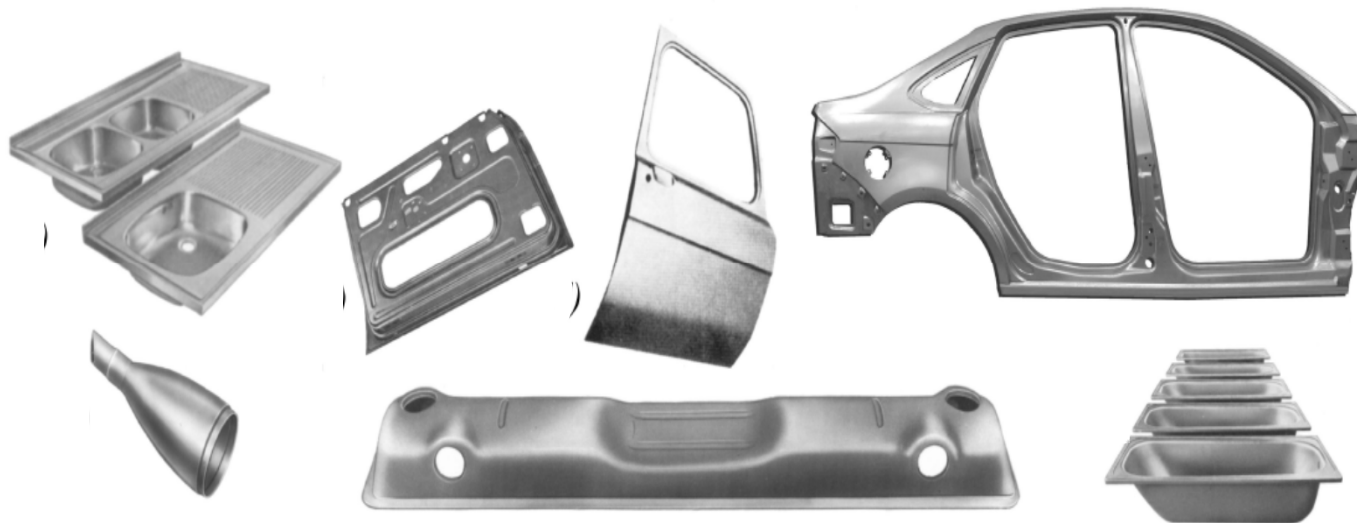


# **TEHNOLOGIJA PLASTIČNOG DEFORMISANJA**

## **DUBOKO IZVLAČENJE**

# DUBOKO IZVLAČENJE

Duboko izvlačenje je proces izrade rotaciono simetričnih ili kutijastih delova različitih oblika od ravnog lima. Izvodi se u jednoj ili u više operacija oblikovanja, pri čemu se suštinski razlikuju prva i sledeće operacije dubokog izvlačenja.



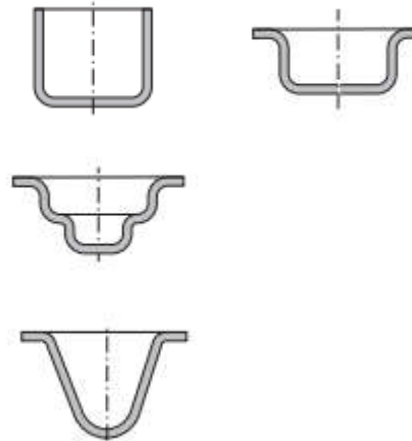
## Vrste dubokog izvlačenja

U pogledu debljine materijala obratka duboko izvlačenje može biti:

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

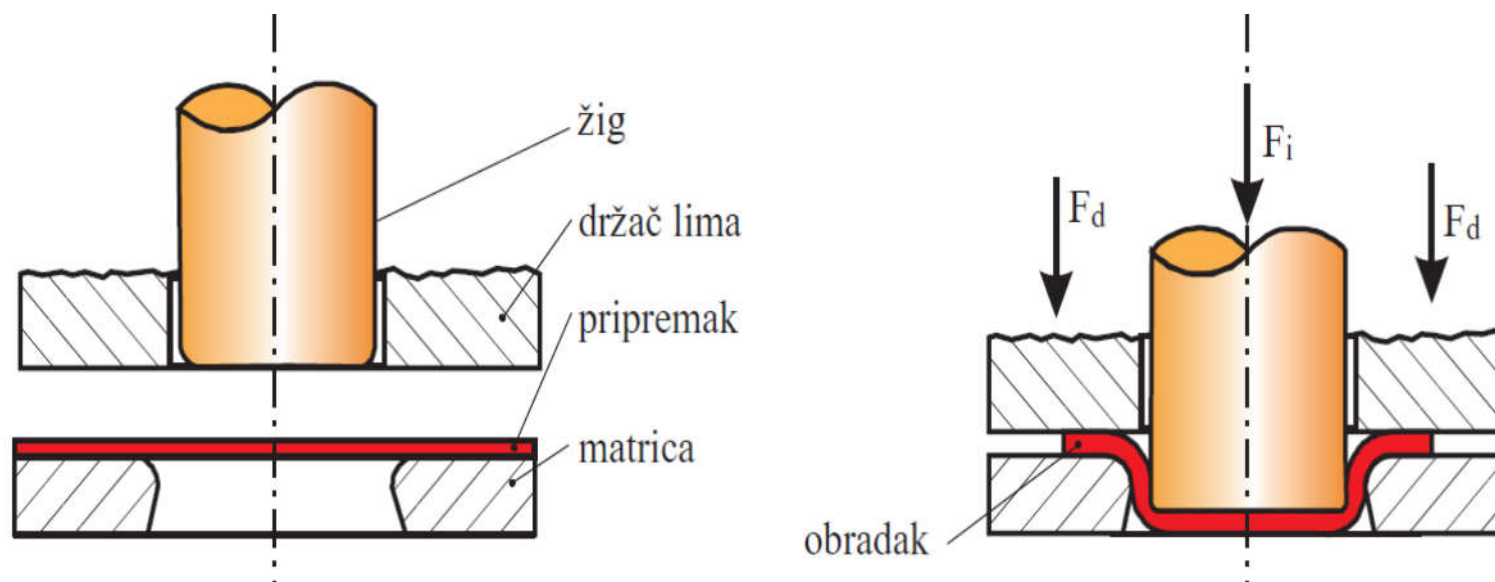
Oblik obratka dobijen izvlačenjem može biti:

- cilindričan bez venca ili sa vencem
- stepenast
- konusan
- sferičan
- kutijast
- složen, malih i velikih dimenzija



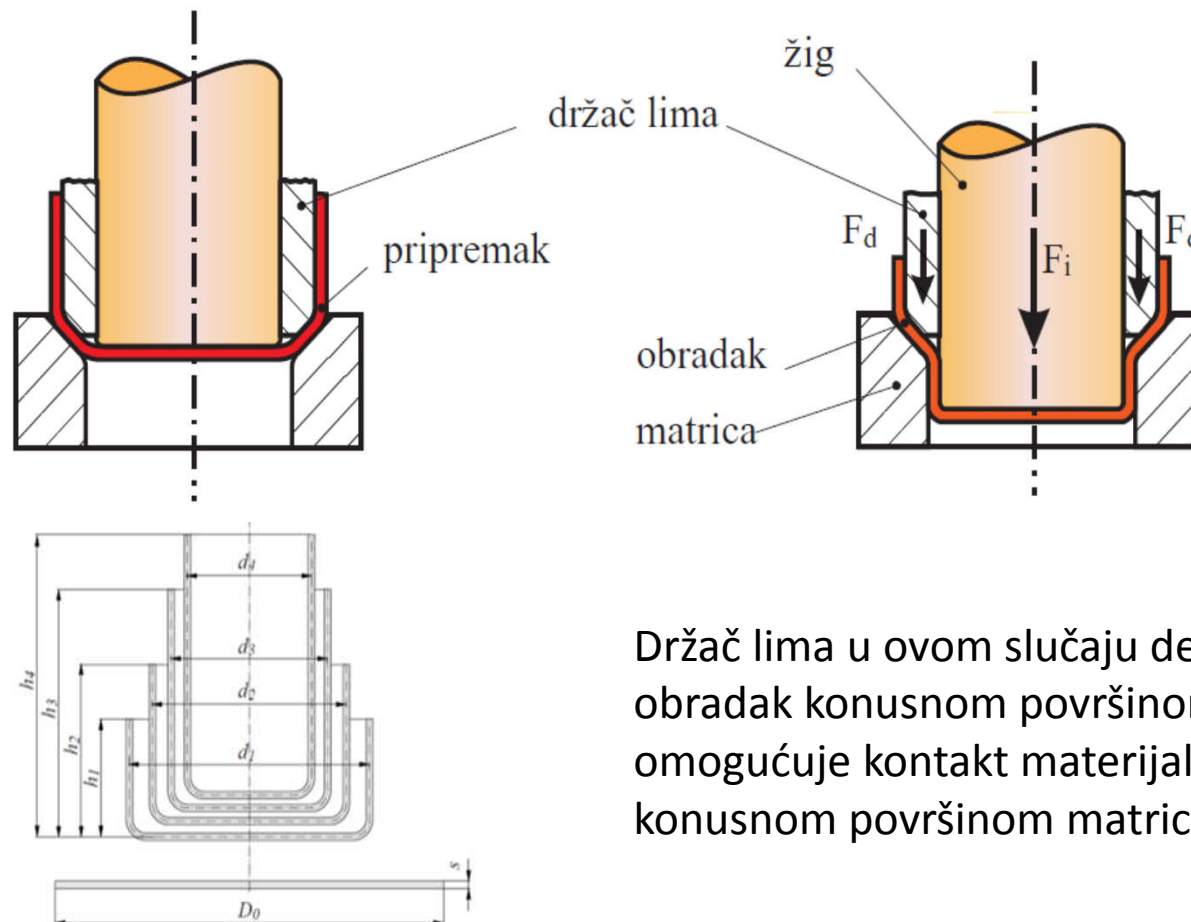
## Prva operacija dubokog izvlačenja bez promene debljine materijala

U prvoj operaciji dubokog izvlačenja se od ravnog pripremk (lima) određenog oblika i dimenzija dobija gotov deo ili međuoblik koji se dalje obrađuje ukoliko je za njegovo oblikovanje potrebno više operacija. Osnovni elementi alata za duboko izvlačenje su: žig, držač lima i matrica. Na slici je prikazana metoda dubokog izvlačenja bez promene debljine materijala, u kojoj se debljina zida dela na kraju operacije ne menja u odnosu na debljinu početnog materijala, odnosno pripremk.



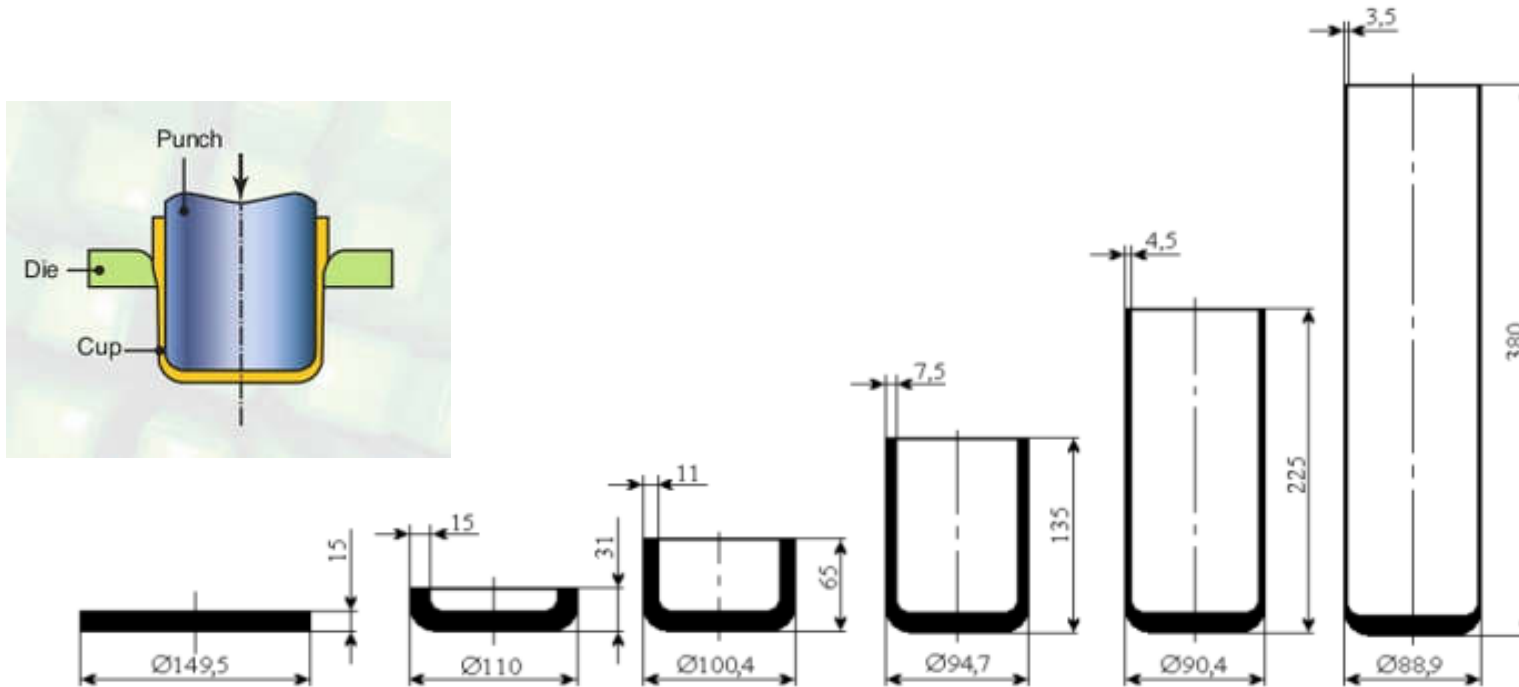
## Druga i sledeće operacije dubokog izvlačenja

Ako se jednom operacijom dubokog izvlačenja ne može dobiti finalni oblik obratka, proces oblikovanja nastavlja se sledećim operacijama kojih može biti više, što zavisi od dimenzija obratka.



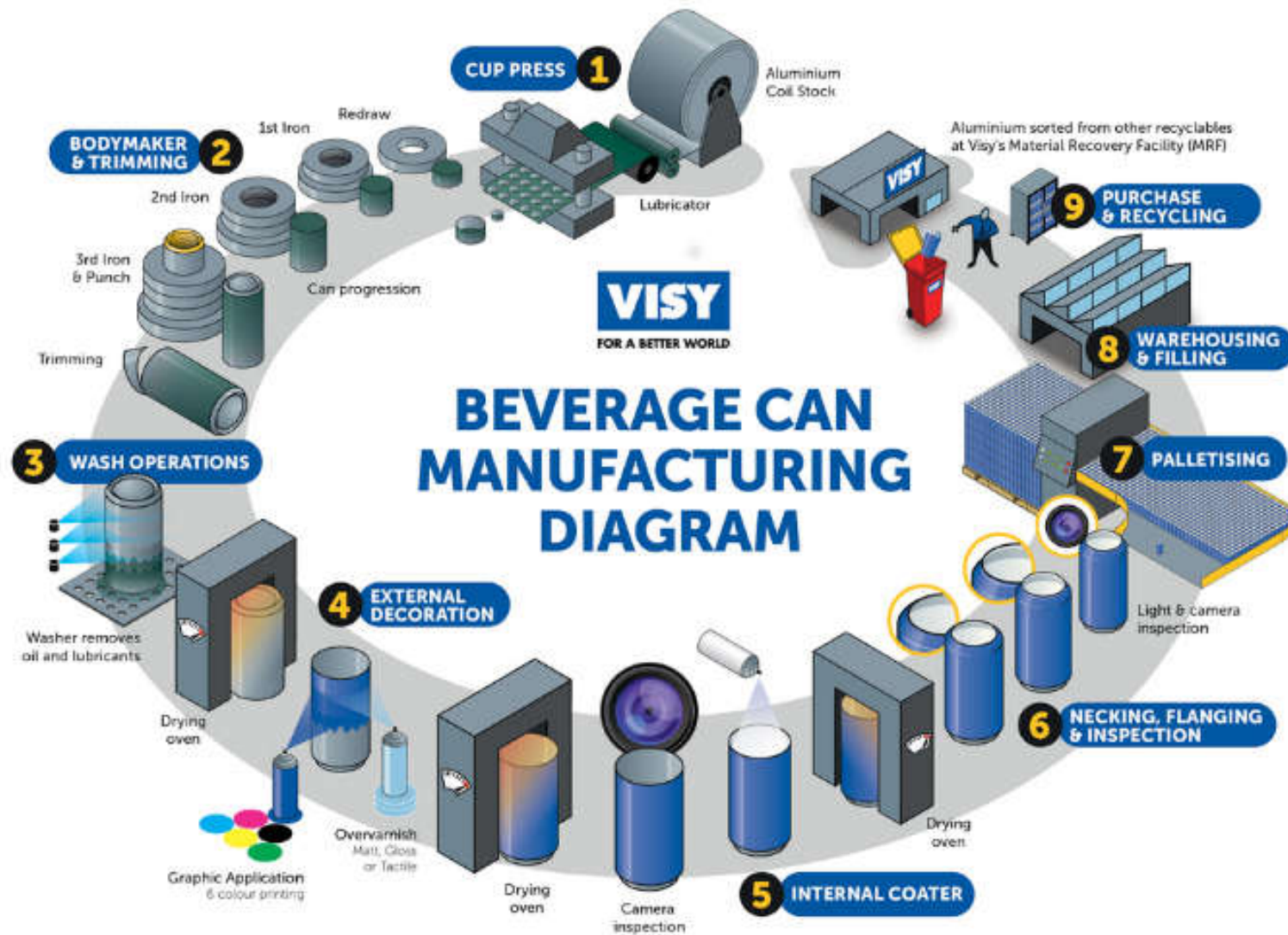
Držač lima u ovom slučaju deluje na obradak konusnom površinom, što omogućuje kontakt materijala obratka sa konusnom površinom matrice.

# Duboko izvlačenje sa promenom debljine zida



Ova vrsta dubokog izvlačenja primenjuje se kada je potrebno da debljina zida obratka bude manja od debljine dna. Prva operacija je najčešće duboko izvlačenje bez promene debljine materijala, da bi se u narednim operacijama smanjivala samo debljina zidova, dok debljina dna ostaje nepromenjena, odnosno jednaka početnoj debljini materijala. Zbog uslova konstantnosti zapremine prilikom stanjenja zidova, povećeva se visina dela.

Izrada limenke za gazirana pića je primer primene dubokog izvlačenja



## DIMENZIJE PRIPREMKA

Kod rotaciono simetričnih delova pripremak je kružnog oblika, dok se kod kutijastih delova oblik pripreмка određuje posebnim metodama. Ako je u pitanju duboko izvlačenje bez promene debljine lima kod rotaciono simetričnih delova potrebno je odrediti prečnik pripreмка iz uslova konstantnosti zapremine. S obzirom da se debljina lima ne menja, u ovom slučaju uslov konstantnosti zapremine prelazi u uslov konstantnosti površine.

$$V_0 = V = \text{const}$$

$$A_0 s_0 = A s_0$$

$$A_0 = A = \text{const}$$

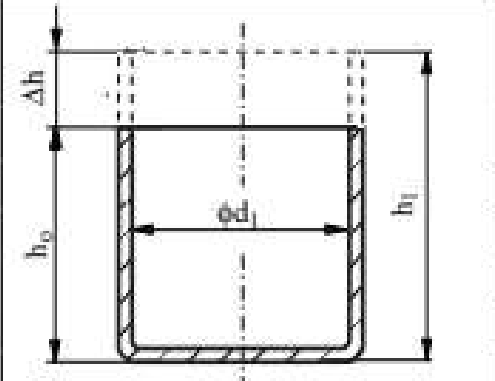
Na osnovu veličine površine gotovog dela može se odrediti prečnik pripreмка.



Zbog anizotropije polaznog materijala (osobine lima u pravcu valjanja i normalno na pravac valjanja nisu iste) nije moguće dobiti obradak idealnog oblika i dimenzija po visini (kod cilindričnih obradaka bez venca), odnosno po prečniku venca (kod obradaka sa vencem). Najčešće je potrebno posle dubokog izvlačenja izvršiti poravnavanje dela na zadatu meru. Zbog toga se prilikom određivanja pripremljena visina dela povećava za veličinu dodatka za opsecanje.

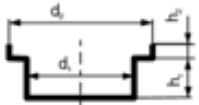

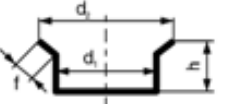
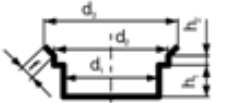
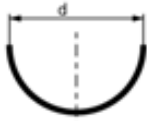
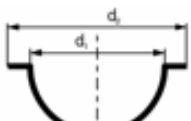
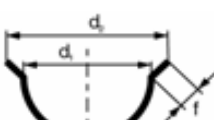
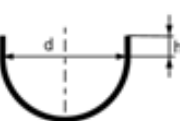


### Dodatak za opsecanje kod cilindričnih obradaka

	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  
 $\Delta h$  – dodatak za opsecanje  
 $d$  – prečnik obratka

Kako je duboko izvlačenje metoda koja se često koristi u praksi moguće je u literaturi pronaći gotove izraze za prečnik priprema rotaciono simetričnih delova. Neki primeri su prikazani u tabeli.

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

# Odnos izvlačenja

U slučaju dubokog izvlačenja bez promene debljine materijala odnos izvlačenja se računa kao odnos prečnika obratka i prečnika priprema, odnosno prečnika na kraju operacije i prečnika na početku operacije.

U prvoj operaciji odnos izvlačenja  $m_1$  će biti

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0}$$

U drugoj operaciji odnos izvlačenja  $m_2$  će biti

$$m_2 = \frac{d_2}{d_1}$$

U i-toj operaciji odnos izvlačenja  $m_i$  će biti

$$m_i = \frac{d_i}{d_{i-1}}$$

Kako je prečnik na kraju operacije manji od prečnika na početku operacije, odnos izvlačenja je broj manji od 1.

Odnos izvlačenja predstavlja i parametar deformabilnosti materijala jer određuje maksimalnu mogućnost smanjenja prečnika u posmatranoj operaciji. Manji odnos izvlačenja ukazuje na veći stepen deformacije i obrnuto. Dozvoljeni odnos izvlačenja zavisi od oblika obratka, vrste materijala, relativne debljine lima i rednog broja operacije izvlačenja i određuje se eksperimentalno. U tabeli su prikazane vrednosti odnosa izvlačenja za duboko izvlačenje cilindričnih obradaka bez venca.

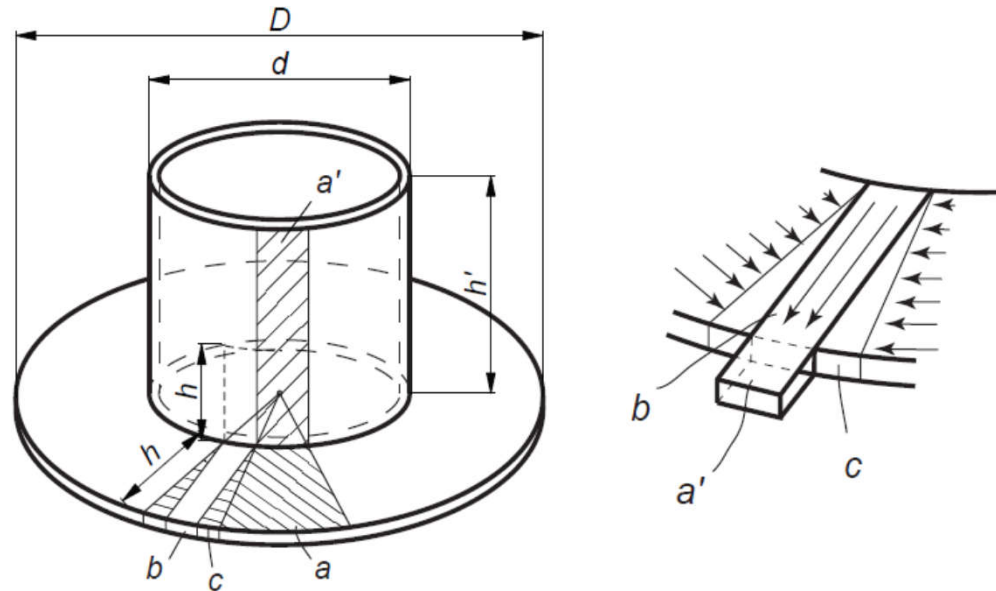
Odnos izvlačenja	Relativna debljina materijala $\epsilon_r = \frac{s_0}{D_0} \cdot 100$					
	2,0 – 1,5	1,5 – 1,2	1,0 – 0,6	0,6 – 0,3	0,3 – 0,15	0,15 – 0,08
$m_1 = \frac{d_1}{D_0}$	0,48 – 0,50	0,50 – 0,53	0,53 – 0,55	0,55 – 0,58	0,58 – 0,60	0,60 – 0,63
$m_2 = \frac{d_2}{d_1}$	0,73 – 0,75	0,75 – 0,76	0,76 – 0,78	0,78 – 0,79	0,79 – 0,80	0,80 – 0,82
$m_3 = \frac{d_3}{d_2}$	0,76 – 0,78	0,78 – 0,79	0,79 – 0,80	0,81 – 0,82	0,81 – 0,82	0,82 – 0,84
$m_4 = \frac{d_4}{d_3}$	0,78 – 0,80	0,80 – 0,81	0,81 – 0,82	0,82 – 0,83	0,83 – 0,85	0,85 – 0,86
$m_5 = \frac{d_5}{d_4}$	0,80 – 0,82	0,82 – 0,84	0,84 – 0,85	0,85 – 0,86	0,86 – 0,87	0,87 – 0,88

*Napomene:*

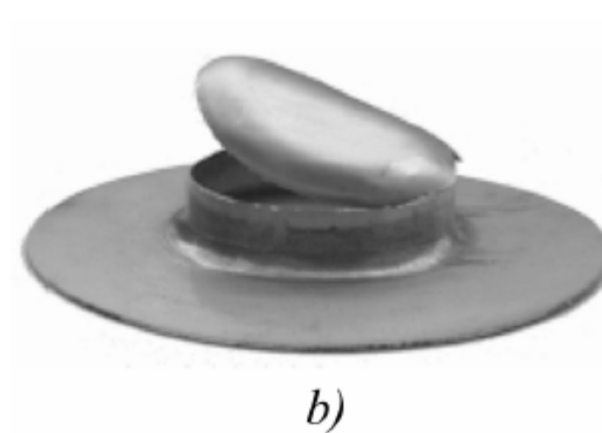
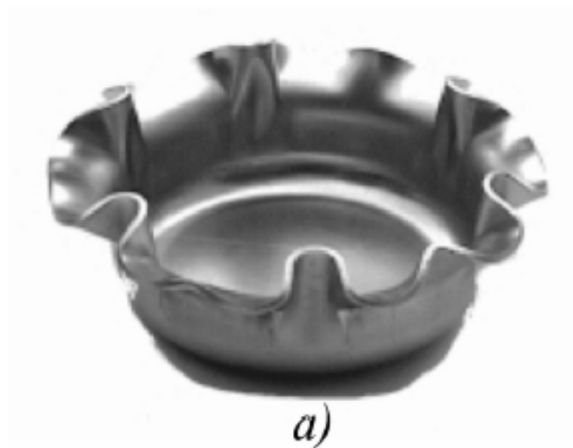
- 1. Tabela važi za izvlačenje čeličnog i mekog mesinganog lima, za obratke bez venca*
- 2. Izvlačenje se vrši s držačem lima*
- 3. Sledeće operacije se izvode bez međuoperacionog žarenja*

## Formiranje obratka u prvoj operaciji

Sam proces dubokog izvlačenja odvija se u ravni venca obratka dejstvom radijalnog i tangencijalnog napona koji prevode trouglaste elemente (c) i pravougaone segmente (b) u pravolinijski element (a'). Pri tome držač lima ima važnu ulogu jer omogućuje kontrolisano deformisanje u ravni venca obratka.



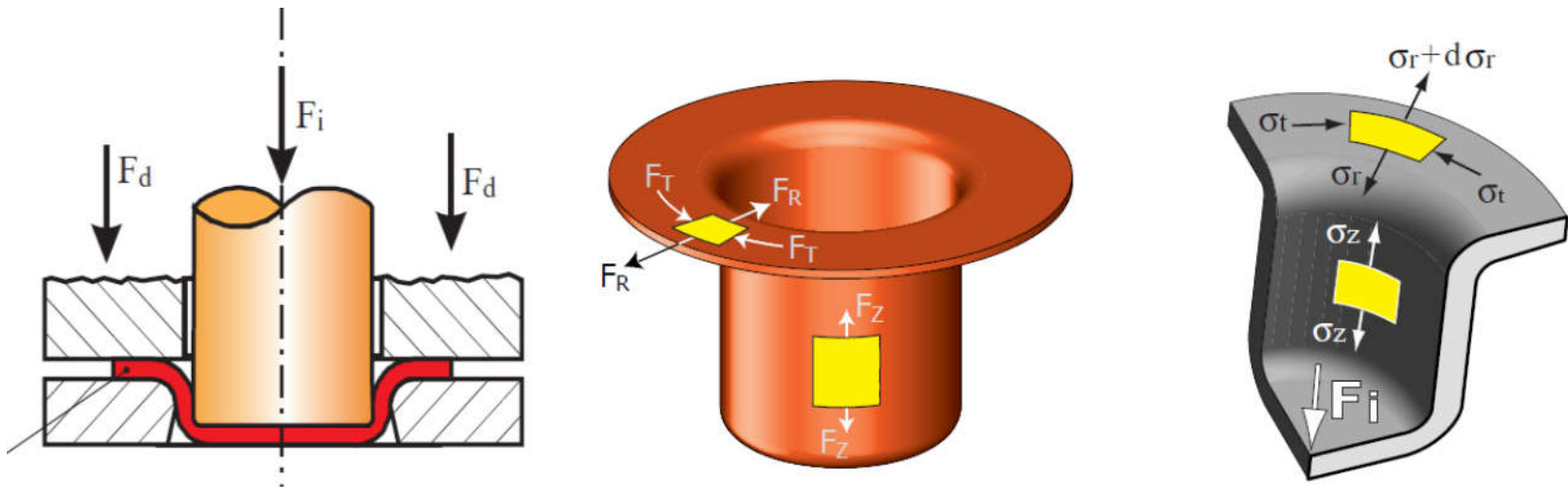
Ako sila držača lima nije dovoljno velika dolazi do pojave faltanja materijala u ravni venca obratka (a), dok previsoka vrednost sile držača blokira tečenje materijala i izaziva pukotine na prelaznom radijusu dna obratka (b).



Neke od grešaka koje se mogu javiti u procesu dubokog izvlačenja

# Sile i naponi kod dubokog izvlačenja

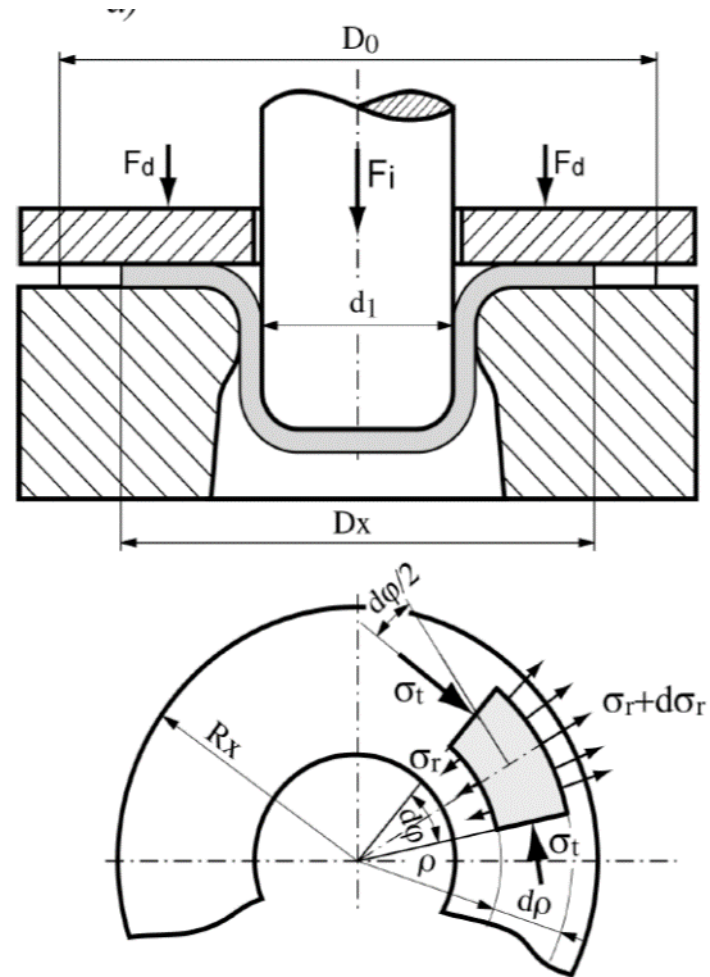
Duboko izvlačenje odvija se pod dejstvom sile izvlačenja ( $F_i$ ) koja se preko čela žiga i dna obratka prenosi na cilindrični omotač, a zatim u venac obratka. U ravni venca obratka deluju zatezna radijalna sila ( $F_R$ ) i pritisna tangencijalna ( $F_T$ ). U cilindričnom omotaču obratka deluje aksijalna zatezna sila ( $F_z$ ) koja je, u stvari, jednaka sili izvlačenja



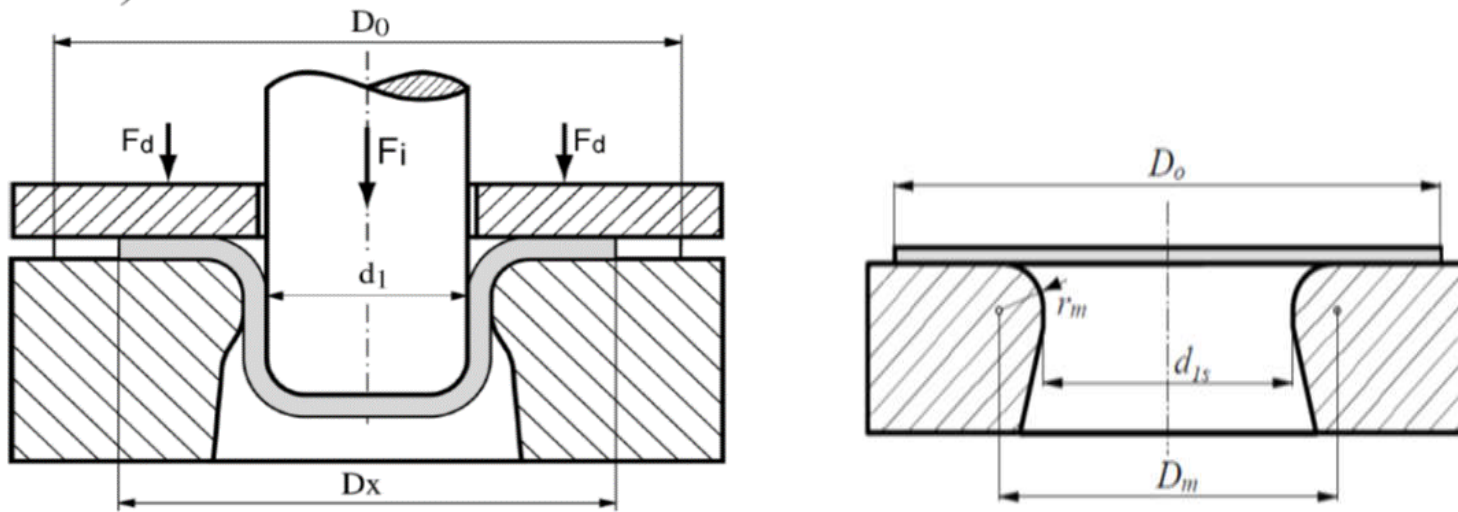
# Deformaciona sila u prvoj operaciji dubokog izvlačenja

Deformaciona sila mora da bude dovoljna da savlada:

1. Otpor čiste deformacije u ravni venca
2. Otpor trenja u ravni venca usled delovanja držača lima
3. Otpor trenja usled klizanja materijala preko radijusa zaobljenja matrice
4. Otpor savijanja preko zaobljenja na matrici i žigu







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

Logaritamska deformacija kod dubokog izvlačenja

$$\varphi = \ln \frac{d_{i-1}}{d_i}$$

Logaritamska deformacija kod prve operacije dubokog izvlačenja

$$\varphi = \ln \frac{D_0}{d_1}$$

Kada je poznat napon izvlačenja za prvu operaciju sila izvlačenja se određuje na osnovu sledećeg izraza

$$F_i = \sigma_i \cdot A_1 = \sigma_i \cdot d_1 \cdot \pi \cdot s$$

Deformacioni rad pri dubokom izvlačenju iznosi

$$W = \int F \cdot dh \approx F_1 \cdot h_1 \cdot x$$

gde je

$F_1$  – sila (maksimalna) u prvoj operaciji dubokog izvlačenja

$h_1$  – visina obratka nakon prve operacije izvlačenja

$x$  – koeficijent punoće F-h dijagrama, koji zavisi od odnosa izvlačenja u prvoj operaciji  $m_1$

$m_1$	0,55	0,60	0,65	0,70	0,75	0,80
$x$	0,80	0,77	0,74	0,70	0,67	0,64

Pre nego što se sila držača lima odredi treba proveriti da li je držač lima potreban. Ako je  $s_{r1} \geq 2\%$  i  $m_1 > 0,6$ , držač lima nije potreban, odnosno  $F_d = 0$ ,

$$s_{r1} = \frac{s}{D_0} 100 \quad \text{relativna debljina lima}$$

$$m_1 = \frac{d_1}{D_0} \quad \text{odnos izvlačenja za prvu operaciju}$$

Sila držača lima određuje se prema sledećem izrazu

$$F_d = p_d \cdot A_d = p_d \cdot (D_0^2 - D_m^2) \frac{\pi}{4}$$

gde se pritisak držača lima računa kao

$$p_d = (2 \div 3) 10^{-3} \left[ \left( \frac{D_0}{d_1} - 1 \right)^3 + \frac{d_1}{200 \cdot s} \right] R_m \quad \left[ \frac{N}{mm^2} \right]$$

# Određivanje broja operacija

Broj potrebnih operacija dubokog izvlačenja  $n$  određuje se prema sledećem izrazu:

$$n = \frac{\log d_n - \log(m_1 D_0)}{\log m_{sr}} + 1$$

gde je  $d_n$  prečnik u poslednjoj ( $n$ -toj) operaciji,  $m_1$  odnos izvlačenja u prvoj operaciji,  $D_0$  prečnik priprema, a  $m_{sr}$  srednja vrednost odnosa izvlačenja od druge do poslednje operacije.

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

U tabeli su prikazane vrednosti odnosa izvlačenja za cilindrične obratke bez venca.

Odnos izvlačenja	Relativna debljina materijala $s_r = \frac{s_0}{D_0} 100$					
	2,0 – 1,5	1,5 – 1,2	1,0 – 0,6	0,6 – 0,3	0,3 – 0,15	0,15 – 0,08
$m_1 = \frac{d_1}{D_0}$	0,48 – 0,50	0,50 – 0,53	0,53 – 0,55	0,55 – 0,58	0,58 – 0,60	0,60 – 0,63
$m_2 = \frac{d_2}{d_1}$	0,73 – 0,75	0,75 – 0,76	0,76 – 0,78	0,78 – 0,79	0,79 – 0,80	0,80 – 0,82
$m_3 = \frac{d_3}{d_2}$	0,76 – 0,78	0,78 – 0,79	0,79 – 0,80	0,81 – 0,82	0,81 – 0,82	0,82 – 0,84
$m_4 = \frac{d_4}{d_3}$	0,78 – 0,80	0,80 – 0,81	0,81 – 0,82	0,82 – 0,83	0,83 – 0,85	0,85 – 0,86
$m_5 = \frac{d_4}{d_5}$	0,80 – 0,82	0,82 – 0,84	0,84 – 0,85	0,85 – 0,86	0,86 – 0,87	0,87 – 0,88

*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*

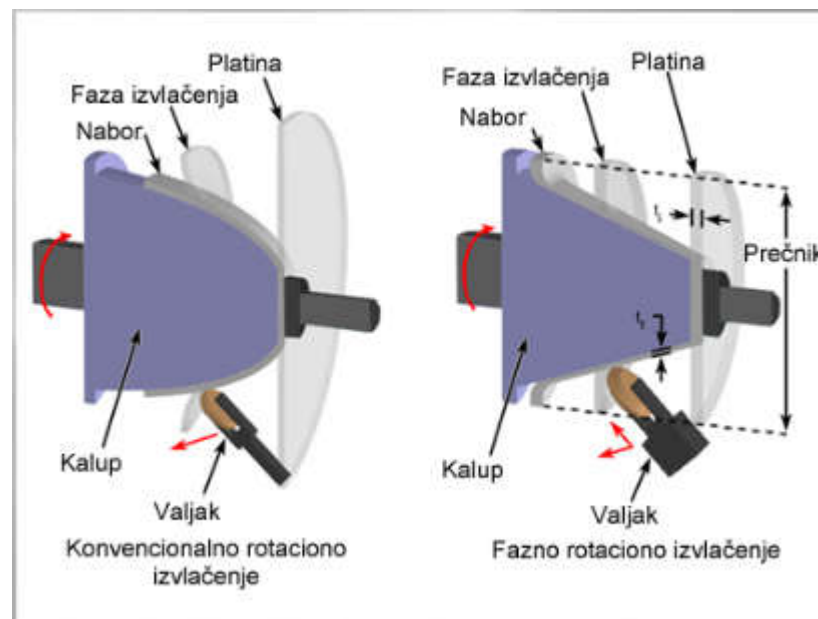
## **Mašine za duboko izvlačenje**

Za duboko izvlačenje koriste se i mehaničke i hidraulične prese. Sa stanovišta odvijanja procesa dubokog izvlačenja pogodnije su hidraulične prese, jer je brzina pritiskivača konstantna i u većini slučajeva može se podešavati, međutim, sa stanovišta proizvodnosti pogodnije su mehaničke prese jer omogućuju znatno veću produkciju. Načelno se može reći da za obratke manje visine prednost imaju mehaničke prese, pre svega zbog velikih produkcionih mogućnosti. Za složenije obratke veće visine treba koristiti hidraulične prese.

Broj dejstava mašine utiče na konstrukciju alata za duboko izvlačenje. Veći broj dejstava mašine (mašina trostrukog dejstva npr.) omogućuje jednostavniju konstrukciju alata.

## Rotaciono izvlačenje

Rotaciono izvlačenje je obrada lima deformisanjem, kojom se dobijaju šupli rotaciono simetrični delovi. S obzirom na kvalitet obrađene površine rotaciono izvlačenje predstavlja završnu obradu.

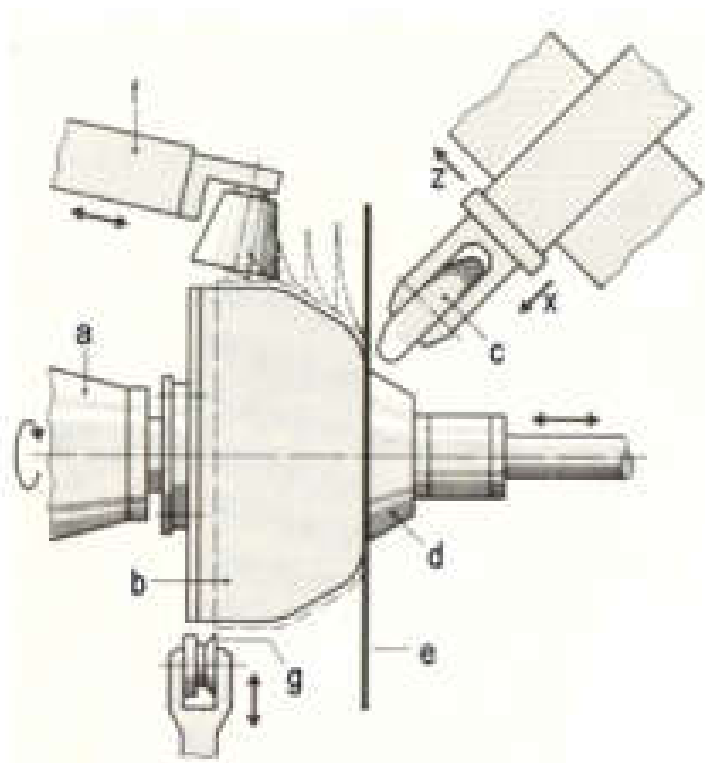


Tehnologija rotacionog izvlačenja spada u red tehnologija sa parcijalnim zahvatom. To znači da je tečenje materijala ograničeno je na vrlo usku oblast trenutnog delovanja alata na materijal. Zbog parcijalnog zahvata alata i materijala, u procesu se javljaju relativno male sile. Pored toga, značajna prednost ovog postupka je i to što oblik alata nije direktno uslovljen oblikom gotovog dela. Nedostatak ovog procesa je relativno dugo vreme izrade, obzirom na prirodu same obrade (parcijalni zahvat).

Sama obrada realizuje se složenim relativnim kretanjima elemenata alata i radnog komada, što je čini veoma fleksibilnom kako u odnosu na vrstu materijala, tako i u odnosu na njegove geometrijske karakteristike. Na slici je prikazana šema procesa rotacionog izvlačenja.

Pripremak je ravna rondela kružnog oblika koja se preko držača pritiskuje na kalup. Kalup ima oblik koji odgovara završnom obliku komada. Delovanjem alata na pripremak vrši se oblikovanje lima inkrementalnim putem.

Osnovni elementi alata su kalup, valjčić i držač (pritiskivač).



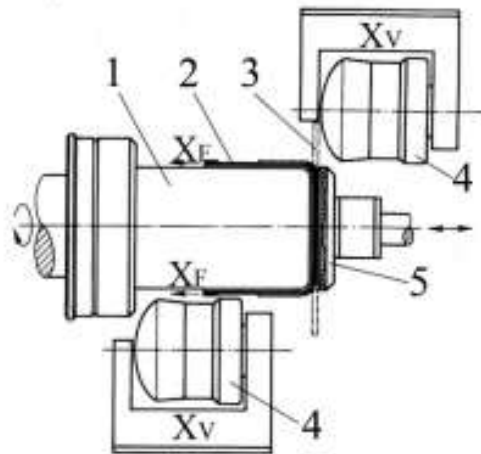
a – mašina; b – kalup; c – valjčić;  
d – držač; e – lim; f – pomoćni valjčić;  
g – alat za odsecanje ivice radnog komada



Rotaciono izvlačenje sa promenom debljine materijala cilindričnih delova moguće je izvesti na dva načina:

- Istosmerno rotaciono izvlačenje
- Suprotnosmerno rotaciono izvlačenje

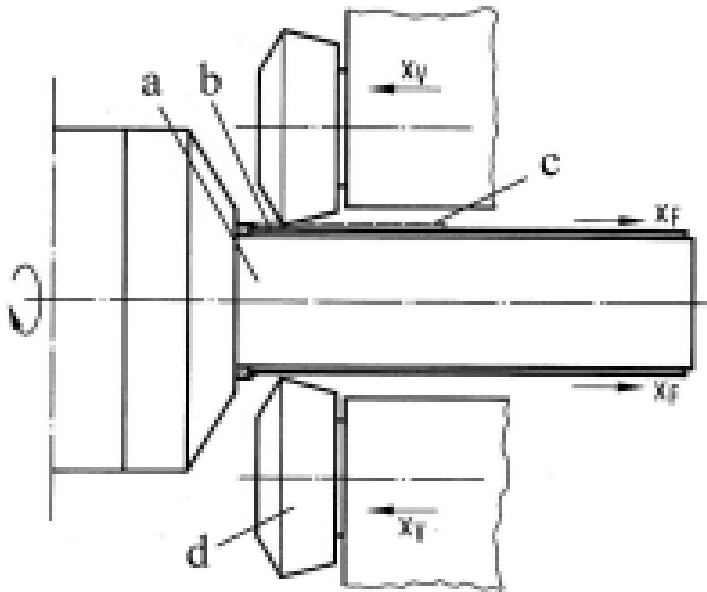
Kod istosmernog izvlačenja smer kretanja alata (valjčića) identičan je smeru kretanja materijala koji se deformiše. Polufabrikat za ovaj slučaj obrade može biti ravna limena platina ili pripremak u vidu čančeta dobijen dubokim izvlačenjem ili rotacionim izvlačenjem.



Istosmerno rotaciono izvlačenje sa promenom debljine materijala kada je pripremak pločast

- 1 – kalup
- 2 – obradak
- 3 – pločasti kružni pripremak – rondela
- 4 – alat (valjčić)

Kod suprotnosmernog rotacionog izvlačenja sa promenom debljine materijala materijal teče u smeru suprotnom od smeru kretanja alata.



Pripremak u vidu cevi (b) se postavlja na kalup (a) i to tako da se svojom čeonom stranom oslanja na čeonu graničnik na glavi mašine. Valjci (d) se kreću u naznačenom smeru, a materijal (c) teče u smeru suprotnom od kretanja valjka.