

9. ALATI ZA IZVORNO OBLIKOVANJE - KALUPI

1. Uvod

Izvorno oblikovanje je prvo oblikovanje geometrijski određenog čvrstog tijela procesom trajnog povezivanja čestica bezobličnog materijala, kao npr: rastaljeni metal, zrnca, prah, pasta, kaša, (sl.1).

Postupci: lijevanje, prešanje, sinteriranje (prešanje i pečenje)...

Materijali: metali i njihove legure, plastične mase (polimeri), papir...

Proizvodi (otpresci, odljevci): pretežno su složenog oblika i velikih količina, mogu biti veliki i masivni, oblikuju se u jednom radnom hodu, završna obrada odvajanjem je relativno manjeg opsega

Lijevanje je postupak oblikovanja pri kojemu se rastaljeni metal ulijeva u neku šupljinu (kalup), hladi i skrućuje u njoj te poprima njen oblik.

Alati za lijevanje mogu biti:

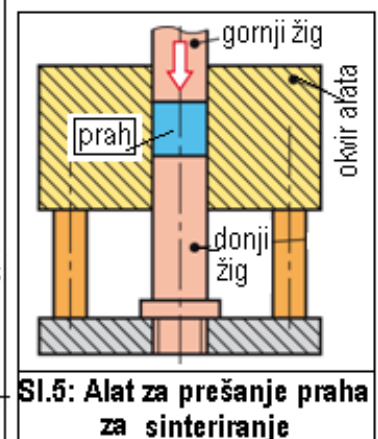
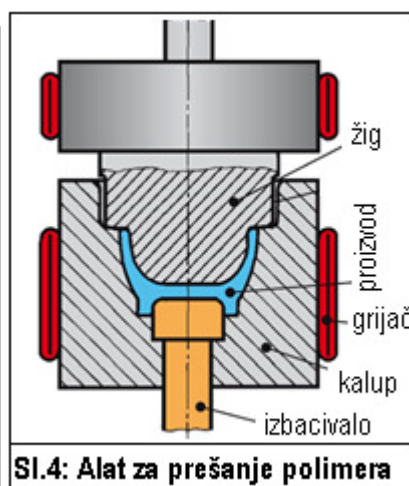
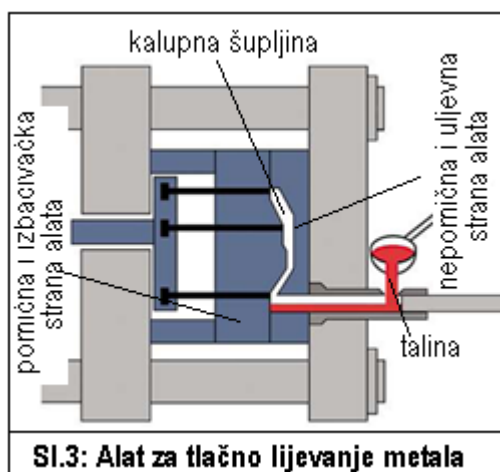
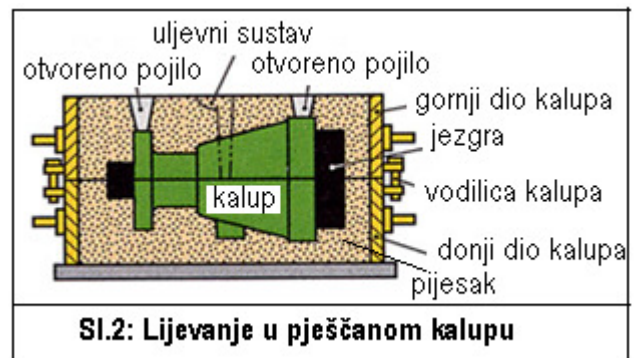
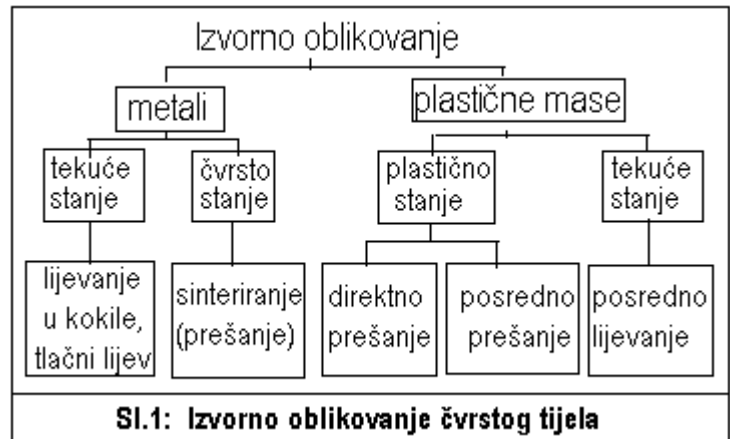
- **pješčani kalupi** za jednokratnu upotrebu (sl.2) i
- **metalni (kokile)** za višekratnu upotrebu.

Ulijevanje može biti:

- **gravitacijsko** pod djelovanjem sile teže (sl.2) ili
- **tlačno** pod povišenim pritiskom radi boljeg popunjavanja kalupne šupljine (sl.3).

Prešanje je oblikovanje proizvoda od zrnca ili praha plastične mase (polimer) u zagrijanom stanju i pod povišenim pritiskom u alatu (sl.4).

Sinteriranje je oblikovanje proizvoda prešanjem praha (čvrsto stanje) pod visokim pritiskom u alatu i pečenjem isprešanog proizvoda pri kojem dolazi do očvrnuća, zgušnjavanja i smanjenja poroznosti, kao npr: rezne pločice tvrdog metala (sl.5)..



2. Kokile ili metalni kalupi

Kokile su metalni kalupi za višekratno gravitacijsko ulijevanje neželjeznih metala. U novije vrijeme ulijeva se i pod niskim pritiskom do 1 bara radi boljeg popunjavanja kalupa i dobivanja potrebne konture proizvoda (sl.1).

Proizvodi lijevani u kokilama imaju dobru točnost mjera, glatku površinu i fino zrnatu strukturu. Lijevanje je ekonomično za izradu kompliciranih dijelova motora, vozila i alatnih strojeva u velikim količinama (kućište reduktora, tijelo cilindra, blok motora...sl.3).

Kokile se sastoje od dvije kalupne ploče i jezgri za oblikovanje otvora u odljevku. Jezgre su više izložene toplinskom i mehaničkom opterećenju pa se rade od legiranog čelika za rad u toplom stanju, a kalupne ploče obično od sivog lijeva.

Izvedbe kokila:

- jednostavne s okvirnom stegom (sl.1a), klizne (sl.1b) ili zglobne s bravom (sl.1c) te
- složene s mehanički ili hidraulički pokretanim elementima (sl.2).

Osnove tehnološkog procesa:

Izbjegavati oštre prijelaze s tankih na deblje stijenke kao i tanke izdanke na proizvodu. Predvidjeti nagibe u smjeru otvaranja kokile i mogućnost popunjavanja kalupa. Skrućivanje treba biti od donjih i debljih dijelova prema gornjim dijelovima odljevka. Predvidjeti položaj odljevka tako da se omogući njegovo izvlačenje bez oštećenja površine.

Osnovni zadatak je pravilno riješiti uljevni i naljevni sustav koji trebaju osigurati:

- kontinuirani dotok taline u kalupnu šupljinu
- dovod mora biti miran bez vrtloženja i zahvaćanja mjehurića zraka
- brzina popunjavanja mora omogućiti istiskivanje zraka iz kalupa
- pojila (naljevni sustav) i odzračnike treba postaviti na najviše mjesto u kokili
- pri ulijevanju Al-legura preporučuje se sljedeći omjer površina uljevka, razvodnika i ušća:

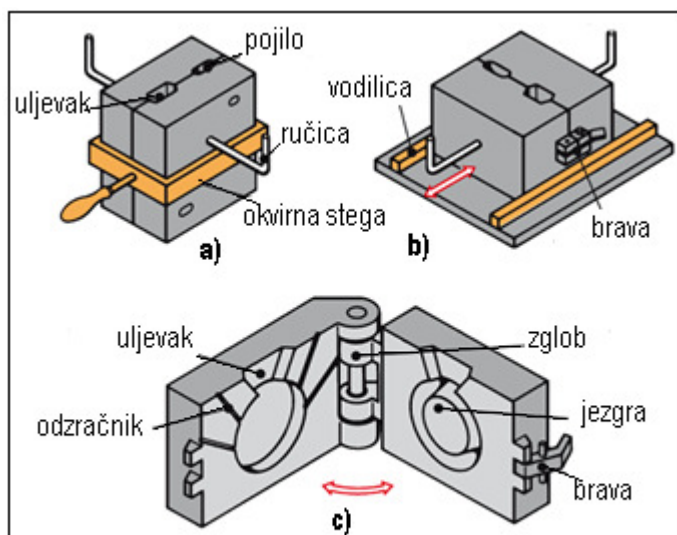
$$A_{\text{uljevka}} : A_{\text{razvodnika}} : A_{\text{ušća}} = 1 : 2 : 3$$

za manje i srednje odljevke i

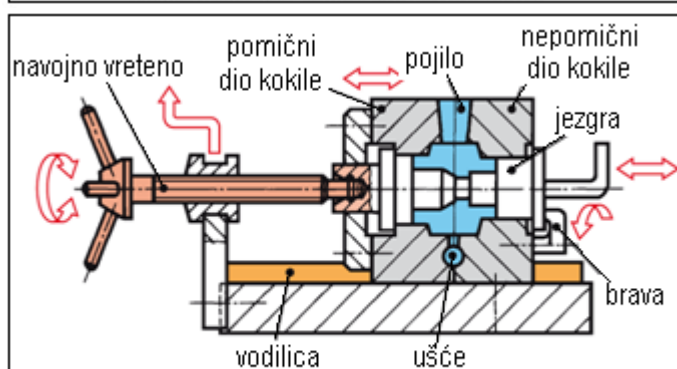
$$A_{\text{uljevka}} : A_{\text{razvodnika}} : A_{\text{ušća}} = 1 : 3 : 6$$

za veće odljevke

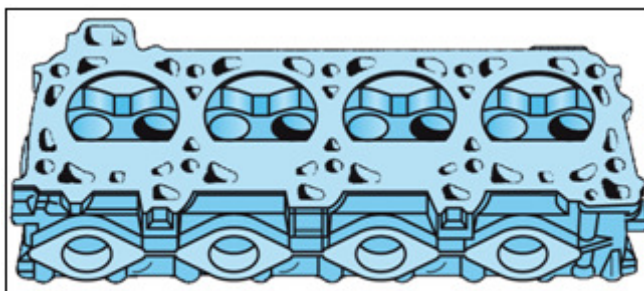
- zagrijanost kokile održava se bržim radom ili pomoću plinskih i električnih grijača
- radi brže kristalizacije mogu se ugraditi i rashladni kanali na rubovima
- premazivanje kokile osigurava dobro odvajanje odljevka (pneumatski raspršivač).



Sl.1: Izvedbe jednostavnih kokila



Sl.2: Kokila s mehanički pokretanim elementima



Sl.3: Kokilni odljevnik nakon obrade odvajanjem

3. Alati za tlačni lijev

3.1 Osnovni pojmovi i podjela

Tlačno lijevanje je postupak ulijevanja rastaljenog metala pod visokim pritiskom i velikom brzinom u metalni kalup te završnog prešanja tijekom skrućivanja (sl.1).

Proizvodi (otpresci) su visoke točnosti mjera do $\pm 0,02$ mm, glatke površine ovisno o kvaliteti poliranja kalupa, dobre popunjenosti tankih stijenki i odlične vanjske konture. Visokim pritiskom povećava se i čvrstoća proizvoda. Nadalje, moguće je zalijevanje i stranih tijela u odljevak kao što su navojne čahure, svornjaci i slično (sl.2). Zbog velikih troškova izrade alata postupak je ekonomičan za velike količine proizvoda, kao npr: radiatori od Al-legure, kućište statora elektromotora, razni dijelovi automobila, odljevci šivaćeg stroja...).

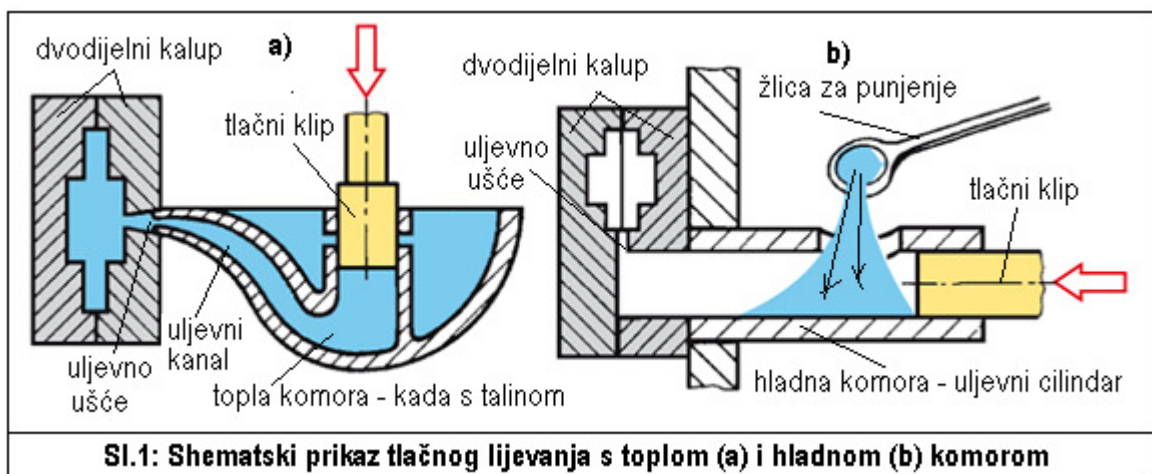
Materijali za tlačno lijevanje su pretežno neželjezne legure lakih i teških metala (Al, Zn, Cu, Mg, Pb, Sn...).

Postupci tlačnog lijevanja i pripadajući strojevi razlikuju se po temperaturi taljenja metala:

a) tlačni lijev s toplom komorom za metale s nižim talištem do $\sim 400^\circ\text{C}$ (Pb, Sn, Zn), ali i Mg-legure s višim talištem oko 650°C zbog njihove kemijske pasivnosti prema željezu (sl.1a). Naprava za ulijevanje je uronjena u kadu s talinom i sastavni je dio stroja. Pritisak za ulijevanje taline (30-250 bara) postiže se klipom ili stlačenim zrakom. Površine kalupa se predgrijavaju prije lijevanja da se spriječi hlađenje taline prije potpunog popunjavanja kalupa i da se spriječi toplinsko naprezanje kalupa.

a) tlačni lijev s hladnom komorom za metale s višim talištem, kao npr: legure aluminija s $\approx 700^\circ\text{C}$ ili bakra s temperaturom ljevanja iznad 900°C (sl.1b). Metal se tali u posebnoj peći i pomoću žlice (ručno ili mehanička ruka) unosi u " hladnu komoru", odnosno u **uljevni cilindar** s tlačnim klipom za ulijevanje.

Temperatura kalupa za vrijeme rada je od $50 - 350^\circ\text{C}$ ovisno o materijalu lijevanja. Održava se pomoću rashladne tekućine (voda, ulje) koja prolazi rashladnim kanalima i pogoni posebnim uređajem s grijačem i hladnjakom.



Strano tijelo u odljevku prije lijevanja treba fiksirati u kalupu i zaštititi otvore na suprotnoj strani, kao npr: pri zalijevanju matice: slijepi provrt ili zaštitna podloška (sl.2).



3.2 Tlačni ljev s "hladnom" komorom – uljevni cilindar

Ljevaju se svi ljevljivi metali, a posebno legure aluminija ili bakra s visokim talištem, iznad 400° C (sl.1). Ima pokušaja lijevanja i čeličnog lijeva.

Komora s talinom ili uljevni cilindar je sastavni dio alata i niže temperature od taline pa se naziva "hladna" komora (sl.1).

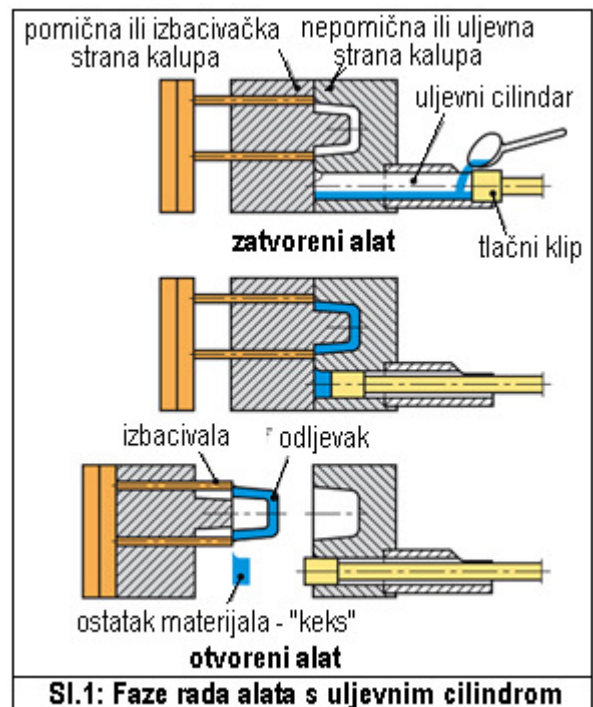
Strojevi se nazivaju preše, a proizvodi otpresci.

Peć s talinom je odvojena cjelina tako da se potrebna masa taline zahvaća žlicom i ulijeva u cilindar.

Posluživanje može biti ručno ili automatski s mehaničkom rukom za posluživanje više preša koje su postavljene oko jedne peći.

Preše s alatima izvode se s vodoravnim uljevnim cilindrom (sl.1 i 2) ili okomitim.

Kalupi se sastoje od nepomične ili uljevne strane, pomične ili izbacivačke (sl.1) i jezgri za oblikovanje otvora u otpresku.



Faze rada tlačnog lijeva (sl.1):

zatvaranje preše i alata

ulijevanje taline u cilindar

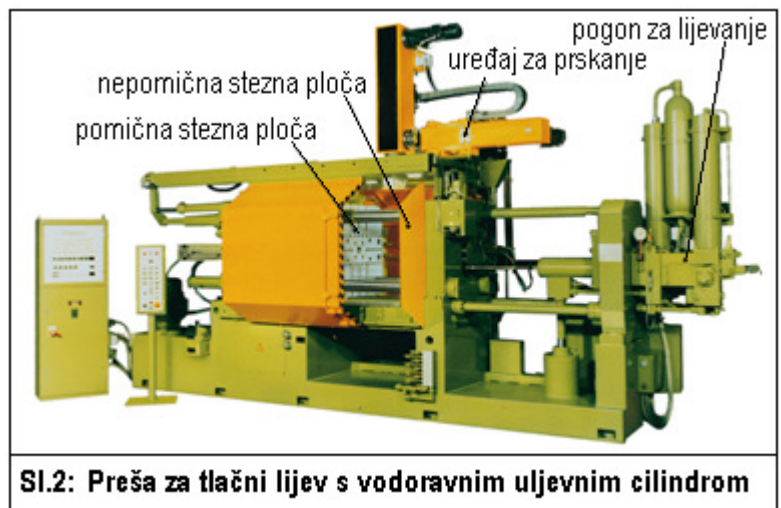
sabijanje taline, strujanje u kalup i popunjavanje, završno sabijanje do skrućivanja s povećanim pritiskom

hlađenje alata, otpreska i uljavnog cilindra

otvaranje preše i alata

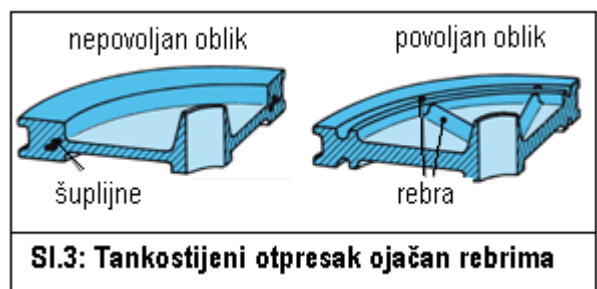
izbacivanje otpreska

čišćenje i podmazivanje kalupa (prskalica)



Osnove proračuna alata za tlačni ljev:

Debljina stijenke otpreska treba biti što manja i ujednačena, po mogućnosti do 5 mm, da se izbjegne vrtloženje i zarobljavanje zraka. Preporučuje se srednja debljina stijenke otpreska: ~ 1 mm za legure Pb, Sn i Zn; ~2 mm za legure Al, Mg i ~ 3 mm za legure Cu. Zbog mogućeg smanjenja čvrstoće, predvidjeti na otpresku rebra za ojačanje (sl.3).



Mjere kalupa treba povećati u odnosu na mjere otpreska zbog stezanja materijala po formuli:

$$l_1 = \frac{l \cdot 100\%}{100\% - s},$$

gdje je s - stezanje materijala u %, l – dužina otpreska i l_1 – mjera na kalupu

Tlak na talinu za vrijeme sabijanja u kalup je 300-1000 bara (10^5 Pa), ovisno o materijalu i kvaliteti otpreska.

Brzina sabijanja taline na ušću u kalup je $v=30-50$ m/s, ovisno o pritisku i gustoći taline (veće brzine za tanje stijenke). Omjer brzine uljevanja za različite materijale uz isti pritisak: Cu : Zn : Al : Mg = 1 : 1,1 : 1,8 : 2,2

Vrijeme punjenja kalupa se računa po formuli: $t = \frac{m}{A_u \sqrt{2p\rho}}$,

gdje je m – masa taline, A_u – površina ušća, p – pritisak i ρ - gustoća taline. Preporučuje se 0,01-0,20 (s), ovisno o vrsti i masi materijala te srednjoj debljini stijenke otpreska.

Površina presjeka ušća uz poznato vrijeme punjenja: $A_u = \frac{m}{\rho \cdot t \cdot v}$

Debljina (visina) ušća h_u : 1–1,4 mm za AISi; 1,2–2,5 za AISiCu; 0,35–0,8 za ZnAl4 i 0,6–2 mm za MgAl8.

Širina ušća se računa po formuli: $b_u = A_u / h_u$.

Promjer i brzina tlačnog klipa trebaju zadovoljiti sljedeći uvjet: $\frac{m}{\rho \cdot t} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} \cdot v_k$,

gdje su d – promjer, a v_k – brzina tlačnog klipa.

Presjek razvodnika u odnosu na ušće: $A_{ušće} : A_{razvodnik} = 1:5$ do $1 : 8$,

a odnos visina: $h_{ušće} : h_{razvodnik} = 1:3$ do $1:4$.

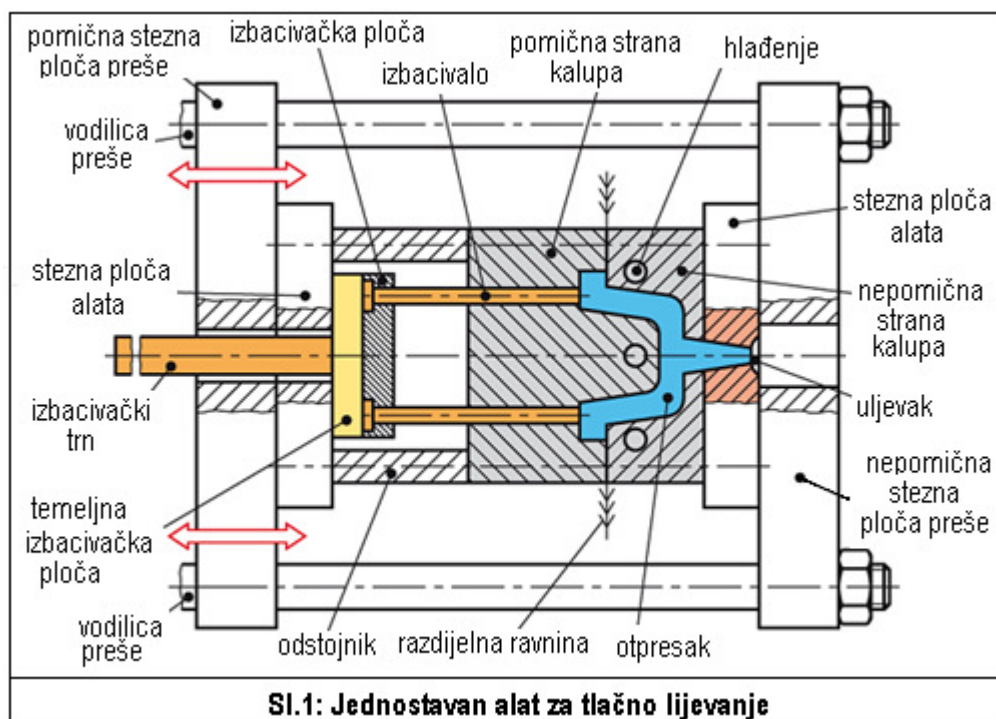
Sila otvaranja kalupa ovisi o projiciranoj površini otpreska i uljevnog sustava na razdjelnu ravninu i pritisku uljevanja: $F_o = A_{otpreska} \cdot p_1$

Sila zatvaranja kalupa s faktorom sigurnosti: $F_z = 1,25 \cdot F_o$

Osnove konstrukcije alata za tlačni ljev:

Podjela alata:

- **Alati s jednim gnijezdom** za lijevanje jednog otpreska s jednim radnim hodom tlačnog klipa (sl.1). Izrađuju se za velike i vrlo složene proizvode.
- **Alati s više gnijezda** za istovremeno lijevanje više manjih istih ili različitih proizvoda.



Sl.1: Jednostavan alat za tlačno lijevanje

Razdjelna ravnina alata:

Alat se sastoji od dvije kalupne ploče (matrice) od kojih je jedna pomična zbog otvaranja alata i vađenja otpreska. Razdjelnu ravninu na otpresku odabrati tako da otpresak ostane u pomičnoj strani pri otvaranju alata. Time se olakšava vađenje otpreska pomoću izbacivačkog sustava (sl.1 na prethodnoj stranici).

Uljevni sustav:

Dovodi talinu kroz uljevak, razvodni kanal i ušće u kalup. Treba ga oblikovati tako da bude što manji otpor i vrtloženje taline (sl.1 i 2).

Može biti:

a) Direktno ulijevanje u kalup s usmjerivalom (razbijalom) taline ili bez njega (sl.1a). Obično se primjenjuje za preše s toplom komorom. Usmjerivalo je u obliku stošca radi boljeg razbijanja i usmjeravanja taline. Uljevak je također stožastog oblika zbog lakšeg izvlačenja iz nepomične kalupne ploče prilikom otvaranja alata.

b) Posredno ulijevanje u kalup preko razvodnika i ušća (sl.1b i 2). Najčešće se primjenjuje kod preša s hladnom komorom kod kojih uljevak mora biti niži od razvodnika i ušća u kalup.

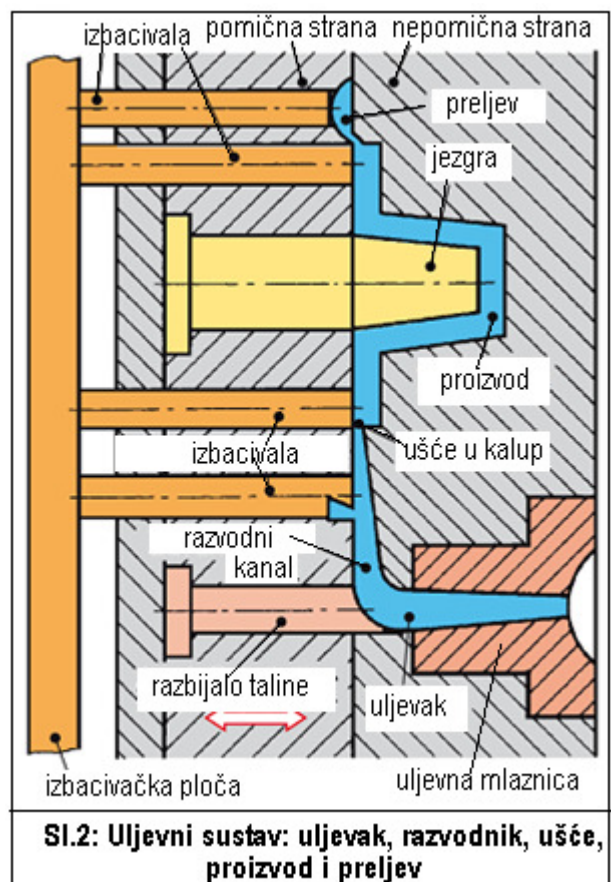
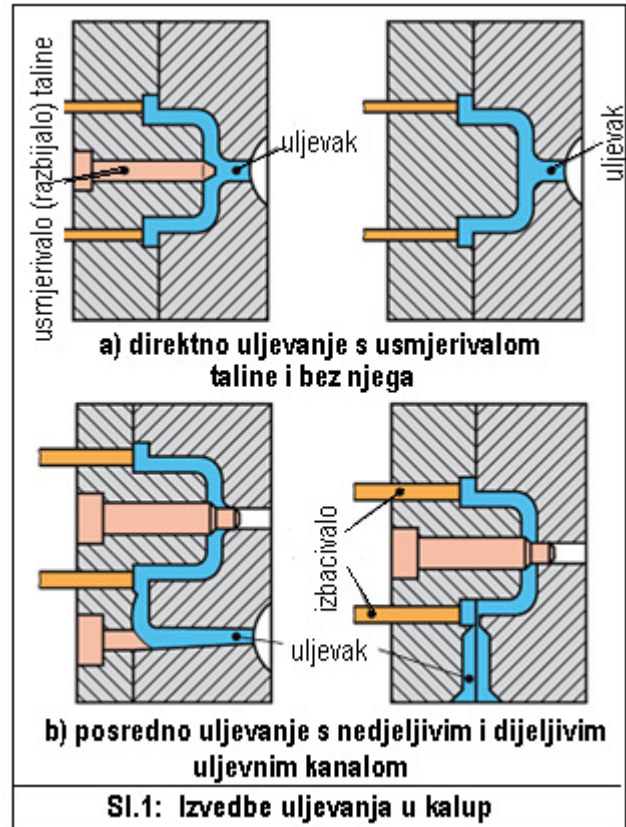
Time se sprečava mogući ulaz taline u razvodnik i kalup bez pritiska tlačnog klipa.

Prednost dati centralnom ulijevanju s razbijalom radi što manjeg puta taline i sprečavanja njenog nepoželjnog skretanja u kalupu.

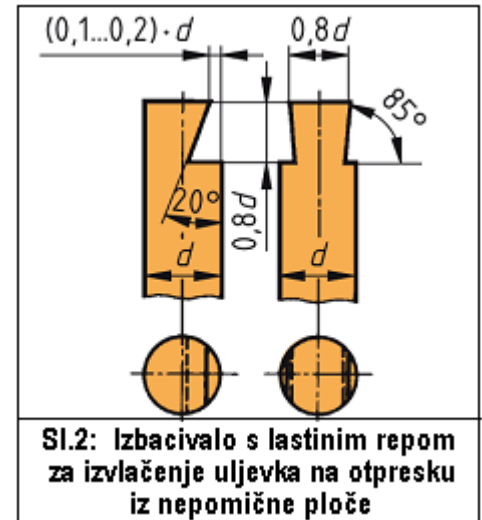
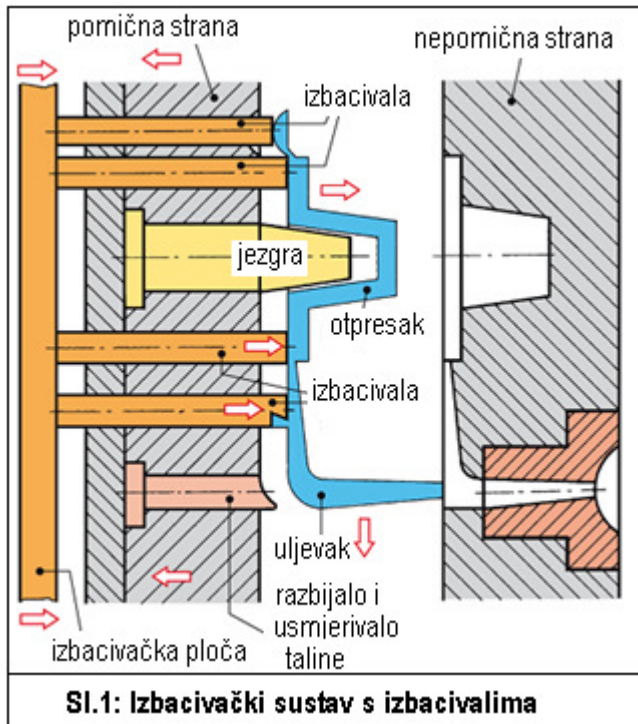
Ušće povezuje dovodni kanal (razvodnik) s kalupom (sl.2). Promjenom položaja ušća mijenja se brzina i smjer ulijevanja taline. Presjek ušća određuje se prema volumenu i materijalu lijevanja. Dubina (visina) ušća je između 0,4-2,5 mm, a širina između 4 i 24 mm. Smjer ulijevanja treba omogućiti popunjavanje kalupa i izlaz zraka.

Nakon probe alata moguće je izbrusiti **odzračne kanale** na razdjelnoj ravnini kalupa dubine 0,1-0,15 mm i širine do 24 mm.

Preljev je uglođano udubljenje na razdjelnoj ravnini uz sam rub kalupa (sl.2). Tankim ušćem povezano je s kalupom. Služi za prikupljanje i odstranjivanje prvog mlaza taline koja sadrži zrak, okside i ostatke sredstva za podmazivanje kalupa.



Izbacivački sustav: Služi za izbacivanje otpreska iz pomične kalupne ploče nakon otvaranja alata (sl.1). U području otpreska i razvodnika postavljaju se izbacivala koja se aktiviraju pomoću izbacivačke ploče pri kraju otvaranja alata i izbacuju otpresak. Jedan ili dva izbacivala imaju na čelu, u dodiru s talinom, stepenicu s negativnim kutom (lastin rep) zbog izvlačenja uljevka iz nepomične kalupne ploče (sl.1 i 2).



Jezgre služe za oblikovanje otvora i udubljenja na otpresku koji se ne mogu dobiti samo s dvije kalupne ploče (sl.1 i 3). Nakon hlađenja otpreska prvo se izvlače bočne jezgre, a zatim otvara alat. Pogon jezgri je pomoću hidrauličkog cilindra.

Materijal za izradu alata:

“Radni ili topli” dijelovi alata u izravnom su dodiru s talinom i oblikuju proizvod (kalupne ploče-matrice, jezgre i elementi uljavnog sustava). Izrađuju se od alatnog čelika za rad u toplom stanju **Č4751 (Utop Mo1)** koji je otporan na popuštanje, trošenje, udarce, topli umor i koroziju.

Tehnološki proces izrade: - ulazna kontrola materijala : atest, tvrdoća, šupljikavost;- gruba strojna obrada: vanjske mjere i oblik kalupa s dodatkom ; - žarenje za smanjenje napetosti nakon grube obrade (600° C) ; **strojna obrada:** izrada oblika kalupa s dodatkom za završnu

obradu;- **kaljenje na tvrdoću 50-55 H_{RC}**: polagano zagrijavanje i progrijavanje na 600° C, zagrijavanje i progrijavanje na 800° C, zagrijavanje i progrijavanje na 1030° C te hlađenje do 20° C na mirnom zraku za manje komade i struji zraka za veće (vrijeme progrijavanja ovisi o veličini debljini materijala);- **popuštanje na 42-44 H_{RC}**: odmah nakon ohlađivanja na 20° C komad prenijeti u peć za popuštanje; obavezna dva popuštanja; temperatura drugog popuštanja je nešto niža, a tvrdoća ipak pada; ovisno o tvrdoći nakon drugog popuštanja i debljini komada temperature se kreću od 610-545° C. Vrijeme popuštanja se kreće od 1,5 do 6 sati, ovisno o debljini komada ili stijenke (do 10 mm i više, do 100 mm);- **strojna obrada u tvrdom stanju na završnu mjeru:** brušenje, elektroerozija, poliranje; **proba alata i dotjerivanje:** provjera mjera, funkcionalnosti, zatvaranja i dotjerivanje;- **nitiranje u solnoj kupci** (Tenifer postupak): Postupak nitiranja vrlo tankog sloja površine alata kojim se dobije tvrda i vrlo otporna površina na trošenje i koroziju, a unutrašnjost ostaje relativno žilava (na 570° C). Radne površine alata izrade se na gotovu mjeru i poliraju prije nitiranja i sjaje nakon. Važno: Temperatura 2. popuštanja mora biti viša od temperature nitiranja da ne bi došlo do popuštanja i promjene mjera ili oblika alata. Temperatura popuštanja ne bi smije biti niža od 580° C.

