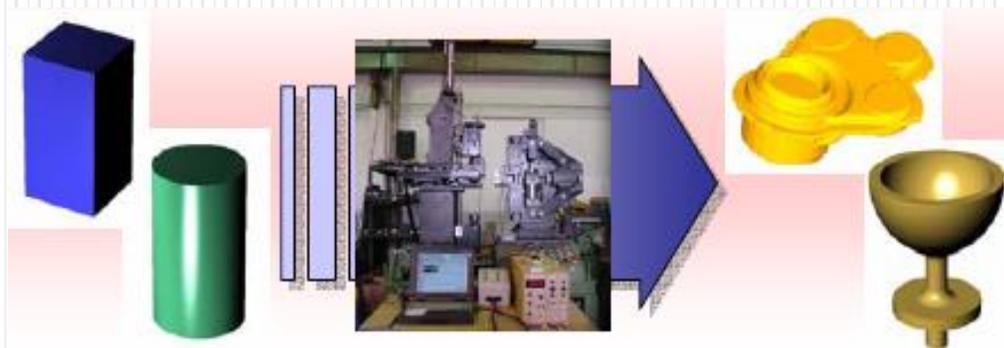


TEHNOLOGIJA MAŠINOGRADNJE

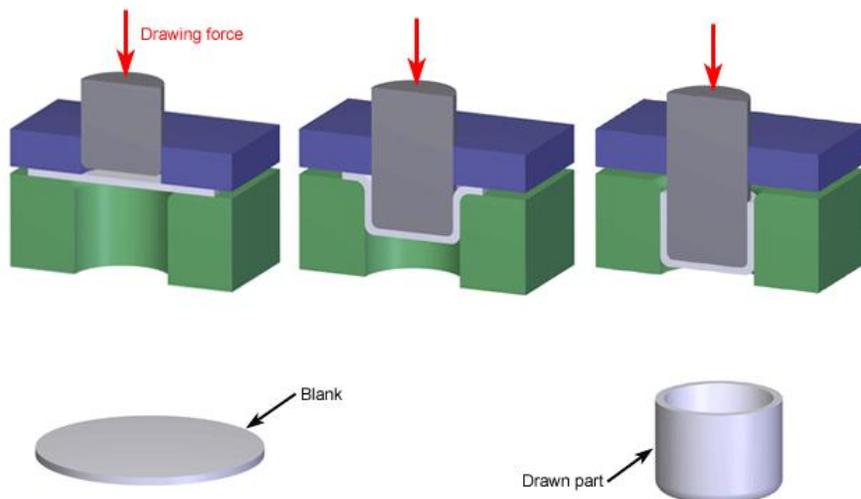
DEO: TEHNOLOGIJA PLASTI NOG DEFORMISANJA

Doc. dr Mladomir Milutinovi



DUBOKO IZVLAČENJE

- Duboko izvlačenje je postupak hladne obrade kojim se iz priprema od lima kružnog, kvadratnog, pravougaonog ili nekog drugog oblika dobijaju prostorne konfiguracije tipa posuda, kutija, delova auto-karoserija i dr.
- U zavisnosti od oblika obratka proces se izvodi u jednoj ili više operacija, pri čemu se prva i sledeća operacija suštinski razlikuju
- Ova tehnologija primenjuje se za izradu delova u različitim granama industrije: auto- i avio-industrija, opšte mazinstvo, hemijsko inženjerstvo, poljoprivredna tehnika, elektro-industrija i dr.
- Duboko izvlačenje uspešno se kombinuje sa drugim tehnologijama plastičnog deformisanja, pre svega sa razdvajanjem i savijanjem.
- Uobičajeno je da je na takvim alatima prva operacija izrade priprema razdvajanjem, da bi se u sledećim operacijama izvršilo duboko izvlačenje, savijanje i drugo.



DUBOKO IZVLAČENJE - Oblici delova

”cilindri an bez venca ili s vencem

”stepenast

”konusan

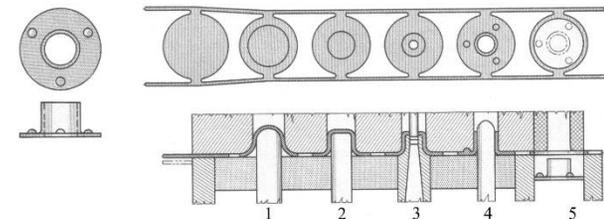
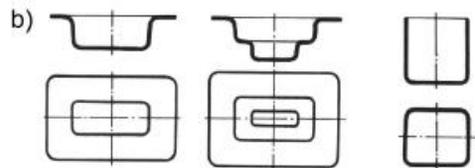
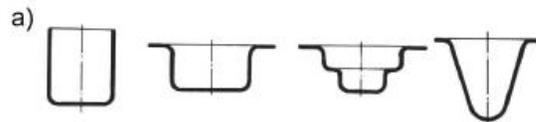
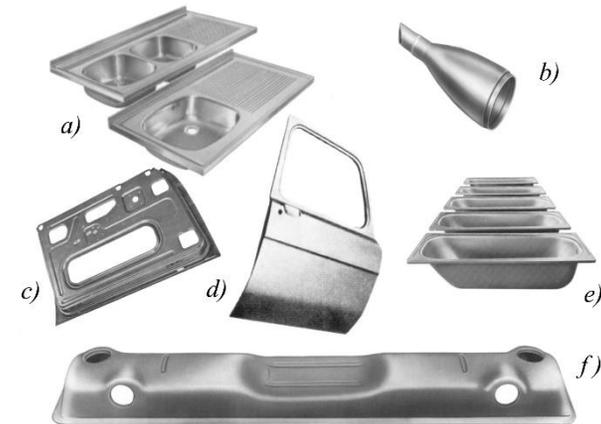
”sferi an

”kutijast

”nerotacion

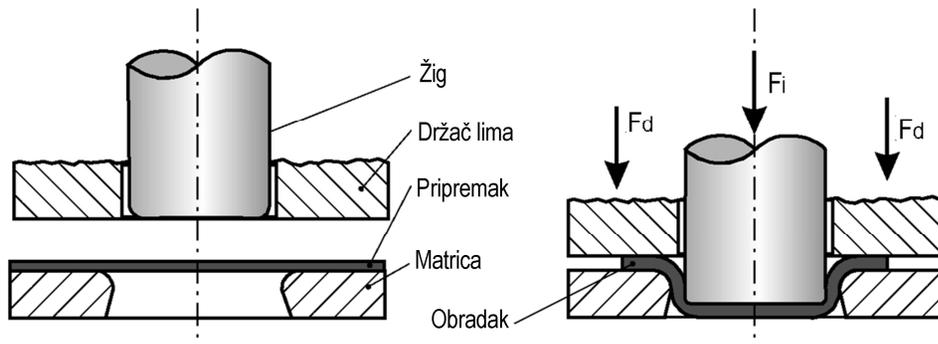
”velikih dimenzija

”dobijen izvla enjem iz trake

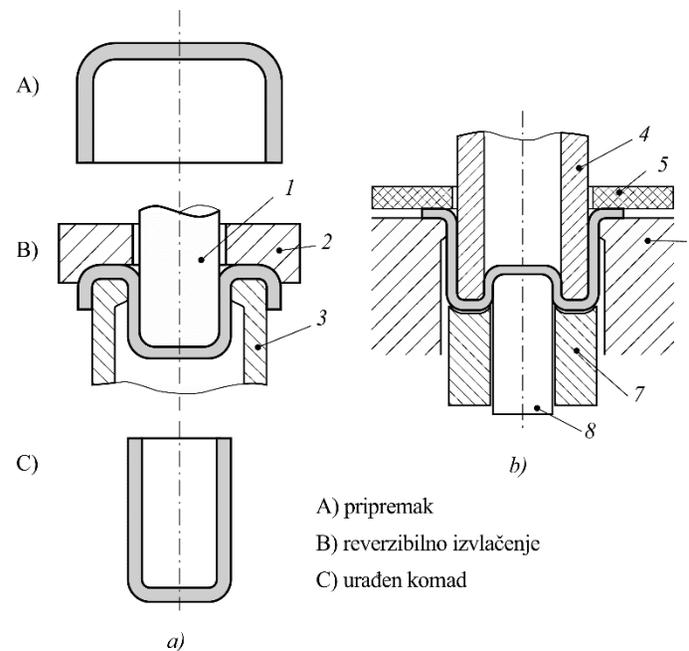
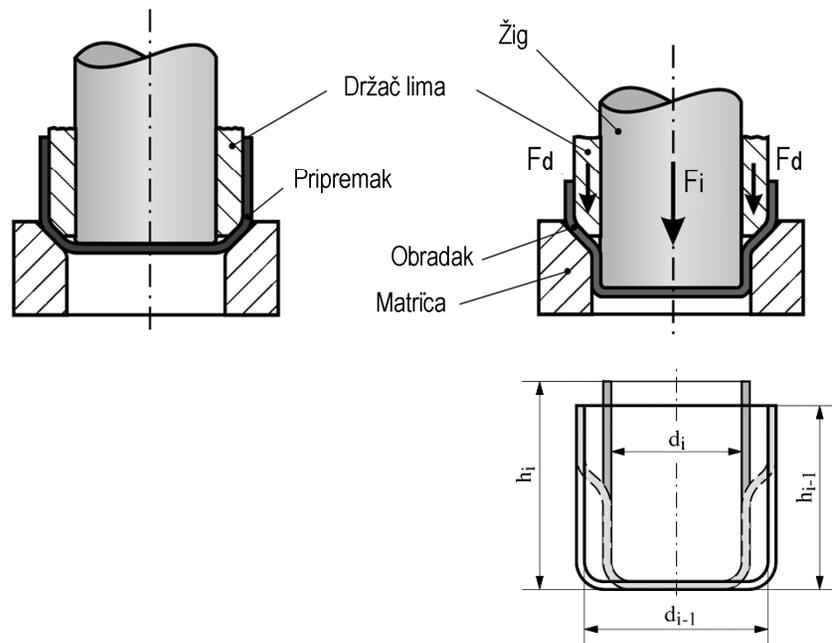


DUBOKO IZVLAČENJE – Šema procesa

Prva operacija dubokog izvlačenja

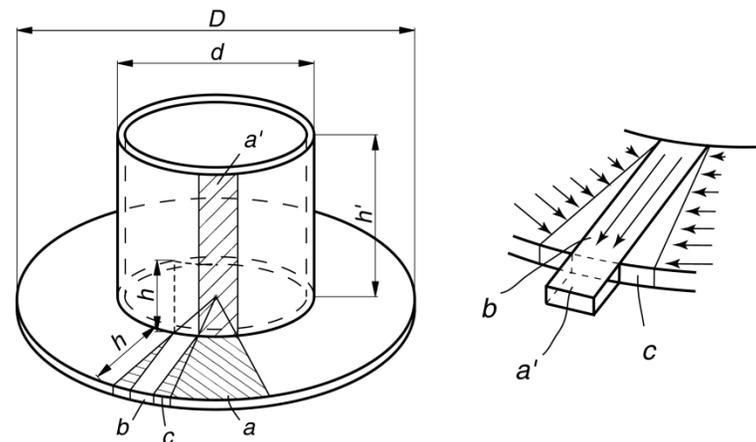
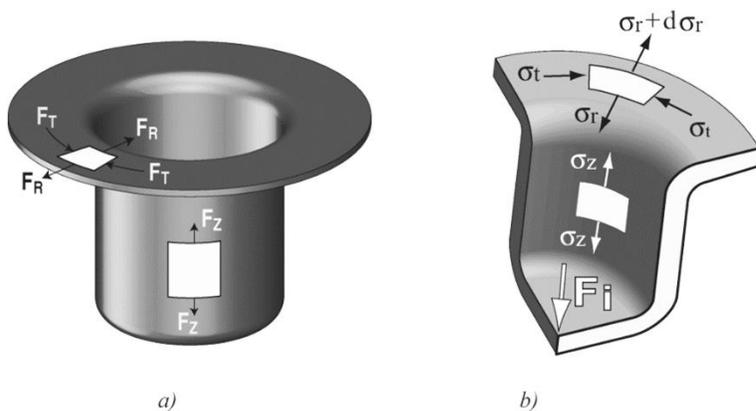


Sledeća operacija dubokog izvlačenja

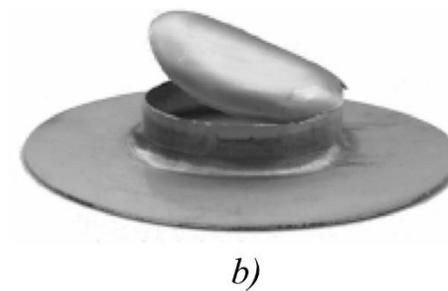
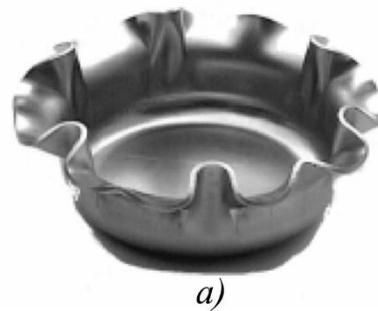
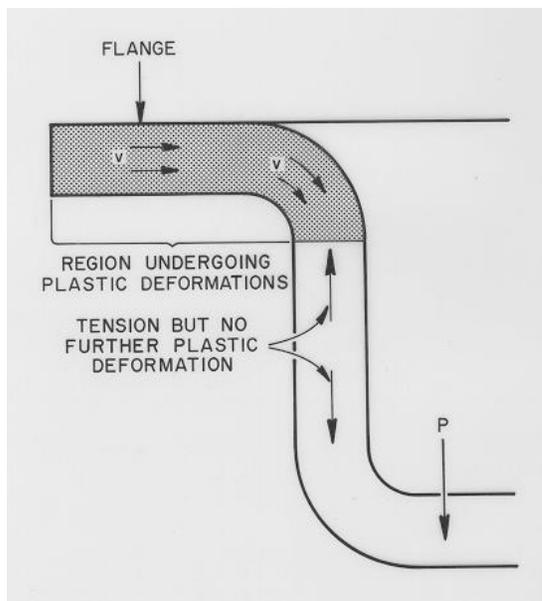


Reverzibilno duboko izvlačenje

DUBOKO IZVLAČENJE – Šema procesa

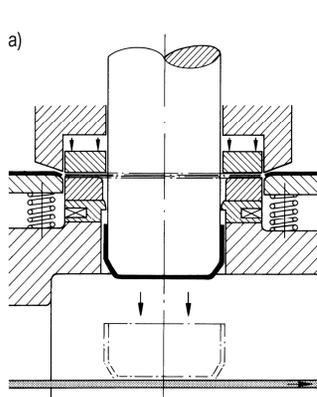
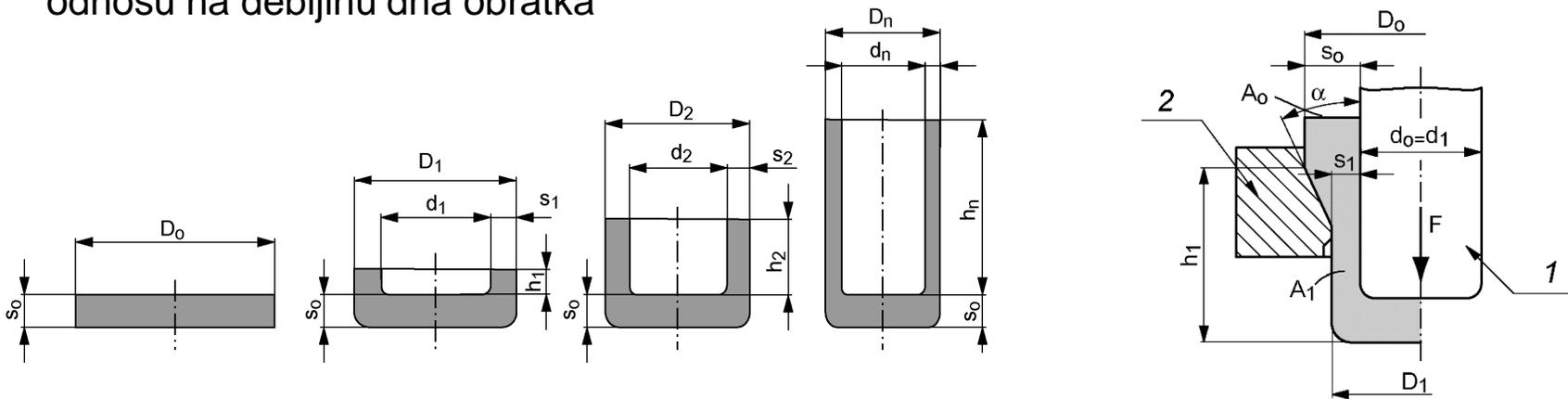


Formiranje obratka u prvoj operaciji izvlačenja

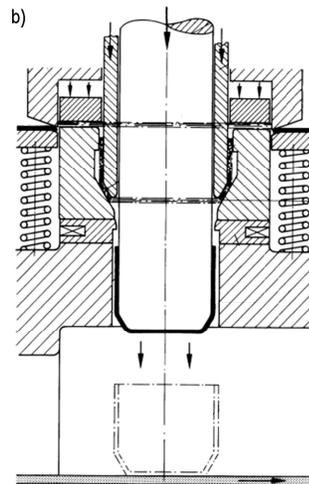


Klasifikacija procesa dubokog izvlačenja

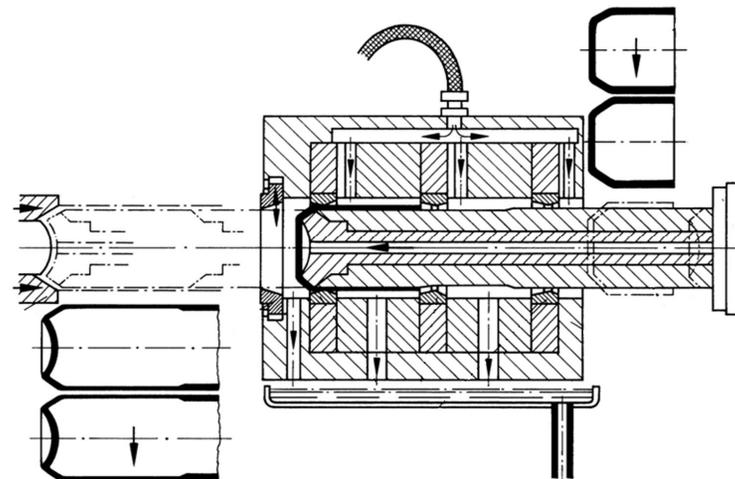
- “ duboko izvlačenje bez promene debljine materijala
- “ duboko izvlačenje s promenom debljine materijala, kad je debljina zida (omotača) manja u odnosu na debljinu dna obratka



s = const.



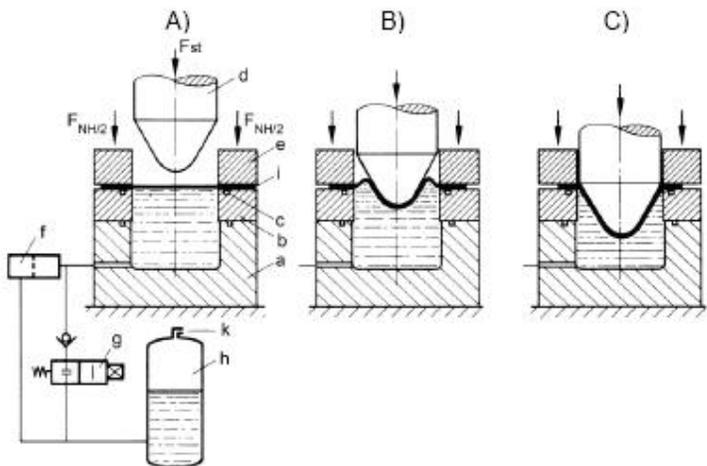
s = const.



s ≠ const.

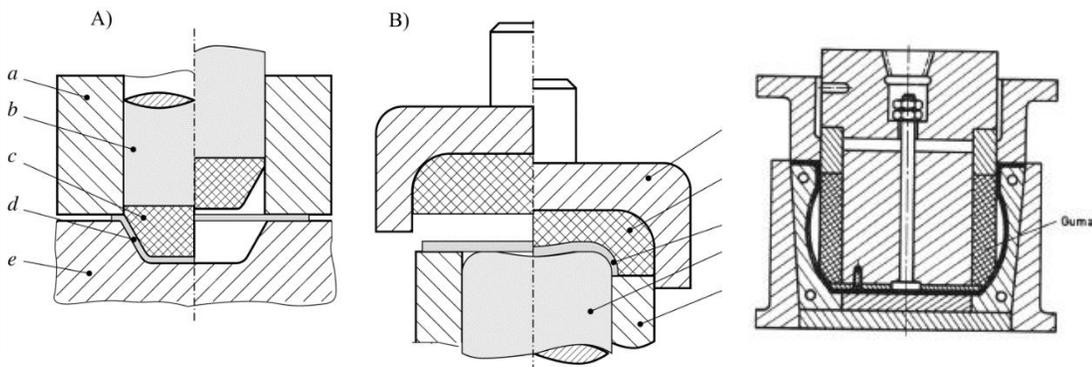
Specijalni postupci dubokog izvlačenja

Hidromehaničko duboko izvlačenje



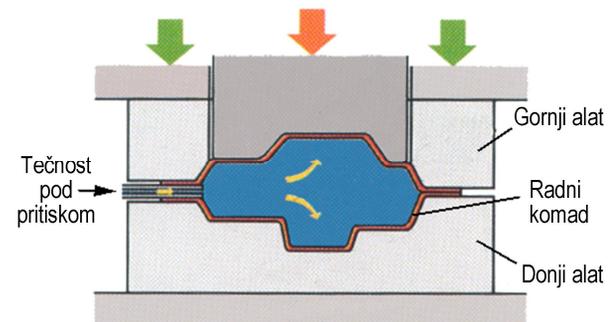
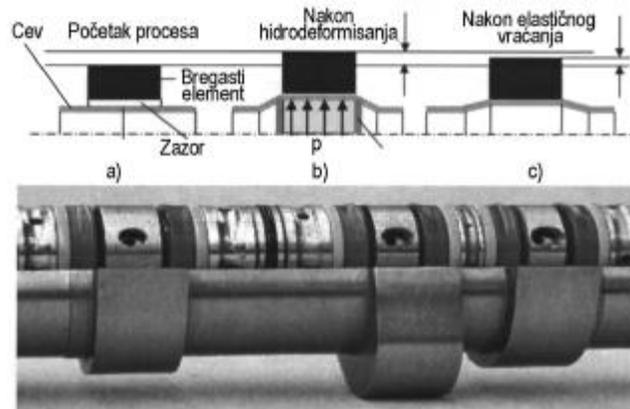
Duboko izvlačenje pomoću gume

Primenjuje se za izradu složenih delova u maloserijskoj proizvodnji, na primer u avio-industriji



Hidroformisanje cevi i lima

Proizvode dobijene hidrodeformisanjem odlikuje veoma povoljan odnos te0ina/ vrsto a



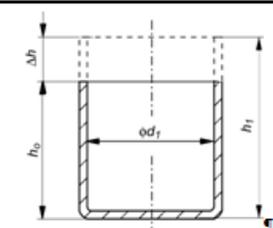
Hidroformisanje limenih parova

Dimenzije pripreмка

$$A_1 = A_2 = \dots = A_n = A_0$$

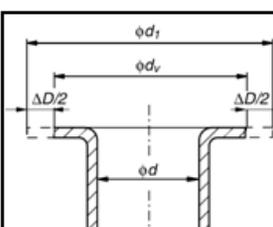
$$A = \sum A_i = A_0 = \frac{D_0^2 \pi}{4}$$

$$A_l = 2\pi \cdot r_l \cdot l$$



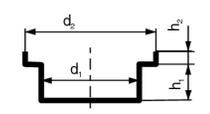
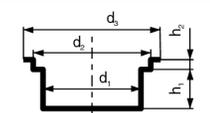
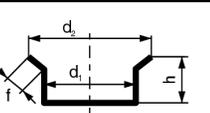
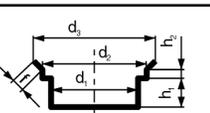
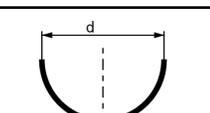
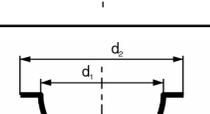
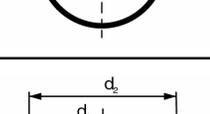
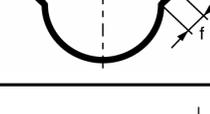
h [mm]	Odnos $\frac{h_0}{d}$			
	0.5--0.8	0.8--1.6	1.6--2.5	2.5--4.0
10	1,0	1,2	1,5	2,0
20	1,2	1,6	2,0	2,5
50	2,0	2,5	3,3	4,0
100	3,0	3,8	5,0	6,0
150	4,0	5,0	6,5	8,0
200	5,0	6,3	8,0	10,0
250	6,0	7,5	9,0	11,0
300	7,0	8,5	10,0	12,0

h_0 – visina posle opsecanja
 h_1 – visina posle izvlačenja
 Δh – dodatak za opsecanje
 d – prečnik obratka

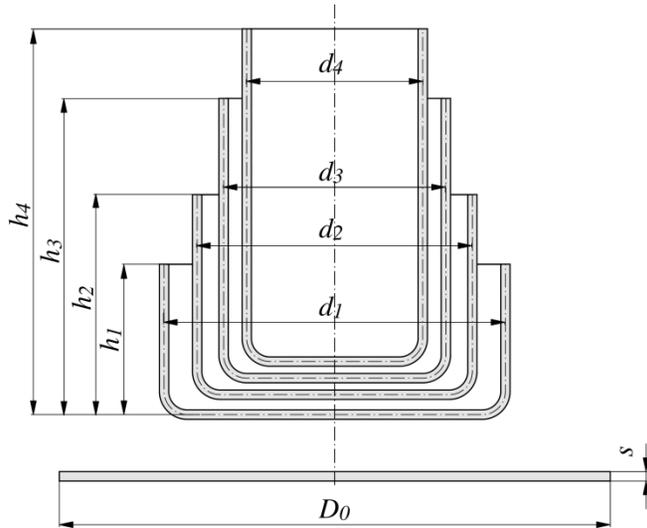


h [mm]	Odnos $\frac{h_0}{d}$			
	0.5--0.8	0.8--1.6	1.6--2.5	2.5--4.0
25	1,6	1,4	1,5	1,0
50	2,5	2,0	1,8	1,6
100	3,5	3,0	2,5	2,2
150	4,3	3,6	3,0	2,5
200	5,0	4,2	3,5	2,7
250	5,5	4,6	3,8	2,8
300	6,0	5,0	4,0	3,0

d_v – prečnik opsečenog venca
 d – prečnik venca posle izvlačenja
 Δd – dodatak za opsecanje

	$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)}$ *
	$\sqrt{d_3^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2)}$ *
	$\sqrt{d_1^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h + 2 \cdot f \cdot (d_1 + d_2)}$ *
	$\sqrt{d_2^2 + 4 \cdot (d_1 \cdot h_1 + d_2 \cdot h_2) + 2 \cdot f \cdot (d_2 + d_3)}$ *
	$\sqrt{2 \cdot d^2} = 1.414 \cdot d$
	$\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$
	$1.414 \cdot \sqrt{d_1^2 + f \cdot (d_1 + d_2)}$
	$1.414 \cdot \sqrt{d^2 + 2 \cdot d \cdot h}$

Odnos izvlačenja, stepen deformacije



Odnos izvlačenja α	Relativna debljina materijala $s_r = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100$ [%] α					
	2,0--1,5 α	1,5--1,2 α	1,0--0,6 α	0,6--0,3 α	0,3--0,15 α	0,15--0,08 α
$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \alpha$	0,48--0,50 α	0,50--0,53 α	0,53--0,55 α	0,55--0,58 α	0,58--0,60 α	0,60--0,63 α
$m_1 = \frac{d_1}{d_1} \alpha$	0,73--0,75 α	0,75--0,76 α	0,76--0,78 α	0,78--0,79 α	0,79--0,80 α	0,80--0,82 α
$m_1 = \frac{d_2}{d_2} \alpha$	0,76--0,78 α	0,78--0,79 α	0,79--0,80 α	0,81--0,82 α	0,81--0,82 α	0,82--0,84 α
$m_1 = \frac{d_3}{d_3} \alpha$	0,78--0,80 α	0,80--0,81 α	0,81--0,82 α	0,82--0,83 α	0,83--0,85 α	0,85--0,86 α
$m_1 = \frac{d_4}{d_4} \alpha$	0,80--0,82 α	0,82--0,84 α	0,84--0,85 α	0,85--0,86 α	0,86--0,87 α	0,87--0,88 α

Napomene: ∇

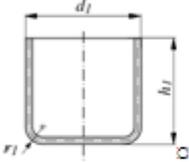
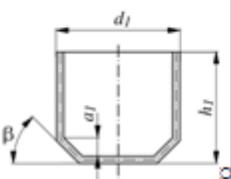
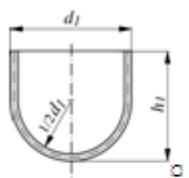
1. Tabela važi za izvlačenje čeličnog i mekog mesinganog lima, za obratke bez venca ∇
2. Izvlačenje se vrši s držačem lima ∇
3. Sledeće operacije se izvode bez međuoperacionog žarenja α

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \quad m_2 = \frac{d_2}{d_1} \quad m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}}$$

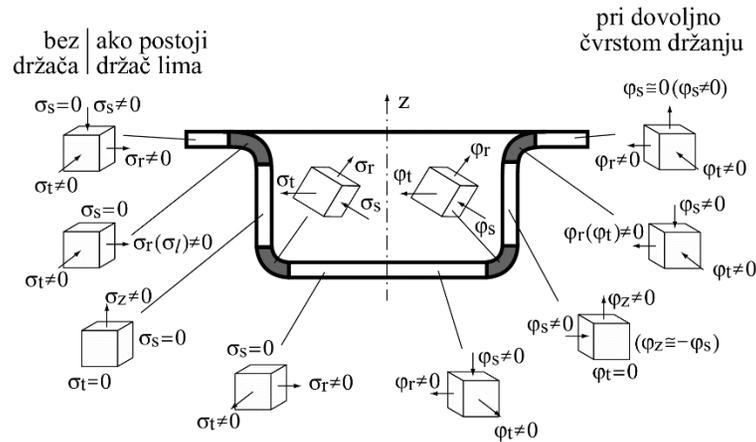
$$d_1 = m_1 D_0 \quad d_2 = m_2 D_1$$

Relativni prečnik venca $\frac{d_v}{d} \alpha$	Velicina odnosa izvlačenja m_1 pri relativnoj debljini $s_r = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100$ [%] α				
	2--1,5 α	1,5--1,0 α	1,0--0,5 α	0,5--0,2 α	0,2--0,06 α
do 1,1 α	0,5 α	0,53 α	0,55 α	0,57 α	0,59 α
1,1--1,3 α	0,49 α	0,51 α	0,53 α	0,54 α	0,55 α
1,3--1,5 α	0,47 α	0,49 α	0,50 α	0,51 α	0,52 α
1,5--1,8 α	0,45 α	0,46 α	0,47 α	0,48 α	0,48 α
1,8--2,0 α	0,42 α	0,43 α	0,44 α	0,45 α	0,45 α
2,0--2,2 α	0,40 α	0,41 α	0,42 α	0,42 α	0,42 α
2,2--2,5 α	0,37 α	0,38 α	0,38 α	0,38 α	0,38 α
2,5--2,8 α	0,33 α	0,34 α	0,34 α	0,35 α	0,35 α

Visina pripreмка

Skica	Izvlačenje	Obrazac za proračun visine	Primedba
	I-oo	$h_1 = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_1} - d_1 \right) + 0.43 \frac{r_1}{d_1} (d_1 + 0.32 r_1)$	$r_1 = \frac{d_1 - d_2}{2}$
	II-oo	$h_2 = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_2} - d_2 \right) + 0.43 \frac{r_2}{d_2} (d_2 + 0.32 r_2)$	$r_2 = \frac{d_2 - d_3}{2}$
	n-to	$h_n = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_n} - d_n \right) + 0.43 \frac{r_n}{d_n} (d_n + 0.32 r_n)$	$r_n = \frac{d_n - d_{n+1}}{2}$
	I-oo	$h_1 = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_1} - d_1 \right) + 0.57 \frac{a_1}{d_1} (d_1 + 0.86 a_1)$	$a_1 = \frac{d_1 - d_2}{2}$
	II-oo	$h_2 = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_2} - d_2 \right) + 0.57 \frac{a_2}{d_2} (d_2 + 0.86 a_2)$	$a_2 = \frac{d_2 - d_3}{2}$
	n-to	$h_n = 0.25 \left(\frac{D^2}{d_n} - d_n \right) + 0.57 \frac{a_n}{d_n} (d_n + 0.86 a_n)$	$a_n = \frac{d_n - d_{n+1}}{2}$
	I-oo	$h_1 = 0.25 \frac{D^2}{d_1} = 0.25 \frac{D^2}{m_1}$	$m_1 = \frac{d_1}{D}$
	II-oo	$h_2 = 0.25 \frac{D^2}{d_2} = 0.25 \frac{D^2}{m_1 \cdot m_2}$	$m_2 = \frac{d_2}{d_1}$
	n-to	$h_n = 0.25 \frac{D^2}{d_n} = 0.25 \frac{D^2}{m_1 \cdot m_2 \cdot \dots \cdot m_n}$	$m_n = \frac{d_n}{d_{n-1}}$
<p> h_1, h_2, \dots, h_n – visine čančiča po fazama izvlačenja d_1, d_2, \dots, d_n – prečnici čančiča po fazama izvlačenja D – prečnik platine r_1, r_2, \dots, r_n – radijusi zaobljenja na prelazu omotača u dno a_1, a_2, \dots, a_n – visina konusa na prelazu omotača u dno m_1, m_2, \dots, m_n – odnosi izvlačenja </p>			

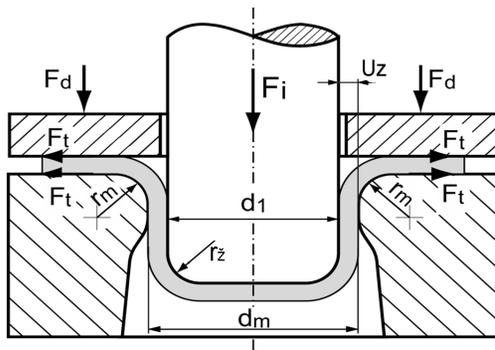
Naponi i deformacije pri dubokom izvlačenju



$$\varphi_1 = \ln \frac{D_0}{d_1}; \quad \varphi_2 = \ln \frac{d_1}{d_2} \quad \dots \quad \varphi_i = \ln \frac{d_{i-1}}{d_i}$$

$$\varphi_1 = \ln \frac{1}{m_1}; \quad \varphi_2 = \ln \frac{1}{m_2} \quad \dots \quad \varphi_i = \ln \frac{1}{m_i}$$

Napon izvlačenja, deformaciona sila u prvoj operaciji izvlačenja



$$F_1 = \sigma_i A_1 = \sigma_i d_1 \pi s$$

$$\sigma_i = \left(1,1 \cdot K_{sr} \ln \frac{D_0}{D_m} + \frac{2\mu F_d}{\pi D_m \cdot s} \right) e^{\frac{\mu\pi}{2}} + K_1 \frac{s}{2r_m + s} < R_m$$

$$r_m = 0,8\sqrt{(d_0 - d_1) \cdot s_0} \text{ - za prvu operaciju}$$

$$r_m = 0,8\sqrt{(d_1 - d_2) \cdot s_0} \text{ - za drugu operaciju}$$

$$r_m = 0,8\sqrt{(d_{i-1} - d_i) \cdot s_0} \text{ - za sledeće operacije}$$

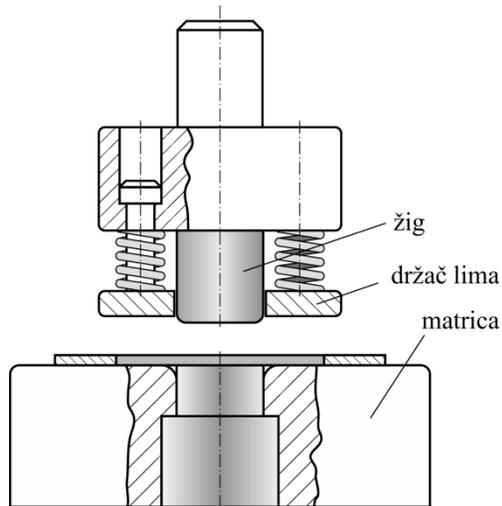
$$r_z = (3 \div 4)r_m$$

$$K_{sr} = \frac{K_0 + K_1}{2} \quad D_m = d_{1s} + 2r_m \quad r_m = 0,8\sqrt{(D_0 - d_1)s}$$

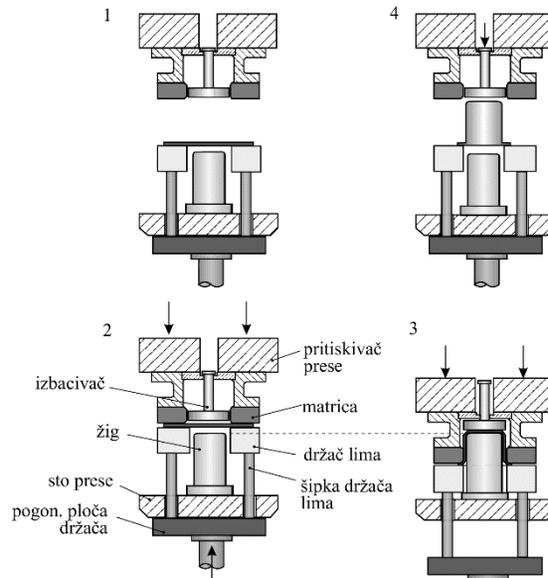
$$F_d = p_d A_d \quad i \quad p_d = \left(\frac{0,2 - 0,3}{100} \right) \left[\left(\frac{D_0}{d_1} - 1 \right)^3 + \frac{d_1}{200s} \right] R_m \quad \left[\frac{N}{mm^2} \right]$$

$$p_{d_{max}} = (1 \div 2) \text{MPa} \quad A_d = (D_0^2 - D_m^2) \frac{\pi}{4}$$

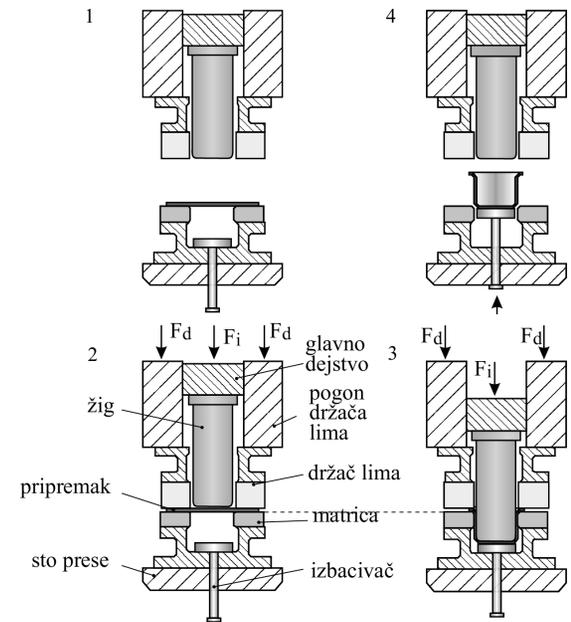
Alati za duboko izvlačenje



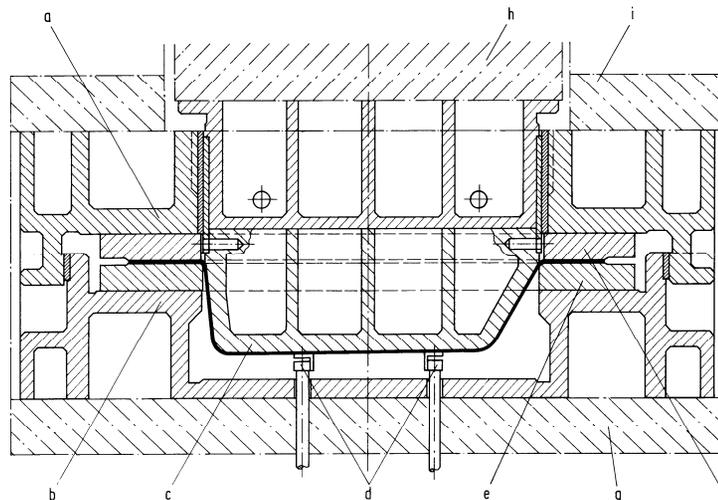
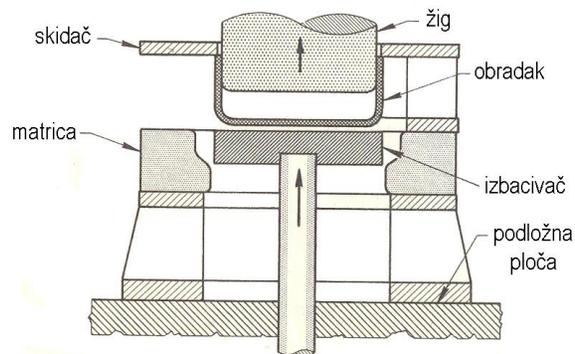
Alat za duboko izvlačenje na presi jednostrukog dejstva



Alat za duboko izvlačenje na presi jednostrukog dejstva s jastukom za izvlačenje

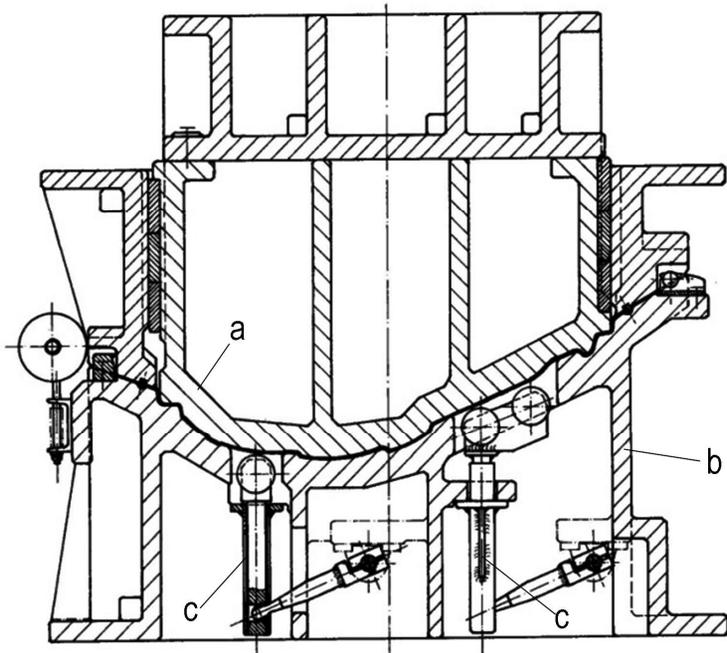


Alat za duboko izvlačenje na presi dvostrukog dejstva

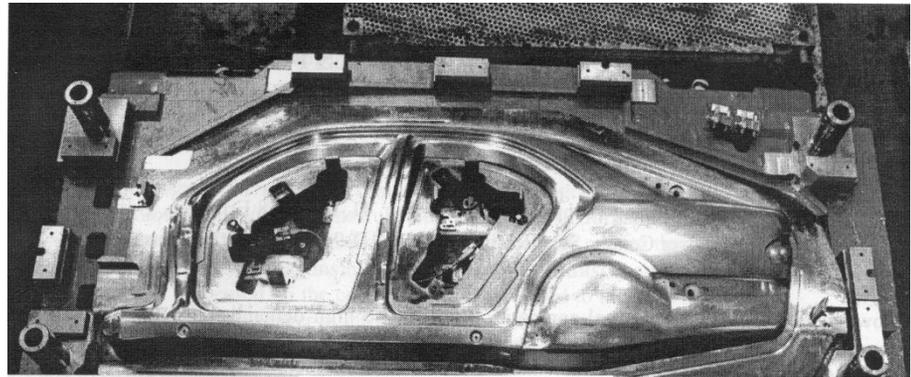


Karoserijski alati za duboko izvlačenje

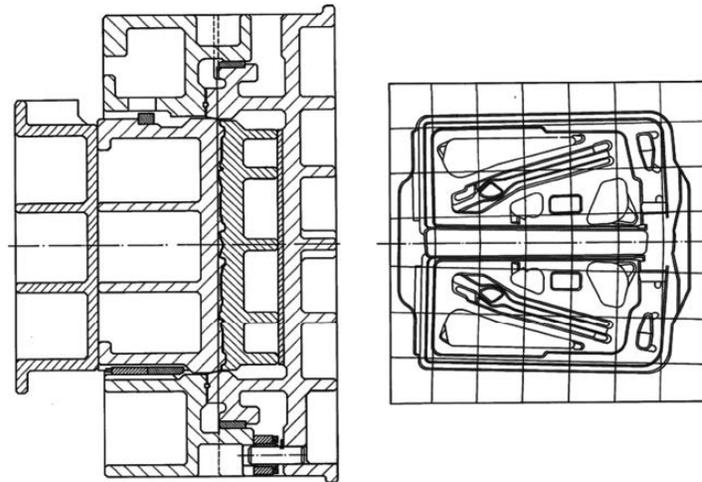
Kompletna karoserija automobila, autobusa i drugih vozila izrađuje se iz pojedinačnih duboko izvučenih delova koji se naknadno spajaju u jednu celinu, najčešće zavarivanjem



- a . gornji alat
- b . donji alat
- c - izbaciva



Najveći alat na svetu (za duboko izvlačenje kompletne stranice automobila Mercedes, 4.50 m x 2.30 m)

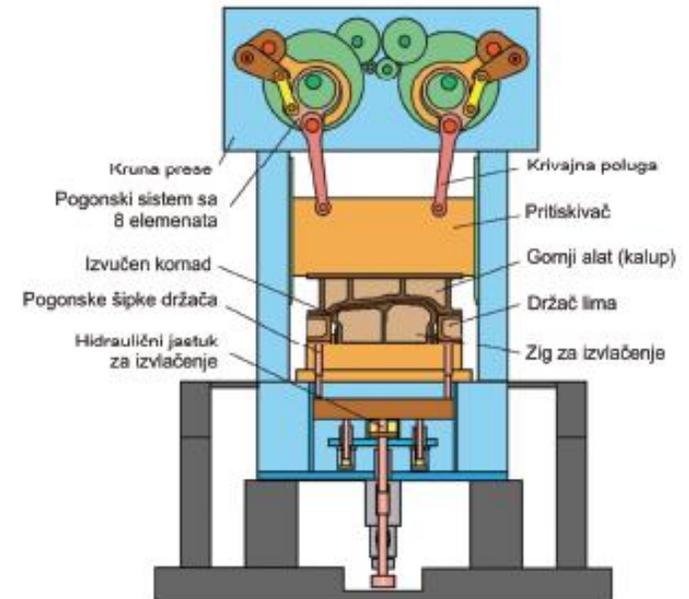


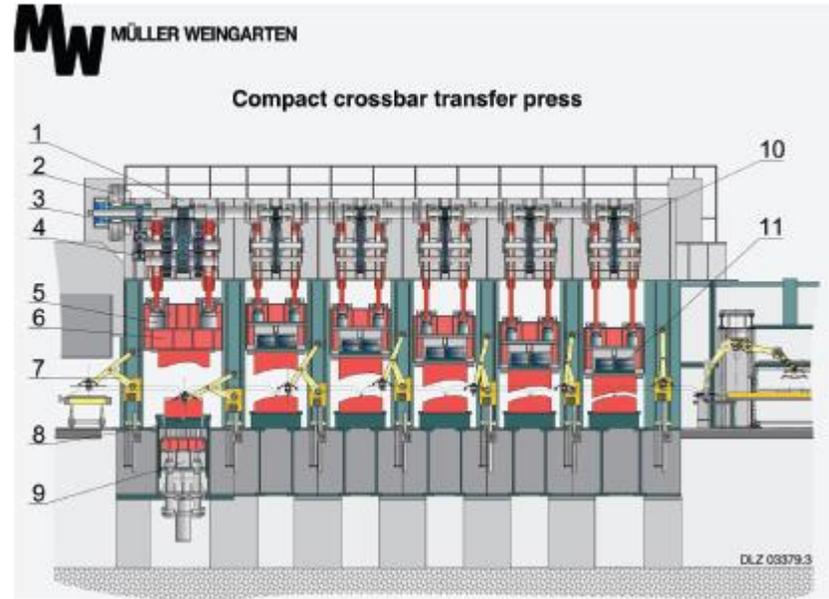
Alat za duboko izvlačenje dvoje vrata automobila istovremeno

Mašine za duboko izvlačenje

Kriterijumi za izbor prese:

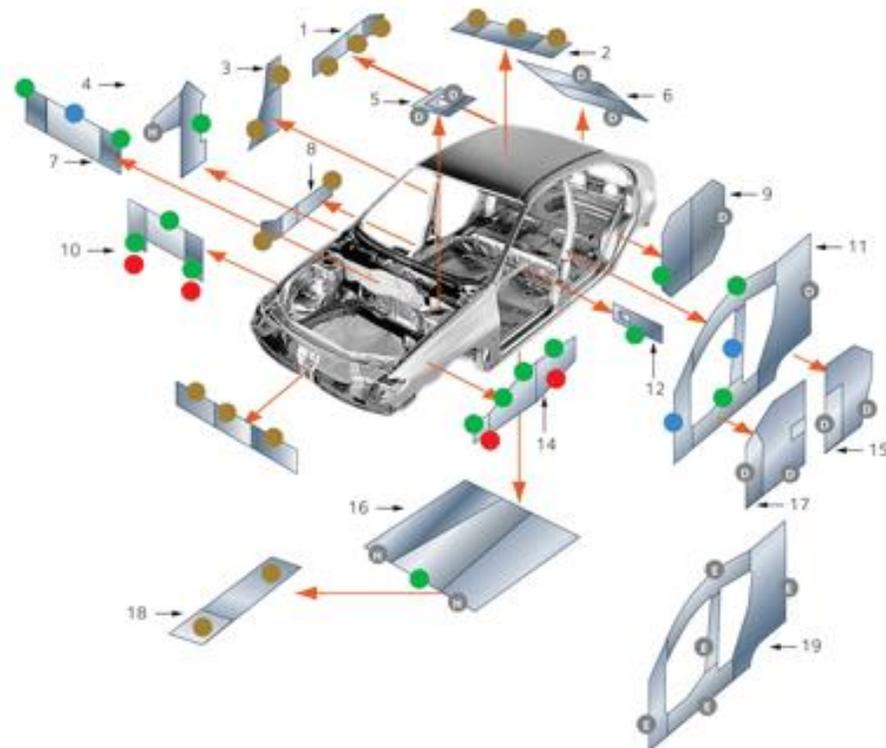
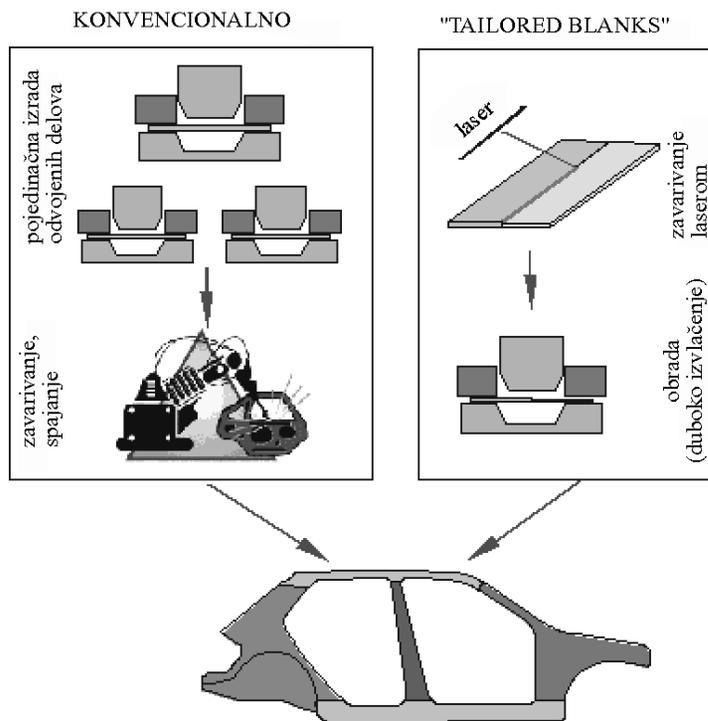
- Deformaciona sila i deformacioni rad izvlačenja . koji određuju nominalnu silu i nominalnu energiju prese
- Sila držača lima . koja definiše adekvatni parametar jastuka ili nominalnu silu drugog dejstva mazine
- Dimenzije alata koje određuju dimenzije radnog prostora mazine
- Radni hod alata . određen je visinom obratka i utiče na visinu radnog prostora. Hod alata mora biti dovoljan da obezbedi duboko izvlačenje i lakovođenje obratka iz alata. Preporučuje se da hod alata odnosno mazine iznosi 2,5 visina obratka ($H = 2,5 h_i$)
- Brzina deformisanja . pri dubokom izvlačenju zavisi od materijala obratka i kreće se od 200 mm/s za čelične limove, za aluminijum je 500 mm/s, za mesing do 750 mm/s i cink 370 mm/s. Poseban problem je što se brzina pritiskivača mehaničkih presa menja u toku hoda u širokim granicama.
- Velicina serije koja uslovljava proizvodnost prese

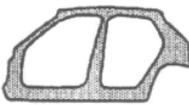


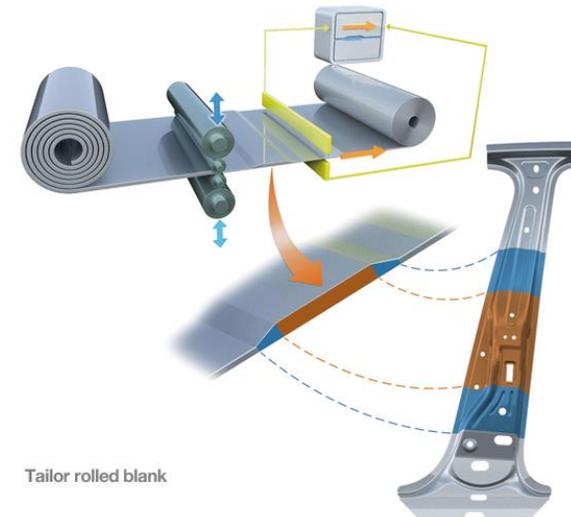
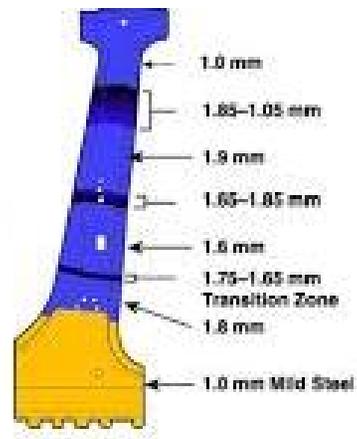


Iskrojeni limovi „tailored blanks“

- ó smanjenje težine proizvoda (vozila) jer ne postoji potreba za pojačanjima i preklapanjima lima pri primeni takvog zavarivanja
- ó povećanje sigurnosti pri sudaru, jer laserski zavar ima veću krutost od takvog
- ó smanjenje broja potrebnih alata
- ó smanjenje otpada materijala
- ó povećanje dimenziona tenosti i otpornosti prema koroziji spojenih komponenti



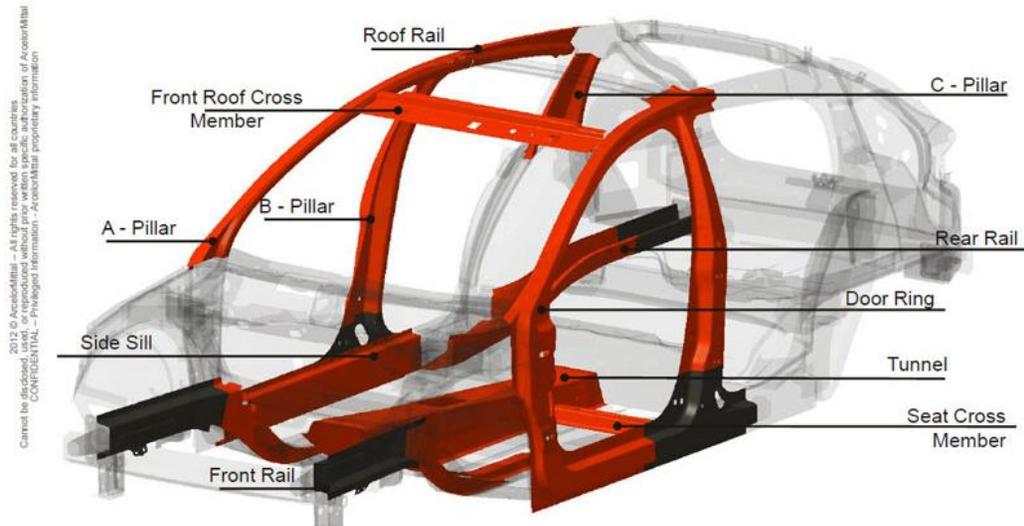
Šema Kriterijum		Pojedinačni delovi		Izrada iz jednog komada		Tailored blanks	
							
1	Alati	20 kom.	-	4 kom.	+	4 kom.	+
2	Tačnost	niska	-	visoka	+	visoka	+
3	Iskorišćenje lima	visoka (65%)	+	niska (40%)	-	visoka (65%)	+
4	Izbor materijala	prema lokalnim zahtevima	+	samo jedan	-	prema lokalnim zahtevima	+
5	Težina	mala	+	velika	-	mala	+





Potential Weight Savings: 25 %
 Usibor/Usibor and Usibor/Ductibor Laser Welded Blanks

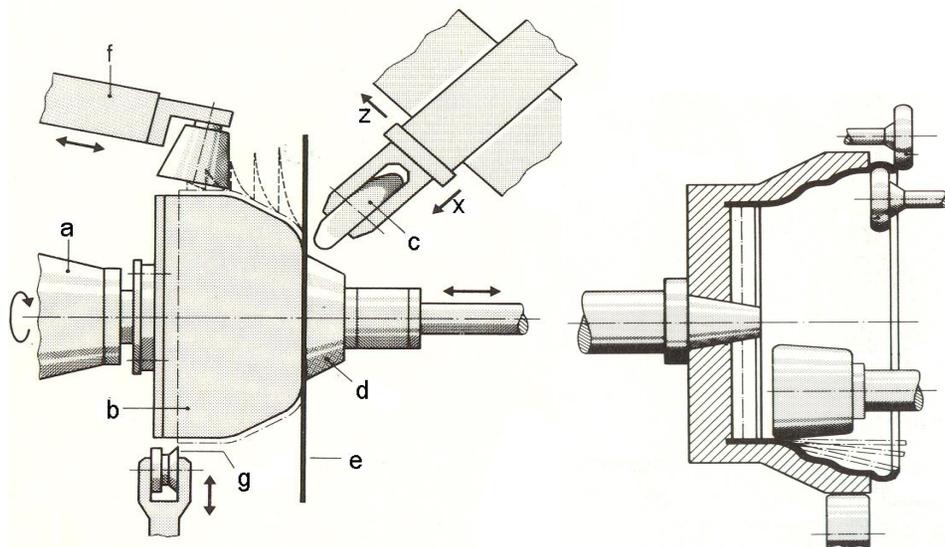
ArcelorMittal



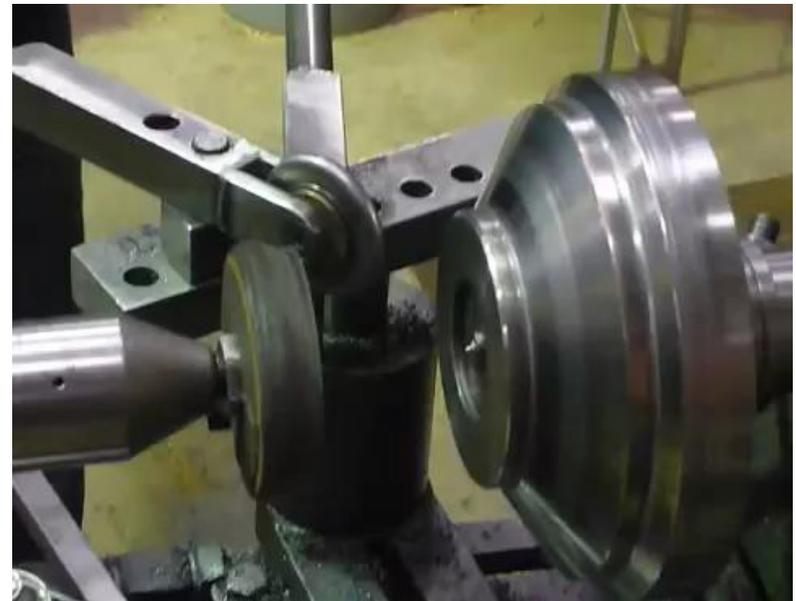
2012 © ArcelorMittal - All rights reserved for all countries.
 Cannot be disclosed, used, or reproduced without prior written specific authorization of ArcelorMittal.
 CONFIDENTIAL - Privileged information - ArcelorMittal proprietary information

Rotaciono izvlačenje

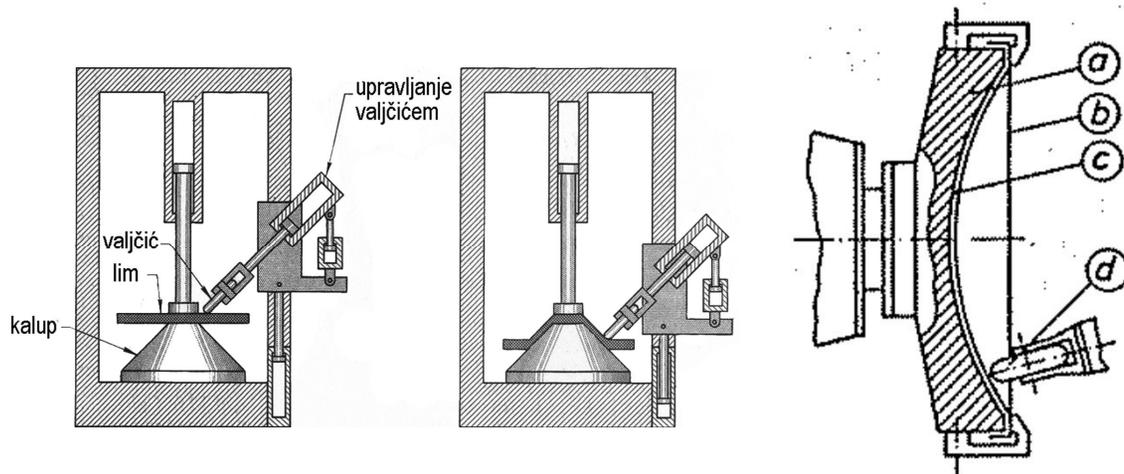
- Rotaciono izvlačenje je obrada deformisanjem, kojom se dobijaju rotaciono simetrični delovi različitih oblika, dimenzije i materijala pripremljena
- S obzirom na kvalitet obradene površine rotaciono izvlačenje predstavlja završnu obradu
- Tehnologija rotacionog izvlačenja spada u red tehnologija sa parcijalnim zahvatom
- Težnje materijala ograničeno je na vrlo usku oblast trenutnog delovanja alata na materijal



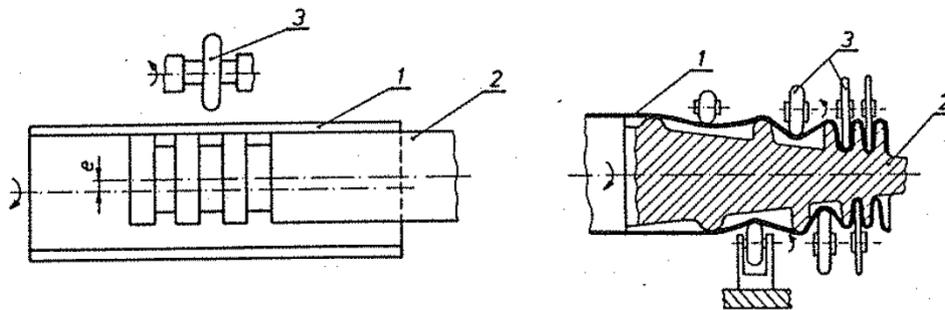
a . mazina; b . kalup; c . valji ; d . dr0a ;
e . lim; f . pomoćni valji ; g . alat za odsecanje
ivice radnog komada



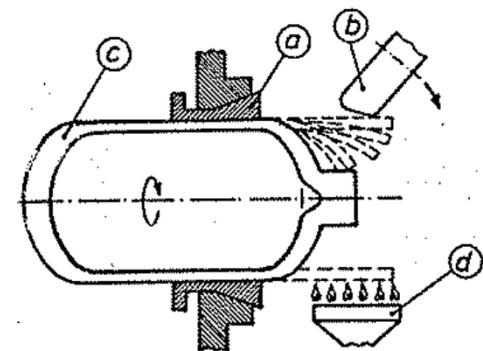
Rotaciono izvlačenje



Oblikovanje danaca rezervoara

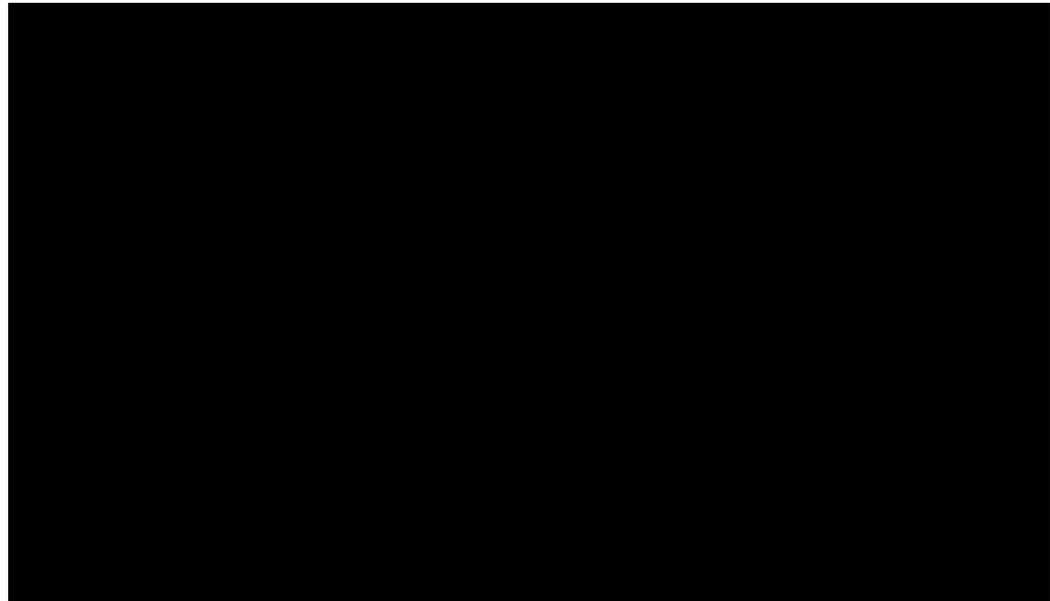
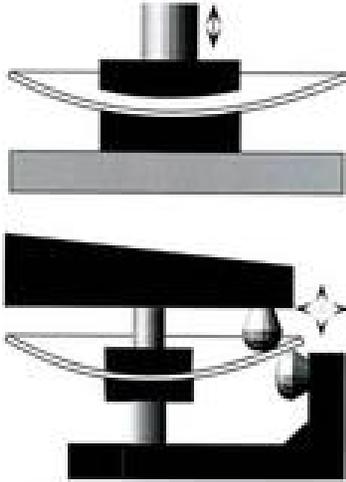


Oblikovanje orebrenih cevi



Operacija sušavanja

Oblikovanje danaca (razvlačenje + rotaciono izvlačenje)

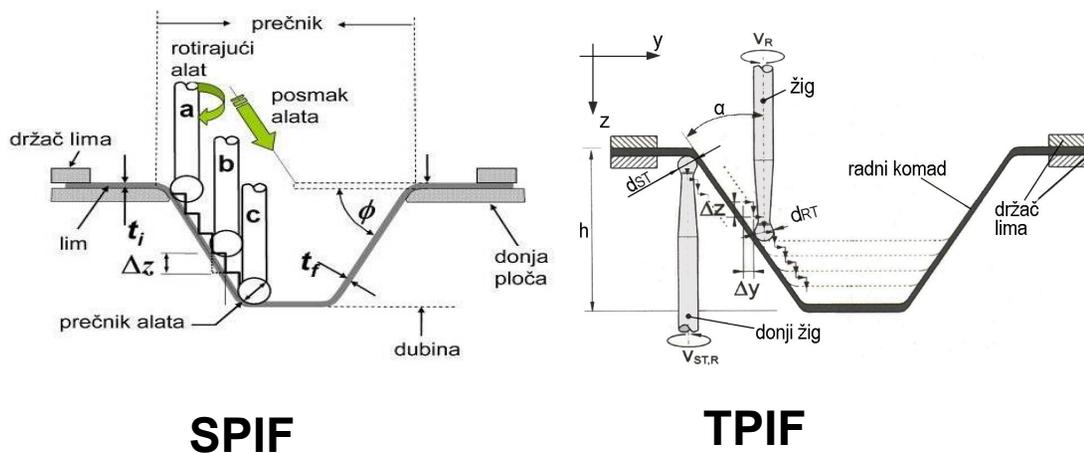


Oblikovanje danaca (savijanje+ razvlačenje + rotaciono izvlačenje)



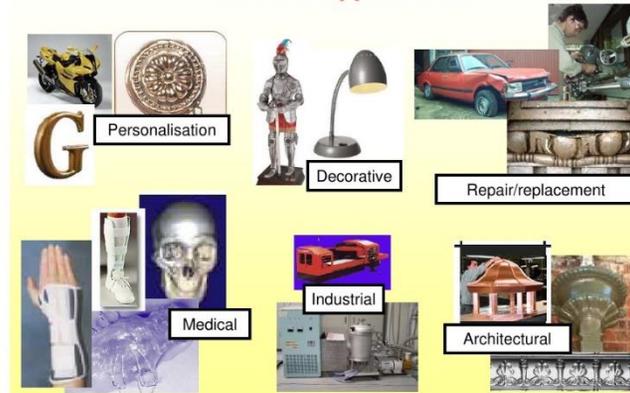
Inkrementalno deformisanje sferičnim alatima (Incremental sheet metal forming – ISMF)

- Moderna je metoda obrade deformisanjem, koja otvara nove mogućnosti u obradi lima
- U poređenju sa klasičnim tehnologijama obrade lima (duboko izvlačenje, hidromehanička obrada), ova tehnologija u prednosti je zbog toga što koristi jednostavan alat kojim se parcijalnim zahvatom dobijaju delovi složenog oblika, što dovodi i do smanjenja troškova proizvodnje
- Po koncepciji, inkrementalno deformisanje lima ima sličnosti sa rotacionim izvlačenjem
- Međutim, rotacionim izvlačenjem mogu se dobiti samo aksijalno simetrični delovi, dok su mogućnosti obrade lima inkrementalnim deformisanjem mnogo veće (dobijanje kutijastih i nesimetričnih delova)
- Glavni nedostatak ove tehnologije jeste dužina trajanja procesa izrade dela, pa se ova tehnologija može uspešno koristiti samo kod pojedinačne i maloserijske proizvodnje



Economic Evaluation of ISF

Possible Applications



Inkrementalno deformisanje

