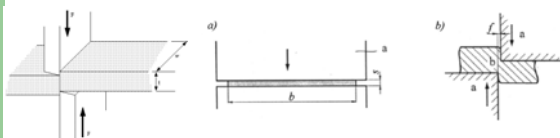
Odsijecanje na makazama

Prema obliku i položaju u toku procesa razlikuju se tri vrste noževa:

- ravni paralelni noževi;
- ravni nagnuti noževi;
- kružni noževi.

Ravni paralelni i ravni nagnuti noževi koriste se za odsijecanje traka iz tabli lima ili za odsijecanje komada. Pomoću ovih noževa mogu se odsijecati materijali debljine do 40 mm.

Odsijecanje na makazama



Šematski prikaz odsijecanja sa ravnim paralelnim noževima

Odsijecanje na makazama

Deformaciona sila pri odsijecanju na makazama s ravnim paralelnim noževima može se dobiti pomoću približnog obrasca:

$$F = 0,7 \cdot b \cdot s \cdot \tau_m$$

gdje su:

- b – širina materijala;
- s – debljina materijala;
- τ_m - čvrstoća na smicanje

Mjerodavna sila za izbor mašine:

$$F_M = 1,3 F$$

Odsijecanje na makazama

Deformacioni rad može se dobiti pomoću izraza:

$$W = a \cdot A \cdot s$$

gdje su:

a – specifični deformacioni rad

$$a = \int_0^{\epsilon_{ot}} \tau d\epsilon$$

ϵ_{ot} - relativna dubina prodiranja noža.

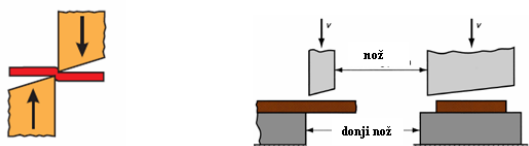
Približno:

$W = \lambda \cdot F \cdot s$, gdje je $\lambda = 0,3-0,75$ –koeficijent srednje sile.

Odsijecanje na makazama

Ravni nagnuti noževi koriste se za sječenje obradaka kod kojih je debljina relativno mala u odnosu na širinu.

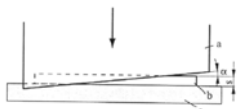
Upotrebom ovih noževa smanjuje se sila odsijecanja, jer je u toku razdvajanja samo dio ukupne dužine linije razdvajanja u procesu deformisanja.



Odsijecanje na makazama

Deformaciona sila pri odsijecanju sa ravnim nagnutim noževima može se dobiti po približnom obrascu:

$$F = 0,75 \cdot \frac{s^2}{\text{tg}\alpha} \cdot \varepsilon \cdot \tau_m$$



gdje su:
 s - debljina lima;
 alpha - ugao između noževa (praktično je ugao nagiba noža alpha=2-6°);
 e - relativna dubina prodiranja noža u material.

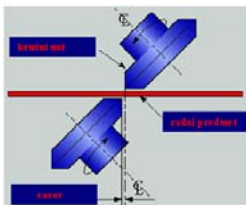
Deformacioni rad za odsijecanje sa ravnim nagnutim noževima može se dobiti po istom obrascu kao kod odsijecanja sa pravim paralelnim noževima.

$$W = F_M \cdot b \cdot \text{tg}\alpha, \quad b - \text{ukupna dužina linije odsijecanja.}$$

Odsijecanje na makazama

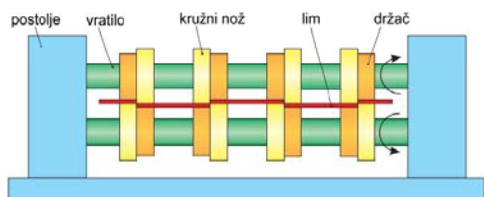
Kružni noževi koriste se za: odsijecanje traka iz tabli lima, uzdužno i poprečno odsijecanje traka i odsijecanje okruglih priprema.

Pomoću ovih noževa, zavisno od vrste mašine mogu se odsijecati materijali debljine do 30 mm.



Šematski prikaz razdvajanja materijala kružnim noževima

Odsijecanje na makazama



Šema položaja kružnih noževa

Odsijecanje na makazama

Deformaciona sila odsijecanja sa kružnim noževima može se izračunati po obrascu:

$$F = 0,75 \cdot \frac{s^2}{2 \operatorname{tg} \alpha} \cdot \varepsilon \cdot \tau_m$$

gdje su:

s – debljina lima;

α – ugao između noževa;

ε – relativna dubina prodiranja noža u material.

Mašine za odsijecanje



Makaze sa ravnim paralelnim noževima

Mašine za odsijecanje

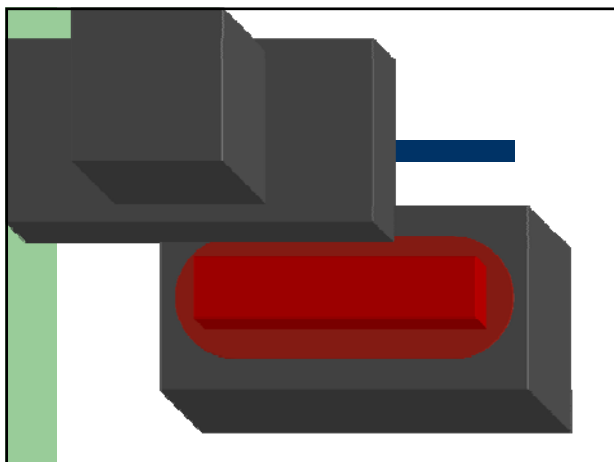


Makaze sa ravnim nagnutim noževima

Mašine za odsijecanje



Mašine sa kružnim noževima u sklopu linije za pripremu traka



OBRADA DEFORMISANJEM

- VII predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ VII:

SAVIJANJE

- Savijanje
- Naponi i deformacije
- Momenti savijanja
- Sila savijanja V profila
- Sila savijanja U profila
- Sila savijanja preko valjaka
- Određivanje dimenzija priprema – razvijanje elemenata
- Radijus savijanja
- Elastično ispravljanje
- Dimenzionisanje alata za savijanje
- Alati za profilno savijanje na presama
- Savijanje žice

Savijanje (Bending)

- Savijanje spada u grupu postupaka tehnologije plastičnog deformisanja koji se gotovo najčešće primjenjuju.
- Omogućava izradu širokog asortimana proizvoda, od dijelova milimetra pa do nekoliko metara.
- Karakteristika procesa savijanja je, u većini slučajeva, lokalno plastično deformisanje.
- Deformisana zona tada obuhvata manji dio zapremine komada, mada ima postupaka gdje se deformiše kompletna zapremina (kružno savijanje npr.).
- Polazni materijal (polufabrikat) je najčešće lim u vidu trake ili table, ali to može da bude žica, puni profil, cijev.
- Najčešće se izvodi u hladnom stanju, ali u slučaju teških profila, debelih limova i velikih cijevi savijanje se izvodi u toplom stanju.
- Za vrijeme savijanja materijal je podvrgnut i elastičnim i plastičnim naprezanjima pa po prestanku djelovanja sile malo se povraća i otvori.



Savijanje

Na osnovu tehnoloških karakteristika procesa, oblika i dimenzija priprema i karaktera proizvodnje, savijanje se može podijeliti na:

1. Savijanje na presama pomoću alata,
2. Savijanje valjcima na rotacionim mašinama za savijanje,
3. Savijanje na specijalnim mašinama za savijanje

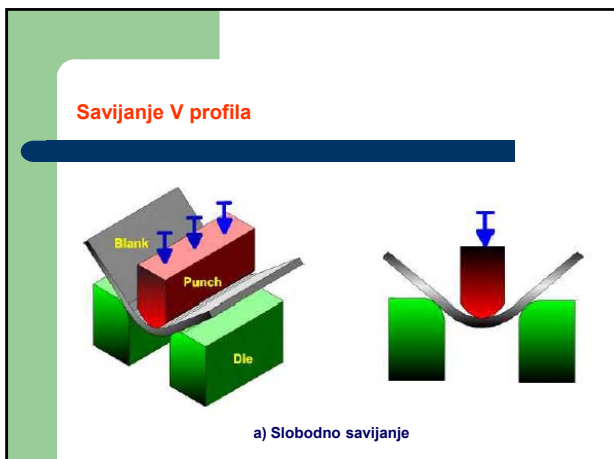
Oštro ili profilno i kružno ili:

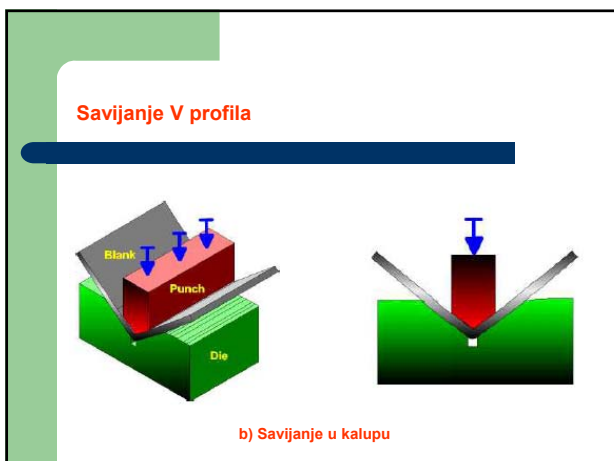
1. savijanje pomoću alata na univerzalnim presama (ugaono savijanje),
2. profilno savijanje na specijalnim ("abkant") presama,
3. kružno savijanje,
4. profilno savijanje pomoću valjaka,
5. savijanje cijevi,
6. savijanje dijelova manjih dimenzija (od traka i žice) na specijalnim mašinama.

1. Ugaono savijanje /pomoću alata na presama/

Izvodi se najčešće u alatima postavljenim na univerzalne prese (ekscitarske, koljenaste, hidraulične itd.) ili na specijalnim presama. S obzirom na oblik i broj mjesta savijanja može biti: jedno – dvo i višeugaono. Za jednougao savijanje često se koristi termin V savijanje; za dvougao U ili C savijanje, a u primjeni je i termin Z savijanje

Savijanje U i V profila







2. Kružno savijanje

Ovim se postupkom savijaju limovi, trake, profili i cijevi za izradu kotlova, cisterni, rezervoara i sl. Postupak se odvija u specijalnim mašinama-savijalicama sa najčešće tri ali mogu imati i četiri valjka. Savijanje na završni prečnik se vrši postepeno u više prolaza kroz valjke, pri čemu se nakon svakog prolaza gornji valjak malo spusti.

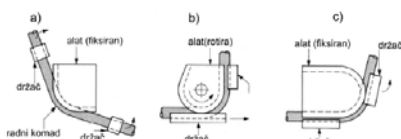


3. Savijanje cijevi

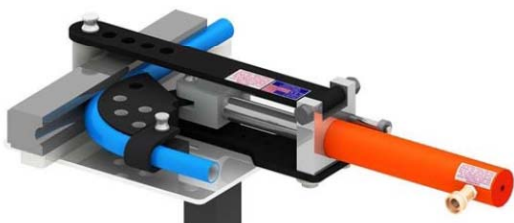
- ✓ Savijanje i druga oblikovanja cijevi kružnog presjeka i drugih šupljih profila, zahtijevaju primjenu posebnih alata i mašina da bi se spriječila ili u dovoljnoj mjeri kompenzirala pojava nekontrolisanog deformisanja u savijenoj zoni.
- ✓ Defekti se odnose na dobijanje spljoštenog profila, pojavu nabora u zoni unutrašnjeg radijusa, lom u spoljašnjoj zoni itd.
- ✓ Uspješno savijena cijev podrazumijeva savijanje u jednoj ili više savijenih zona sa očuvanim dimenzijama otvora i stanjenjem zida komada ispod kritičnog iznosa.
- ✓ Načini savijanja cijevi su prikazani na idućim slikama.

3. Savijanje cijevi

- a) Savijanje oko nepokretnog profilisanog oblikača. Postupak se rjeđe primjenjuje.
- b) Prikaz tzv. **rotacionog savijanja cijevi** koje ima najširu primjenu. Oblikovanje je vrlo efikasno, a proces je pogodan za kompjuterizovano upravljanje.
- c) Sličan princip, ali je centralni blok nepokretan. Savijanje izvodi gornji držač.



3. Savijanje cijevi



Jednostavan hidraulični uređaj za savijanje cijevi po metodi b

3. Savijanje cijevi

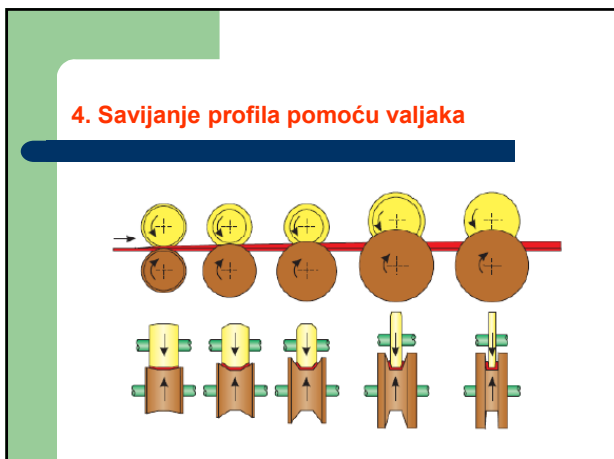
- ✓ Sklonost ka pojavi defekata je veća kod tankozidnih cijevi.
- ✓ Ako je debljina zida cijevi dovoljno velika nije potrebno preduzimati bilo kakve mjere, cijev se savija kao puni profil.
- ✓ Najstariji način (i danas se koristi u pojedinačnoj proizvodnji) za sprečavanje defekata pri savijanju cijevi, se sastoji u punjenju šupljine cijevi deformabilnom materijom i zatvaranju krajeva.
- ✓ Pokazalo se da je pijesak najpogodniji za ovu namjenu, ali se koristi guma i slični sintetički materijali.
- ✓ U industrijskoj praksi pri većim serijama cijevi se ispunjavaju fleksibilnim jezgrama ili šipkom sa zaobljenim krajem

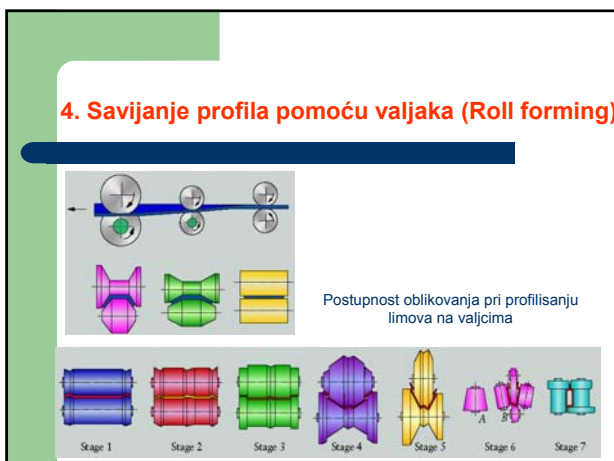
d) jezgra pri savijanju cevi

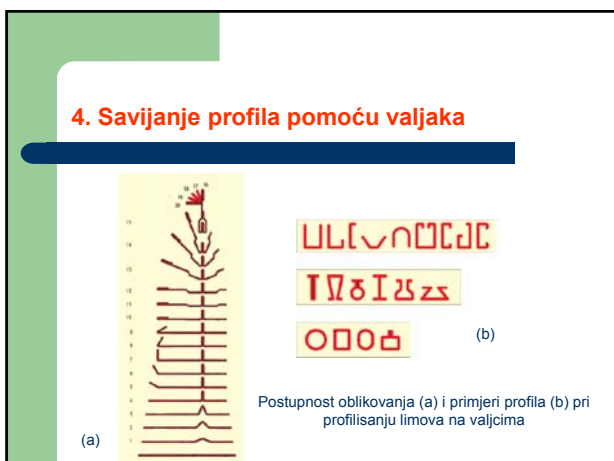


4. Profilno savijanje limova pomoću valjaka

- Masovna proizvodnja limenih profila veće dužine i talasastih limova izvodi se na mašinama za profilisanje limova pomoću valjaka.
- One mogu imati i više od 20 radnih pozicija sa odgovarajućim valjcima u zahvatu. Iako traka kontinualno ide (često brzinom i preko 3 m/s) oblikovanje je postupno, višeoperaciono, sa relativno malim uglom savijene zone u jednoj operaciji.
- To omogućava dobijanje veoma složenih profila od lima. Izvode se i dopunske operacije (odsjecanje itd.)

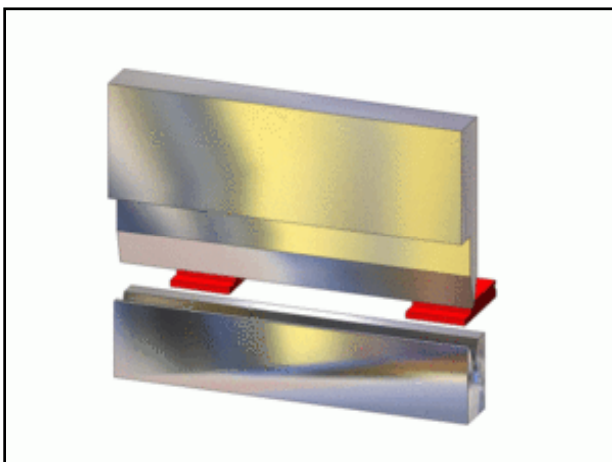






5. Profilno savijanje na specijalnim presama

- Ovaj tip savijanja zapravo predstavlja ugaono savijanje komada koji najčešće imaju veliku širinu savijene zone (i više od nekoliko metara) i to na specijalnim tzv. "abkant" (od njem. "abkantpresse") presama.
- Pritiskivač je velike dužine, nožastog oblika i, najčešće, izvodi jednougao savijanje uz pomoć univerzalne matrice.
- Oblikovanje je uglavnom višeoperaciono (više jednougao savijanja uz zamjenu alata, tako da se dobijaju i vrlo složeni profili).

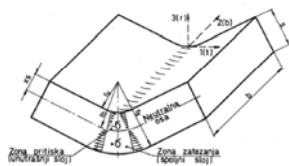


6. Savijanje dijelova manjih dimenzija na specijalnim mašinama

- Sitni dijelovi od žice i užih traka izrađuju se na specijalnim automatskim mašinama koje imaju više radnih pozicija.
- Postupak oblikovanja je višeoperacioni, a radni komad se dobija uzastopnim djelovanjem alata koji su postavljeni radijalno (zvjezdasto) u odnosu na centralnu zonu mašine. Proizvodnost ovakvih mašina je veoma velika (i do 300 kom/min).
- U slučaju izrade na univerzalnim jednopozicionim presama alati su koračni višepozicioni.
- Gotov komad se dobija poslije toliko hodova pritiskivača prese koliko ima radnih pozicija u alatu.



7. Savijanje
7.1 Naponi i deformacije

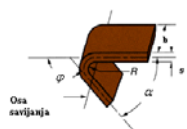


r_i - unutrašnji radijus; r_e - vanjski radijus;
 α - ugao profila; r_n - radijus neutralne linije; s - debljina lima; b - širina profila



α - ugao savijanja
 φ - ugao savijene zone
 $\alpha = \varphi = 180^\circ$

7. Savijanje
7.1 Naponi i deformacije



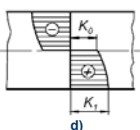
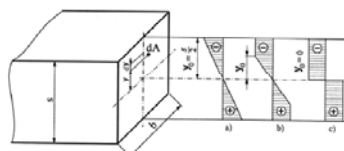
a) Parametri procesa



b) Naponi u savijenom dijelu

Prikaz savijenog dijela

7. Savijanje
7.1 Naponi i deformacije



- a) Čisto elastično savijanje
- b) Elastično-plastično savijanje
- c) Čisto plastično savijanje
- d) Čisto plastično savijanje sa nelinearnim ojačanjem

7. Savijanje
7.2 Momenti savijanja

a) $Za \frac{r_s}{s} \leq 5$; $M_\sigma = R_M \cdot n \cdot \frac{b \cdot s^2}{4}$, Nmm → čisto plastično savijanje

b) $Za \frac{r_s}{s} > 5$; $M_\sigma = R_P \cdot \frac{b \cdot s^2}{4}$, Nmm → elastično-plastično savijanje

$n=1,6-1,8$ faktor ojačanja; b – širina savijenog komada

Izjednačavanjem momenta unutrašnjih sila M_σ i momenta spoljašnjih sila M određuju se sile savijanja F :

$$M_\sigma = M \Rightarrow F$$

Savijanje
7.3 Sila savijanja V profila

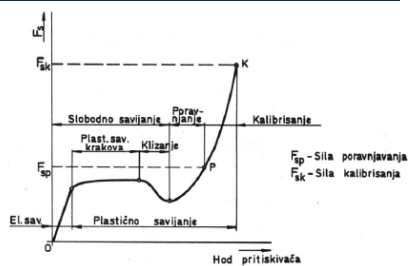
$r = \frac{F_s}{2 \cdot \cos \alpha}$
 $M = R \cdot f = \frac{F_s \cdot f}{2 \cdot \cos \alpha}$
 $f = r_n \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$
 $M = \frac{F_s}{2 \cdot \cos \frac{\varphi}{2}} \cdot r_n \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = \frac{F_s \cdot r_n}{2} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$

Konačan izraz za silu savijanja je :

$$F = \frac{2M}{r_n} \operatorname{ctg} \frac{\varphi}{2}$$

gde je r_n – radius neutralne ose

Savijanje
7.3 Sila savijanja V profila



Dijagram promjene sile savijanja V profila

Savijanje

7.4 Sila savijanja U profila

$\cos \varphi = \frac{F_1}{2R}$
 $R = \frac{F_1}{2 \cos \varphi}$
 $M = R \cdot f = \frac{F_1 \cdot f}{2 \cos \varphi}$
 $l = r_M + r_p + s$

$l = r_1 \sin \varphi + r_2 \sin \varphi + l \cdot \sin \varphi + f \cos \varphi = (r_1 + r_2 + l) \sin \varphi + f \cos \varphi$
 $f = \frac{l - \sin \varphi}{\cos \varphi}$
 $M = \frac{F_1}{2 \cos \varphi} \cdot \frac{l - \sin \varphi}{\cos \varphi} = \frac{F_1 (l - \sin \varphi)}{2 \cos^2 \varphi} = \frac{F_1 (l - \sin \varphi)}{2(1 - \sin^2 \varphi)}$
 Znamo: $1 - \sin^2 \varphi = (1 - \sin \varphi)(1 + \sin \varphi)$ dobijemo:
 $M = \frac{F_1 l}{2(1 + \sin \varphi)}$

$F_s = \frac{2M}{l} (1 + \sin \varphi)$

Savijanje

7.5 Sila savijanja preko valjaka

$R = \frac{F_1}{2 \cos \frac{\varphi}{2}}$
 $f = r_s \cdot \sin \frac{\varphi}{2}$

$M = R \cdot f = \frac{F_1}{2 \cos \frac{\varphi}{2}} \cdot r_s \cdot \sin \frac{\varphi}{2} = \frac{F_1 \cdot r_s \cdot \varphi}{2}$
 $F_s = \frac{2 \cdot M}{r_s} \cdot \frac{\varphi}{2} = M \cdot \frac{\varphi}{r_s}$ gdje su:
 M - moment spojnih sila,
 M - moment unutarnjih sila
 $F_s = \frac{R_2 \cdot b}{D_1 - s} \left[3 + \frac{2 \cdot R_2 \cdot r_s^2}{E} \right] \cdot \frac{\varphi}{2}$; $r_s = \frac{D_1 - s}{2}$
 $F_s = \frac{R_2 \cdot b}{D_1 - s} \left[1 + \frac{R_2^2 (D_1 - s)^2}{3 E^2} \right] \cdot \frac{\varphi}{2}$

gdje su:
 b - širina komada,
 D₁ - vanjski prečnik komada
 R₂ - granica lutanja
 E - modul elastičnosti

Savijanje

7.6 Određivanje dimenzija priprema – razvijanje elemenata

$$L = \sum_{i=1}^n l_i + \frac{\pi}{180} \sum_{i=1}^N \varphi_i (r_i + \xi_i \cdot s)$$

gdje su:

- l_i – dužine ravnih dijelova,
- φ_i – uglovi savijanja,
- r_i – unutrašnji radijusi savijanja,
- ξ_i – koeficijent pomjeranja neutralne linije

$\xi_i = f \left(\frac{r_i}{s} \right)$
 s – debljina lima.

Savijanje

7.9 Elastično ispravljanje

Ukupnu deformaciju pri savijanju gotovo uvijek čini, pored plastičnog i elastični dio.

Po oslobađanju savijenog dijela iz alata nastaje elastično vraćanje koje se očituje povećanjem ugla savijanja.

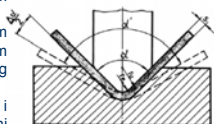
Pojava je štetna i kompenzuje se raznim mjerama, kao što je izrada alata sa manjim uglom savijanja, kako bi komad poslije elastičnog vraćanja imao zahtjevane dimenzije.

Veličina ugla $\Delta\alpha$ zavisi od vrste materijala i stepena deformisanja pri savijanju. Postoje razni izrazi za određivanje $\Delta\alpha$.

$$\text{za } \sigma_{0.2}: \Delta\alpha \approx 0,43 \frac{r_{0.2}}{s}$$

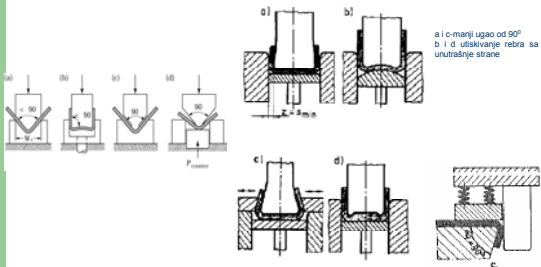
Elastično ispravljanje za:

$$\text{za } \sigma_{0.545}: \Delta\alpha \approx 0,79 \frac{r_{0.545}}{s}$$



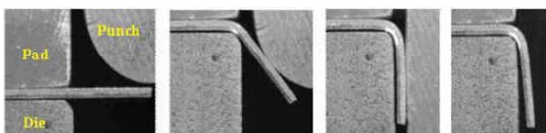
Savijanje

7.9 Elastično ispravljanje



Načini kompenzacije elastične povratnosti

7.9 Elastično ispravljanje



a) Početna faza b) Faza savijanja c) Kraj procesa d) Elastično ispravljanje

Elastično ispravljanje kod jednostranog savijanja

7.9 Elastično ispravljanje

$$r_t = r_1 = r_2 - \Delta r \quad \text{radijus tiskača}$$

$$\alpha_t = \alpha_1 = \alpha_2 - \Delta\alpha \quad \text{ugao tiskača}$$

Faktor elastičnog ispravljanja računa se po izrazu:

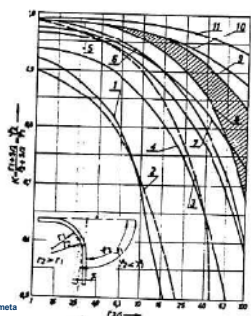
$$K = \frac{r_1 + \frac{s}{2}}{r_2 + \frac{s}{2}} = \frac{\varphi_2}{\varphi_1}$$

φ_2 -ugao poslije ispravljanja
 φ_1 -ugao prije ispravljanja

7.9 Elastično ispravljanje

Faktor elastičnog ispravljanja prema Sachs-u u zavisnosti od odnosa unutrašnjeg i vanjskog radijusa savijanja, debljine lima i vrste materijala.

- Materijali:
1. Al₂O₃/Mg
 2. St. 316L - zavojno stanje
 3. St. 316L - ravno stanje
 4. Al₂O₃/Mg/Ču₂ - kaljeno stanje
 5. Al₂O₃/Si
 6. Cu - 1/4 tvrdog stanje
 7. Cu/20% - meko stanje
 8. Cu/40%
 9. Cu/60%
 10. Al₂O₃/Mg - meko stanje
 11. Al - meko stanje



r_2 - zadani radijus savijanja radnog predmeta
 φ_2 -ugao savijanja ($\varphi_2=180-\alpha_2$)

7.10 Dimenzionisanje alata za savijanje

Radijus tiskača računa se po izrazu:

$$r_t = r_1 = K \left(r_2 + \frac{s}{2} \right) - \frac{s}{2}$$

gdje je:
 K - faktor elastičnog ispravljanja (određuje se iz odgovarajućih dijagrama)
 r_2 - zadani radijus savijanja radnog predmeta
 s - debljina lima

Ugao tiskača:

$$\alpha_1 = 180 - \varphi_1 = 180 - \frac{\varphi_2}{K}$$

gdje je:
 φ_2 -ugao savijanja ($\varphi_2=180-\alpha_2$)

7.10 Dimenzionisanje alata za savijanje

Radijus kalupa bira se tabelarno u zavisnosti od visine komada i debljine lima.

Minimalna vrijednost radijusa kalupa je:

$$r_k \geq 3 \text{ mm}$$

Radijus na dnu gravure kalupa

$$R_k = (0,6 \div 0,8)(r_t + s)$$

Dužina kraka kalupa

$$E > 3r_k$$

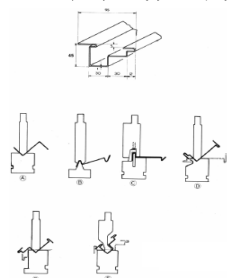
7.11 Alati za profilno savijanje na presama



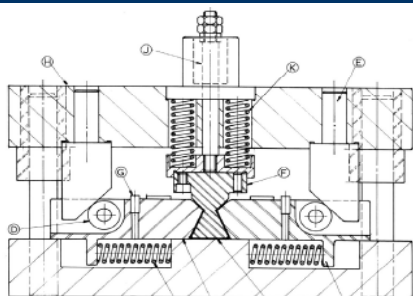
7.11 Alati za profilno savijanje na presama

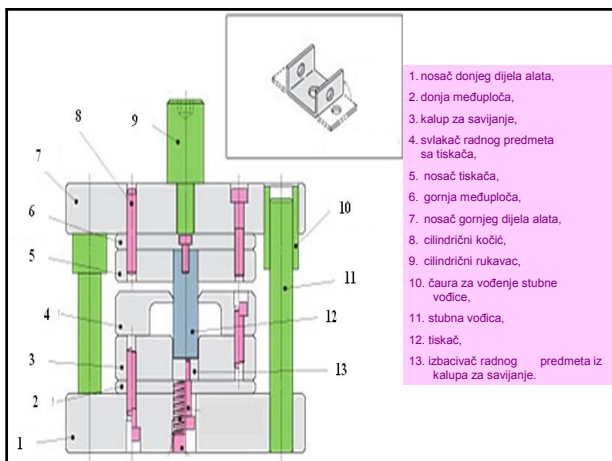


7.12 Profilno savijanje složenog komada



7.13 Alat za savijanje na klasičnim presama





7.14 Savijanje pomoću valjaka



7.14 Savijanje pomoću valjaka



7.14 Savijanje pomoću valjaka



7.14 Savijanje pomoću valjaka



7.14 Savijanje pomoću valjaka



7.14 Profilno savijanje pomoću valjaka



7.15 Savijanje cijevi



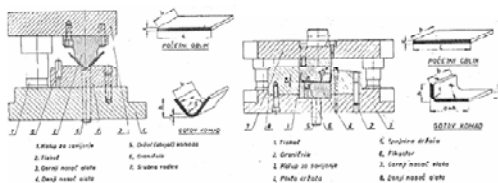
7.16 Savijanje žice



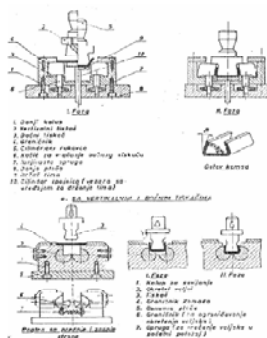
7.16 Savijanje žice



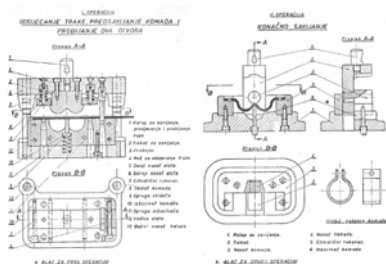
7.17 Primjeri alata za savijanje



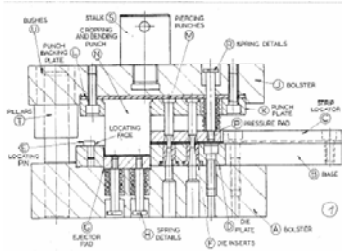
7.17 Primjeri alata za savijanje



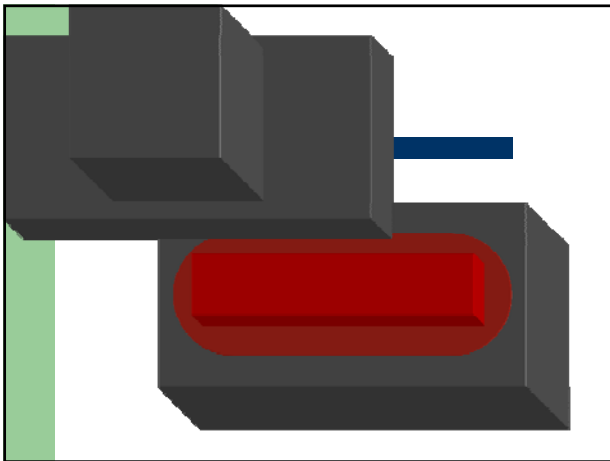
7.17 Primjeri alata za savijanje



7.17 Primjeri alata za savijanje



Kombinovani alat za probijanje, odsjecanje i savijanje



OBRADA DEFORMISANJEM

- VIII predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ VIII:

DUBOKO IZVLAČENJE

- Osnovni oblici dijelova koji se dobijaju dubokim izvlačenjem
- Primjeri za duboko izvlačenje
- Duboko izvlačenje osnosimetričnih komada
- Šematski prikaz prve operacije dubokog izvlačenja
- Šematski prikaz druge operacije dubokog izvlačenja
- Određivanje dimenzija priprema za rotaciono simetrična tijela
- Obrasci za izračunavanje prečnika priprema
- Određivanje dimenzija priprema za nerotaciona tijela
- Položaj zateznih rebara
 - Oblici profila zateznih rebara
 - Položaj zateznih rebara u alatu
- Deformacije pri izvlačenju
- Naponi pri izvlačenju
 - Naponi izvlačenja
 - Radijalni napon na vijencu
 - Napon uslijed trenja između držača lima i matrice na vijencu
 - Napon uslijed trenja na zaobljenom dijelu matrice
 - Napon uslijed savijanja i ispravljanja preko zaobljenja matrice
 - Ukupni napon izvlačenja
- Sila i rad izvlačenja
- Projektovanje tehnologije dubokog izvlačenja
 - Komadi cilindričnog oblika bez vijenca
 - Komadi konusnog oblika
- Izvlačenje komada iz trake
- Alati za duboko izvlačenje
- Mašine za izvlačenje

Duboko izvlačenje



Primjeri primjene dubokog izvlačenja

Duboko izvlačenje

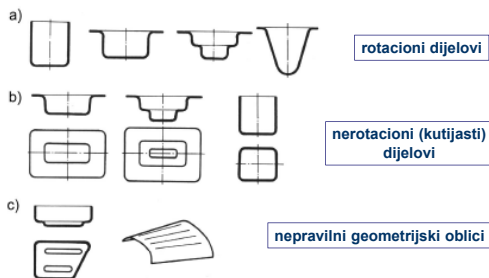
Duboko izvlačenje je tehnološki postupak obrade deformisanjem kod koga se iz ravne ploče dobijaju posude različitog oblika poprečnog presjeka sa zatvorenim dnom.

Duboko izvlačenje

U zavisnosti od oblika i dimenzija obratka, izvlačenje obuhvata:

- izvlačenje cilindričnih komada sa i bez vijenca;
- izvlačenje komada stepenastog oblika;
- izvlačenje komada konusnog oblika;
- izvlačenje komada sfernog oblika;
- izvlačenje komada nerotacionog oblika;
- izvlačenje komada iz trake i
- izvlačenje komada velikih dimenzija (dijelovi karoserije automobila).

Osnovni oblici dijelova koji se dobijaju dubokim izvlačenjem



Primjeri za duboko izvlačenje



Primjeri za duboko izvlačenje



Primjeri za duboko izvlačenje



Primjeri za duboko izvlačenje



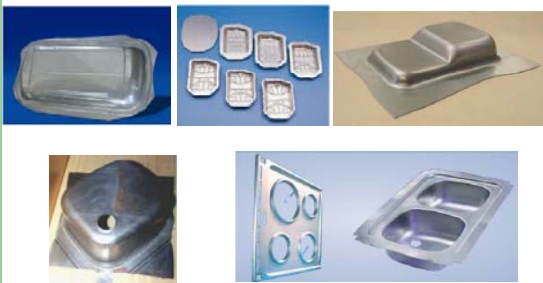
Primjeri za duboko izvlačenje



Primjeri za duboko izvlačenje



Primjeri za duboko izvlačenje



Primjeri za duboko izvlačenje



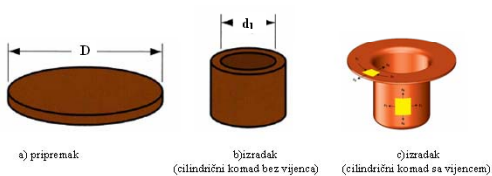
Duboko izvlačenje

Prema ponašanju debljine materijala u toku procesa oblikovanja razlikuju se dva postupka:

- a) Duboko izvlačenje bez promjene debljine materijala
- b) Duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida

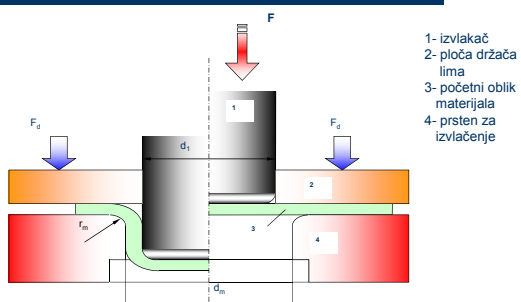
Duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida ima karakteristike Zapreminskog oblikovanja i posebno se izučava.

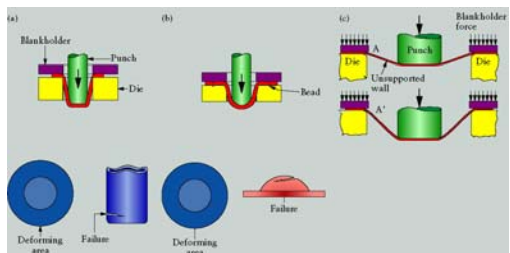
Duboko izvlačenje osnosimetričnih komada



Izgled priprema i izratka za izvlačenje cilindričnih komada

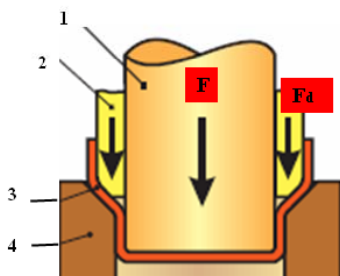
Šematski prikaz prve operacije dubokog izvlačenja

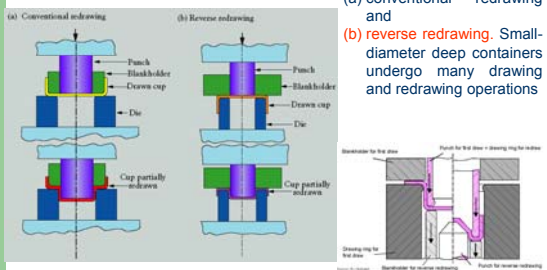


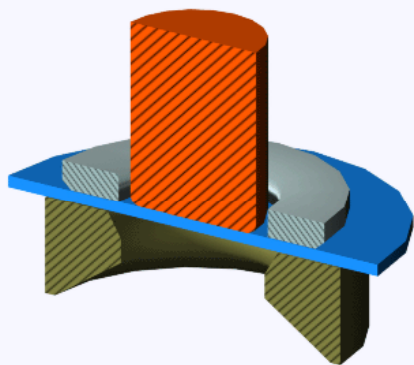


Examples of drawing operations: (a) pure drawing and (b) pure stretching. The bead prevents the sheet metal from flowing freely into the die cavity. (c) Possibility of wrinkling in the unsupported region of a sheet in drawing.

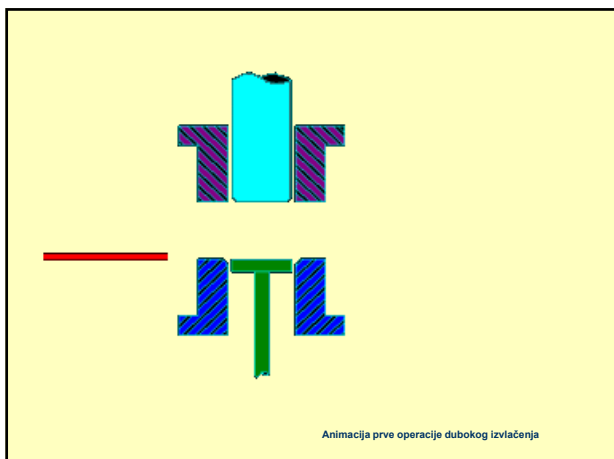
Šematski prikaz druge operacije dubokog izvlačenja

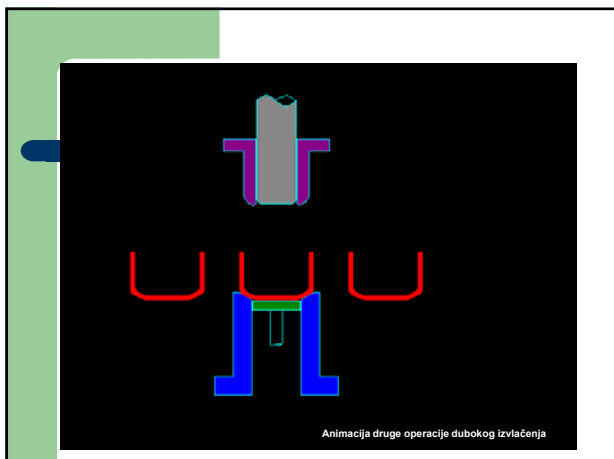






Animacija prve operacije dubokog izvlačenja





Određivanje dimenzija priprema za rotaciono simetrična tijela

Uslov konstantnosti zapremine u toku deformisanja može se napisati u obliku:

$$V = V_k$$

gdje su:
 V - volumen priprema;
 V_k - volumen gotovog komada.

Kod izvlačenja bez promjene debljine materijala ovaj uslov se svodi na uslov konstantnosti površina u toku deformisanja, tj:

$$A_0 \cdot s = A_1 \cdot s = A_2 \cdot s = \dots = A_k \cdot s$$

$$A_0 = A_1 = \dots = A_k$$

Određivanje dimenzija priprema za rotaciono simetrična tijela

Površina obratka u bilo kojoj operaciji izvlačenja se ne mijenja i jednaka je površini priprema:

$$A_0 = A_k$$

gdje su:

$$A_0 = \frac{D_0^2 \pi}{4} ; \quad A_k = \frac{D_k^2 \pi}{4}$$

Prečnik priprema računa se po izrazu:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} A_k} = 1,13 \sqrt{A_k}$$

Određivanje dimenzija priprema za rotaciono simetrična tijela

Obratci složenog oblika dijele se na niz parcijalnih rotacionih površina: A1, A2, A3, ..., An za koje vrijedi:

$$A_k = \sum_{i=1}^n A_i = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n$$

Prečnik priprema po metodi parcijalnih površina može se dobiti pomoću izraza:

$$D = \sqrt{\frac{4}{\pi} \sum_{i=1}^n A_i} = 1,13 \sqrt{\sum_{i=1}^n A_i}$$

Obrasci za izračunavanje prečnika priprema

Container shape (cross-section)
rotationally symmetrical shapes

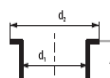
Blank diameter D =

1



$$\sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h} *$$

2



$$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h} *$$

Container shape (cross-section) rotationally symmetrical shapes		Blank diameter D =
3		$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)} \cdot *$
4		$\sqrt{d_3^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)} \cdot *$
5		$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h + 2 \cdot f \cdot (d_1 + d_2)} \cdot *$
6		$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2) + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)} \cdot *$

7		$\sqrt{2 \cdot d^2} = 1.414 \cdot d$
8		$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
9		$1.414 \cdot \sqrt{d_1^2 + f \cdot (d_1 + d_2)}$
10		$1.414 \cdot \sqrt{d^2 + 2 \cdot d \cdot h}$

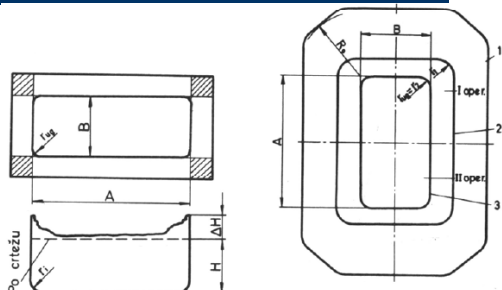
Container shape (cross-section) rotationally symmetrical shapes		Blank diameter D =
11		$\sqrt{d_1^2 + d_2^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h}$
12		$1.414 \cdot \sqrt{d_1^2 + 2 \cdot d_1 \cdot h + f \cdot (d_1 + d_2)}$
13		$\sqrt{d^2 + 4 \cdot h^2}$
14		$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot h^2}$

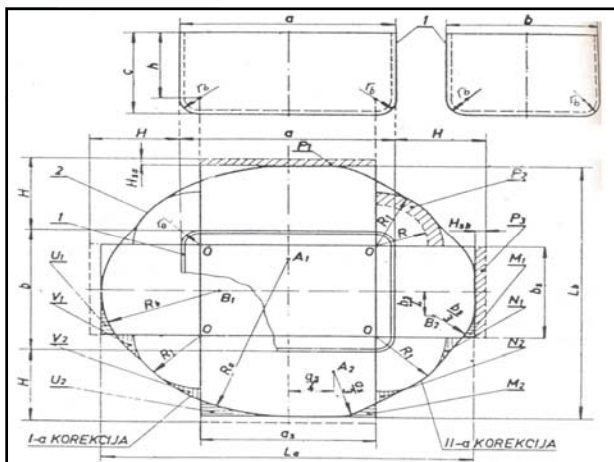
15		$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (b_1^2 + d_1 \cdot h_2)}$
16		$\sqrt{d^2 + 4 \cdot (b_1^2 + d \cdot h_2)}$
17		$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot h^2 + 2 \cdot f \cdot (d_1 + d_2)}$
18		$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot [b_1^2 + d_1 \cdot b_2 + 0.5 \cdot f \cdot (d_1 + d_2)]}$
19		$\sqrt{d_1^2 + 2 \cdot s \cdot (d_1 + d_2)}$ *

Container shape (cross-section) rotationally symmetrical shapes		Blank diameter D =
20		$\sqrt{d_1^2 + 2 \cdot s \cdot (d_1 + d_2) + d_3^2 - d_2^2}$ *
21		$\sqrt{d_1^2 + 2 \cdot [s \cdot (d_1 + d_2) + 2 \cdot d_2 \cdot b]}$ *
22		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2}$ or $\sqrt{d_2^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 - 0.56 \cdot r^2}$
23		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + d_3^2 - d_2^2}$ or $\sqrt{d_2^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 - 0.56 \cdot r^2}$

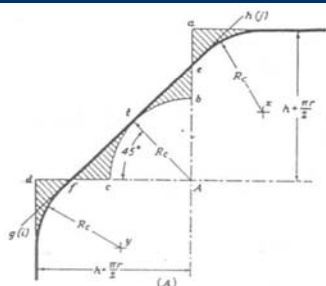
24		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 4 \cdot d_2 \cdot b + d_3^2 - d_2^2}$ or $\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + b) - 0.56 \cdot r^2}$
25		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 2.28 \cdot r \cdot d_2 + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3) - 0.56 \cdot r^2}$
26		$\sqrt{d_1^2 + 6.28 \cdot r \cdot d_1 + 8 \cdot r^2 + 4 \cdot d_2 \cdot b + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + b + 0.5 \cdot f) + 2 \cdot d_3 \cdot f - 0.56 \cdot r^2}$
27		$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot (1.57 \cdot r \cdot d_1 + 2 \cdot r^2 + d_2 \cdot b)}$ or $\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_2 \cdot (0.57 \cdot r + b) - 0.56 \cdot r^2}$

Određivanje dimenzija priprema za nerotaciona tijela

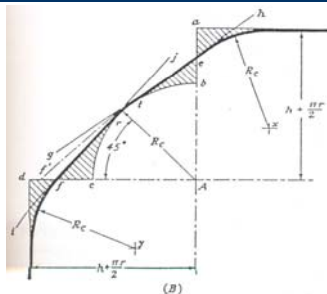




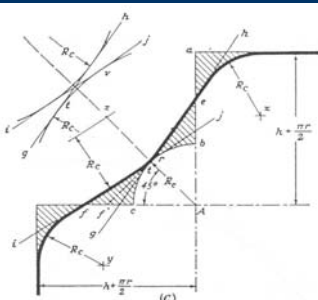
Određivanje dimenzija priprema za nerotaciona tijela



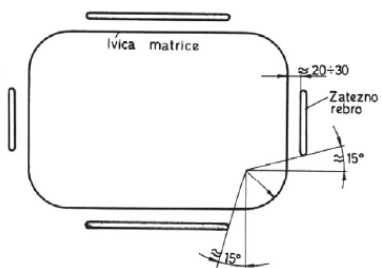
Određivanje dimenzija priprema za nerotaciona tijela



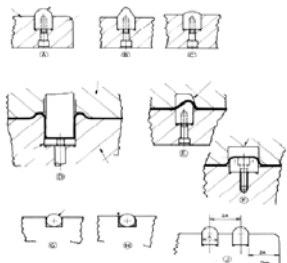
Određivanje dimenzija priprema za nerotaciona tijela



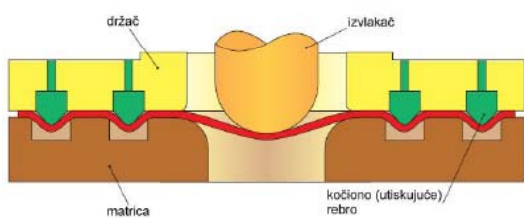
Položaj zateznih rebara



Oblici profila zateznih rebara



Položaj zateznih rebara u alatu



Deformacije pri izvlačenju

Odnos izvlačenja:

$$m = \frac{d}{D_0} = \frac{r}{R_0} = \frac{1}{\beta} \quad 0 < m < 1$$

Koeficijent izvlačenja:

$$\beta = \frac{D_0}{d} = \frac{R_0}{r}$$

Deformacije pri izvlačenju

Logaritamska deformacija:

$$\varphi = \ln \frac{D_0}{d}$$

Relativna deformacija:

$$\varepsilon = \frac{D_0 - d}{D_0} = 1 - m$$

Deformacije pri izvlačenju

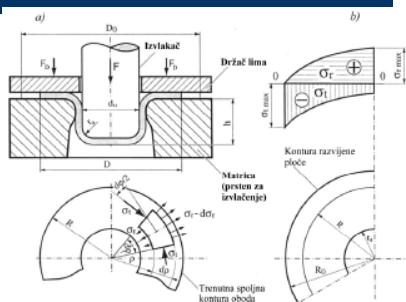
Veza između pojedinih pokazatelja:

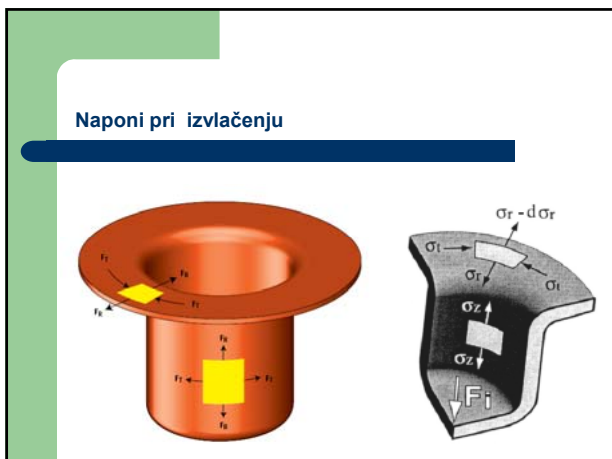
$$m = \frac{d}{D_0} = 1 - \varepsilon = \frac{1}{e^\varphi}$$

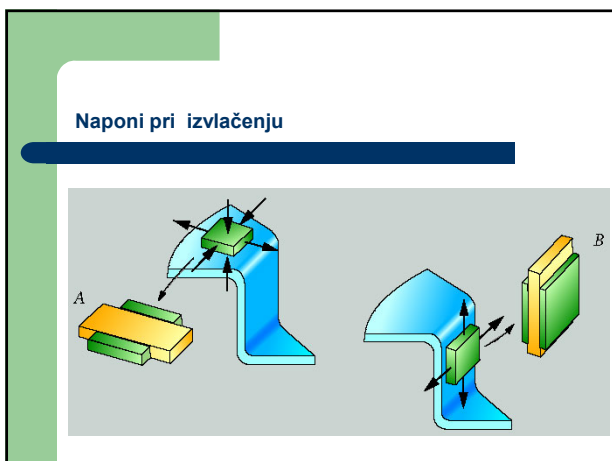
$$\beta = \frac{D_0}{d} = \frac{1}{m} = \frac{1}{1 - \varepsilon} = e^\varphi$$

$$\varepsilon = 1 - m = \frac{\beta - 1}{\beta} = \frac{e^\varphi - 1}{e^\varphi}$$

Naponi pri izvlačenju







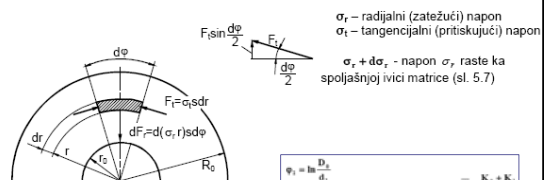
Naponi izvlačenja

Ukupan napon izvlačenja sastoji se od četiri komponente:

$$\sigma_u = \sigma_r + \sigma_{trd} + \sigma_{trm} + \sigma_{sav}$$

- σ_r - radijalni napon na vijencu
- σ_{trd} - napon uslijed trenja između držača lima i matrice na vijencu
- σ_{trm} - napon uslijed trenja na zaobljenom dijelu matrice
- σ_{sav} - napon uslijed savijanja i ispravljanja preko zaobljenja matrice

Radijalni napon na vijencu



σ_r – radijalni (zatežući) napon
 σ_t – tangencijalni (pritisakujući) napon
 $\sigma_r + d\sigma_r$ - napon σ_r , raste ka spoljašnjoj ivici matrice (sl. 5.7)

$$\varphi_1 = \ln \frac{D_2}{d_1} \quad \bar{K} = \frac{K_2 + K_1}{2}$$

$$\sigma_t = \frac{D_2 - d_1}{D_2} = 1 - \frac{d_1}{D_2} = 1 - m$$

$$\sigma_r = \beta \cdot \bar{K} \ln \frac{R_0}{r_1} = \beta \cdot \bar{K} \ln \frac{D_0}{d_1}$$

K_1 - deformacioni otpor na početku izvlačenja
 K_2 - deformacioni otpor na kraju izvlačenja (pri φ_1 odnosno ϵ_1 sa krive opticanje)
 $\beta = 1$ - korekcion faktor

Napon uslijed trenja između držača lima i matrice na vijencu

Izraz za izračunavanje sile trenja na vijencu:

$$F_r = \mu F_D$$

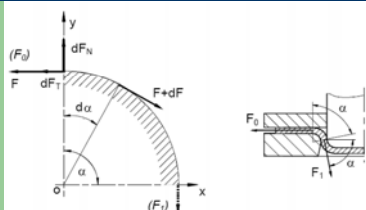
Napon koji nastaje djelovanjem ovih dvaju sila računa se po izrazu:

$$\sigma_{trd} = \frac{2\mu F_D}{d_1 \pi s}$$

gdje su:

- μ - koeficijent trenja (najčešće $\mu = 0,1 - 0,15$)
- F_D - sila držača
- $F_D = A_D q = \frac{D_2^2 - d_1^2}{4} \pi q$
- A_D - površina držanja
- q - specifični pritisak držanja $q = 2 - 3 \text{ MPa}$

Napon uslijed trenja na zaobljenom dijelu matrice



Sila izvlačenja uslijed dejstva napona na vijencu (σ_r i σ_{trd}) iznosi:

$$F_0 = A(\sigma_r + \sigma_{trd})$$

Napon uslijed trenja na zaobljenom dijelu matrice

Ova sila se uvećava zbog trenja na zaobljenju ivice matrice na silu F_1 .

$$F_1 = F_0 e^{\mu \cdot \alpha}$$

$$\text{Za } \alpha = \frac{\pi}{2}; e^{\mu \frac{\pi}{2}} \approx 1 + \mu \frac{\pi}{2} = 1 + 1,6\mu$$

$$F_1 = A(\sigma_r + \sigma_{trd})(1 + 1,6\mu)$$

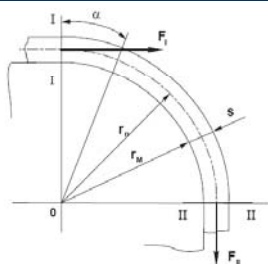
Napon uslijed trenja na zaobljenom dijelu matrice

Konačan izraz za napon uslijed trenja na zaobljenom dijelu matrice:

$$\sigma_{trn} = (\sigma_r + \sigma_{trd}) e^{\mu \cdot \alpha} - (\sigma_r + \sigma_{trd})$$

$$\sigma_{trn} = (\sigma_r + \sigma_{trd})(e^{\mu \cdot \alpha} - 1)$$

Napon uslijed savijanja i ispravljanja preko zaobljenja matrice



Ukupna sila savijanja odnosi se na savijanje po obimu komada:

$$b = d_1 \pi$$

$$F_s = R_m \frac{\pi d_1 s^2}{2r_M + s}$$

Napon savijanja (ispravljanja) iznosi:

$$\sigma_{sav} = \frac{F_s}{\pi d_1 s} = \frac{R_m}{2 \frac{r_M}{s} + 1}$$

Ukupni napon izvlačenja

Uzimajući u obzir sve komponente ukupni napon izvlačenja iznosi:

$$\sigma_u = \left(1,1 \bar{K} \ln \frac{D_0}{d_1} + \frac{2\mu F_D}{d_1 \pi s} \right) e^{\mu \cdot \alpha} + \frac{R_m}{2 \frac{F_M}{S} + 1}$$

Izraz važi za prvu operaciju izvlačenja. Ukoliko se proces izvodi u više operacija, može se primjeniti za orjentaciono izračunavanje i za naredne operacije izvlačenja.

Sila i rad izvlačenja

Najveća sila izvlačenja iznosi:

$$F_M = d_1 \pi s \sigma_u$$

Sila na osnovu koje se bira mašina računa se po izrazu:

$$F_{MAS} = 1,3 F_M$$

Deformacioni rad:

$$W = F_M \cdot x \cdot h$$

$x = \frac{F_M}{F_M}$ - faktor srednje sile, h - ukupan hod (dubina komada)

Projektovanje tehnologije dubokog izvlačenja

-Izvlačenje rotaciono simetričnih tijela sa konstantnom debljinom

- Komadi cilindričnog oblika bez vijenca
- Komadi cilindričnog oblika sa vijencem
- Komadi stepenastog oblika
- Komadi konusnog oblika
- Komadi kupastog i sferičnog oblika

- Izvlačenje tijela nerotacionih oblika

- Izvlačenje komada iz trake

- Izvlačenje sa redukcijom debljine zida

Projektovanje tehnologije dubokog izvlačenja

Izvlačenje rotaciono simetričnih tijela sa konstantnom debljinom
Komadi cilindričnog oblika bez vijenca

Na osnovu zadanog konstruktivnog crteža gotovog komada projektuje se tehnološki proces po slijedećem redoslijedu:

1. Dodatak za obrezivanje Δh

Određuje se iz tabele br.51 za zadani odnos $\frac{d_n}{h_0}$ (d_n, h_0 - prečnik i visina gotovog komada)

2. Visina komada nakon zadnje operacije izvlačenja (h_n)

$$h_n = h_0 + \Delta h$$

Komadi cilindričnog oblika bez vijenca

3. Prečnik platine D

Određuje se u zavisnosti od oblika radnog predmeta, po nekoj od metoda (metoda parcijalnih površina, analitička i grafoanalitička metoda) ili po obrascima datim u tabeli.

4. Relativna debljina materijala (s_r)

$$s_r = \frac{s}{D} \cdot 100\%$$

gdje su:
s-debljina materijala
D-prečnik platine

Komadi cilindričnog oblika bez vijenca

5. Odnosi izvlačenja ($m_1, m_2, m_3, \dots, m_i, \dots, m_n$)

Za prvu i slijedeće operacije izvlačenja određuju se zavisno od relativne debljine materijala iz odgovarajućih tabela (B.Musafija -Tabela 54).

6. Broj operacija izvlačenja

$$n = 1 + \frac{\log d_n - \log m_1 D}{\log m_{sr}}$$

gdje su:
 d_n - prečnik gotovog komada
 m_1 - odnos izvlačenja za prvu operaciju
D - prečnik platine
 m_{sr} - srednji odnos izvlačenja

Komadi cilindričnog oblika bez vijenca

m_{sr} srednji odnos izvlačenja računa se po obrascu:

$$m_{sr} = \frac{m_2 + m_3 + \dots + m_n}{n - 1}$$

7. Prečnici komada po fazama izvlačenja ($d_1, d_2, \dots, d_i, \dots, d_n$)

$$d_1 = m_1 \cdot D$$

$$d_2 = m_2 \cdot d_1$$

$$d_3 = m_3 \cdot d_2$$

$$d_n = d_{zadato}$$

Komadi cilindričnog oblika bez vijenca

8. Radijusi po fazama izvlačenja

$$r_1 = \frac{d_1 - d_2}{2}$$

$$r_2 = \frac{d_2 - d_3}{2}$$

$$r_3 = \frac{d_3 - d_4}{2}$$

$$r_i = \frac{d_i - d_{i-1}}{2}$$

Komadi cilindričnog oblika bez vijenca

8. Visine komada po fazama izvlačenja

- Oštri prelazi

$$h_i = \frac{D^2 - d_i^2}{4d_i}$$

- Zaobljeni prelazi

$$h_i = 0,25 \left(\frac{D^2}{d_i^2} - d_i \right) + 0,43 \frac{r_i}{d_i} (d_i + 0,32r_i)$$

Komadi cilindričnog oblika bez vijenca

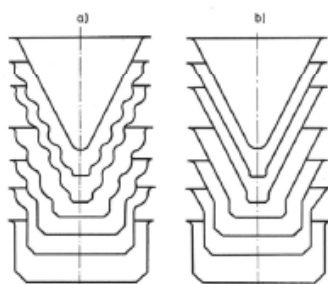
- Prelaz sa konusom

$$h_i = 0,25 \left(\frac{D^2}{d_i^2} - d_i \right) + 0,57 \frac{a_i}{d_i} (d_i + 0,86a_i)$$

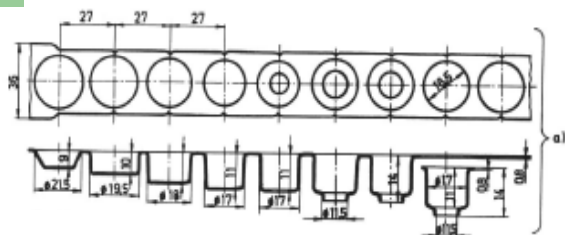
- Sferični prelaz

$$h_i = 0,25 \frac{D^2}{d_i^2} = 0,25 \cdot \frac{D}{m_1 \cdot m_2 \dots m_n}$$

Komadi konusnog oblika



Izvlačenje komada iz trake



Izvlačenje komada iz trake

The technical drawing shows a side view of a metal strip with a total length of 215 units. It features a series of semi-circular holes. Dimensions include a hole diameter of 14, a hole-to-hole distance of 85, and a hole depth of 14. The drawing also shows a cross-section of the strip with a thickness of 1.7. Below the main drawing is a detailed view of the punch and die assembly used for the extrusion process, with various diameters and tolerances specified, such as $m_1 = 0.99$, $m_2 = 0.98$, $m_3 = 0.93$, $m_4 = 0.84$, and $m_5 = 0.85$. A small photograph in the top right corner shows several finished, multi-hole metal strips.

Greške u procesu izvlačenja

Two photographs showing defects in extruded metal parts. The left image shows a cup-like part with a jagged, irregular rim, indicating a defect in the extrusion process. The right image shows a similar part with a smooth top surface but a jagged, irregular bottom edge, also indicating a defect.

Greške u procesu izvlačenja

Two diagrams illustrating defects in the extrusion process. Diagram (a) shows a cross-section of a metal part with a small radius on the inner edge of the hole, labeled "Mali radius prstena" (Small ring radius). Diagram (b) shows a cross-section of a metal part with a small radius on the outer edge of the hole, labeled "Mali radius izvlakača" (Small punch radius).

Alati za duboko izvlačenje

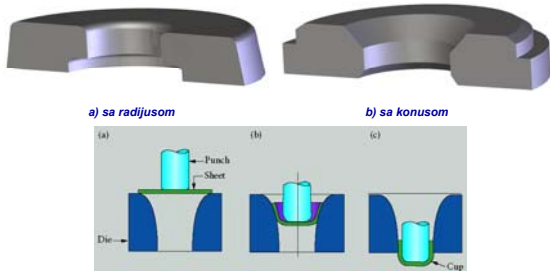
Osnovni izvršni dijelovi alata za duboko izvlačenje su **prsten za izvlačenje** i **izvlačač**.

Geometrijski oblik prstena za izvlačenje utiče na osnovne parametre izvlačenja, kvalitet izratka i stepen deformacije izvlačenja.

U praksi se koriste tri vrste prstenova za izvlačenje:

- sa radijusom;
- sa konusom i
- sa profilom traktrix krive.

Prstenovi za izvlačenje



Prstenovi za izvlačenje

Prsten za izvlačenje sa radijusom se najviše koristi u prvoj operaciji izvlačenja. Može se koristiti i za ostale operacije, ako se ne upotrebljava držač lima.

Ukoliko se u slijedećim operacijama izvlačenja upotrebljava držač lima bolje je koristiti prsten sa konusom.

Prsten za izvlačenje sa profilom traktrix krive koristi se za izvlačenje debljih limova.

Prsten za izvlačenje sa radijusom

Radijus prstena za prvu operaciju izvlačenja po E.Kaczmarek-u može se izračunati po obrascu:

$$r_{M1} = 0,8\sqrt{(D - d_1)s}$$

ili po obrascu G.Oehlera:

$$r_{M1} = 0,035[50 + (D - d_1)]\sqrt{s}$$

gdje su:
 D – prečnik platine
 d₁ – unutrašnji prečnik komada nakon prve operacije izvlačenja
 s – debljina lima

Prsten za izvlačenje sa radijusom

Radijus prstena za slijedeće operacije izvlačenja

$$r_{M2} = 0,8\sqrt{(d_1 - d_2)s}$$

gdje je:
 d₂ – unutrašnji prečnik komada nakon druge operacije izvlačenja

Prsten sa konusom

Centralni ugao za izvlačenje bez promjene debljine lima:

$$\alpha = 40^\circ \div 45^\circ \quad (\text{rjeđe do } 52^\circ)$$

$$\beta = 90 - \alpha = 50^\circ \div 45^\circ \quad (\text{rjeđe } 38^\circ)$$

A za izvlačenje sa redukcijom debljine:

$$\alpha = 12^\circ \div 18^\circ$$

Držač lima

Držač lima sprječava obrazovanje nabora na limu u toku izvlačenja, djelujući na njega određenim površinskim pritiskom.

Važno je utvrditi kriterij kad je potreban držač lima i izvršiti njegovo pravilno dimenzionisanje.

Najvažniji parametar je pritisak držača p_d , koji mora biti dovoljno visok da spriječi stvaranje nabora, a da istovremeno ne dovede do trganja komada.

Kriterij za određivanje uslova da li je potreban držač lima je vrijednost relativne debljine lima s_r i odnos izvlačenja m .

Držač lima

Komadi se mogu izvlačiti bez držača lima ako su ispunjeni uslovi:

1. Za prvu operaciju izvlačenja cilindričnih komada

$$s_r = \frac{s}{D} \cdot 100 \geq 2\% \quad i \quad m_1 = \frac{d_1}{D} \geq 0,6$$

2. Za sljedeće operacije izvlačenja cilindričnih komada:

$$s_{ri} = \frac{s}{d_{i-1}} \cdot 100 \geq 1,5\% \quad i \quad m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}} \geq 0,8$$

Držač lima

3. Za izvlačenje polusfere (sa radiusom R)

$$s_r = \frac{s}{D} \cdot 100 \geq 3\%$$

gdje su:

D-prečnik platine
s-debljina materijala

d_i, d_i, d_{i-1} – prečnici komada nakon prve, i-te i (i-1)-e operacije izvlačenja

Pritisak držača lima

Površinski pritisak držača lima prve operacije izvlačenja računa se po izrazu:

$$p_{d1} = (0,2 \div 0,3) \left[\left(\frac{D}{d_1} - 1 \right)^3 + \frac{d_1}{200s} \right] \cdot 10^{-2} \sigma_m \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

gdje su:

D – prečnik platine

s- debljina lima

d₁ - unutrašnji prečnik čančeta nakon prve operacije izvlačenja

σ_m - jačina materijala na kidanje

Pritisak držača lima

Pritisak držača lima za sljedeće operacije izvlačenja računa se po izrazu:

$$p_{di} = (0,2 \div 0,3) \left[\left(\frac{d_{i-1}}{d_i} - 1 \right)^3 + \frac{d_i}{200s} \right] \cdot 10^{-2} \sigma_m \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

gdje su:

d_i, d_{i-1} – unutrašnji prečnici komada nakon i-te i (i-1)-e operacije izvlačenja

Sila držača lima

Sila držača lima za prvu operaciju izvlačenja računa se po izrazu:

$$F_{d1} = A_1 \cdot p_{d1} = \frac{\pi}{4} \left[D^2 - (d_{M1} + 2r_{M1})^2 \right] \cdot p_{d1} \quad [N]$$

gdje su:

A₁ – površina nakoju djeluje pritisak držača lima u prvoj operaciji

p_{d1} – pritisak držača lima u prvoj operaciji izvlačenja

Sila držača lima

Sila držača lima za slijedeće operacije izvlačenja računa se po izrazu:

$$F_{di} = \frac{\pi}{4} [d_{i-1}^2 - (d_i + 2s)^2] (1 + \mu \operatorname{ctg} \alpha) \cdot p_{di} \quad [N]$$

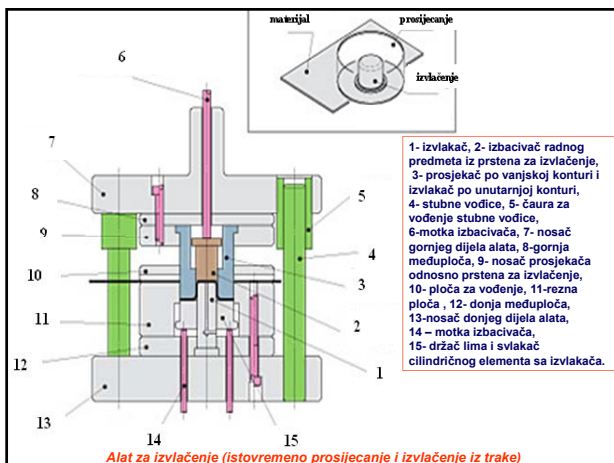
gdje je:

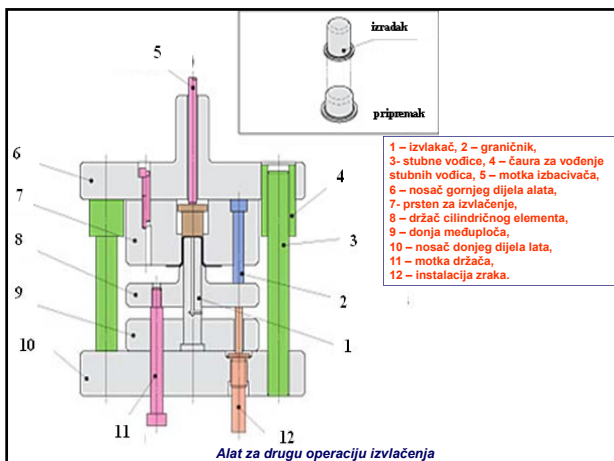
μ - koeficijent trenja

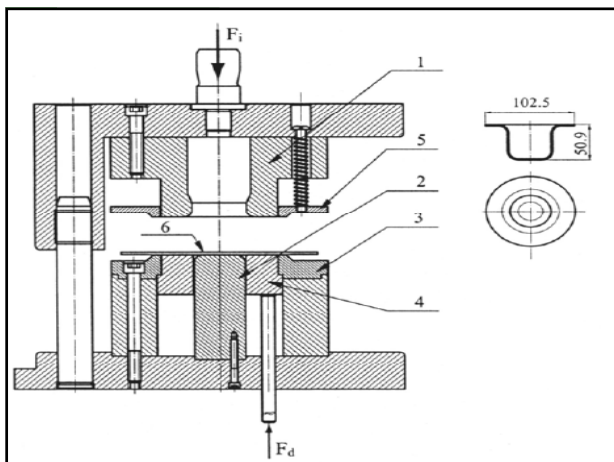
$\mu = 0,1 \div 0,15$ za kvalitetno obrađene površine alata

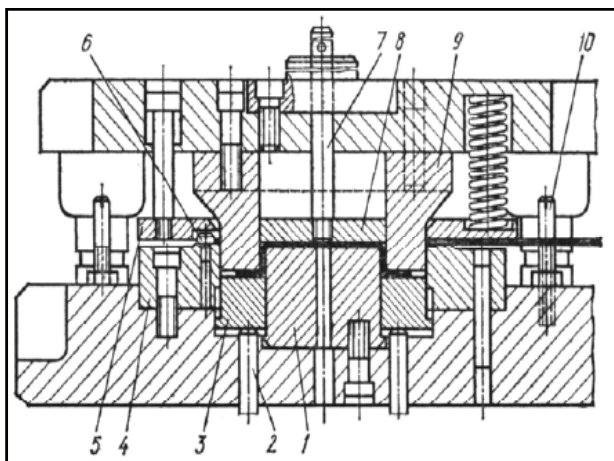
Steps in Manufacturing an Aluminum Can

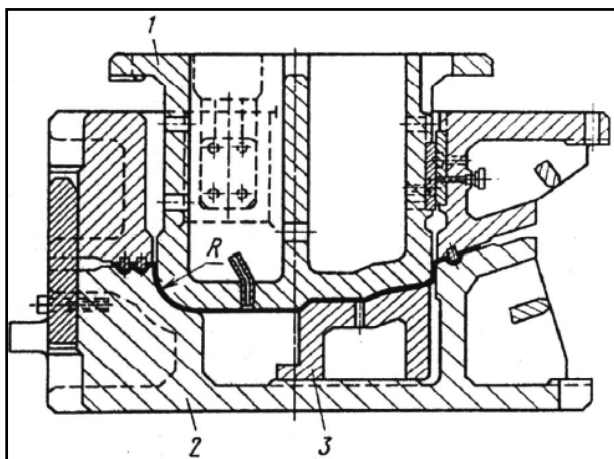










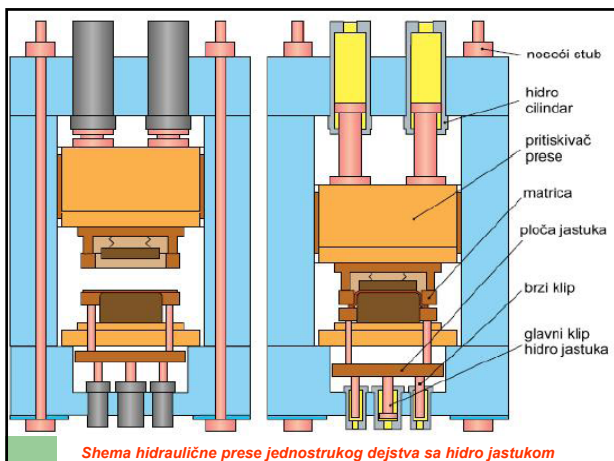


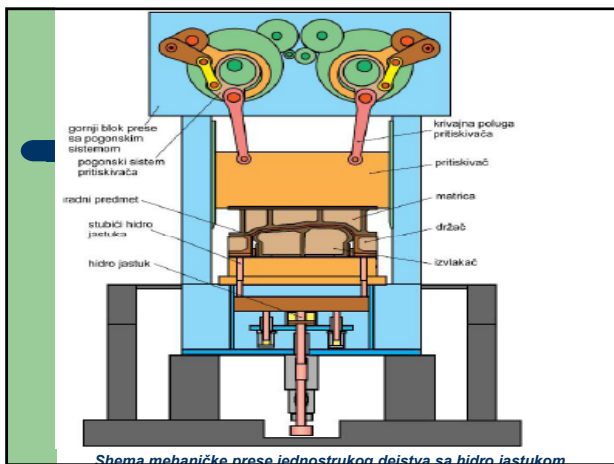


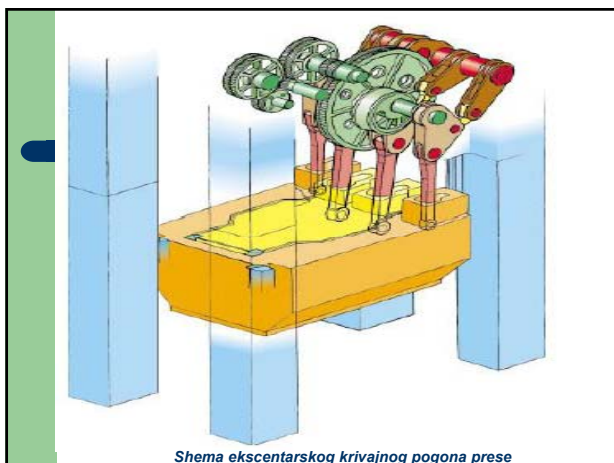
Mašine za izvlačenje

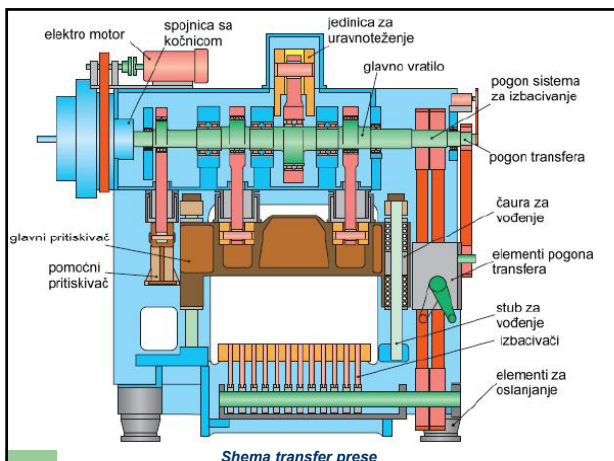
a) Sematski prikaz
 b) Izgled prese

Mehanička presa









OBRADA DEFORMISANJEM

- IX predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ IX:

9. OSTALI POSEBNI POSTUPCI DUBOKOG IZVLAČENJA

9.1. Rotaciono izvlačenje

- Primjeri proizvoda izrađenih rotacionim izvlačenjem
- Šematski prikaz rotacionog izvlačenja
- Glavna kretanja kod rotacionog izvlačenja
- Rotaciono izvlačenje sa stanjenjem
- Mašine za rotaciono izvlačenje
- Mašina za izradu velikih dijelova rotacionim izvlačenjem

9.2. Hidromehaničko duboko izvlačenje

9.3. Izvlačenje uz pomoć gume

9.4. Izvlačenje uz pomoć eksploziva

9.5. Oblikovanje razvlačenjem

9.6. Duboko izvlačenje sitnih komada neposredno iz trake

9.7. Proširivanje

9. OSTALI POSEBNI POSTUPCI DUBOKOG IZVLAČENJA

- U odgovarajućim uslovima (specijalni materijali, posebne geometrije komada, male serije, specijalni zahtjevi, ...) klasični postupci dubokog izvlačenja nisu cjelishodni.
- Stoga se primjenjuju posebni tzv. "nekonvencionalni" postupci.
- **Najčešće primjenjivi su:**
 - Rotaciono izvlačenje
 - Hidromehaničko duboko izvlačenje
 - Izvlačenje uz pomoć gume
 - Oblikovanje razvlačenjem
 - Duboko izvlačenje sitnih komada neposredno iz trake
 - Duboko izvlačenje sa stanjenjem

9.1. Rotaciono izvlačenje

Rotaciono izvlačenje je tehnološki postupak obrade deformisanjem pomoću kojeg se, od priprema iz lima, dobijaju šuplji rotaciono simetrični dijelovi.

Rotaciono izvlačenje, uz kovanje predstavlja jedan od najstarijih postupaka obrade deformisanjem.

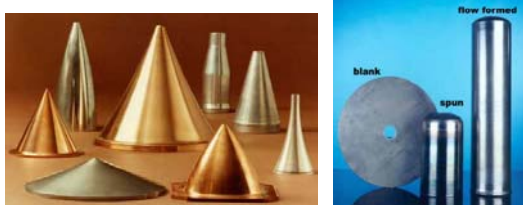
Nagli razvoj i primjena ove tehnologije ide uporedo sa razvojem NC i CNC upravljačkih sistema na mašinama za rotaciono izvlačenje.

Postupak se koristi u uslovima maloserijske i srednjoserijske proizvodnje. U velikoserijskoj proizvodnji ekonomičnije je duboko izvlačenje, zbog veće brzine deformisanja.

9.1. Rotaciono izvlačenje

Primjeri proizvoda izrađenih rotacionim izvlačenjem

Radne predmete dobijene rotacionim izvlačenjem karakteriše visoki kvalitet površine, tako da nije potrebna naknadna obrada.



9.1. Rotaciono izvlačenje

Primjeri proizvoda izrađenih rotacionim izvlačenjem



9.1. Rotaciono izvlačenje
Primjeri proizvoda izrađenih rotacionim izvlačenjem



9.1. Rotaciono izvlačenje
Primjeri proizvoda izrađenih rotacionim izvlačenjem



9.1. Rotaciono izvlačenje
Primjeri proizvoda izrađenih rotacionim izvlačenjem

Rotacionim izvlačenjem mogu se dobiti radni predmeti velikih dimenzija, prečnika i do 6 m.

Veličina izradaka najbolje je ilustrovana na sljedećoj slici gdje su oni prikazani uporedno sa radnicima, tako da se može napraviti komparacija.



9.1. Rotaciono izvlačenje
 Šematski prikaz rotacionog izvlačenja

Deformisanje se izvodi na mašinama koje su u principu slične strugu. Oblikač sa profilom koji odgovara gotovom komadu rotira zajedno sa limom koga priteže držač. Alat (valjčić ili drugi oblik) u parcijalnom zahvatu oblikuje komad. Dobijaju se osnosimetrični komadi često složenih krivolinijskih kontura (satelitske antene itd.)

Slika: Rotaciono izvlačenje (lijevo – početni položaj, desno – kraj oblikovanja)

9.1. Rotaciono izvlačenje
 Šematski prikaz rotacionog izvlačenja

9.1. Rotaciono izvlačenje

Glavna kretanja kod rotacionog izvlačenja

Pripremak oblika ravnog lima oblikuje se preko trna. Zahvat alata i materijala je parcijalan, tako da se proces odvija postupno sa relativno malom silom deformisanja.

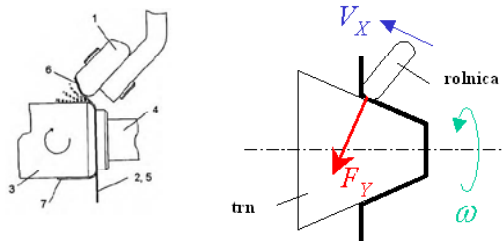
Alat se može voditi ručno ili kompjuterski.

Prednost postupka ogleda se u tome što oblik rolnice nije uslovljen oblikom izratka.

Kod rotacionog izvlačenja pripremak kružnog oblika, pričvršćen držačem uz trn, izvodi obrtno kretanje, a rolnica koja postepeno oblikuje pripremak prema obliku trna izvodi translatorno kretanje.

9.1. Rotaciono izvlačenje

Glavna kretanja kod rotacionog izvlačenja



9.1. Rotaciono izvlačenje

Rotaciono izvlačenje koristi se za dobijanje koničnih ili krivolinijskih oblika izradaka, koje je na drugi način nemoguće ili vrlo teško dobiti.

Oblikovanje se odvija na sobnoj temperaturi, iako se može vršiti i na povišenim temperaturama ukoliko se radi o debljim elementima ili materijalu čije mehaničke osobine to uslovljavaju (povišena čvrstoća i niska žilavost).

9.1. Rotaciono izvlačenje

Rotaciono izvlačenje sa stanjenjem

Primjenjuje se i postupak rotacionog izvlačenja sa stanjenjem u dvije varijante:

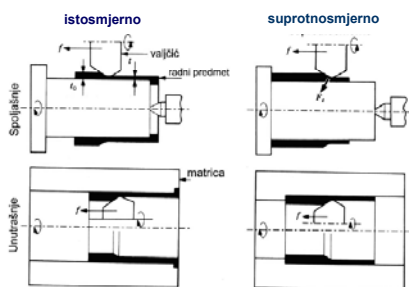
- istosmjerno i
- suprotnosmjerno i to za spoljašnju i unutrašnju obradu.

Polazni komad ima veću debljinu i na račun njenog smanjenja dobija se željena geometrija rotacionog komada.

Deformacione sile su znatno veće u odnosu na klasični postupak.

9.1. Rotaciono izvlačenje

Rotaciono izvlačenje sa stanjenjem



9.1. Rotaciono izvlačenje

Mašine za rotaciono izvlačenje

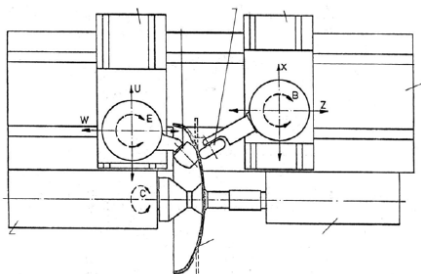
Mašine koje se koriste u procesu rotacionog izvlačenja su slične strugovima sa određenim specifičnostima.

Mašine za rotaciono izvlačenje mogu da budu veoma sofisticirane (CNC) i primjenjuju se za dobijanje komada sa složenim krivolinijskim konturama.

Principska shema takve mašine data je na slijedećoj slici. Profil oblikača nije fiksna, već se programski formira kretanjem valjka (pokretan u dvije koordinatne ose). Na isti način djeluje i valčić za oblikovanje.

9.1. Rotaciono izvlačenje

Rotaciono izvlačenje na CNC mašini



9.1. Rotaciono izvlačenje

Granične vrijednosti za rotaciono izvlačenje

- Granične vrijednosti određuju se preko koeficijenta:

$$\beta = D/d$$

gdje je: D-prečnik pripreмка, d-prečnik izratka

- Max vrijednosti u zavisnosti od materijala

Material	β_{max}	Material	β_{max}
Structural steel sheet	1.40	Al and Al alloys	1.55
Deep drawing steel sheet	2.00	Cu and Cu alloys	2.00
High-alloy steel sheet	1.27	Ni	1.27

9.1. Rotaciono izvlačenje

Mašine za rotaciono izvlačenje



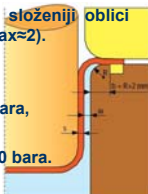
9.1. Rotaciono izvlačenje

Mašina za izradu velikih dijelova rotacionim izvlačenjem



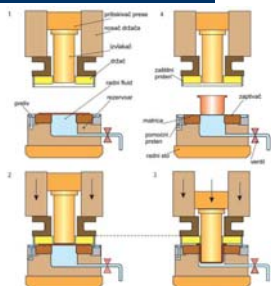
9.2. Hidromehaničko duboko izvlačenje

- Oblikovanje se izvodi uz pomoć fluida pod pritiskom u različitim varijantama.
- Pritisak se ostvaruje snagom prese ili pumpom visokog pritiska.
- Postižu se veći stepeni izvlačenja ($\beta > 2,7$) i složeniji oblici komada u odnosu na klasično izvlačenje ($\beta_{max} \approx 2$).
- Znatno su veći troškovi.
- Red veličine potrebnih pritisaka fluida iznosi:
 - za aluminijum i njegove legure: 50 – 200 bara,
 - za čelične limove: 200 – 600 bara,
 - za limove od nehrđajućih čelika: 300 – 1000 bara.



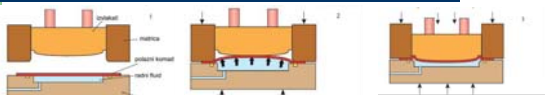
Formiranje sloja fluida pri hidromehaničkom izvlačenju

9.2. Hidromehaničko duboko izvlačenje

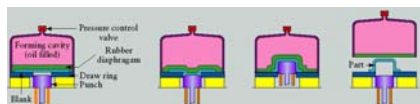


Hidromehaničko izvlačenje sa čvrstim izvlačačem

9.2. Hidromehaničko duboko izvlačenje



Postupak tzv. aktivnog hidromehaničkog izvlačenja

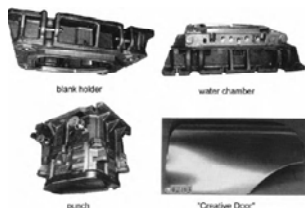


The hydroform (or fluid forming) process.

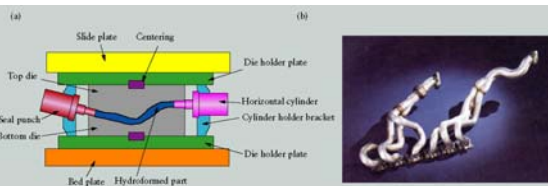
9.2. Hidromehaničko duboko izvlačenje



hydroforming press at the AUDI AG company (Photograph from Schnupp GmbH & Co Hydraulik works, 94327 Bogen, Germany)




9.2. Hidromehaničko duboko izvlačenje

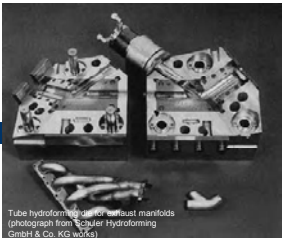


(a) Schematic illustration of the tube-hydroforming process. (b) Example of tube-hydroformed parts. Automotive exhaust and structural components, bicycle frames, and hydraulic and pneumatic fittings are produced through tube hydroforming.

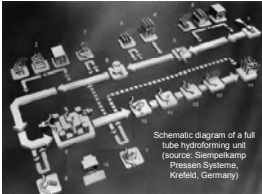
Hydroforming press at the Fraunhofer Institute for Machine Tools and Forming Technology in Chemnitz (Photograph: Schuler Hydroforming GmbH & Co. KG works)



Tube hydroforming of exhaust manifolds (photograph from Schuler Hydroforming GmbH & Co. KG works)



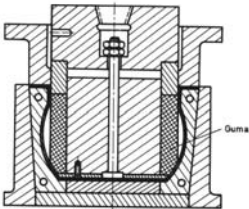
- 1 Production of axials
- 2 heat and surface treatment
- 3 trimming
- 4 storage
- 5 washing
- 6 banding, pre-forming
- 7 checking, handling
- 8 applying lubricant
- 9 lead-in pre-forming
- forming
- finishing
- removal
- preparing the processing medium
- 10 sawing
- 11 punching, finishing
- 12 marking
- 13 cleaning
- 14 packing
- 15 process control



Schematic diagram of a full tube hydroforming unit (source: Stempelkamp Pressen Systeme, Kriesel, Germany)

9.3. Izvlačenje uz pomoć gume

Guma kao veoma deformabilan materijal, koristi se u alatima za duboko izvlačenje specifičnih komada u uslovima maloserijske proizvodnje (aluminijumski dijelovi u vazduhoplovnoj industriji, složeniji oblici dijelova i sl.

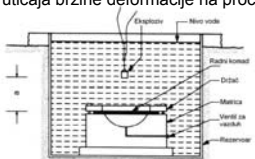


izvlačenje gumom

9.4. Izvlačenje uz pomoć eksploziva

Spada u visoko brzinska oblikovanja. Brzina udarnog talasa poslije detonacije TNT eksplozivnog punjenja je oko 6700 m/s a konkretna brzina deformisanja na komadima za oblikovanje je obično 30 do 200 m/s.

Zbog toga materijal treba da ima povoljne karakteristike sa aspekta uticaja brzine deformacije na proces deformacionog ojačanja.



Alat je smješten u rezervoaru sa vodom.

Ima matricu (iz koje mora da se izvuce vazduh prije obrade) i držač.

Oblikuje se lim.

Veoma je bitno rastojanje eksploziva od polaznog komada (mjera a, na sl. 12.1).

Deformabilnost materijala i bezbjednost u radu su jedina ograničenja postupka.

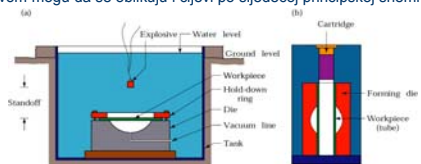
9.4. Izvlačenje uz pomoć eksploziva

Maksimalni pritisak udarnog talasa može da se izračuna prema izrazu:

$$p = K \left(\frac{M}{a} \right)^m$$

M – masa eksploziva, K – konstanta zavisna od vrste eksploziva, m – empirijska konstanta i a – rastojanje od komada za oblikovanje do eksploziva.

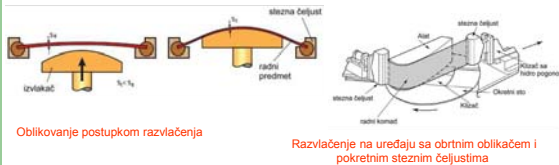
Eksplozivom mogu da se oblikuju i cijevi po sljedećoj principskoj shemi /b/.



(a) explosive forming process. (b) confined method of explosive bulging of tubes.

9.5. Oblikovanje razvlačenjem

- Ovaj postupak je namjenjen dobijanju dijelova pretežno većih dimenzija (avio industrija itd.).
- Uglavnom se primjenjuje za manje serije.
- Steznim čeljustima lim se steže na krajevima i oblikuje preko oblikača

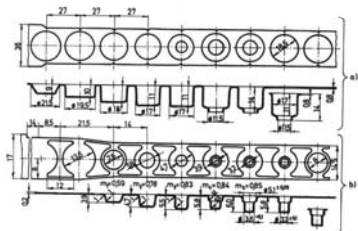


Oblikovanje postupkom razvlačenja

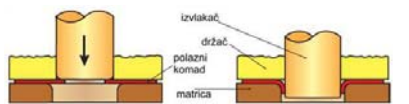
Razvlačenje na uređaju sa obrtnim oblikačem i pokretnim steznim čeljustima

9.6. Duboko izvlačenje sitnih komada neposredno iz trake

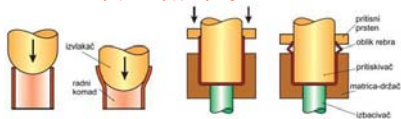
- Uglavnom se radi o dijelovima složenijeg oblika, manjih dimenzija i većih serija.



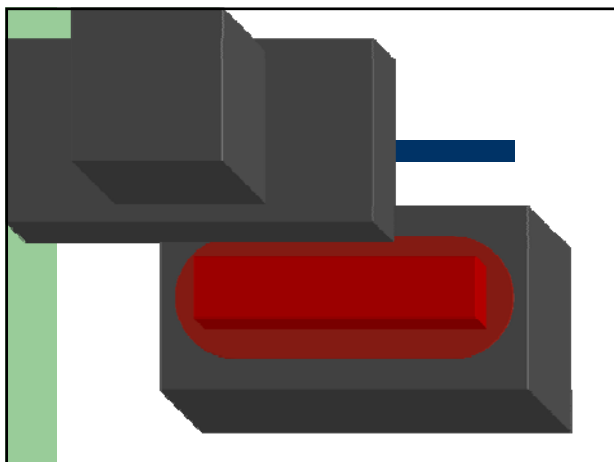
9.7 Proširivanje



Proširivanje (izvlačenje) probijenog otvora na komadu od lima



Proširivanje cijevi (lijevo) i oblikovanje rebra (desno)



OBRADA DEFORMISANJEM
- X predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ X:

IZVLAČENJE SA REDUKCIJOM DEBLJINE ZIDA

- Primjeri primjene izvlačenja sa redukcijom debljine zida
- Faze izrade čahure u prve četiri operacije
- Duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida na višestepenom alatu
- CAD model priprema i alata za izvlačenje
- Određivanje dimenzija priprema
- Deformacije za izvlačenje sa redukcijom debljine zida

Izvlačenje sa redukcijom debljine zida

Duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida je postupak kod koga se vrši istovremena redukcija po prečniku i debljini zida radnog komada.

Postupak spada u tehnologije zapreminskog oblikovanja.

Kao pripremci se najčešće koriste komadi dobijeni procesom dubokog izvlačenja.

Ova tehnologija se najviše primjenjuje u namjenskoj industriji, za proizvodnju municije.

Primjeri primjene izvlačenja sa redukcijom debljine zida

Preparati i izvatci za dvije grupe proizvoda dobiveni izvlačenjem na petostepenim alatima

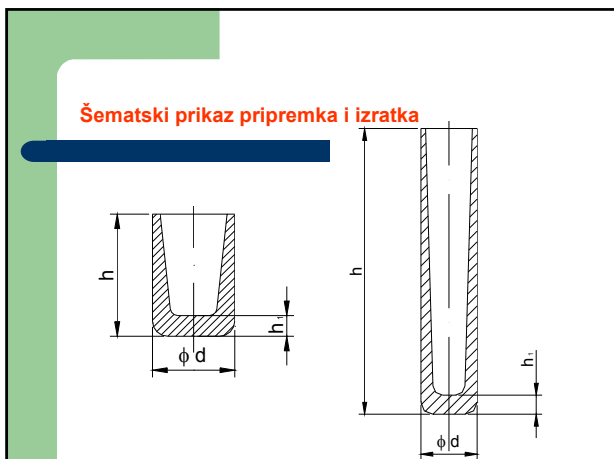


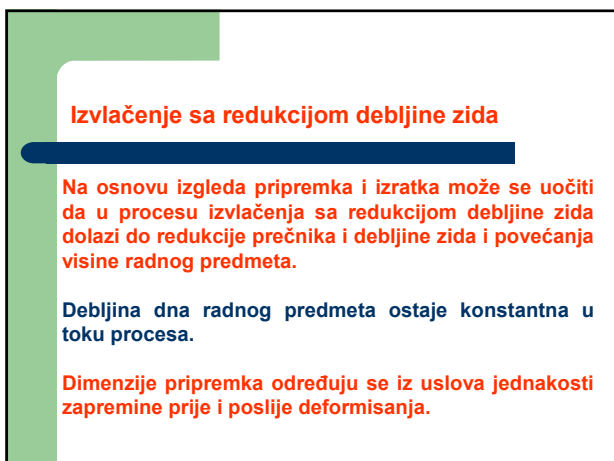
Faze izrade čahure u prve četiri operacije

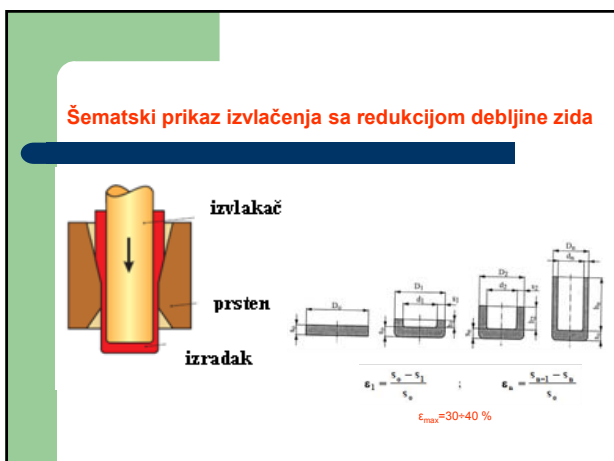


Preparati i karakteristični izvatci grupe 1 (desno) i grupe 2 (lijevo)









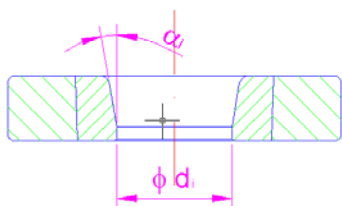
Izvlačenje sa redukcijom debljine zida

U procesu izvlačenja sila se preko izvlakača prenosi na radni predmet, koji se protiskuje kroz otvor prstena za izvlačenje.

Osnovni izvršni dijelovi alata su izvlakač i prsten za izvlačenje.

Njihovo dimenzionisanje vrši se na osnovu zadanih dimenzija radnog predmeta kojeg treba izraditi.

Prsten za izvlačenje



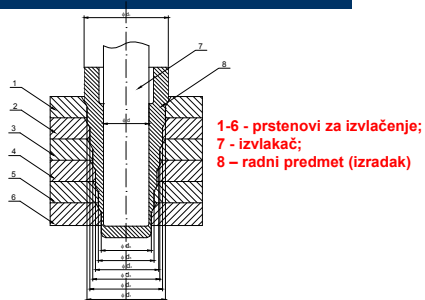
Izvlačenje sa redukcijom debljine zida

- Prstenovi za izvlačenje izrađuju se od konstrukcionih čelika sa radnim dijelom od tvrdog metala.
- Prečnik prstena za izvlačenje određuje se na osnovu zadanog vanjskog prečnika radnog predmeta.
- Izvlačenje sa redukcijom debljine zida najčešće se projektuje tako da se prvo izvrši redukcija po prečniku, a zatim po debljini zida.
- Izvlačenje sa redukcijom debljine zida najčešće se izvodi na višestepenim alatima.
- Proces se izvodi kontinuirano kroz više prstenova koji su u alatu postavljeni jedan iza drugog.
- Set prstenova (maksimalno 6) postavlja se u nosač prstenova, koji je smješten u donjem dijelu alata.

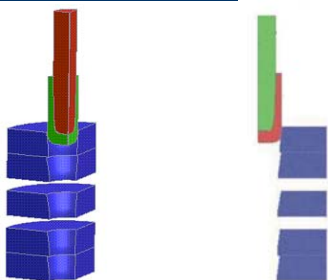
Izvlačenje sa redukcijom debljine zida

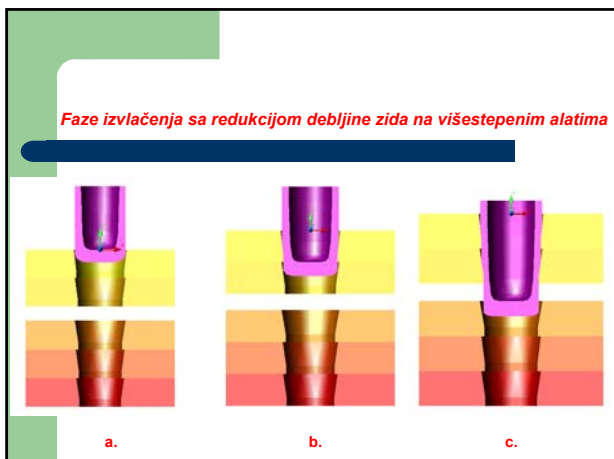
- Mora se obezbediti stroga centričnost osa izvlakača i osa postavljenih matrica (prstenova).
- Pri obradi je obavezno podmazivanje.
- Po naponsko-deformacionim osobinama procesa ovaj postupak je bliže procesima zapreminskog oblikovanja, prije svega istiskivanju, pa je i priprema za podmazivanje komada od čelika slična.
- Prethodno se površine komada elektrohemijski tretiraju (fosfatiraju), a kao mazivo (koje se ponekad prinudno dovodi kroz otvore na matricama), najčešće se koristi molibdendi-sulfid (MoS_2).
- Kvalitet površina i tačnost dimenzija su na visokom nivou slično kao kod postupaka hladne zapreminske obrade.
- Izvlačenje sa stanjenjem se najviše koristi u masovnoj proizvodnji ambalažnih konzervi (različite vrste alkoholnih i bezalkoholnih pića, hrana itd.), vojnoj industriji itd.

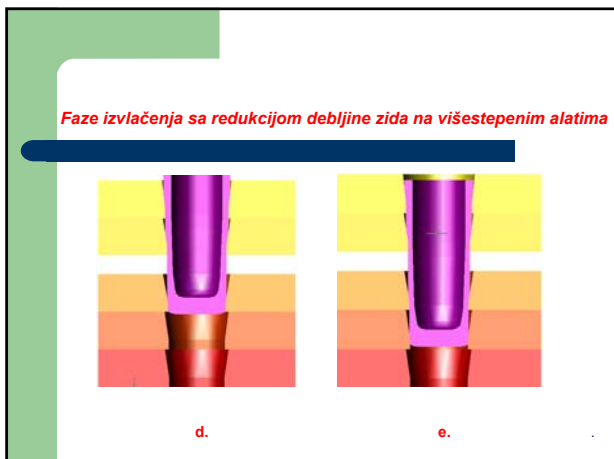
Duboko izvlačenje sa redukcijom debljine zida na višestepenom alatu

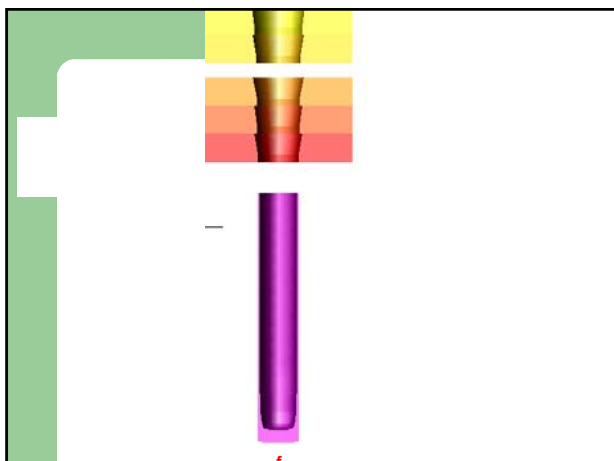


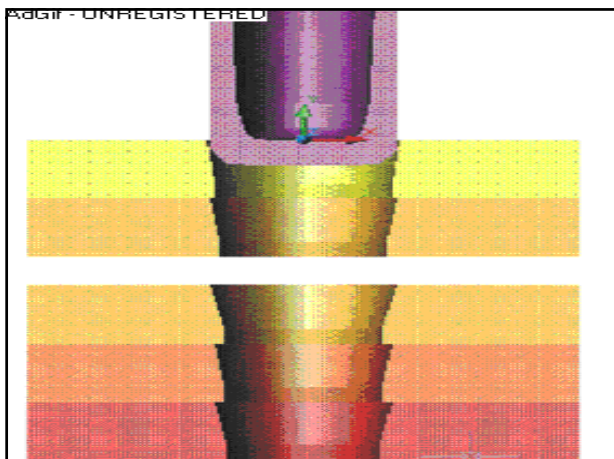
CAD model priprema i alata za izvlačenje











Određivanje dimenzija pripremk
Tijela sa različitim debljinom dna i omotača

Zapremina platine: $V = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot s_0$ **Masa platine:** $m = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot s_0$

Zapremina gotovog komada: $V = (1 + e) \cdot V_k$ **Masa gotovog komada:** $m = (1 + e) \cdot m_k$

Određivanje dimenzija pripremk
Tijela sa različitim debljinom dna i omotača

Prečnik platine računa se po obrascu:

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot s_0}} = 1,13 \sqrt{\frac{V}{s_0}} = \sqrt{\frac{4m}{\pi \cdot s_0 \cdot \rho}} = 1,13 \sqrt{\frac{m}{s_0 \cdot \rho}}$$

gdje su:
 D₀ – prečnik platine;
 s₀ – debljina platine;
 V – zapremina platine;
 m – masa platine;
 V_k – zapremina komada;
 m_k – masa komada;
 ρ – zapreminska masa (specifična masa) i
 e- dodatak za obrezivanje.

Određivanje dimenzija pripremk Tijela sa različitom debljinom dna i omotača

Veličina dodatka za obrezivanje zavisi od odnosa visine i prečnika komada:

h/d =	do 3	3 – 10	preko 10
e % =	8 – 10	10 – 12	12 – 15

Deformacije za izvlačenje sa redukcijom debljine zida

Glavna logaritamska deformacija za i-tu operaciju izvlačenja računa se po obrascu:

$$\varphi_{pi} = \ln \frac{A_{i-1}}{A_i} = \ln \frac{d_{i(i-1)}}{d_{i,i}} + \ln \frac{s_{i-1}}{s_i} \quad \text{ili} \quad \varphi_{pi} = \ln \frac{A_0}{A_i} = \ln \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_i^2 - d_i^2} = \ln \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_i^2 - d_i^2}$$

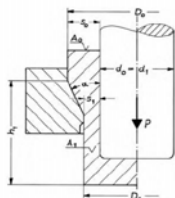
Dozvoljeni stepen deformacije:

Material	φ_{pym}
Al 99.8; Al 99.5; Al Mg 1; Al MgSi 1; Al Cu Mg 1	0.35
Cu Zn 37(Ms 63)	0.45
Ck 10 - Ck 15; Cq 22 - Cq 35	0.45
Cq 45; 16 Mn Cr 5; 42 Cr Mo 4	0.35

Broj operacija:

$$n = \frac{\varphi_p}{\varphi_{pym}} = \frac{\left(\ln \frac{A_0}{A_n} \right) \cdot 100}{\varphi_{pym}}$$

(Stepen deformacije u procentima, površine u mm²).

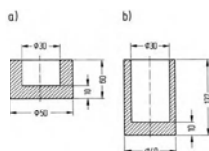


Primjer:

Material Cq 45, stepen iskoristenja $\eta_e = 0.75$

Odrediti:

- Stepen deformacije,
- Broj operacija
- Najmanji prečnik poslije prve operacije,
- Silu za prvu operaciju



Riešenje:

$$\varphi_p = \ln \frac{D_0^2 - d_0^2}{D_1^2 - d_1^2} = \ln \frac{40^2 \text{ mm}^2 - 30^2 \text{ mm}^2}{45^2 \text{ mm}^2 - 30^2 \text{ mm}^2} = 0.82$$

$$n = \frac{\varphi_p}{\varphi_{pym}} = \frac{82\%}{35\%} = 2.34 \quad \text{Usvaja se } n=3 \text{ operacije.}$$

$$D_1 = \sqrt{\frac{D_0^2 - d_0^2}{e^{0.35}} + d_0^2} = \sqrt{\frac{50^2 \text{ mm}^2 - 30^2 \text{ mm}^2}{e^{0.35}} + 30^2 \text{ mm}^2}$$

$$D_{1min} = \frac{1600 + 900}{\sqrt{1.419}} = 45 \text{ mm.}$$

Za:

$\varphi_p = 35\%$; $k_{stn} = 390 \text{ N/mm}^2$; $k_{st1} = 860 \text{ N/mm}^2$; $k_{stn} = 625 \text{ N/mm}^2$; $D_1 = 45 \text{ mm}$, $d_0 = d_1 = 30 \text{ mm}$

$$F = \frac{A_1 \cdot k_{stn} \cdot \varphi_p}{\eta_f \cdot 10^3} = \frac{(D_1^2 - d_1^2) \cdot \pi \cdot k_{stn} \cdot \varphi_p}{4 \cdot \eta_f \cdot 10^3}$$

$$F = \frac{(45^2 \text{ mm}^2 - 30^2 \text{ mm}^2) \cdot \pi \cdot 625 \text{ N/mm}^2 \cdot 0.35}{4 \cdot 0.7 \cdot 10^3} = 276 \text{ kN.}$$

OBRADA DEFORMISANJEM
- XI predavanje -



v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ XI:

- Uvod
- Vrste istiskivanja
 - Hladno istiskivanje
 - Toplo istiskivanje
 - Hidrostatičko istiskivanje
- Vučenje žice

1. Uvodne napomene

- Podjela postupaka oblikovanja:
 - Prerada limova
 - Masivno (zapreminsko) oblikovanje (Bulk Forming)
- Zanimljiva je razlika između ova dva tipa oblikovanja prema kriterijumu odnosa površine deformisanog komada prema zapremini (ili debljini).
- U slučaju deformisanja limova taj odnos je relativno veliki, a u slučaju masivnog oblikovanja, uglavnom, vrlo mali.

2. ISTISKIVANJE

- Istiskivanje je proces masivnog oblikovanja pri kome se materijal, pod dejstvom opterećenja, dovodi u plastično stanje i oblikuje tečenjem kroz predviđene otvore u alatu ili kroz zazor između tiskača i matrice.
- Izvodi se najčešće u hladnom stanju, mada može da bude i polutoplo i toplo.
- S obzirom na visoke troškove alata, mašine i ostale opreme, tehnologija istiskivanja je ekonomski opravdana samo za velike serije.
- Iskustveni podaci pokazuju da je ekonomski opravdana serija za veće obratke 1000–10.000 komada mjesečno, a za dijelove do 5 mm = 50.000.
- Izrađuju se dijelovi složenog oblika od čelika, obojenih metala i njihovih legura (Zn, Al, i sl.),

2. ISTISKIVANJE

- Hladno istiskivanje
- Toplo istiskivanje
- Hidrostatičko istiskivanje

2.1 HLADNO ISTISKIVANJE

- Primjena u automobilske industriji, opštoj mašinogradnji, elektrotehnici i vojnoj industriji.
- Obradivost zavisi od hemijskog sastava i strukture.
- Sa nižim sadržajem ugljenika i legirajućih elemenata obradivost je bolja.
- Zbog ekstremno visokih kontaktnih pritisaka dolazi do hladnog zavarivanja.
- Primjenom elektrohemijskog nanošenja sloja cink-fosfata (najviše u primjeni) ili ferooksalata (kod legiranih i nehrđajućih čelika) kao nosača maziva riješen problem podmazivanja.
- Fosfatni (ili oksalatni) sloj sa nanijetim mazivom uspješno razdvaja kontaktne površine i pri ekstremnim pritiscima reda 2500 MPa.

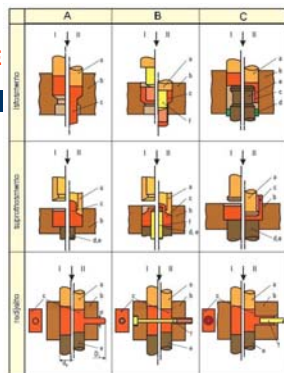
2.1 HLADNO ISTISKIVANJE



Slika; Dijelovi dobijeni hladnim istiskivanjem

2.1 HLADNO ISTISKIVANJE

- U zavisnosti od geometrije tečenja postoje tri osnovne vrste istiskivanja:
 - istosmjerno,
 - suprotnosmjerno i
 - radialno.
- Najčešće se vrši njihovo kombinovanje:
 - kombinovano istiskivanje.
- Terminologija se odnosi na smjer kretanja materijala u odnosu na smjer kretanja žiga.



a) pritisivač, b) matrica, c) radni komad, d) izbacivač, e) dno, donji pritisivač, f) tm.

2.1 HLADNO ISTISKIVANJE

- Osnovne karakteristike procesa:
 - najčešće se dobijaju osnosimetrični dijelovi prečnika $D \leq 50\text{mm}$ i dužine $L \leq 100\text{mm}$,
 - masa dijelova je najčešće do oko 3 kg (maksimalna postignuta masa čeličnih komada oko 50 kg, zahtijeva mašine ogromne snage i alate specijalne konstrukcije),
 - kratko vrijeme izrade,
 - visok stepen iskorisćenja materijala i energije,
 - visoka tačnost i kvalitet obradenih površina,
 - poboljšanje mehaničkih osobina materijala,
 - velika opterećenja alata (kontaktni pritisci i do 2500 MPa pri istiskivanju čelika),
 - kod istiskivanja čelika neophodna je elektrohemijska priprema površine komada,
 - opravdana je primjena kod većih serija (iznad 1000 mesečno za veće delove).
- Limitirajući faktori hladnog istiskivanja:
 - geometrijsko-konstruktivni oblik, obratka
 - obradivost (deformabilnost) materijala
 - opterećenje alata — srednji pritisak ($p \leq 2500\text{ mpa}$).
 - ekonomski faktori
- Hladnim istiskivanjem se najčešće obrađuju:
 - a) čelici za cementaciju (C 1121, C 1221, C 1321, C 4120, C 4320, C 4321, C 4721)
 - b) čelici za poboljšanje (C 1431, C 1531, C 4130, C 4131, C 4732)
 - c) niskougljenični čelici za hladnu obradu namereni termičkog obradi (C 0246, C 0248...; približni čelici po njemačkim oznakama po DIN 17007: MA 7, MB 6, Ma 8, Uqst 36-2, 38-2...); Ovi čelici se koriste za zakovice, zavrtnjeve i sl.
 - d) nehrđajući čelici C 4170, C 4580.

2.1.1 ISTOSMJERNO ISTISKIVANJE (PUNIH KOMADA)

$\varphi = \ln \frac{A_2}{A_1} = \ln \frac{D_2^2}{d_1^2} = 2 \ln \frac{D_2}{d_1}$
 $\epsilon = \frac{A_2 - A_1}{A_1} = 1 - \left(\frac{d_1}{D_2} \right)^2$
 $F = F_{id} + F_{dim} + F_{st} + F_{nm}$
 $F = A_1 \cdot K \cdot \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2\alpha}{3\varphi} \right) + 4 \cdot \mu \cdot K_2 \cdot \frac{h_0}{D_0} \cdot A_1$

Fid – idealna sila (bez trenja i drugih otpora).
 Fdim – sila trenja u konusnom delu matrice.
 Fst – sila unutrašnjeg trenja.
W = F (h0 - h1)

- Konačni izraz za silu deformacioni rad:

2.1.2 SUPROTNOSMJERNO ISTISKIVANJE

$\varphi = \ln \frac{A_2}{A_1} = \ln \frac{D_1^2}{D_0^2 - d_1^2}$
 $\epsilon = \frac{A_2 - A_1}{A_1} = \frac{d_1^2}{D_0^2}$
 $F = A \cdot p = \frac{d_1^2 \pi}{4} \left[K_1 \left(1 + \frac{\mu}{3 h_1} \right) + K_2 \left[1 + \frac{h_1}{s} \left(0,25 + \frac{\mu}{2} \right) \right] \right]$

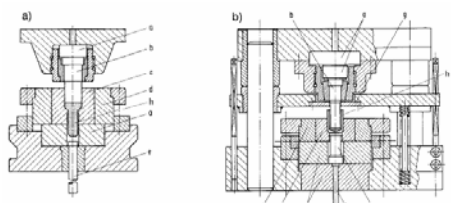
W = F (h0 - h2)

- Konačni izraz za silu i def. rad:

2.1.3 Primjer: Višefazni proces hladnog istiskivanja

Slika: Primjer istiskivanja tjela svjedice

2.1.4 Primjeri alata

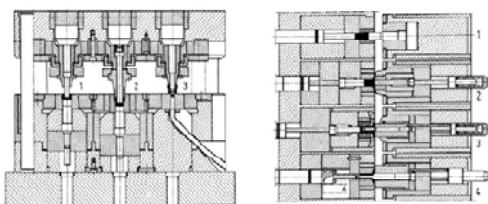


a – pritisna ploča, b – žig, c – matrica, d – ojačavajući prsten,
e, f – izbacivač obratka, g – skidač obratka, h – radni komad

a) Alat za istosmjerno istiskivanje

b) Alat za protusmjerno istiskivanje

2.1.4 Primjeri alata

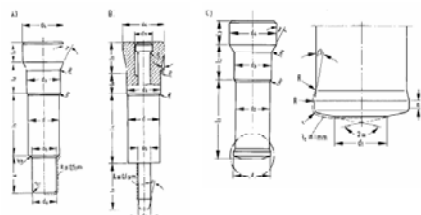


a) Višepozicioni alat

b) Alat za višepozicionu presu

2.1.5 Radni elementi alata: ŽIG

Žig, pored matrice, najopterećeniji je dio alata jer je izložen udarima i visokim pritiscima. Izrađuje se iz legiranih čelika, najčešće iz Č 4750, Č 7860. Tvrdoda žiga treba da je HRC 60–63. Granica sigurnog opterećenja žiga je $p = 2500 \text{ MPa}$



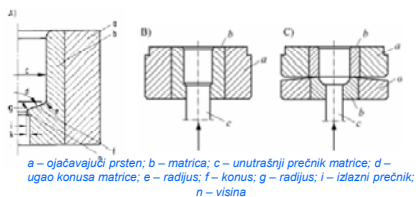
A – Žig za istosmjerno istiskivanje, B – Žig za istiskivanje šupljih oblika, C – Žig za suprotnosmjerno istiskivanje

2.1.6 Radni elementi alata: MATRICA

- Matrica je izložena radijalnim i tangencijalnim opterećenjima koja nastaju kao rezultat plastičnog deformisanja materijala.
- Zbog toga se matrice najčešće ojačavaju ("armiraju") posebnim prstenovima koji se navlače na spoljni omotač matrice.
- Broj takvih prstenova zavisi od unutrašnjeg pritiska koji djeluje na matricu u radijalnom pravcu.
- Ako je:
 - $p \leq 1000$ MPa – nije potrebno ojačavanje matrice
 - $p \leq 1600$ MPa – potreban jedan ojačavajući prsten
 - $p \leq 2200$ MPa – potrebna dva ojačavajuća prstena
 - $p \geq 2200$ MPa – potrebna tri ojačavajuća prstena

2.1.6 Radni elementi alata: MATRICA

- Matrice se najčešće izrađuju od Č 4750, Č 7680.
- Termičkom obradom dovode se na tvrdoću od 62–64 HRC.



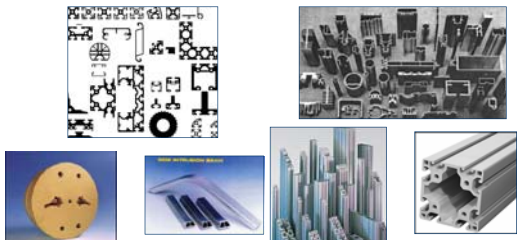
A – Matrica za istosmjerno istiskivanje, B – Matrica za suprotnosmjerno istiskivanje, C – Matrica za suprotnosmjerno istiskivanje-dvostranina

2.2 TOPLO ISTISKIVANJE PROFILA, ŠIPKI I CIJEVI (Hot extrusion)

- Toplo istiskivanje profila, šipki i cijevi obično se klasifikuje kao metalurška disciplina primarne obrade deformisanjem (slično valjanju, dobijanju bešavnih cijevi, dobijanju raznih profila, žice itd.).
- Navedeni polufabrikati koriste u tehnologiji plastičnog deformisanja.
- Toplim istiskivanjem se najčešće obrađuju obojeni metali (Al, Cu i njihove legure), a u znatno manjoj mjeri pojedini čelici.
- Temperature na koje se materijal prije obrade zagrijava su iznad temperature rekristalizacije (za čelik to je 1300°C).
- Dobijeni polufabrikati imaju dužinu od nekoliko mm do nekoliko desetina metara (kod manjih presjeka). Po završetku procesa skraćuju se na potrebnu dužinu.

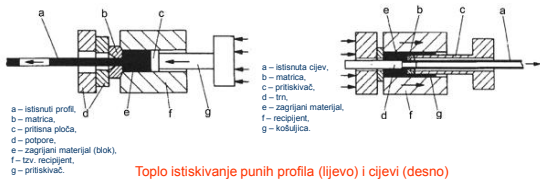
2.2 TOPLO ISTISKIVANJE PROFILA, ŠIPKI I CIJEVI

- Na slici su prikazane neke od geometrija profila, šipki i cijevi koje se dobijaju ovom tehnologijom (od Al legura).



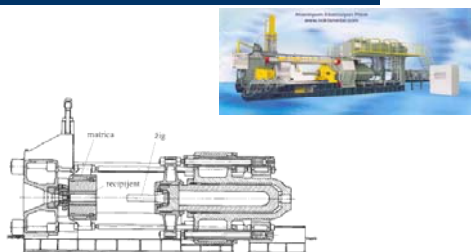
2.2 TOPLO ISTISKIVANJE PROFILA, ŠIPKI I CIJEVI

- Samo izvođenje procesa ostvaruje se na horizontalnim hidrauličnim presama uz korišćenje specijalnih alata.
- Proces se izvodi tako što se zagrijan pripremak postavlja u recipijent da bi se zatim na određen način istiskivao kroz otvor matrice.
- U zavisnosti od geometrije elemenata alata dobijaju se profili, šipke ili cijevi.



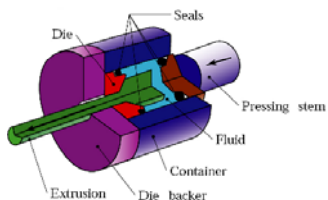
Toplo istiskivanje punih profila (lijevo) i cijevi (desno)

2.2 TOPLO ISTISKIVANJE PROFILA, ŠIPKI I CIJEVI



Presu za toplo istiskivanje šipki, profila i cijevi

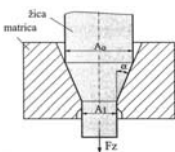
2.3 Hidrostatička ekstruzija (Hydrostatic Extrusion)



- Opseg prečnika žice ide od 0,001 do 9 mm.

3. VUČENJE ŽICE (Wire Drawing)

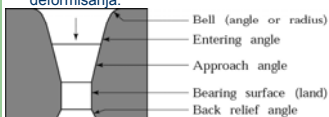
- Proces izrade žice poznat je pod nazivom vučenje i obavlja se u hladnom stanju.
- Pod žicom se (u smislu sekundarne obrade plastičnim oblikovanjem) smatra proizvod prečnika do 9 mm.
- Iznad tog prečnika smatra se da je proizvod primarne metalurške obrade deformisanjem u željezarama.
- Opseg prečnika žice ide od 0,001 do 9 mm.
- Uočava se da je osnovna geometrija oblikovanja identična geometriji pri istosmjernom istiskivanju punih komada.
- Razlika je u načinu djelovanja deformacione sile.



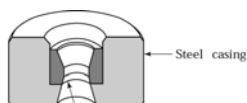
Princip vučenja žice

3. VUČENJE ŽICE (Wire Drawing)

Kod istiskivanja sila djeluje na ulazu i ima pritiski karakter dok kod vučenja djeluje na izlazu i ima zatežući karakter što je nepovoljniji slučaj sa aspekta deformisanja.



Profil matrice za vučenje žice



Tungsten - carbide insert (mib)

3. VUČENJE ŽICE (Wire Drawing)

$$F_{vuč} = F_{id} + F_{tkm} + F_{utr}$$

- $F_{vuč}$ – ukupna sila vučenja žice,
- F_{id} – idealna sila (bez trenja i drugih otpora),
- F_{tkm} – sila trenja u konusnom delu matrice,
- F_{utr} – sila unutrašnjeg trenja.

Konačan izraz za silu vučenja:

$$F_{vuč} = A_1 \bar{K} \cdot \varphi \left(1 + \frac{\mu}{\alpha} + \frac{2}{3} \frac{\alpha}{\varphi} \right)$$

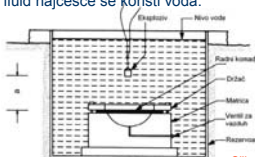
4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA

- To su postupci koji iz različitih razloga (složenost procesa, posebni zahtjevi, visoka cijena itd.) nemaju široku rasprostranjenost,
- Nego su ograničeni na primjenu u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji u specifičnim industrijama (vojna, vazduhoplovna, svemirska itd.),
- najčešće pri deformisanju teže obradivih materijala.
- Ubrajaju se:
 - Oblikovanje eksplozivnim dejstvom
 - Elektrohidraulično oblikovanje
 - Elektromagnetno oblikovanje
 - Oblikovanje lokalnim udarnim dejstvom (Peen Forming)
 - Ultrazvučno oblikovanje
 - Superplastično oblikovanje
 - Thixo – deformisanje (Thixo-forming)

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA

4.1 Oblikovanje eksplozivnim dejstvom

- Spada u visoko brzinska oblikovanja.
- Najčešći način oblikovanja eksplozijom je prema sl.
- Alat je smješten u rezervoaru (bazenu) sa vodom. Ima matricu (iz koje mora da se izvuče vazduh prije obrade) i držač. Oblikuje se lim.
- Veoma je bitno rastojanje eksploziva od polaznog komada (mjera a, na sl.).
- Kao radni fluid najčešće se koristi voda.



Slika: Oblikovanje eksplozivnim dejstvom

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA
4.1 Oblikovanje eksplozivnim dejstvom

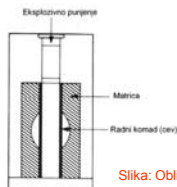
- Brzina udarnog talasa poslije detonacije je oko 6700 m/s
- Konkretna brzina deformisanja je obično 30 do 200 m/s.
- Eksplozivnim dejstvom se najčešće oblikuju limovi od raznih materijala.
- Deformabilnost materijala i bezbjednost u radu su jedina ograničenja postupka.
- Maksimalni pritisak udarnog talasa može da se izračuna prema izrazu:

$$p = K \left(\frac{\sqrt{M}}{a} \right)^m$$

gdje je: M – masa eksploziva, K – konstanta zavisna od vrste eksploziva, m – empirijska konstanta i a – rastojanje od komada za oblikovanje do eksploziva.

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA
4.1 Oblikovanje eksplozivnim dejstvom

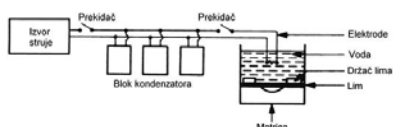
- Eksplozivom mogu da se oblikuju i cijevi.
- Npr. postupkom na sl. mogu se oblikovati debelozidne cijevi sa debljinom zida iznad 25 mm, pri čemu treba voditi računa o napreznjima dvodjelne matrice.



Slika: Oblikovanje cijevi eksplozivnim punjenjem

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA
4.2 Elektrohidraulično oblikovanje

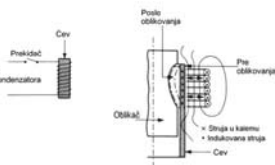
- Poznato je kao oblikovanje električnim pražnjenjem ili podvodnim električnim lukom.
- U principu je slično oblikovanju eksplozijom.
- Uzrok udarnog talasa je električni luk, a oslobođena energija manja.
- Blokovi kondenzatora pune se iz izvora jednosmjerne struje.
- Brzim pražnjenjem između elektroda dobija se luk.
- Dok u radnom fluidu (vodi) udarni talas, koji oblikuje komad saglasno geometriji alata.



Slika: Oblikovanje električnim pražnjenjem

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA
4.3 Elektromagnetno oblikovanje

- Pri ovom oblikovanju, energija akumulirana u blokovima kondenzatora brzo se prazni kroz namotaje elektromagnetnog kalema.
- Kalem je prstenastog oblika i obuhvata radni komad u vidu cijevi. Unutar cijevi je oblikač.
- Djelovanjem formiranog snažnog magnetnog polja u zidu radnog komada indukuju se struje koje imaju svoje magnetno polje.
- Rezultanta magnetnog polja kalema i magnetnog polja radnog komada je deformaciona sila koja sažima radni komad prilagodavajući ga obliku oblikača.



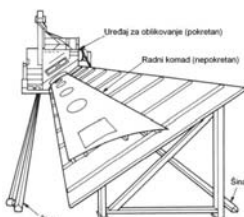
Slika: Elektromagnetno oblikovanje

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA
4.4 Oblikovanje lokalnim udarnim dejstvom (Peen Forming)

- Koristi se za dobijanje komada sa odgovarajućim krivim površinama od različitih vrsta limova.
- Na pojedine zone površine komada djeluje se udarno, snopom kuglica (najčešće) od livenog gvožđa, čelika, keramike ili drugih materijala.
- Brzina udara je iznad 60 m/s za čelične kuglice prečnika 2,5 mm pri oblikovanju avionskog krila dužine 25 m.
- U zoni udara materijal se sabija, odnosno pojavljuju se pritiski zaostali naponi.
- To uzrokuje zakrivljenje lima uz povoljan efekat otpornosti prema dinamičkom opterećenju koje je posebno važno za letjelice.
- Ova tehnika se često koristi samo u svrhu poboljšanja čvrstoće i dinamičke izdržljivosti različitih dijelova dobijenih npr. savijanjem ili drugim tehnologijama (npr. skidanje strugotine).
- Peen forming-om se najčešće oblikuju zahtjevni dijelovi velikih dimenzija u avio industriji.

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA
4.4 Oblikovanje lokalnim udarnim dejstvom (Peen Forming)

- Radni komad je nepokretan (učvršćen na platformi),
- Uređaj za udarno djelovanje snopom kuglica se kreće po odgovarajućim vodičama (šinama).



Slika: Oblikovanje panela od lima udarnim dejstvom snopa kuglica

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA

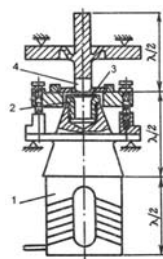
4.5 Ultrazvučno oblikovanje

- Princip oblikovanja pomoću ultrazvuka sastoji se u tome da se neki od radnih elemenata alata, najčešće pri obradi lima, dovede u stanje oscilovanja (vibriranja) sa frekvencijama koje su u ultrazvučnom opsegu (otuda naziv) i sa amplitudama reda mikrometra.
- Ultrazvučne vibracije mogu da traju tokom cijelog procesa oblikovanja ili samo u pojedinim fazama.
- Ljudski slušni sistem je u stanju da osjeti elastična oscilovanja (zvuk) u rasponu frekvencija od oko 16 Hz pa do oko 16 000 Hz (1 Hz se odnosi na jednu oscilaciju u sekundi).
- Svako oscilovanje sa frekvencijom iznad 16 kHz (sve do oko 10 GHz) predstavlja ultrazvučno oscilovanje.
- Sa aspekta plastičnog oblikovanja, primjenjuju se oscilovanja sa frekvencijama iznad 20 kHz sa amplitudama oko 10 μm .

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA

4.5 Ultrazvučno oblikovanje

- Primjer principa dubokog izvlačenja pri kome matrica (2) osciluje u ultrazvučnom opsegu zahvaljujući dejstvu uređaja 1.
- Sa 3 je označen radni komad, a 4 je izvlakač.
- Uz pomoć ultrazvučnih vibracija postižu se sledeći efekti:
 - veći stepen izvlačenja u prvoj i drugoj operaciji (iznad 25% u odnosu na klasično), što,
 - omogućava oblikovanje teže obradivih materijala,
 - bolja raspodela deformacija na komadu,
 - smanjenje deformacione sile izvlačenja (i do 30% u odnosu na klasično izvlačenje),
 - povoljan uticaj na strukturu i kvalitet površine radnog komada.



Slika:
Shema dubokog izvlačenja pomoću ultrazvučnih vibracija matrice

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA

4.6 Superplastično oblikovanje

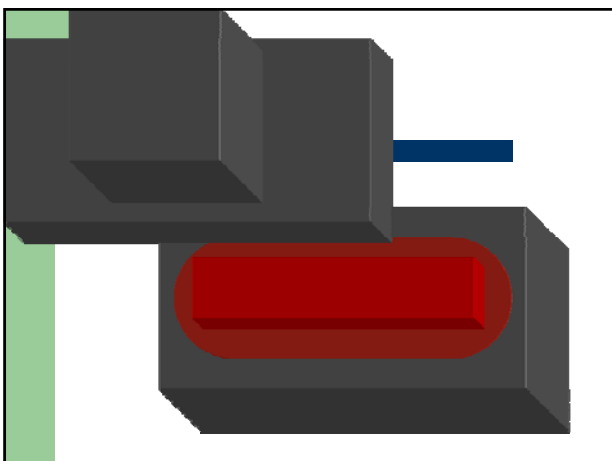
- Superplastično ponašanje pokazuju pojedine legure (na pr. ZnAl22 i TiAl6V4) sa vrlo finom strukturom (veličina zrna manja od 10 do 15 μm) u odgovarajućem temperaturnom opsegu i pri malim brzinama deformacije (10-4 do 10-2 s-1).
- Tada se postižu vrlo velike deformacije (iznad 2000 %).
- Prednosti superplastičnog oblikovanja:
 - jednostavniji alati od materijala manje čvrstoće,
 - dobijanje složenih geometrija sa finim detaljima u samo jednoj operaciji,
 - velika ušteda materijala,
 - nema zaostalih napona (ili su zanemarljivi).

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA
4.7 Thixo – deformisanje (thixo-forming)

- Thixo deformisanje predstavlja plastično oblikovanje (najčešće masivno) materijala zagrijanog na odgovarajuću temperaturu.
- Praktično, struktura sadrži tečnu i čvrstu fazu i veoma je plastična (liči na maslac odnosno buter).
- Materijali pogodni za ovakvo oblikovanje su još uvijek malobrojni.
- To su najčešće legure aluminijuma (AlMgSi1, AlSi7Mg itd.) dobijene specijalnim metodama (livenje u magnetnom polju i druge) sa vrlo finom globularnom strukturom.

4. SPECIFIČNI POSTUPCI OBLIKOVANJA
4.7 Thixo – deformisanje (thixo-forming)

- Sam proces oblikovanja može da se vrši sabijanjem, istiskivanjem, kovanjem i livenjem.
- Alati u geometrijskom smislu odgovaraju klasičnim, s tim što se obično zahtijeva njihovo zagrijavanje tokom procesa oblikovanja.
- Mašine treba da obezbijede vrlo tačno vođenje i veliku brzinu pritiskivača (i do 3 m/s).
- To su obično specijalne servo-hidraulične prese.
- Kad je reč o livenju to su mašine za livenje pod pritiskom.
- Thixo deformisanje se najčešće upoređuje sa kovanjem i livenjem
- kombinuje jednu i drugu tehnologiju, odnosno
- thixo-deformisanje se uglavnom, izvodi kao kovačka operacija u alatima za završno kovanje ili kao livačka operacija u alatima za livenje pod pritiskom.



OBRADA DEFORMISANJEM
- XII predavanje -

v. as. mr. Ibrahim Plančić

SADRŽAJ XI:

1. UVOD
2. SLOBODNO KOVANJE
3. KOVANJE U KALUPIMA
 - 3.1 Kovanje u tzv. otvorenim kalupima
4. ODREĐIVANJE PARAMETARA ZA IZBOR MAŠINA PRI KOVANJU U KALUPIMA
5. OSNOVNI REDOSLJED TEHNOLOŠKIH OPERACIJA PRI KOVANJU
6. SPECIJALNI POSTUPCI KOVANJA
 - 6.1 Orbitalno kovanje
 - 6.2 Horizontalne kovačke mašine

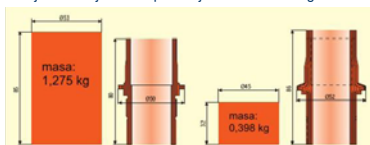
PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU
1. UVOD

- Kovanje je masivno (zapreminsko) oblikovanje metala između dva kalupa (alata)
- Zagrijavanje se izvodi u cilju smanjenja deformacionog otpora.
- Zagrijavanje je iznad temperature rekristalizacije.
- Istorijski posmatrano, kovanje je najstariji način plastičnog deformisanja metala.
- arheološki nalazi sežu do 5000 g. P.H
- Kovanje se izvodi na kovačkim presama i kovačkim čekićima u kovačkim alatima (kalupima).

PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

1. UVOD

- U odnosu na druge tehnologije prerade metala (van oblasti plastičnog deformisanja) kovanje nema konkurenciju
 - u pogledu mehaničkih i strukturnih osobina materijala (neprekidna vlaknasta struktura) i
 - u pogledu ekonomičnog korišćenja materijala.
- Dijelovi dobijeni kovanjem su superiorniji u odnosu na druge tehnologije.



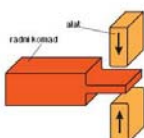
Polazni komad i tok vlakana poslije obrade sa skidanjem strugotine

Polazni komad i tok vlakana poslije kovanja

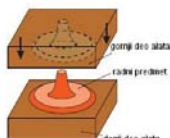
PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

1. UVOD

- U tehničkom smislu razlikuju se dva vida kovanja:
 - a) slobodno kovanje i
 - b) kovanje u alatima (kalupima)



Slobodno kovanje



Kovanje u kalupu

PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

2. SLOBODNO KOVANJE

- Obavlja se na kovačkim mašinama uz pomoć univerzalnog jednostavnog alata (najčešće višestrukim ponavljanjem operacije sabijanja između ravnih površina).
- Primjenjuje se u pojedinačnoj i maloserijskoj proizvodnji.
- Koristi se i kao pripremno kovanje za operacije kovanja u kalupima.
- Ovo je jedina tehnologija obrade dijelova veoma velikih dimenzija (vratila velikih brodskih motora, vratila propelera velikih brodova, opterećeni dijelovi velikih mašina u željezarama itd.).
- Osnovne operacije ovog postupka su:
 - **sabijanje** (redukcija visine); **iskivanje i raskivanje** (smanjenje veličine poprečnog presjeka, odnosno debljine materijala); **probijanje** (utiskivanje u obradak odgovarajućeg alata i oblikovanje slijepa rupe. Okretanjem obratka, slijepa rupa se probija); **zasijecanje; savijanje.**

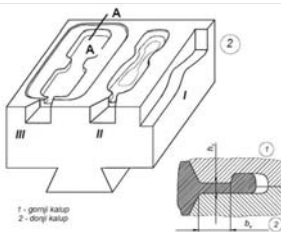
**PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U
TOPLOM STANJU**
2. SLOBODNO KOVANJE



Slobodno kovanje na hidro-presi sa manipulatorom

**PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U
TOPLOM STANJU**
3. KOVANJE U KALUPIMA

- Obavlja se u dvodjelnim alatima – kalupima.
- Donji dio alata (donji kalup) po pravilu je nepokretan i učvršćen za postolje kovačke mašine – kovačkog čekića ili prese.
- U kalupima se izrađuje šupljina (tzv. gravura) koja potpuno odgovara otkovku po obliku i dimenzijama.
- Geometrije otkovaka mogu da budu veoma različite (od relativno jednostavnih do vrlo složenih).
- Veličine otkovaka ograničavaju jedino dimenzije alata, odnosno mašine.
- Kuju se najčešće čelici, ali to mogu da budu i obojeni metali i njihove legure.



Donji kalup alata za kovanje na čekiću (lijevo) i detalj vijenca (desno)

**PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U
TOPLOM STANJU**
3. KOVANJE U KALUPIMA

- Kod kovanja na kovačkim čekićima koristi se dinamičko – udarno dejstvo padajućih masa (bata ili malja sa gornjim kalupom) brzinom koja je često iznad 10 m/s.
- Zbog inercijalnih sila bolje je popunjavanje gravure gornjeg kalupa (može da bude složenija).
- Sve gravure su smještene u dva monolitna bloka (gornjem i donjem kalupu).
- U svakoj gravuri obrada se vrši iz nekoliko (3-5) udaraca, pri čemu u završnoj fazi dolazi do sudara gornjeg i donjeg kalupa.

PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

3. KOVANJE U KALUPIMA



Izgled elektro-hidrauličnog čekića sa nominalnom energijom kovanja od 25 kJ u radu



Izgled kovačkih čekića sa elektro-hidrauličkim pogonom

PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

3. KOVANJE U KALUPIMA

- Kovanje na **mehaničkim krivajnim kovačkim presama** (najčešće se koriste)
 - je mirnije (brzina obično **do 0,5 m/s**),
 - gravure se bolje popunjavaju u horizontalnim ravnima, a
 - kovanje se u svakoj gravuri završava u samo jednom hodu.
- Ne dozvoljava se kontakt gornjeg i donjeg kalupa (precizno se definiše konstantan iznos hoda pritiskivača prese).
- Svaka gravura ima odvojen kalup.
- U najvećem broju slučajeva konačni oblik otkovka se formira postupno. Oblikovanje završnog oblika u samo jednoj operaciji izvedivo je samo u jednostavnim slučajevima, a to je vrlo rijetko.
- Zbog toga postoje tzv. **pripremne, prethodne i završne gravure** (samo završne gravure imaju vijenac).

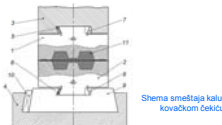
PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

3. KOVANJE U KALUPIMA

- Gravure se izrađuju u monolitnim blokovima (kovanje na čekiću) ili u posebnim blokovima (kovanje na presi).



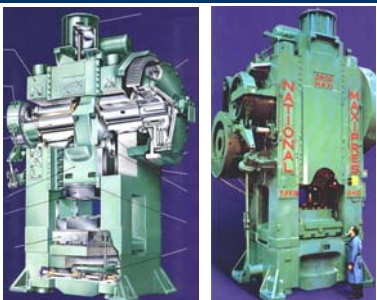
Shema smeštaja kalupa na kovačkoj presi



Shema smeštaja kalupa na kovačkom čekiću

- Zagrijavanje polaznih komada vrši se u plamenim pećima (gasne, na tečna goriva) ili u električnim pećima (najčešće elektro-indukcione).
- Drugi način zagrijavanja je skoro obavezan za kovanje na presama pošto se u prvoj operaciji kovanja zbog neudarnog dejstva mašine ne može skinuti oksidna kora (sagorjeli površinski sloj, **njem. Zunder/cunder**) koji nastaje pri zagrijavanju u plamenim pećima.

PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU
3. KOVANJE U KALUPIMA

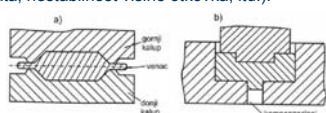


Shema mehaničke kivižne kovačke prese sa nominalnom silom od 25 MN

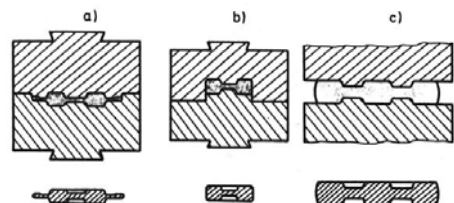
Spoljašnji izgled prese

PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU
3. KOVANJE U KALUPIMA

- Postoje dva principijelno različita načina kovanja u kalupima
 - a) kovanje u tzv. otvorenim alatima ili kovanje sa vijencem,
 - b) kovanje u tzv. zatvorenim alatima ili kovanje bez vijenca.
- Postupak pod a) preovlađuje u praksi (preko 90%) i podrazumjeva višak materijala pri kovanju u odnosu na čistu zapreminu otkovka (vijenac, pločica itd.).
- Pri kovanju u zatvorenim alatima (b) je teže jer nosi niz problema (trajnost alata, nestabilnost visine otkovka, itd.).



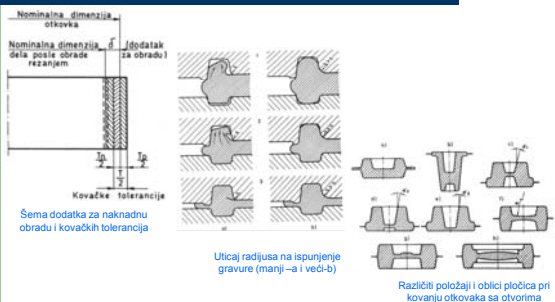
PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU
3. KOVANJE U KALUPIMA



Kovanje u otvorenom alatu sa vijencem (a), zatvorenom alatu (b) i otvorenom alatu bez vijenca (c) (rijetko se koristi)

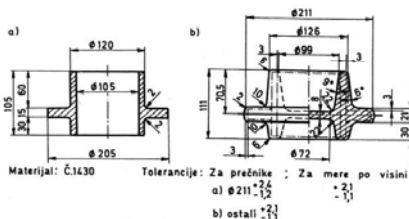
PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

3.1 Kovanje u tzv. otvorenim kalupima



PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

3.1 Kovanje u tzv. otvorenim kalupima

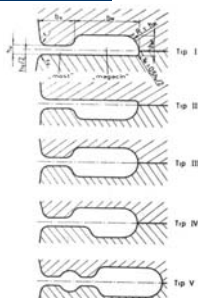


Dio spreman za ugradnju (lijevo-a) i geometrija otkovka (desno-b)

PLASTIČNO DEFORMISANJE KOVANJEM U TOPLOM STANJU

3.1 Kovanje u tzv. otvorenim kalupima

- Vijenac ima suštinski značaj i njegova uloga obuhvata:
 - prima višak materijala,
 - stvara potreban otpor bočnom isticanju i omogućava potpuno ispunjavanje gravure,
 - pri kovanju na čekićima ublažava direktan sudar gornjeg i donjeg kalupa.



4. ODREĐIVANJE PARAMETARA ZA IZBOR MAŠINA PRI KOVANJU U KALUPIMA

Završno kovanje na kovačkim čekićima

- Izraz za masu padajućih dijelova čekića pri kovanju otkovaka koji imaju kružnu projekciju u podionoj ravni (prečnika **D, cm**):

$$m = (1 - 0,005 \cdot D) \left(1,1 + \frac{20}{D} \right)^2 (0,75 + 0,001 \cdot D^2) \cdot D \cdot R_{M(0)}, \text{ kg}; \quad D, \text{ cm}; \quad R_{M(0)}, \text{ MPa}$$

- Korekcija, ukoliko je projekcija otkovka neokruglog oblika sa maksimalnom dužinom **L** i srednjom širinom **B_{sr}**:

$$m_a = m \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L}{B_{sr}}} \right), \text{ kg}$$

m masa padajućih dijelova za okrugle komade pri čemu je **D_r** = D računski (fiktivni) prečnik i određuje se kao: **D_r** = 1,13 √**A**, cm; **A** je stvarna površina projekcije neokruglog otkovka u podionoj ravni,

$$B_{sr} = \frac{A}{L}$$

4. ODREĐIVANJE PARAMETARA ZA IZBOR MAŠINA PRI KOVANJU U KALUPIMA

Završno kovanje na kovačkim presama

- Izraz za mjerodavni parametar silu kovanja (okrugli otkovci) :

$$F = 8(1 - 0,001 \cdot D) \left(1,1 + \frac{20}{D} \right)^2 \cdot A \cdot R_{M(0)}, \text{ N}; \quad D, \text{ mm}; \quad A, \text{ mm}^2; \quad R_{M(0)}, \text{ MPa}$$

- Za neokrugle otkovke:

$$F = 8(1 - 0,001 \cdot D_r) \left(1,1 + \frac{20}{D_r} \right)^2 \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L}{B_{sr}}} \right) \cdot A \cdot R_{M(0)}, \text{ N}; \quad D_r, \text{ mm}; \quad A, \text{ mm}^2; \quad R_{M(0)}, \text{ MPa}$$

$$D_r = 1,13 \sqrt{A} \quad B_{sr} = \frac{A}{L}$$

Značenje svih veličina je isto kao i kod kovanja na čekiću, s tim što treba obratiti pažnju da se ovdje prečnik **D** izražava u **mm**.

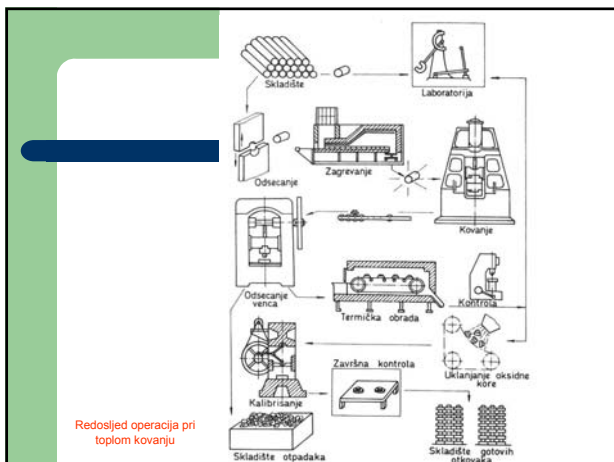
4. ODREĐIVANJE PARAMETARA ZA IZBOR MAŠINA PRI KOVANJU U KALUPIMA

Nominalna masa padajućih delova čekića (u 000 kg)	Maksimalna masa otkovka (kg)
1	do 2,5
2	2,5-7
3	7-17
4	17-30
6	30-50
8	50-80
10	80-100
12	100-180
15	180-360
20	360-700

Masa padajućih dijelova čekića u funkciji mase otkovka

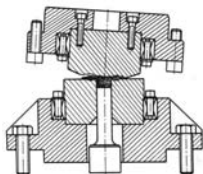
5. OSNOVNI REDOSLJED TEHNOLOŠKIH OPERACIJA PRI KOVANJU

- Redosljed neophodnih operacija od kojih pojedine nisu vezane za plastično oblikovanje, ali se smatraju operacijama u sklopu ukupnog tehnološkog procesa dobijanja otkovka:
 - odsjecanje polaznog materijala odgovarajućeg oblika sa tačnim dimenzijama ili masom (zavisno od potrebne zapremine),
 - zagrijavanje komada (odgovarajući režim i temperatura zavise od vrste materijala),
 - kovanje u jednom ili više alata, sa odgovarajućim brojem gravura,
 - krzanje (opsjecanje vijenca i probijanje pločice, ako postoji),
 - termička obrada (normalizacija, poboljšanje, žarenje itd.),
 - čišćenje otkovka (pjeskarenje, bubnjanje itd.),
 - kalibrisanje i ispravljanje (u hladnom stanju),
 - kontrola oblika, dimenzija, površina i unutrašnjih grešaka (ferofluks, ultrazvučni uređaji i radiografsko snimanje).



6. SPECIJALNI POSTUPCI KOVANJA 6.1 Orbitalno kovanje

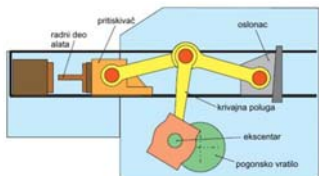
- To je postupak za kovanje osnosimetričnih otkovaka po principu parcijalnog zahvata između alata i otkovka.
- Gornji dio mašine je nagnut pod odgovarajućim uglom i u takvom položaju rotira oko vertikalne ose komada.
- Istovremeno on vibrira sa velikom učestanošću (i oko 1000 puta u min).



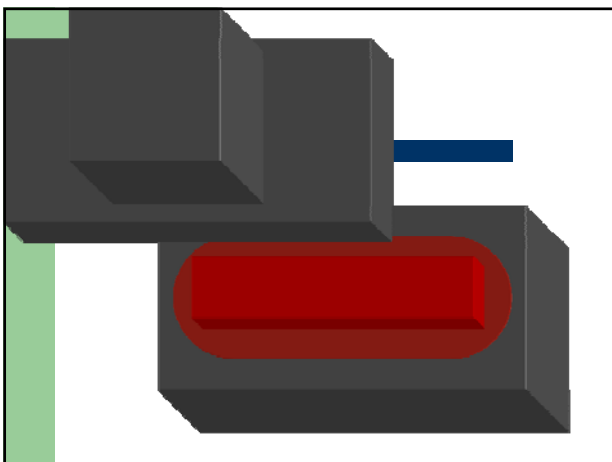
Šema orbitalnog kovanja

6. SPECIJALNI POSTUPCI KOVANJA
6.2 Horizontalne kovačke mašine

- Na ovim mašinama najčešće se dobijaju tzv. pečurkasti oblici (šipkasti komadi sa proširenjima na kraju).
- Pogodne su za automatizaciju procesa.




Šema horizontalne kovačke mašine




UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI


**PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE I ALATA ZA IZRADU
 PRIRUBNICE PREMA ZADATOM CRTEŽU**

- Završni rad -


UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI


SADRŽAJ:

- > UVOD
- > OBRADA METALA DEFORMISANJEM
- > OSNOVNI PODACI O PROIZVODU
- > IZBOR OPTIMALNE VARIJENTE IZRADE ZADANE PRIRUBNICE U TVORNICI OTKOVAKA I KOVANOG ALATA "ČELIK" D.O.O. KREŠEVO
- > PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE PRIRUBNICE
- > ZAKLJUČAK


UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI


UVOD

Ovim završnim radom je razrađeno projektovanje tehnologije i alata za izradu prirubnice prema zadatom crtežu ukovnim kovanjem na kovačkim čekićima u tvornici otkovaka i kovanog alata „Čelik“ d.o.o. Kreševo.

U skladu sa zadatkom, rad je podjeljen na dvije cjeline i to:

- **TEORIJSKI DIO**
- **PRAKTIČNI DIO.**

U teoretskom dijelu je obrađena problematika koja obuhvata:

- specifičnost obrade metala plastičnim deformisanjem,
- značaj i prednost obrade metala plastičnim deformisanjem,
- specifičnost tehnologija slobodnog i ukovnog kovanja i
- prednost i nedostaci ukovnog kovanja na kovačkim čekićima.

U drugom praktičnom dijelu je izvršen:

- opis zadatog dijela,
- izvršena konstrukcija otkovka
- projektovana tehnologija i konstrusani alati za kovanje, krzanje vijenca i probijanje pločice.

UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI

TEORIJSKI DIO

OBRADA METALA PLASTIČNIM DEFORMISANJEM

Pod obradom metala deformisanjem podrazumijevaju se one metode obrade pri kojima se metalu daje željeni oblik i dimenzije plastičnim deformisanjem ili odvajanjem. Metode obrade metala deformisanjem su mnogobrojne i one nalaze najširu primjenu u metalnim industrijama.

Cilj ovog načina prerade je da se sa najmanje mogućim otpatkom materijala i sa najmanjim brojem radnih operacija dobiju komadi u konačnom obliku, tako da se isti uz minimalnu doradu sa skidanjem strugotine ili bez nje, mogu neposredno upotrijebiti ili ugraditi u odgovarajući sklop, kao sastavni element istog.

Da bi se materijal mogao prerađivati potrebno ga je dovesti u stanje plastičnog tečenja, što znači da ga treba opteretiti iznad granice elastičnosti.

UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI

U literaturi postoje različiti načini podjele postupaka obradom deformisanjem. Osnovnom se može smatrati na postupke zapreminskog deformisanja i postupke prerade limova.

Limovi se plastičnim deformisanjem prerađuju sljedećim procesima:

- savijanjem
- dubokim izvlačenjem i
- raznim plastičnim oblikovanjem.

Zapreminskim deformisanjem tijela se prerađuju sljedećim procesima:

- presovanjem
- istiskivanjem i
- kovanjem

UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI

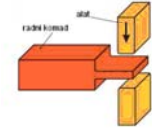
Obrada metala kovanjem

Razlikuju se dva načina kovanja:

- slobodno kovanje,
- ukovno kovanje.

Slobodno kovanje

Obavlja se na kovačkim mašinama uz pomoć univerzalnog jednostavnog alata. Pod udarcima malja ili pod pritiskom pritiskivača metal slobodno teče (ometan samo trenjem na pritisnutim površinama), od centra otkovka na sve strane.



Slika 1. Primjer slobodnog kovanja

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Ukovno kovanje

Ukovno kovanje je proces kod kojeg metal, pod dejstvom udara malja kovačkog čekića, ili neke druge mašine za kovanje ispunjavaju profilisani prostor izrađen u kovačkom alatu (ukovnju) kako je prikazano na slici 2.

Slika 2. Primjer ukovnog kovanja

U poređenju sa slobodnim kovanjem ukovno kovanje ima niz prednosti, kao što su:

- visoka proizvodnost;
- tačna izrada;
- dobar kvalitet površine;
- mogućnost dobivanja otkovaka složenog oblika.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Nedostaci ove vrste kovanja su u tome što se mogu izrađivati samo otkovci male težine, a zbog potrebe za specijalnim alatima.

Ukovno kovanje otkovaka na kovačkim čekićima

Vrste kovačkih čekića i otkovaka, koji se kuju na njima

Kovački čekići imaju najširu primjenu u tehnologiji vrućeg kovanja u ukovnjima. Za kovanje u ukovnjima se primjenjuju čekići prostog i dvostrukog dejstva kao i protudarni čekići. Najveću primjenu imaju parovazdušni čekići dvostrukog dejstva, ovi čekići se grade sa težinom padajućih dijelova od 0,5 do 16 tona.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Schema parovazdušnog čekića dvostrukog dejstva je prikazana na slici 3.

Slika 3. Shema parovazdušnog čekića dvostrukog dejstva

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Kod iste težine padajućih dijelova čekići prostog dejstva imaju energiju udara za 35 - 40 % manju od energije udara čekića dvostrukog dejstva.

Shema frikcionog čekića sa daskom prostog dejstva je prikazana na slici 4.

Slika 4. Shema frikcionog čekića sa daskom prostog dejstva za ukovno kovanje

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Protuudarni čekići nemaju nakovnja. Shema protuudarnog čekića je prikazan na slici 5.

Ovakvi čekići se grade sa energijom udara od 40 000 do 100 000 kg m i više, što je ekvivalentno energiji parovazdušnog čekića dvostrukog dejstva, sa težinom padajućih dijelova od 16 do 40 tona i više.

Slika 5. Shema protuudarnog čekića

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Otkovci koji dolaze u obzir za kovanje na kovačkim čekićima mogu se na osnovu njihovog oblika, konfiguracije i odnosa dimenzija svrstati u tri osnovne grupe.

Podgrupe	I - a Karakteristika	GRUPA TIPOVI OTKOVAKA		
		A	B	C
1	Otkovci sa pravom padnom linijom i pravom glavnom osom. Dužina otkovca je veća od širine: $L > l$			
2	Otkovci sa ukrivljenom osom, kod kojih je deo glavna osa (tip A), ili koja sastoji (tip B) krmice.			
3	Otkovci sa izobličeno i jednostrano smještenim anamnim odnosevanima. Glavna osa je ukrivljena.			
4	Otkovci višestrukog oblika, koji se na jednom kraju radeva.			

Slika 6. Podjela otkovaka I grupe po A. Mansurovu

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Prirubnica	II - a	G R U P A		
		TIPOVI OTKOVAKA		
Karakteristika	A	B	C	
1. Razni otkovci okruglog poprečnog presjeka tipa: čaura, prstena, zapčasnica, okruglih prirubnica i sl.				
2. Otkovci kvadratnog presjeka tipa: kvadratnih prirubnica, kvadrata, poluplošaca i ostalih sličnih oblika (I-a)				
3. Otkovci irastastog oblika, otkovci okruglog i kvadratnog presjeka, sa različitim smjerskim izdancima (c)				

Slika 7. Podjela otkovaka II grupe po A. Mansurovu

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Prirubnica	III - a	G R U P A		
		TIPOVI OTKOVAKA		
Karakteristika	A	B	C	
1. Otkovci, koji se prema obliku i dimenzijama odnose najviše između otkovaka prve i druge grupe.				
2. Otkovci, koji se sastoje iz kombinacije elemenata raznih oblika prethodnih grupa i podgrupa.				
3. Ovi otkovci se rade kombiniranim procesima. Na primjer: na čeličnu i presliću na čeličnu i nerđajući legovačij masini i sl.				

Slika 8. Podjela otkovaka III grupe po A. Mansurovu

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

PRAKTIČNI DIO
PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE ZADANE PRIRUBNICE

OSNOVNI PODACI O PROIZVODU

Proizvod je prirubnica, predviđena za serijsku proizvodnju. Dimenzije prirubnice date su na crtežu br. MF-ZR-KK-01 koji se nalazi u prilogu br. 1, a na slici 9 predstavljen je njen 3D model urađen primjenom softvera CATIA V5.

Slika 9. Izgled modela prirubnice modelirane u programu CATIA V5

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Materijal od kojeg je izrađena prirubnica je čelik, kvaliteta Č.1531, što predstavlja ugljenični čelik za poboljšanje s povećanim sadržajem ugljika.
Zadana prirubnica se koristi za ugradnju na poljoprivredne mašine kao što su kombajni, traktori, kao i na mašine za čišćenje snijega.
Funkcija prirubnice je kao i kod ostalih vrsta prirubnica da prenese obrtno kretanje sa jedne osovine na drugu, posebno ako su te osovine osno ili ugaono pomjerene jedna u odnosu na drugu.



Slika 9. Izgled modela prirubnice modelirane u programu CATIA V5

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

2. IZBOR OPTIMALNE VARIJANTE IZRADE ZADANE PRIRUBNICE U TVORNICI OTKOVAKA I KOVANOG ALATA „ČELIK“ D.O.O. KREŠEVO

Ovakav mašinski dio moguće izraditi na tri načina u tvornici otkovaka i kovanog alata „Čelik“ d.o.o. Kreševo i to:

- Obradom sa skidanjem strugotine,
- Obradom bez skidanja strugotine (deformisanjem – ukovnim kovanjem),
- Kombinacijom ova dva postupka.

Pri izboru odgovarajućeg postupka obrade za proizvodnju određenog dijela, osnovni uslov od kojeg se polazi je što niža cijena koštanja.

U skladu sa tim, potrebno se opredijeliti za onaj postupak koji će omogućiti da se sa najmanjim mogućim otpatkom materijala i sa što manjim brojem radnih operacija, dobije proizvod željenih dimenzija i kvaliteta obrade.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Izbor optimalne varijante za izradu prirubnice

Svojem oblikom i dimenzijama zadata prirubnica predstavlja proizvod koji se ne može izraditi samo jednim postupkom, a da bi ona bila optimalna.

Na osnovu razmatranja, te imajući u vidu veličinu serije, može se zaključiti da će cijena koštanja proizvodnje zadate prirubnice biti najmanja ukoliko se za njenu izradu primjeni **kombinovani postupak** obrade sa skidanjem strugotine i obrada deformisanjem.

Na osnovu izloženog, a u suglasnosti sa kupcem prirubnica će se samo dijelom raditi u tvornici otkovaka i kovanog alata „Čelik“ Kreševo, tačnije usvojeno je da se u tvornici otkovaka i kovanog alata „Čelik“ Kreševo vrši izrada otkovka prirubnice određenih dimenzija sa kvalitetom površina koji se može postići ovom tehnologijom, a da će kupci izvršiti završnu obradu tj. obradu skidanjem strugotine na strojevima koje oni posjeduju za ovaj tip proizvodnje.

U skladu sa navedenim, daljnji tok izrade ovog završnog rada bazirat će se na izradi tehnološkog postupka za izradu prirubnice ukovnim kovanjem.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZRADE ZADANE PRIRUBNICE

Zadana prirubnica, prema svom obliku (prema A. Mansurovu, slika 6) može se svrstati u drugu grupu otkovaka kod kovanja na kovačkim čekićima.

Razrada tehnologije ukovnog kovanja za otkovak prirubnice obuhvata:

- Konstrukcija crteža otkovka.
- Određivanje dimenzije i težine polaznog materijala (uloška).
- Određivanje potrebnog broja operacija kovanja i vrste kovačkih gravura.
- Potrebno je dati opis tehnološkog postupka izrade otkovka sa tehnološkom kartom proizvodnje počev od pripreme uloška do završne kontrole odnosno predaje otkovka naručiocu.
- Konstrukcija završne i gravure za krzanje vijenca.
- Proračun sile i odabir strojeva za kovanje i obrezivanje vijenca.
- Analiziranje ekoloških aspekata odabrane tehnologije.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

3.1 Konstrukcija crteža otkovka

Crtež otkovka se izrađuje na osnovu radioničkog crteža mašinskog dijela uzimajući u obzir:

1. Ravan podjele;
2. Dodatke za obradu;
3. Kovačke tolerancije;
4. Kovačke nagibe;
5. Radijuse zaobljenja;
6. Slijepa udubljenja;

Zbog složene konfiguracije prirubnice postoji niz elemenata koje ukovnim kovanjem nije moguće dobiti, već su oni predmet naknadne obrade. Analizirajući izgled i dimenzije pojedinih dijelova i unaprijed uzimajući u obzir potrebne dodatke za obradu, dolazi se do elemenata koji se pri definisanju konačnog oblika otkovka prirubnice mogu zanemariti.

Na slici 11. je data skica uproštenog oblika prirubnice koja služi za definisanje konačnog oblika i dimenzija otkovka prirubnice.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Slika 11. Pojednostavljeni oblik otkovka i prikaz ravani podjele

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

3.1.1. Ravan podjele

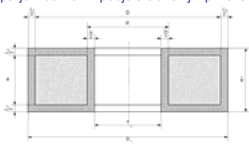
Položaj ravni podjele zavisi od više faktora, a prvenstveno od konfiguracije otkovka da bi se obezbjedilo osnovni zahtjev: nesmetano vađenje otkovka iz gravure ukovnja.

Za naš slučaj otkovak je složenijeg oblika, pa je izbor ravni podjele složeniji i prikazan je na slici 11. linijom crta tačka crta.

3.1.2. Dodaci za obradu

Je sloj materijala koji se skida naknadnom mašinskom obradom tj. obradom skidanjem strugotine.

Kovačke mjere određuju se na osnovu dimenzija obrađenog komada, po obrascu:



$D_k = D + \delta_D$, [mm]; $H_k = H + \delta_H$, [mm]; $d_k = d - \delta_d$, [mm]

D_1, d_1, H_1 [mm] - vanjski prečnik, unutrašnji prečnik i visina otkovka
 D_2, d_2, H_2 [mm] - vanjski prečnik, unutrašnji prečnik i visina obrađenog komada
 $\delta_{D_1}, \delta_{d_1}, \delta_{H_1}$ [mm] - dodaci za obradu

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Da bi se odredila vrijednost dodatka za naknadnu obradu tj. mašinsku obradu potrebno je odrediti težinu otkovka.

$$G_m = V_m \cdot \gamma$$

Za izradu crteža prirubnice korišten je program CATIA koji ima opciju računanja težine dijela koji se modelira u njemu, tako da bi se izbjeglo nepotrebno računanje preuzimam težinu gotovog dijela prirubnice iz spomenutog programa, a koja iznosi:

$$G_m = 2,64 [Kg]$$

Otkovak ćemo povećati za 25-30%, zbog predviđanja rubnog vijenaca i vrijednosti dodataka za obradu.

$$G_{otk} = 1,25 \cdot G_m = 1,25 \cdot 2,64 = 3,3 [Kg]$$

Na osnovu težine otkovka , a za I klasu tačnosti (serijska proizvodnja) i za pojedine dimenzije otkovka, biraju se dodaci za obradu.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Kovačke tolerancije

Prema standardu ГOCT 7505-55 dozvoljeno odstupanje iz nominalne mjere sastoji se iz dva dijela : gornjeg (x) i donjeg (y). $x = \Delta a + \Delta c$ i $y = \Delta b + \Delta c$

Ovdje Δa i Δb definišu zavisnost tolerancije od kvaliteta površine i težine otkovka.

$$D_k = (D + \delta_D)^{+x}$$
 za vanjske promjere otkovka,

$$H_k = (H + \delta_H)^{-y}$$
 za visine otkovka,

$$d_k = (d + \delta_d)^{-x}$$
 za unutrašnje promjere otkovka,

Za konkretan slučaju će biti:

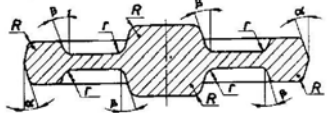
gornje odstupanje $x = \Delta a + \Delta c = 0,9 + 0,18 = 1,08$ [mm]
 donje odstupanje $y = \Delta b + \Delta c = 0,45 + 0,18 = 0,63$ [mm]
 za dimenziju $D_{it} = D_1 + \delta_{D_1} = 165 + 2,8 = 167,8$ [mm]
 $D_{it} = 167,8^{+1,08}$

Postupak je za sve ostale dimenzije isti, pa se radi preglednosti sve mjere sa pregledom dodataka i tolerancija daju tabelarno (tabela 1.)

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Kovački radijusi

Unutrašnji radijusi zaobljenja r i vanjski radijusi zaobljenja R (slika 14.) su vrlo važne veličine jer se njihovim povećanjem olakšava tečenje metala i bolje popunjavanje gravure.



Slika 14. Radijusi zaobljenja i kovački nagibi

$R=2$ [mm].
Na osnovu dobivene vrijednosti vanjskog radijusa R , unutrašnji radijus se izračuna :

$$r = 3 \cdot R + 0,5 = 3 \cdot 2 + 0,5 = 6,5 [mm]$$

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Slijepa udubljenja i pločice za probijanje

U primjeni je nekoliko vrsta pločica a koje su prikazane na slici 15.

Za konkretan slučaj izabrana je ravna pločica slika 15.-a



Slika 15. Tipovi pločica za probijanje

Debljina pločice za probijanje: $S=7$ [mm].
Radijusi zaobljenja pločice: $r_1=13$ [mm].

Hladne i vruće kote

Pri konstruisanju završne gravure neophodno je znati koeficijent linearnog širenja koji zavisi od vrste materijala otkovka i temperature kovanja.

- DV – vruće kote;
- DK – hladna kovačka kota;
- α_t – koeficijent linearnog širenja;
- n – faktor povećanja dimenzija, $n=1,0160$.

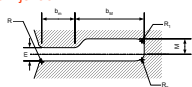
$$D_V = (1 + \alpha_t) \cdot D_K = n \cdot D_K [mm]$$

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

- Na osnovu kompletnog prethodnog proračuna izvršena je konstrukcija crteža otkovka prirubnice koji će sadržati sve parametre koji su potrebni za izradu zadane prirubnice ukovnim kovanjem.
- Crtež otkovka prirubnice broj MF-ZR-KK-02 dat je u prilogu br.2.
- U nastavku rada dat je način proračuna ostalih parametara neophodnog za izradu zadane prirubnice.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Konstrukcija kanala za vijenac



Slika 16. Kanal za vijenac Tip I

$m = 2; M = 4; R = 1,5; b_m = 12; b_M = 32; B_N = 4; A k_2 = 177; R_1 = 5; R_2 = 1,5.$

Određivanje dimenzija i težine polaznog materijala (uloška)

Dimenzije i težina polaznog priprema određuju se na osnovu zapremine otkovka i vijenca uvećanih za dodatni Δ za odgor tj.:

$$V_p = (V_G + V_v) \cdot (1 + \Delta) \text{ [mm}^3\text{]} \quad V_p = (0,42 + 0,053) \cdot (1 + 0,02) = 0,482 \text{ [dm}^3\text{]}$$

$$G_p = V_p \cdot \gamma = 3,79 \text{ [Kg]} \text{ - težina priprema}$$

Ako se sa $m=h_p/a_p$ označi odnos visine i promjera priprema ($m=1,5-2,8$) i ako se usvoji $m=1,5$ za kvadratni poprečni presjek.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

$$V_p = a_p \cdot h_p = m \cdot a_p^2 \Rightarrow a_p = \sqrt{\frac{V_p}{m}} = \sqrt{\frac{0,482}{1,5}} = 0,69 \text{ [dm]} = 69 \text{ [mm]}$$

Visina polaznog materijala je tada: $h_p = \frac{V_p}{A_p} = \frac{V_p}{a_p^2} = \frac{482000}{4900} = 98,4 \text{ [mm]}$

Usvaja se $a_p=70$ [mm] i $h_p=98$ [mm].

Znači pripremak je kvadratnog oblika dimenzija 70×70 [mm] i visine 98 [mm].

Pored ovog oblika priprema za kovanje priрубnice može biti i cilindričnog oblika osnove d_p i visine h_p .

Određivanje potrebnog broja operacija kovanja i vrste kovačkih gravura

Otkovak će se kovati u dvije operacije i to pripremno kovanje sabijanja i kovanje u završnoj gravuri.

Promjer sabijanja diska se računa: $d_1 = \frac{D_{max}}{C} = \frac{169,48}{1,15 \div 1,25} = (147 \div 136) \text{ [mm]}$

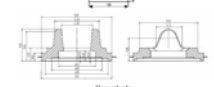
Usvaja se promjer sabijanja diska **$d_1=138$ [mm]**

Visina sabijanja diska je: **$h_1=25$ [mm]** $h_1 = \left(\frac{d_p}{d_1}\right)^2 \cdot h_p = \left(\frac{70}{138}\right)^2 \cdot 98 = 25 \text{ [mm]}$

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

TEHNOLOŠKA KARTA KOVANJA

Pripremak 070 x 98 mm



Slika otkovka

BR.	NAZIV	OPIS OPERACIJE	ALAT	POPREČNIJE
1.		Kovanje materijala na deblinu $a_p=70$ [mm]	Naci	Lančnica 0801070
2.		Zagrijavanje kovanice na temperaturu kovanja t_{kova}		Peć sa zadrživom atmosferom
3.		Priprema sabijanja na visinu $h_p=98$ [mm]	Rezanje platna	Pruga K125 040
4.		Kovanje u cilindričnom pripremu $d_1=138$ [mm]	Uključak	Lančnica 0801200
5.		Kovanje vijenca i pripremanje glatice	Kovaničarski alat za kovanje i pripremanje	Pruga K125 010
6.		Mekotučna kovanica		
7.		Oblikovanje vijenca i ostataka od kovanja priprema	Oblikovanje	
8.		Površinsko kovanje		GOETTEL Gt 200
9.		Završna kontrola		
10.		Uklanjanje ostataka		

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Konstrukcija završne gravure i gravure za krzanje vijenca i probijanje pločice
Gravura za sabijanje
Konstrukcija završne gravure

Dimenzije završne gravure se određuju na osnovu crteža otkovka i to na osnovu vrućih kota i negativnih tolerancija (za vanjske mjere) i pozitivnih tolerancija (za unutrašnje mjere).

Konstrukcija gravure za krzanje vijenca i probijanje pločice

Krzanje vijenca i probijanje pločice se vrši u posebnim alatima na presama za krzanje i probijanje.

Krzanja vijenca i probijanja pločica se mogu kombinovati, tako da se vrše istovremeno u jednom radnom hodu pritiskivača prese.

Crtež alata za istovremeno krzanje vijenca i probijanje pločice otkovka se prikazana na crtežu MF-ZR-KK-04 koji se nalazi u prilogu br. 4.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Proračun sile i odabir strojeva za kovanje, obrezivanje vijenca i probijanje pločice
Proračun sile i odabir strojeva za kovanje

Potrebna sila za kovanje okruglih otkovka na kovačkim čekićima prostog dejstva se računa po formuli:

$$G_p = (1,5 \div 1,8) \cdot G$$

G- težina padajućih dijelova kovačkih čekića dvostrukog dejstva za kovanje okruglih otkovaka

$$G = 10 \cdot (1 - 0,005 \cdot D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D^2) \cdot D \cdot \sigma_m \text{ [N]}$$

$$G = 14323,6 \text{ [N]}$$

Sada možemo izračunati potrebnu silu padajućih dijelova za čekić prostog dejstva:

$$G_p = (1,5 \div 1,8) \cdot 14323,6 = 21485,4 \div 25782,48 \text{ [N]}$$

Kovačnica „Čelik“ Kreševo raspolaže čekićem „Lasko 250“ sa udarnom snagom 2500 Kg, što zadovoljava potrebama za kovanje projektovane prirubnice.

**UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI**

Proračun sile i odabir strojeva za krzanje vijenca i probijanje pločice

1. Sila potrebna za krzanje vijenca se računa po obrascu:

$$F = 1,4P(U + x)\sigma_m \text{ [N]}$$

$$F = 565817,95 \text{ [N]}$$

2. Sila potrebna za probijanje pločice:



$$F = 1,4 \cdot P(u + v + x) \cdot \sigma_m \text{ [N]}$$

$$F = 876812,1 \text{ [N]}$$

Usvajanje kovačke baterije

Usvojena kovačka baterija:

- Peć sa zaštitnom atmosferom,
- Kovački čekić prostog dejstva „Lasko 250“
- Ekscentrična presa „KES 400“



 **UNIVERZITET U ZENICI**
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI 

Ekološki aspekti projektovane tehnologije

U ovom radu postoji nekoliko aspekata koji su u vezi sa mogućim zagađenjem okoline:

- metalni, otpad kao nusprodukt krznja vijenca i probijanje pločice
- smjesa, kao sredstvo za podmazivanje završne gravure,
- vibracija i buka.

U ovom radu polazi se od pretpostavke da će se proizvodnja zadane prirubnice odvijati u proizvodnoj organizaciji koja već ima određen proizvodni program i koja je, u određenoj mjeri, svoje poslovanje već uskladila sa zahtjevima za zaštitom okoline. S tim u vezi, za pretpostaviti je da, gledano sa nekih drugih aspekata, pokretanje proizvodnje zadane prirubnice neće izazvati dodatno narušavanje postojećeg, od ranije uspostavljenog međusobnog odnosa proizvodni sistem -okolina.

 **UNIVERZITET U ZENICI**
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI 

ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu izvršeno je projektovanje tehnologije i alata za izradu prirubnice, metodom ukovnog kovanja na čekiću prostog dejstva.

Ovaj zadatak, osim što daje podlogu za izradu konkretnog proizvoda, daje i osnovu za sagledavanje mogućnosti procesa obrade metala plastičnim deformisanjem. U tom smislu je posebno značajna analiza mogućnosti dobivanja prirubnice kao gotovog proizvoda. Ta analiza je pokazala da osim niza prednosti, metoda obrade metala deformisanjem ima i određena ograničenja, po pitanju postizanja pojedinih oblika, dimenzija i kvaliteta površina. Ograničenja je moguće prevazići kombinovanjem sa nekim drugim metodama obrade, što nužno dovodi do poskupljenja proizvodnje, a stvara i mnoge druge negativne posljedice. Zbog toga se nastoji, usavršavanjem svih aspekata procesa obrade materijala deformisanjem, postići proizvodnja gotovih mašinskih dijelova prema njihovom definitivnom obliku i dimenzijama.

 **UNIVERZITET U ZENICI**
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI 

PRILOZI

1. Crtež broj MF-ZR-KK-01 – Prirubnica
2. Crtež broj MF-ZR-KK-02 – Otkovak prirubnice
3. Crtež broj MF-ZR-KK-03 – Završna gravura
4. Crtež broj MF-ZR-KK-04 – Kombinovani alat za krzanje i probijanje
5. Crtež broj MF-ZR-KK-05 – Matrica za krzanje (radionički crtež)
6. Crtež broj MF-ZR-KK-06 – Probojac (radionički crtež)
7. Crtež broj MF-ZR-KK-07 – Izbijač komada (radionički crtež)
8. Crtež broj MF-ZR-KK-08 – Prosječač za krzanje (radionički crtež)

UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI

HVALA NA PAŽNJI!

Klisura Kenan:
**PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE I ALATA
ZA IZRADU PRIRUBNICE PREMA ZADATOM CRTEŽU**



Završni rad –
Mašinski fakultet Zenica, 05.03.2010.



PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE I ALATA ZA IZRADU LONCA IZMJENJIVOG FILTERA GORIVA WK820

- Završni rad -

Projekovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet Zenica



SADRŽAJ ZAVRŠNOG RADA:

1. UVOD
1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE LONCA ZADANOG FILTERA
2. ANALIZA MOGUĆIH VARIJANTI PROIZVODNJE LONCA FILTERA I IZBOR OPTIMALNE VARIJANTE
3. PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZVLAČENJA LONCA
4. PRORAČUN DEFORMACIONIH SILA I IZBOR POSTROJENJA ZA IZVLAČENJE
5. PRORAČUNI I KONSTRUKCIJA ALATA
6. KONTROLA KVALITETA PRIJE, U TOKU I NAKON IZRADE LONCA FILTERA
7. EKOLOŠKI ASPEKT DUBOKOG IZVLAČENJA
8. ZAKLJUČAK
9. LITERATURA
10. PRILOZI

Projekovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet Zenica

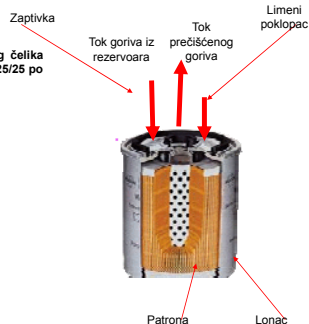
1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE LONCA ZADANOG FILTERA

Materijal lonca filtera:
hladno valjana traka od niskougljeničnog čelika za tanke čelične trake oznake DC 04-A ZE25/25 po EN 10130+A1/EN 10131.

Mehaničke karakteristike:
zatezna čvrstoća: $R_m = 280 + 380$
čvrstoća smicanja: $\sigma_m = 240 + 340$
istezanje: $\delta > 25\%$

Hemijski sastav:
C = do 0,1%
Si = do 0,2%
Mn = $0,20 + 0,45\%$
P = max. 0,03%
S = max. 0,038%

Tehnološke karakteristike:
•dobra plastičnost,
•niska elastičnost,
•sposobnost za duboku izvlačenje,
•niska tvrdoća.



Slika 1.1. Presjek filtera goriva

Projekovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet Zenica

3. PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZVLAČENJA LONCA

3.5 Teorijski prečnici proizvoda po fazama izvlačenja

$$d_1 = m_1 \cdot D = 0,57 \cdot 198 = 112,86 \text{ mm}$$

$$d_1 = 113 \text{ mm}$$

$$d_2 = m_2 \cdot d_1 = 0,78 \cdot 113 = 88,14 \text{ mm}$$

$$d_2 = 88 \text{ mm}$$

$$d_3 = m_3 \cdot d_2 = 0,97 \cdot 88 = 85,36 \text{ mm}$$

3.6 Stvarni prečnici proizvoda po fazama izvlačenja

Umjesto tri faze odabrane su 4 faze izvlačenja iz sljedećih razloga:

- škart će se značajno smanjiti uvođenjem 4 faze izvlačenja jer se time smanjuje stepen deformacije
- Fabrika filtera Tešanj raspolaže sa presama koje mogu da rade sa osam sekcija. Ne bi bilo racionalno raditi samo sa tri alata za izvlačenje.
- neće biti gubitka vremena i energije ako budu bila 4 izvlačenja.
- utrošak u izradi još jednog alata biti kompenziran boljim kvalitetom lonca i smanjenim brojem polomljenih komada.

$$d_1 = 144 \text{ mm}, d_2 = 115 \text{ mm}, d_3 = 100 \text{ mm}, d_4 = 85 \text{ mm}$$

3.7 Stvarni odnosi izvlačenja: zadovoljavaju

Projektovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet, Zenica

3. PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE IZVLAČENJA LONCA

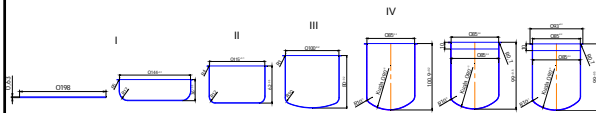
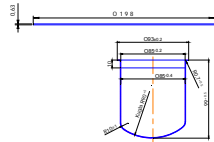
3.8 Radijusi komada po fazama izvlačenja

3.9 Visine komada po fazama izvlačenja

3.10 Tehnološka karta izvlačenja lonca filtera

Izvlačenje lonca filtera bi obuhvatilo sljedeće operacije:

- *prosjeccanje platine i prvo izvlačenje,*
- *drugo izvlačenje,*
- *treće izvlačenje,*
- *četvrto izvlačenje,*
- *izrada radijusa $r = 0,7 \text{ mm}$ i kalibriranje prečnika $\phi 85-0,2$ na dubinu od 10 mm ,*
- *opsjecanje vijenca lonca.*



Slika Dimenzije izradaka po pojedinim fazama izrade

Projektovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet, Zenica

3.11. Opis tehnološkog postupka izrade lonca filtera



Slika 3.3. Izgled izvlačenje lonca filtera na višepozicionoj presi

Projektovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet, Zenica

6. KONTROLA KVALITETA PRIJE, U TOKU I NAKON IZRADE LONCA FILTERA

6.2. Kontrola kvaliteta u toku i nakon izrade lonca

U toku podešavanja alata na presu za sve operacije od 1 do 6 vrši se mjerenje svih dimenzija sa odgovarajućim tolerancijama. Sva mjerenja se vrše mikrometrom. Na osnovu konstrukcionog crteža izrađuje se plan kontrole. U planu kontrole se nalaze svi parametri koji treba kontrolisati i na osnovu njih se ispunjava SKL obrazac. SKL III statističko kontrolni list sadrži:

- datum i vrijeme uzimanja uzorka,
- učestalost ispitivanja (u ovom slučaju uzimaju se tri uzorka svaka dva sata),
- prečnici, visine i radijusi koji se kontrolišu.
- Mjerenje uzoraka se vrši kontrolnim čepom $\phi 85^{0.4}$ i $\phi 85^{0.2}$.
- Mjerenje vijenca se vrši kontrolnom računom $\phi 93^{0.2}$.

Navedene dimenzije se izrađuju istovremeno na petoj odnosno šestoj poziciji prese, a kontrolišu se nakon skidanja komada sa prese. Istovremeno se vrši i vizuelna kontrola lonca i na osnovu izgleda zaključuje se da li ima naprsina

Projekovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet Zenica

7. EKOLOŠKI ASPEKT DUBOKOG IZVLAČENJA

MANN+HUMMEL.BA Tešanj posjeduje certifikat za standard ISO 14001 koji podrazumijeva sisteme okolinskog upravljanja sa ciljem smanjenja i uklanjanja štetnosti po okolinu.

U ovom radu postoji nekoliko aspekata koji su u vezi sa mogućim zagađenjem okoline:

- metalni, otpad kao nusprodukt isjecanja platine iz trake (EKO-SERVIS Tešanj),
- emulzija, kao rashladno sredstvo koje se koristi na presi (procedure za skladištenja, identifikaciju, označavanje te rukovanje ovakvim otpadom - KEMIS Lukavac),
- vibracija i buka.

Projekovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet Zenica

8. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu obuhvaćeno je projektovanje tehnologije i alata velikoserijske izrade lonca filtera goriva dubokim izvlačenjem bez smanjenja debljine materijala.

Projektovani alati u potpunosti su prilagođeni postrojenjima kojima raspolaže fabrika filtera MANN+HUMMEL.BA Tešanj, a projektovani su na osnovu proračuna i raspoloživih mašina.

U okviru ovog rada data su konstrukciona rješenja za prvu i drugu operaciju dubokog izvlačenja filtera goriva.

Ovaj rad predstavlja osnov za proizvodnju lonca filtera goriva u seriji od 1 000 000 komada godišnje.

Nakon izrade alata za izvlačenje lonca filtera moguće je provjeriti čitav tehnološki postupak i na osnovu konkretnih rezultata izvršiti određene korekcije i otkloniti eventualne greške.

Pri izradi ovoga rada pored literatire koreštena je dokumentacija fabrike filtera MANN+HUMMEL.BA Tešanj, kao i određena iskustva iz dugogodišnje proizvodnje različitih vrsta filtera za najpoznatije svjetske proizvođače motornih vozila.

Projekovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet Zenica

PRILOZI

- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1. Radionički crtež filtera | - broj crteža 66 402 12 171 |
| 2. Dispozicioni crtež rasporeda alata u zajedničkom kućištu prese | - broj crteža 66 402 12 171 – SL – 1 |
| 3. Dispozicioni crtež kombinovanog alata za prosjecanje i prvu operaciju izvlačenja | - broj crteža 66 402 12 171 – 1a |
| 4. Dispozicioni crtež alata za drugu operaciju izvlačenja | - broj crteža 66 402 12 171 – 2a |
| 5. Dispozicioni crtež alata za teću operaciju izvlačenja | - broj crteža 66 402 12 171 – 3a |

Projektovanje tehnologije i alata za izradu lonca izmjenjivog filtera goriva WK820, Mašinski fakultet Zenica



UNIVERZITET U ZENICI
MAŠINSKI FAKULTET U ZENICI



HVALA NA PAŽNJI!

**PROJEKTOVANJE TEHNOLOGIJE I ALATA
ZA IZRADU LONCA IZMJENJIVOG FILTERA
GORIVA WK820**

Mašinski fakultet Zenica
