

Metalų apdirbimas spaudimo būdu

Metalų įkaitinimas, valcavimas, traukimas, presavimas, kalimas, šampavimas

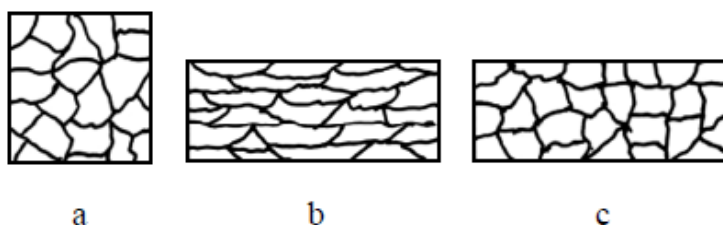
Apdirbimas spaudimu yra toks technologinis procesas, kai detalės arba jų ruošiniai gaunami plastiškai deformuojant šaltus arba karštus metalus. Ruošiniai, skirti apdirbti spaudimo būdu, yra plieno ir spalvotųjų metalų luitai, valcuotas rūšinis ir lakštinis metalas ir kt. Apdirbimas spaudimo būdu yra ekonomiškai ir našus medžiagų apdirbimo būdas. Svarbiausias tikslas – pasiekti, kad kaltinio forma ir matmenys būtų kiek galima artimesni būsimos detalės formai ir matmenims.

Apdirbimo spaudimu ypatumai:

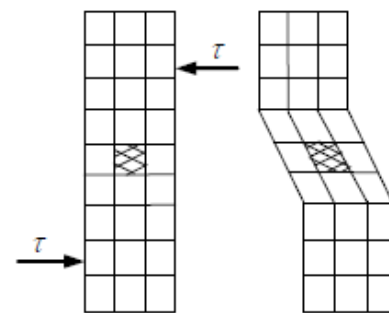
1. Dideliu greičiu iš karto apdirbamas visas ruošinio tūris arba tam tikra jo dalis.
2. Spaudimo būdu apdirbtos detalės pasižymi geromis mechaninėmis savybėmis, todėl smūgine apkrova apkrautų detalių (automobilių, lėktuvų važiuoklių ir kt.) ruošiniai visuomet apdirbami spaudimo būdu.
3. Šaltai apdirbant spaudimu, metalas sukietinamas. Dėl to padidėja jo stipris ir kietis, tačiau sumažėja plastiškumas.
4. Mažai atliekų.

1. Plastinis deformavimas

Apdirbant metalą spaudimu, jis plastiškai deformuojamas ir negrįžtamai pakeičia savo formą ir matmenis. Plastinės deformacijos metu atomai pasislenka vienas kito atžvilgiu, neišeidami iš tarpusavio jėgų sąveikos zonos. Slydimas vyksta metalo grūdelių (kristalitų) viduje ir pagal ribas kristalografinėmis plokštumomis. Tos plokštumos turi didžiausią atomų tankį ploto vienetu. Gniuždomi grūdeliai pailgėja deformavimo kryptimi (1 pav.) ir sudaro pluoštinę struktūrą. Plastiškumo rodikliai (santykinis pailgėjimas, smūginis tūsumas ir kt.) yra geresni išilgai pluošto nei skersai.



1 pav. Metalų mikrostruktūra: a – iki deformavimo; b – po deformavimo; c – atkaitinus



2 pav. Dvilinkio deformacijos schema

Deformacija gali įvykti ir dvigubo perlanko (dvilinkio) būdu, kai kristalitų dalys persislenka lygiagrečiose plokštumose, tangentiniams įtempiams pasukus vidurinį sluoksnį (2 pav.). Dvejinimosi greitis artimas 10–6 s.

Šaltasis deformavimas. Šaltai deformuojant metalus, keičiasi jų fizikinės, cheminės ir mechaninės savybės. Didėjant deformacijai, *didėja* kietis, stipris, trapumas (vyksta deformacinis sukietinimas), tačiau *mažėja* plastiškumas, laidumas elektrai (aiškinamas gardelės iškraipymu, tarpatominių ryšių pasikeitimu, kristalinės sandaros netobulumų pagausėjimu ir komponentų chemine sąveika), atsparumas korozijai (suardoma oksidų plėvelė).

Daugeliui spalvotųjų metalų lydinių sukietinimas yra vienintelis sustiprinimo būdas, tačiau tolesniam deformavimui ir apdirbimui pjovimu jis nepageidautinas. Šaltai deformuoto metalo plastiškumui atstatyti (kiečiui bei stipriui sumažinti) taikomas rekristalizacinis atkaitinimas (vietoje deformuotų ištemptų grūdelių susidaro nauji smulkūs be vidinių įtempių ir dislokacijų pertekliaus grūdeliai). Šaltai deformuojant gaunami tikslūs matmenys ir kokybiškas paviršius.

Karštasis deformavimas. Kuo pliene daugiau anglies, tuo sunkiau jį apdirbti šaltą. Karštai deformuojamas metalas yra plastiškesnis, todėl šiuo būdu apdirbami sunkiai deformuojami, mažai plastiški metalai ir jų lydiniai bei ruošiniai iš luitų.

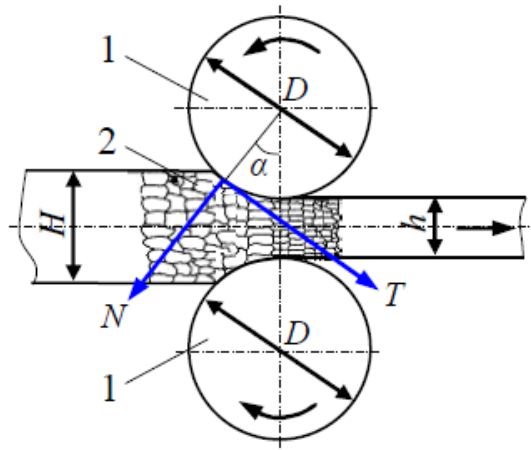
Trūkumai: ruošinio paviršiuje susidaro nuodegų sluoksnis, kuris deformuojant įspaudžiamas į metalo paviršių. Dėl to pablogėja paviršiaus kokybė ir matmenų tikslumas, padidėja užlaidos apdirbimui. Nuodegos yra kietesnės už karštą metalą, todėl greičiau dyla deformavimo įrankis. Nedideli ir ploni gaminiai greitai ataušta, todėl būtina palaikyti reikiamą temperatūrą.

Veiksniai, turintys įtakos medžiagos plastiškumui.

2. Metalų įkaitinimas prieš apdirbant spaudimo būdu

Šaltiems metalams deformuoti reikalingi galingi įrengimai. Įkaitinus metalą iki tam tikros temperatūros, padidėja jo plastiškumas ir mažiau energijos reikia jam deformuoti.

Kiekvienam metalui ar jo lydiniui nustatytas karštojo apdirbimo spaudimu temperatūrų intervalas (3 pav.). Bereikalingas temperatūros pakėlimas sukelia grūdelių sustambėjimą. Tai vadinama perkaitinimu. Perkaitęs ruošinys po apdirbimo spaudimu yra blogesnių mechaninių savybių. Šis brokas ištaisomas termiškai (atkaitinant). Kai perkaitinto metalo grūdelių ribos oksiduojasi arba net apsilydo, šis neištaisomas brokas vadinamas perdeginiu. Toks metalas perlydomas.



4 pav. Išilginis valcavimas

$$N_x \sin \alpha < T_x \cos \alpha. \quad (1)$$

Kadangi

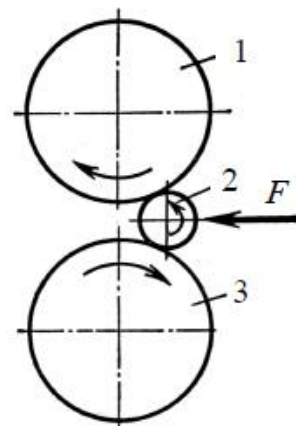
$$T = fN, \quad (2)$$

Tai

$$\sin \alpha < f \cdot \cos \alpha \text{ arba } f > \tan \alpha, \quad (3)$$

čia α – griebimo kampas (3–4° – šaltai valcuojant lakštus, 15–24° – karštai valcuojant lakštus); f – trinties koeficientas.

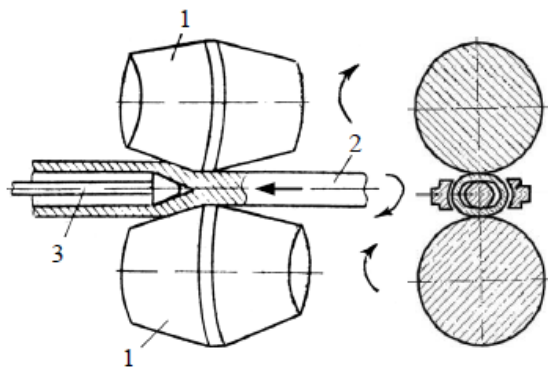
2. Skersinis valcavimas (5 pav.). Sukdamiesi viena kryptimi lygiagretūs valcai 1 ir 3 deformuoja apie savo ašį priešinga kryptimi besisukantį ruošinį 2, kuris prilaikomas specialiu įtaisu. Norimas gaminio skersmuo gaunamas keičiant atstumą tarp valcų, o skerspjūvio profilis priklauso nuo valcų profilio.



5 pav. Skersinis valcavimas

3. Skersinis sraigtinis valcavimas (6 pav.). Tam tikru kampu pasukti ir viena kryptimi besisukantys su dvigubais kūgiais valcai 1 deformuoja įkaitintą ruošinį 2, suteikdami jam sukamąjį ir slenkamąjį judesį. Ruošinį veikia dideli tempimo ir tangentiniai įtempiai, todėl yra lengviau pradurti skylę spraudikliu 3, kuris yra prieš ruošinį.

Pradūrimo staklyne atsiradęs plyšys išplečiamas automatinuose valcavimo staklynuose. Gauti besiūliai vamzdžiai tikslinami apvalcavimo ir kalibravimo staklynuose.



6 pav. Skersinis sraigtinis valcavimas

3.1. Valcuoti gaminiai

1. Rūšiniai gaminiai (karštai valcuoti, kalibruoti):

- paprastos geometrinės formos (kvadratas, stačiakampis, šešiakampis, skritulys);
- sudėtingos fasoninės formos (lovinės, dvitėjinės sijos, loviai, bėgiai ir kt.).

2. Lakštai (karštai ir šaltai valcuoti):

- folija (iki 0,2 mm lakštai);
- ploni lakštai (0,2–4 mm storio);
- stori lakštai (4–160 mm storio).

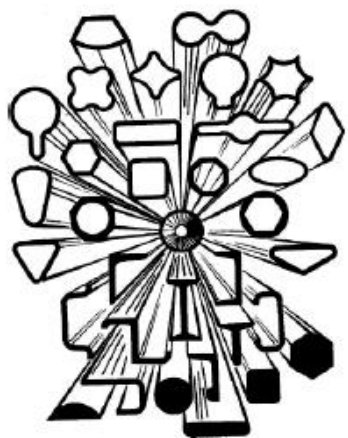
3. Vamzdžiai:

- besiūliai (karštai valcuoti vamzdžiai $\varnothing 25\text{--}820\text{ mm}$; šaltai deformuoti vamzdžiai – $\varnothing 5\text{--}250\text{ mm}$);
- suvirinti (tiesiasiūliai $\varnothing 8\text{--}1420\text{ mm}$;
- suvirinti pagal sraigtinę liniją).

4. Specialieji:

- periodinio profilio (laiptuoti velenai ir kiti mašinų detalių ruošiniai);
- vienetiniai ruošiniai (vagonų ratai, ratlankiai, įvairūs žiediniai ir kt. ruošiniai).

Šių gaminių skirtingų profilių ir matmenų visuma (7 pav.) vadinama nomenklatūra.

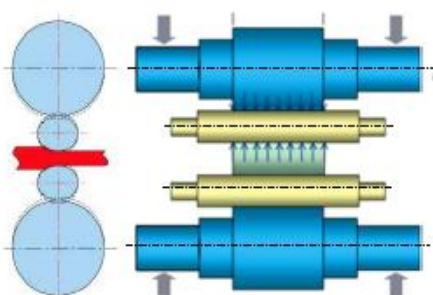


3.7 pav. Valcuoti profiliai

3.2. Valcavimo įrankiai ir staklynai

Lakštai valcuojami cilindriniais valcais: *truputį įgaubtais* (dėl valco veleno vidurinės dalies šiluminio plėtimosi valcuojant karštai) ir *išgaubtais* (dėl veleno įlinkio veikiant valcavimo jėgai šaltojo deformavimo metu). Rūšiniai ir fasoniniai gaminiai valcuojami *profiliniais* valcais. Du gretimi valcai sudaro profilį, vadinamą kalibru.

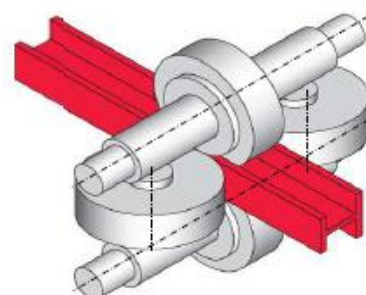
Valcavimo staklynas – tai technologinių mašinų kompleksas, kuriame valcuojamas plienas ir spalvotųjų metalų bei jų lydinių ruošiniai.



a



b



c

8 pav. Valcų išdėstymas darbinėse sekcijose

Atsižvelgiant į valcų skaičių ir padėtį, staklynai skirstomi:

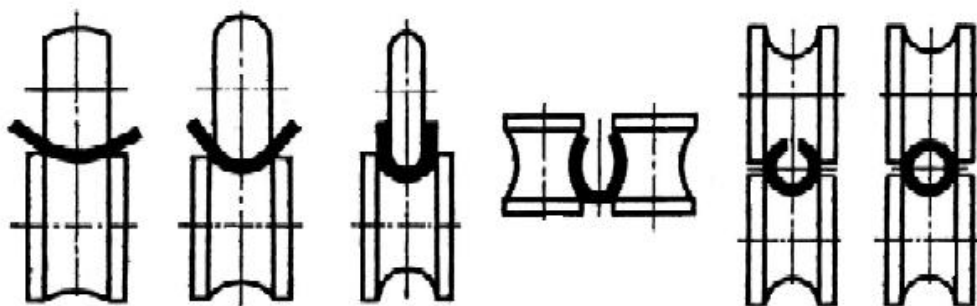
1. Dvivelenis staklynas (4 pav.). Ruošiniai valcuojami abiem kryptimis (reversinis) ir viena kryptimi (nereversinis). Darbinėje sekcijoje yra du valcai.
2. Keturvelenis staklynas (8 pav., a). Darbinėje sekcijoje yra du darbiniai varomieji ir du didesnio skersmens atraminiai valcai, apsaugantys darbinius nuo įlinkio. Ši schema būdinga lakštų karštojo ir šaltojo valcavimo staklynuose.

3. Daugiaveleniai staklynai (8 pav., b). Naudojami 12-os ir 20-ies valcų, kuriuose du darbiniai valcai ($\varnothing 3\text{--}50\text{ mm}$) varomi tarpinių atraminių. Esant tokiai konstrukcijai, skerspjūvio plotas mažėja veikiant mažesnėms deformavimo jėgoms. Juose šaltai valcuojami platūs (200–1000 mm) ir ploni (0,02–0,2) lakštai bei juostos.
4. Universalieji staklynai (8 pav., c). Juose ruošinys apspaudžiamas horizontaliais ir vertikaliais valcais.

3.3.3. Technologinis valcavimo procesas

Luitai yra pirminiai ruošiniai valcuoti.

- **Valcuojant rūšinius profilius**, karšti plieniniai luitai apspaudžiami stambiais dviveleniais staklynais – bliumingais. Gaunami kvadratinio skerspjūvio (nuo 400x400 iki 150x150 mm) ruošiniai – bliumai. Toliau bliumai valcuojami rūšiniuose staklynuose, prieš tai sumažinus jų skerspjūvį paruošimo staklynuose.
- **Valcuojant lakštus**, karšti plieniniai luitai apspaudžiami stambiame universaliame staklyne – sliabinge arba bliuminge. Gaunami 50–300 mm storio ir 500–1800 mm pločio ruošiniai – sliabai. Jie įkaitinami ir valcuojami į storus, po to į plonus lakštus. Labai ploni lakštai valcuojami šaltai. Jie yra aukštos kokybės ir tikslaus storio. Nuvalius nuodegas (karštai valcuojant), lakštai lyginami ir supjaustomi į gabalus.
- **Valcuojant besiūlius vamzdžius**, pirmiausiai įkaitintame ruošinyje pradūrimo staklyne praduriama skylė (6 pav.). Toliau valcuojama iki reikiamo skersmens ir sienelės storio automatinuose, periodiniuose ir kt. staklynuose. Po to atliekamas vamzdžių išbaigimas (šaltasis valcavimas, pratraukimas ir kt.) ir apdaila (lyginimas, pjaustymas ir kt.).
- **Suvirinti vamzdžiai**. Tiesiasišiūliai vamzdžiai formuojami iš lakštų arba kaspino (jų plotis lygus vamzdžio perimetrai) ir išilgai suvirinami 5–12 sekcijų formavimo suvirinimo staklynuose (9 pav.). Gaminant didelio skersmens vamzdžius, naudojami du lakštai ir virinamos dvi išilginės siūlės.

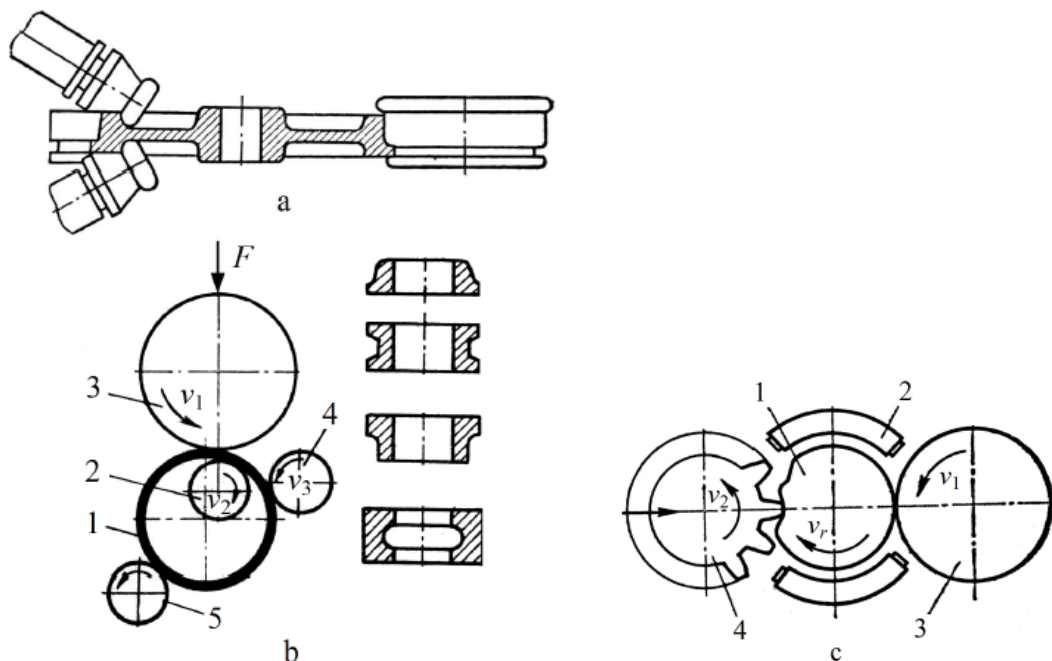


9 pav. Juostos susukimas į vamzdį nenutrūkstamo veikimo staklyne 6-iose darbinėse sekcijose

Su virinti pagal sraigtinę liniją vamzdžiai gaminami iš plieninio ritininio kaspino, kuris susukamas į nepertraukiamą vamzdį ir suvirinamas.

- **Specialieji valcuoti gaminiai:**

1. *Periodinio profilio ruošiniai valcuojami skersiniu ir skersiniu sraigtinu būdu. Gauti ruošiniai šampuojami, apdirbami pjovimu ir kt. būdais.*
2. *Įvairios formos ir matmenų ratų ir ratlankių gamyba (10 pav., a). Susodinamas įkaitintas ruošinys, jame padaroma skylė, presu suformuojama stebulė ir ratlankio kontūras. Jis galutinai išvalcuojamas ratų valcavimo staklyne.*
3. *Žiedinių ruošinių valcavimas (10 pav., b). Ruošinys 1 maunamas ant valco 2. Artėjant valcams 3 ir 2 radialine kryptimi, didėja išorinis skersmuo ir mažėja sienelės storis. Kreipiantysis ritinėlis 4 suteikia ruošiniui taisyklingą žiedo formą. Valcuojama iki susilietimo su ritinėliu 5.*



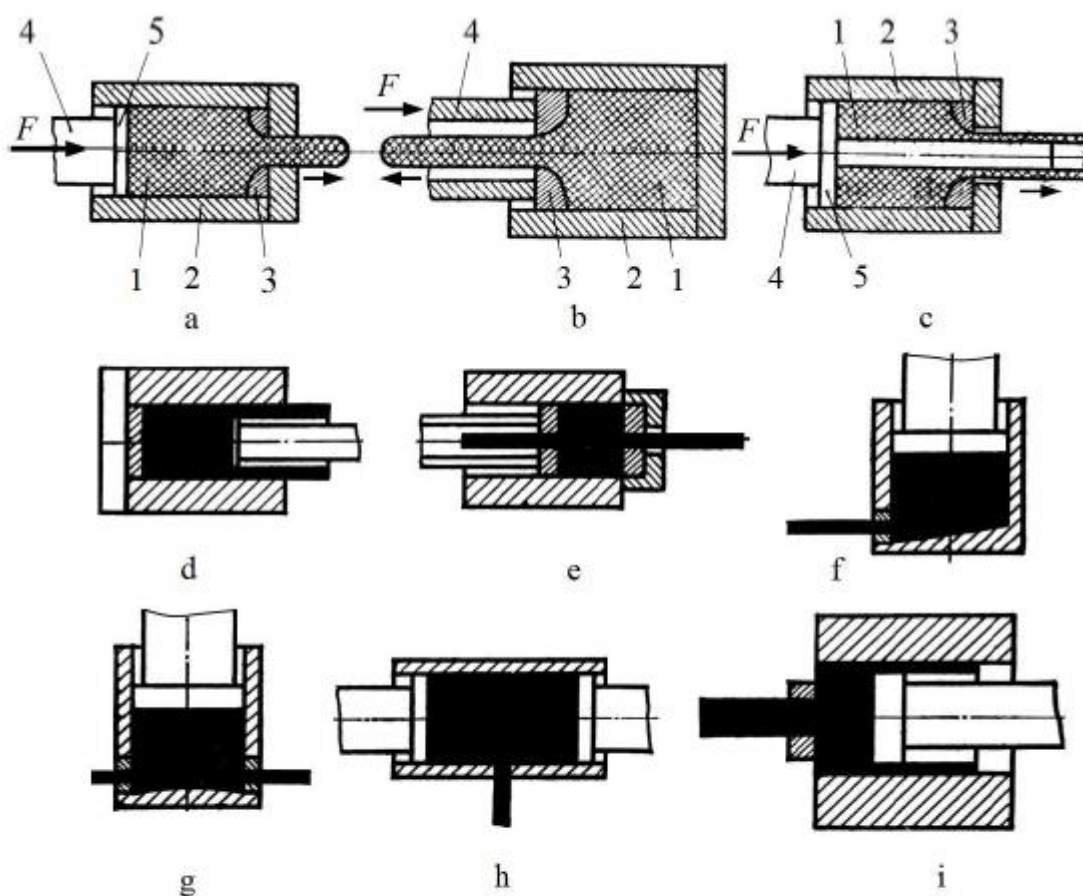
3.10 pav. Specialiųjų gaminių valcavimas: a – vagono rato; b – žiedo; c – krumplių

4. *Krumpliaračio krumplių įvalcavimas (10 pav., c). Krumpliai strypiniame ruošinyje įvalcuojami skersinio valcavimo būdu, krumpliuotam valcui 4 sukantis ir judant radialine kryptimi. Ruošinio 1 paviršius įkaitinamas induktoriuje 2. Ritinėliu 3 apridenamas krumplių išorinis paviršius. Įvalcavus krumplius, strypas supjaustomas į krumpliaračius.*

4. Presavimas

Tai ruošinio 1, esančio uždaroje formos 2 ertmėje, išspaudimas pro matricos skylę 3, veikiant puansonui 4 su presavimo žiedu 5 (3.11 pav.). Šis plastinio apdirbimo būdas taikomas deformuojant įkaitintus ir šaltus metalus ir jų lydinius (plieną, *Cu, Sn, Pb, Al, Zn, Mg, Mo, W, Ni, Ta, Nb* ir kt.),

apdirbant miltelines medžiagas ir plastikus. Presuojant gaminami strypai (3–250 mm), vamzdžiai ($\varnothing 20\text{--}400$ mm, $s = 1,5\text{--}12$ mm), paprastos ir sudėtingos formos profiliai (3.12 pav.). Dažniausiai presuojama hidrauliniiais presais.



3.11 pav. Presavimo schemas: *a* – tiesioginis presavimas; *b* – atvirkštinis presavimas; *c* – tiesioginis vamzdžių presavimas; *d* – atvirkštinis vamzdžių presavimas; *e*, *i* – mišrus išspaudimas; *f* – šoninis išspaudimas pro vieną matricą; *g* – šoninis išspaudimas pro dvi matricas; *h* – dvigubas šoninis išspaudimas

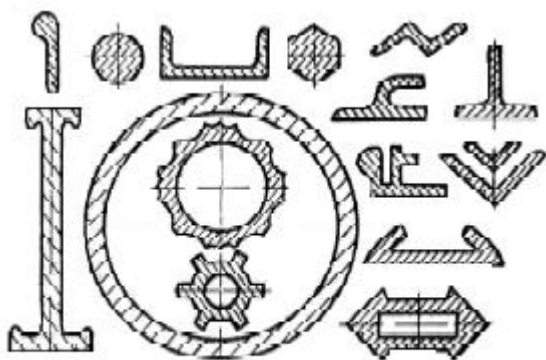
Be dažniausiai taikomo tiesioginio presavimo, naudojamas atvirkštinis būdas ir kitos išspaudimo schemas, turinčios įvairių privalumų. Pvz., esant šoniniam medžiagos išspaudimui (3.11 pav., *g*), gaunamas minimalus gaminio mechaninis nevienalytiškumas.

Presuojant atvirkštiniu būdu, medžiaga išspaudžiama pro judančią matricą, todėl puansonas yra tuščiaaviduris. Presavimo jėga 1,5–2 kartus mažesnė nei presuojant tiesiogiai (medžiaga juda tik matricos zonoje), tačiau šis būdas nėra našus, gaunama žema paviršiaus kokybė (dėl nedidelės deformacijos gaminyje yra lietos medžiagos struktūros pėdsakų), mažesnis gaminių asortimentas.

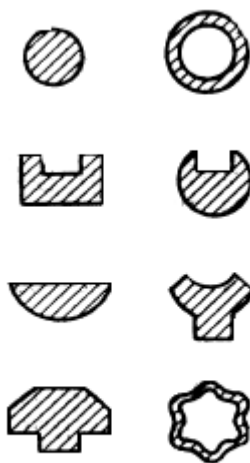
Privalumai: 1) presuojant susidaro netolygus triašis gniuždymo įtempių būvis, todėl šiuo būdu apdirbamos ir trapios medžiagos; 2) gaunami sudėtingo skerspjuvio gaminiai, kurie neapdirbami kitais būdais; 3) įvairūs gaminiai gaminami pastovia presavimo įranga, keičiant tik matricas; 4) aukšta gaminių paviršiaus kokybė ir didelis matmenų tikslumas.

Trūkumai: 1) matricą veikia didelės jėgos ir aukšta temperatūra; 2) galimas gaminių mechaninis nevienalytiškumas; 3) brangus presavimo įrankis; 4) daug medžiagos atliekų.

- *Gaminio kokybė priklauso nuo* temperatūros, deformavimo laipsnio, presavimo greičio ir kt.
- *Presavimui reikalinga jėga* nustatoma įvertinus deformuojamosios medžiagos savybes, temperatūrinį režimą, ruošinio matmenis, deformacijos greitį ir laipsnį, kontaktinės trinties reikšmę (svarbu presuojant tiesiogiai), įrankio geometriją ir kt.



3.12 pav. Presuoti profiliai



3.13 pav. Traukti profiliai

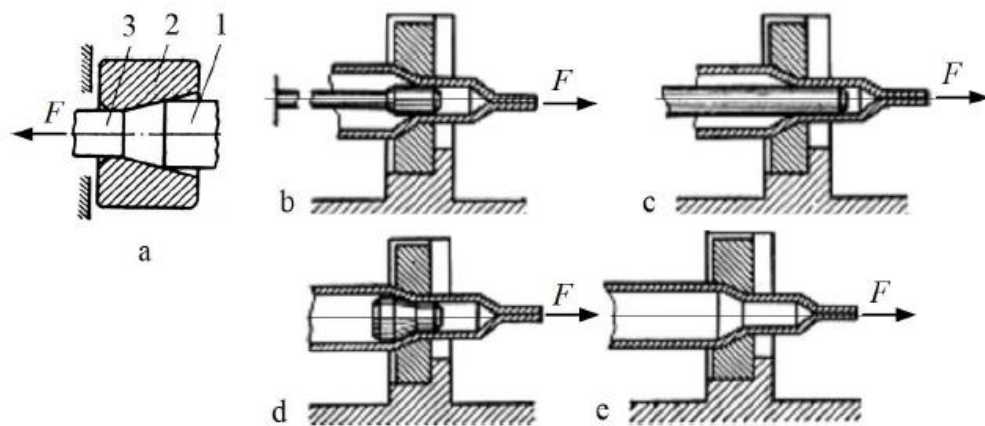
3.5. Traukimas

Tai valcuoto arba presuoto ruošinio pratraukimas (kalibravimas) pro mažesnio matmens skylę (filjerę). Traukimo būdu gaminama viela (iki 0,02 mm skersmens ir plonesnė), įvairios geometrinės formos strypai (iki Ø150 mm), plonasieniai vamzdeliai iš plieno, spalvotųjų metalų ir jų lydinių (3.13 pav.), besiūliai ir suvirinti vamzdžiai ir kt. Pasiekama aukšta paviršiaus kokybė ir matmenų tikslumas.

Traukiant vamzdžius ant trumpo nejudančio spraudiklio (3.14 pav., *b*) arba kartu su ilgu judančiu spraudikliu (3.14 pav., *c*), mažinamas skersmuo ir sienelės storis.

Naudojant plaukiojantį spraudiklį (3.14 pav., *d*), gaminami variniai vamzdžiai. Traukiant be spraudiklio (3.14 pav., *e*), sumažinamas išorinis ir vidinis skersmuo.

Įkaitinto arba turinčio mažą takumo įtempį metalo traukimas praktiškai netaikomas dėl sumažėjusio stiprio, nes veikianti traukimo jėga gali plastiškai deformuoti priekinę gaminio dalį (už filjerės) ir profilis nutrūks (kad profilis už filjerės plastiškai nesideformuotų, įtempiai neturi viršyti medžiagos takumo stiprio). Nustatyta, kad 30–50 % (80 %) traukimo jėgos sunaudojama kontaktinei trinčiai nugalėti. Trinčiai sumažinti ruošiniai ir filjerė yra tepami.



3.14 pav. Traukimo schemas: *a* – vielos traukimas; *b, c, d, e* – vamzdžių traukimas; 1 – ruošinys; 2 – filjerė; 3 – gaminys;

Siekiant mažesnės traukimo jėgos, mažesnio filjerės dilimo ir aukštos gaminių kokybės, prieš traukiant reikalingas ruošinių terminis apdorojimas (plastinėms savybėms gerinti), nuodegų pašalinimas, paviršių paruošimas sutepti ir galo paruošimas tvirtinti. Traukimo metu metalas sukietinamas. Plastiškumui atstatyti atliekamas rekristalizacinis atkaitinimas. Dažniausiai traukiama kelis kartus (vielą iki 17 kartų), todėl atkaitinimas pakartojamas. Pratraukti gaminiai termiškai apdorojami reikiamoms mechaninėms savybėms gauti.

Traukimo staklynai yra

- *su tiesiaėgiu traukiamo ruošinio judesiu* (grandininiai, krumpliastiebiniai, hidrauliniai ir kt.) įvairaus profilio strypams ir vamzdžiams traukti;
- *būgniniai*, kuriuose traukiama viela ir tuščiaaviduriai profiliai vyniojami į ritinius.

3.6. Kalimas

Tai įkaitinto metalo apdirbimas spaudimu, smūgiuojant hidraulinio preso arba kalimo kūjo pentimis. Pagrindinis kalimo privalumas – stambių plieno luitų apdirbimas. Kalant keičiasi ne tik kaltinio forma, pagerėja struktūra ir mechaninės savybės, bet ištaisomi ir liejimo defektai. Kalami turbinų rotorų ir diskų ruošiniai, bliumingų valcai ir kt. Kalimui naudojami rūšiniai valcuoti ruošiniai (kai kaltinio masė iki 40 kg), stambūs valcuoti ruošiniai (kaltinio masė 40–300 kg), luitai (kaltinio masė >300 kg). Nedidelių matmenų ruošiniai kalami ir šampuojami, tačiau vienetinėje (smulkiaserijinėje) gamyboje taikomas kalimas.

Trūkumai: mažas medžiagos išnaudojimo koeficientas (didelės užlaidos mechaniniam apdirbimui), kadangi kaltinių forma tik artima detalės formai; nedidelis matmenų tikslumas ir našumas, palyginti su šampavimu.

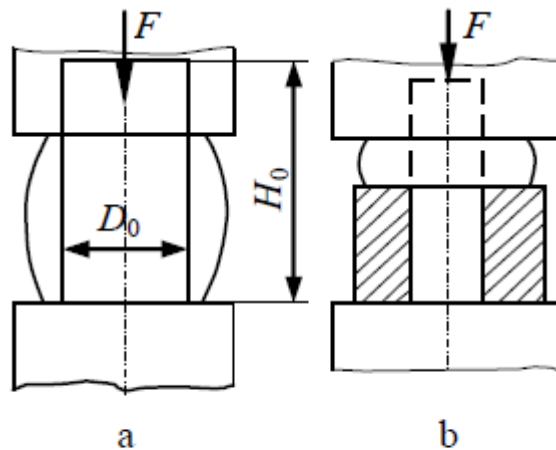
Kalimo procesą sudaro:

Pagalbinės operacijos:

- prieškalimą (ruošinio supjaustymas, paviršiaus defektų pašalinimas, įkaitinimas ir kt.);
- pokalimo (terminis kaltinio apdorojimas, tiesinimas, valymas, galvaninis padengimas, paviršiaus kokybės kontrolė ir kt.).

Pagrindinės kalimo operacijos:

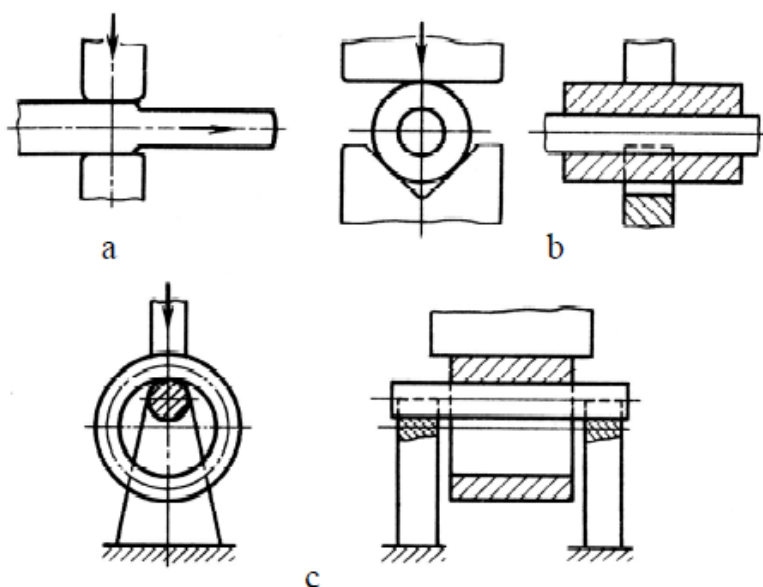
1. Susodinimas (3.15 pav.) – ruošinio skerspjūvio didinimas, mažinant aukštį arba jo dalį. Naudojamas krumpliaračių mechaninėms savybėms gerinti (susodinant pluoštas išsidėsto beveik radialine kryptimi, todėl tempimo ir lenkimo įtempiai veikia išilgai pluošto, o kirpimo – skersai pluošto) ir kaip paruošiamoji operacija prieš pramušimą. Siekiant išvengti kludymo ir skersinio lenkimo, laikomasi santykio $H_0 \leq 2,5D$.



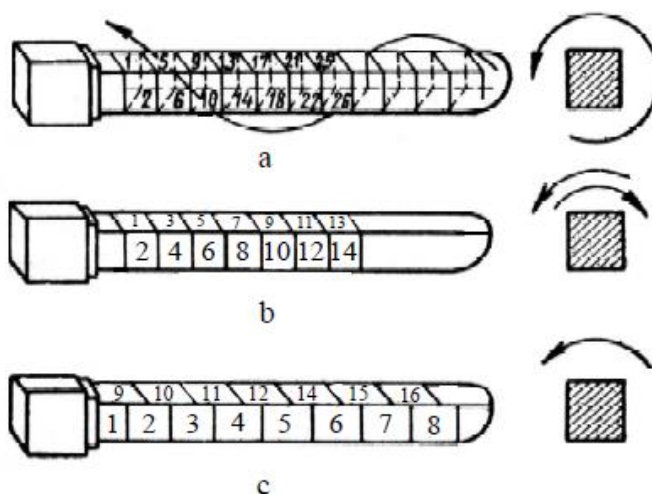
3.15 pav. Susodinimas (a) ir dalinis susodinimas (b)

2. Ištiesimas (3.16 pav.):
 - *ištiesimas plokščiomis pentimis* (ruošinio ar jo dalies ilginimas mažinant skerspjūvį);
 - *ištiesimas ant spraudiklio* (tuščiavidurio ruošinio ilginimas ploninant jo sienelę);
 - *valcavimas ant spraudiklio* (didinami išoriniai ir vidiniai žiedo skersmenys ploninant sienelę).

Ruošinys nuosekliai apspaudžiamas išilgai ašies ir pasukamas apie ją tam tikrame operacijos etape (3.17 pav.).

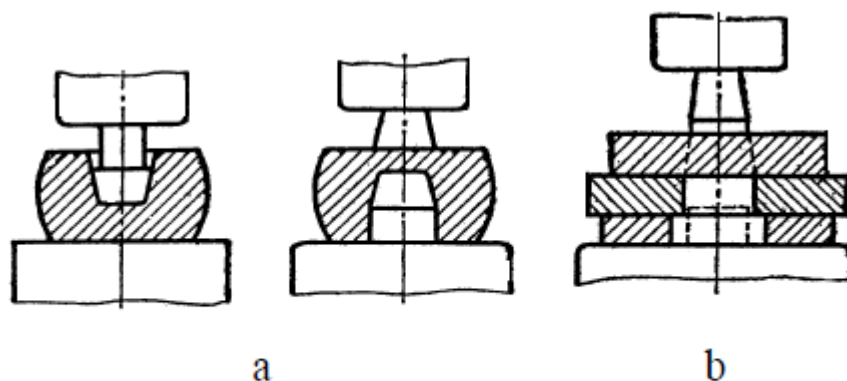


3.16 pav. Ištiesimas: *a* – ploščiomis pentimis; *b* – ant spraudiklio; *c* – valcavimas ant spraudiklio

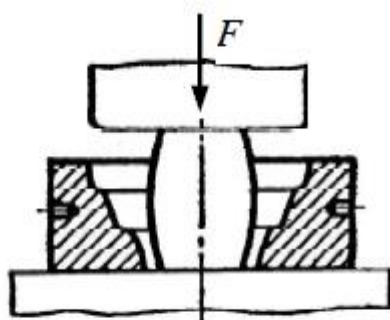


3.17 pav. Išsukimo būdai: *a* – pasukimas pagal sraigtinę liniją; *b* – pasukimas į dvi puses; *c* – pasukimas po kraštinės išsukimo

3. Skylių pramušimas (3.18 pav.) atliekamas po susodinimo. Gaunamos ištisinės arba aklinos skylės (įdubos). Storuose kaltiniuose skylės pramušamos iš abiejų pusių, plonuose – iš vienos pusės, naudojant padėklinius žiedus. Skylės pramušamos pilnaviduriais arba tuščiaaviduriais ($>\varnothing 400$ mm) pramuštuvais. Kai skylės skersmuo $d \geq 0,5D$, ruošinys labai deformuojamas.



3.18 pav. Skylių pramušimas: *a* – iš abiejų pusių; *b* – iš vienos pusės



3.19 pav. Štampavimas padėkliniais štampais

4. Lenkimas – tai ruošinio kampų arba naujo kontūro sudarymas. Siekiant išvengti vidinio kontūro susiraukšlėjimo ir įtrūkio išoriniame kontūre, lenkimo spindulys $r \geq 0,5H$.
5. Susukimas. Vienas ruošinio arba kaltinio galas įtvirtinamas tarp penčių, o kitas sukamas apie išilginę ašį.
6. Kirtimas – tai ruošinio dalių atskyrimas įvairiais kirstukais.
7. Štampavimas padėkliniais štampais (3.19 pav.). Didesniais kiekiais gaminamos varžtų galvutės, briaunotos įvorės ir kt. kaltiniai. Štampų forma atitinka kaltinio arba jo dalies formą.
8. Kitos kalimo operacijos: išplojimas (pločio didinimas, mažinant storį), kalviškasis suvirinimas (vamzdžiams sujungti), įkirtimas, lyginimas, tiesinimas ir kt.

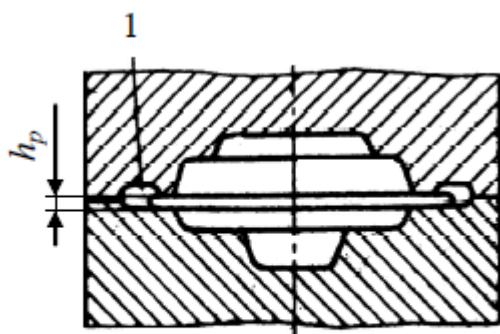
3.7. Karštasis tūrinis štampavimas

Tai įkaitinto ruošinio plastinis deformavimas štampu. Kadangi štampai naudojami konkrečiam ruošiniui apdirbti, išlaidos jų gamybai atsiperka tik stambiaserijinės ir masinės gamybos sąlygomis, esant didesniai našumui ir štampuojant sudėtingesnės formos bei tikslesnių matmenų (palyginus su kalimu) kaltinius. Tūriniam štampavimui reikalingos didelės deformavimo jėgos, todėl daugiausia štampuojami iki 100 kg masės kaltiniai. Kartais kaltinių masė siekia 400–500 kg ir daugiau.

Ruošiniai karštajam šampavimui: rūšiniai valcuoti gaminiai, presuoti ir kalibruoti strypai, lieti ruošiniai ir skystas metalas.

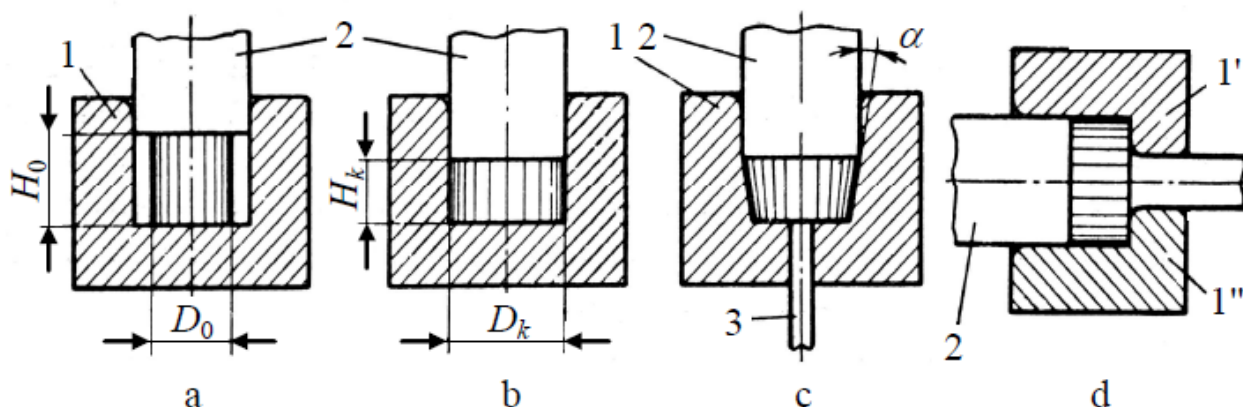
Karštojo tūrinio šampavimo būdai:

1. Šampavimas atviraisiais šampais (3.20 pav.). Ruošinio tūris yra didesnis už kaltinio tūrį, todėl nereikia tikslių ruošinių. Šampų skiriamosioje plokštumoje apie išorinę ertmės kontūrą yra specialus išlajos griovelis 1, skirtas metalo pertekliui (išlajai). Išlaja stabdo metalo tekėjimą iš šampo ertmės, todėl ji geriau užpildoma. Po šampavimo išlajos apkertamos.



3.20 pav. Šampavimas atviraisiais šampais

2. Šampavimas uždaraisiais šampais (3.21 pav.). Šampuojama naudojant horizontaliąsias kalimo mašinas, presus ir kūjus. Ruošinys deformuojamas matricoje, į kurią su pastoviu tarpeliu įeina puansonas (3.21 pav., a, b). Taip gaunama uždara šampo ertmė. Kaltiniai išstumiami stumtuvais, esant nedideliams šampavimo nuolydžiams (3.21 pav., c) arba naudojama judama matrica (1' ir 1'' dalys) be šampavimo nuolydžių (3.21 pav., d).

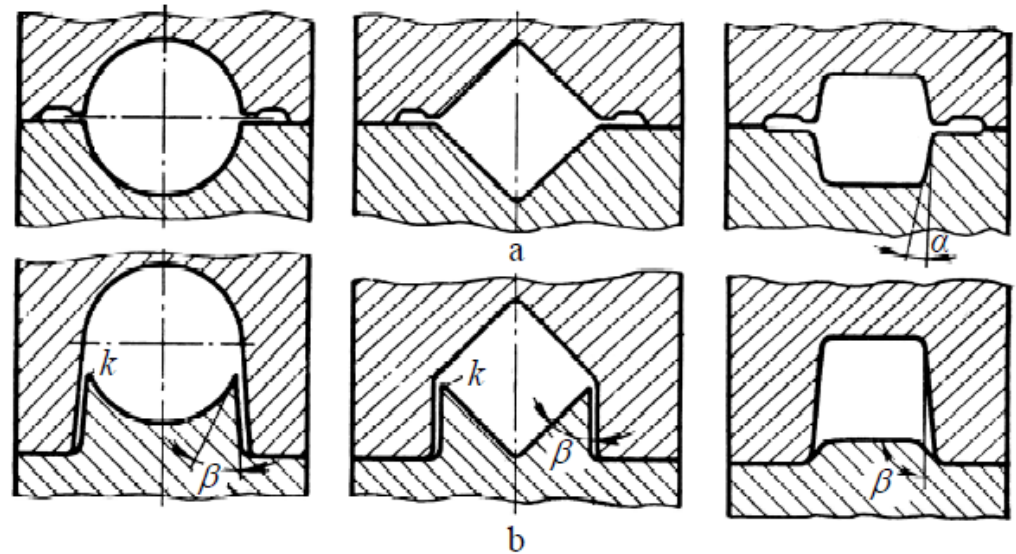


3.21 pav. Šampavimas uždaraisiais šampais

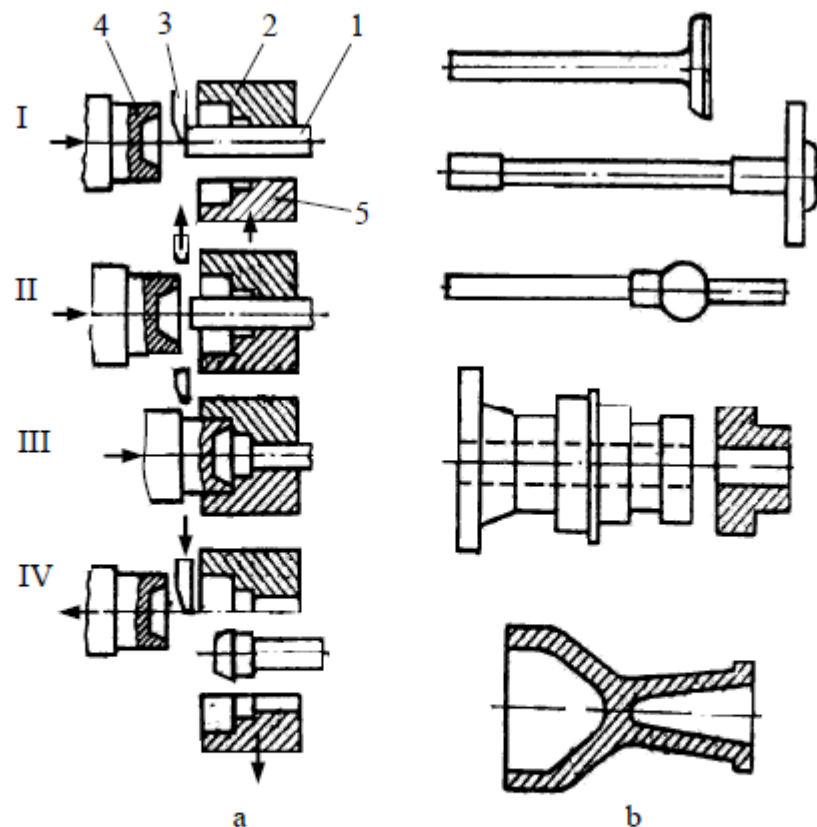
Pagrindinis reikalavimas – tikslūs ruošinio matmenys. Dėl jo paklaidų galima nedidelė išlaja (kai ruošinio tūris didesnis už kaltinio) arba nepilnai užpildyta forma (kai ruošinio tūris mažesnis).

Šampavimo uždaraisiais šampais trūkumai: nedidelis formų universalumas (3.22 pav.), dėl mažo kampo β , gaunamas nedidelis briaunos k patvarumas, reikalinga didesnė deformavimo jėga.

Privalumai – tikslesni kaltiniai; galima šampuoti mažo plastiškumo lydinius, kadangi susidaro netolygus gniuždymo įtempių būvis. Šiam šampavimui priskiriamas šampavimas išspaudžiant ir pramušant.



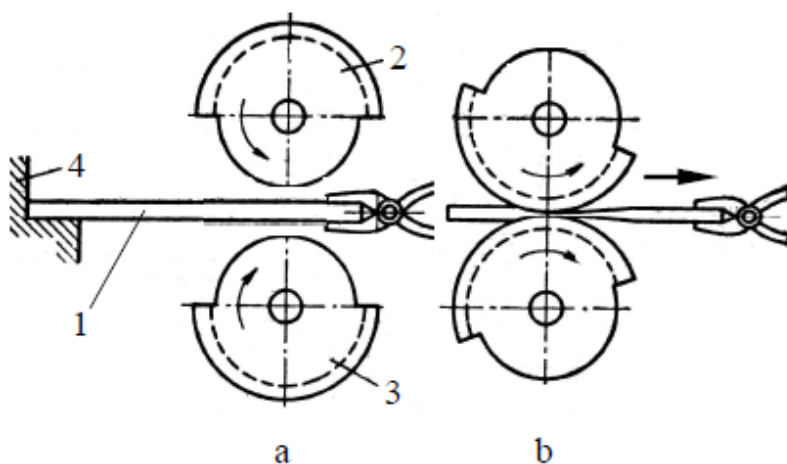
3.22 pav. Atvirųjų (a) ir uždaryjū (b) šampų skerspjūviai: α – šampo nuolydis; β – vidinės šampo dalies darbinės briaunos kampas; k – šampo briauna



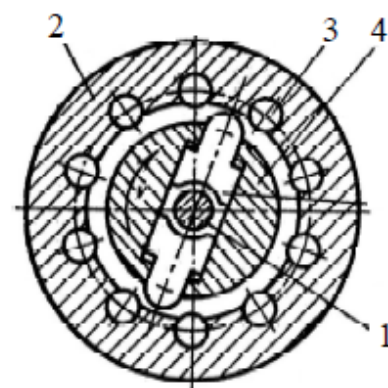
3.23 pav. Šampavimo HKM schema (a) ir kaltiniai (b): I – ruošinio padavimas iki atramos; II – ruošinio suspaudimas; III – šampavimas; IV – kaltinio išėmimas; 1 – ruošinys; 2 – nejudama matrica; 3 – atrama; 4 – puansonas; 5 – judama matrica

Deformuojamas metalas užpildo šampo ertmę, kuri vadinama latakais. Paprastos formos kaltiniai šampuojami vienialatakiais šampais, o sudėtingos formos – daugialatakiais šampais (2–6 latakai). Juose yra *paruošiamieji* (ištiesimo, apspaudimo, išspaudimo, lenkimo) *latakai*, kuriuose ruošinio forma priartinama prie kaltinio formos, ir *šampavimo* (rupiojo, glotniojo) *latakai*, kuriuose gaunamas baigtų formų kaltinys.

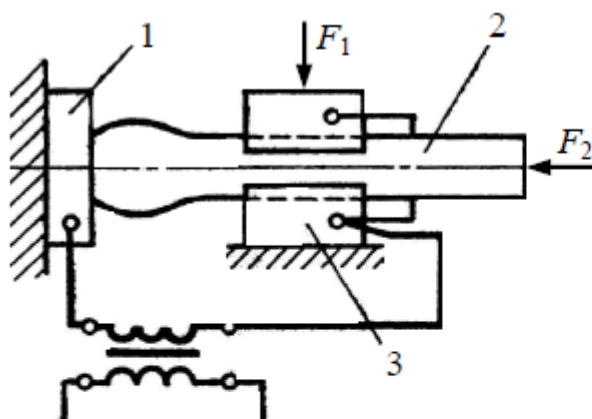
Šampavimui naudojami įrenginiai: kūjai (garo, frikciniai, hidrauliniai), presai (mechaniniai, hidrauliniai, sraigtiniai), horizontalios kalimo mašinos (3.23 pav.), specialios šampavimo mašinos: kalimo valcai (3.24 pav.), rotacinės kalimo mašinos (3.25 pav.), horizontalios lenkimo mašinos, elektrinės susodinimo mašinos (3.26 pav.).



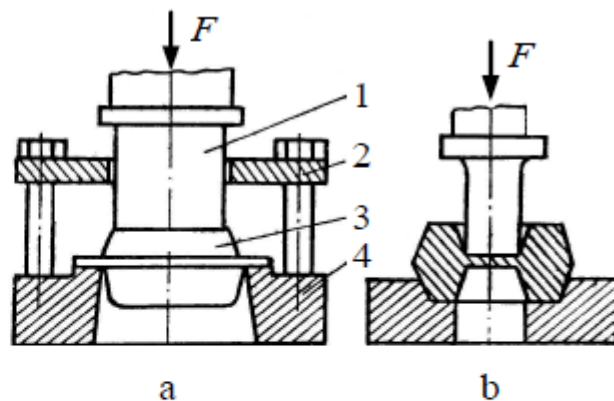
3.24 pav. Kalimo valcų veikimo schema:
a – paduodamas ruošinys;
b – valcavimo eiga;
 1 – ruošinys; 2 – velenas;
 3 – sektorinis šampas; 4 – atrama



3.25 pav. Rotacinės kalimo mašinos veikimo schema:
 1 – ruošinys; 2 – apkaba;
 3 – ritinėliai; 4 – sukinys; 5 – puansonas



3.26 pav. Susodinimo schema:
1 – atraminis kontaktas;
2 – ruošinys; 3 – gaubiantysis kontaktas



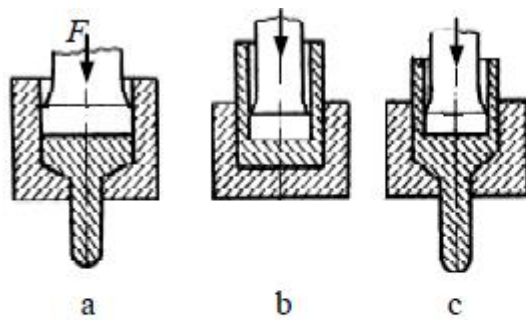
3.27 pav. Išlajos apkirtimo (a) ir pertvaros pramušimo (b) schema:
1 – puansonas; 2 – išlajos nuėmiklis; 3 – kaltinys; 4 – matrica

Pagalbinės karštojo štapavimo operacijos: išlajų apkirtimas (3.27 pav., a) ir pertvarų pramušimas (3.27 pav., b), esant karšties arba šalties ruošiniams; kaltinių lyginimas (tiesinamos ašys, kurios išlinksta išimant kaltinį iš šampo ertmės, apkerpant išlajas ir termiškai apdorojus); nuodegų valymas (valoma būgnuose, šratų srautu, ėsdinant vandeniniuose rūgščių tirpaluose); kaltinių kalibravimas (siekiama kaltinio arba jo dalies matmenų tikslumo ir glotnesnio paviršiaus); kokybės tikrinimas visuose gamybos etapuose nuo ruošinio iki kaltinio.

3.8. Šaltasis štapavimas

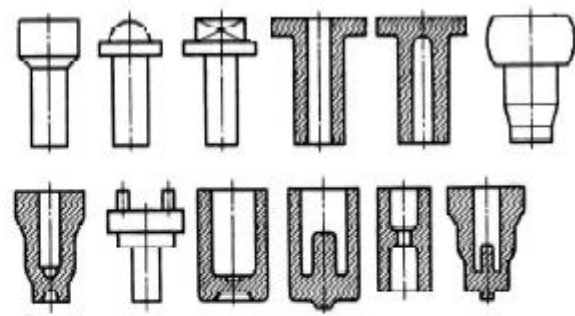
3.8.1. Šaltasis tūrinis štapavimas

Šaltasis išspaudimas (3.28 pav.). Gaminamos detalės ir ruošiniai iš plieno, *Al*, *Cu*, *Ni* ir jų lydinių (3.29 pav.). Deformavimo metu metalas (strypai, viela, lakštai, juostos, vamzdžiai, periodiniai valcuoti ruošiniai ir kt.) išspaudžiamas pro matricos skylę (tiesioginis išspaudimas) arba pro tarpelį tarp matricos ir puansono (atvirkštinis išspaudimas). Kombinuotu išspaudimo būdu metalas išspaudžiamas keliomis kryptimis.

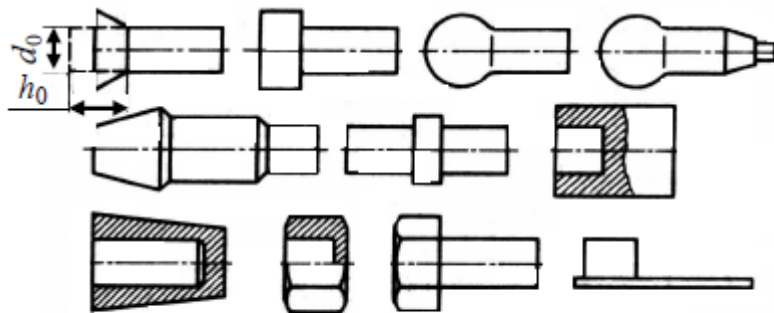


3.28 pav. Šaltasis išspaudimas:

a – tiesioginis; *b* – atvirkštinis;
c – kombinuotas



3.29 pav. Ruošiniai, gauti šaltojo išspaudimo būdu



3.30 pav. Ruošiniai, gauti šaltojo susodinimo būdu

Šaltai išspaudžiant, kaip ir presuojant, susidaro netolygus triašis gniuždymo įtempių būvis, todėl metalas pasidaro labai plastiškas. Išspaudimo metu metalas tepamas, siekiant pagerinti jo tekėjimą ir sumažinti deformavimo jėgą.

Šaltasis susodinimas. Štampuojamos vientisos ir tuščiavidurės sukimosi kūnų tipo detalės su vietiniais sustorėjimais (3.30 pav.) iš mažaanglio plieno, spalvotųjų metalų ir jų lydinių. Šios detalės gaminamos našiais šaltojo susodinimo automatais, deformuojant iki 52 mm skersmens kalibruotus strypus arba vielą. Didžiausias automatais štampuojamų detalių ilgis 200–300 mm (iki 400 mm). Paprastos formos detalės (varžtai, sraigtai, kniedės) susodinamos 1–2 perėjimais, o didelio skersmens ir mažo ilgio arba ilgos tuščiavidurės detalės – 3–6 perėjimais. Pasiekiamas skersinių matmenų tikslumas $IT8-9$, paviršiaus šiurkštumas $R_a = 2,5 - 0,63 \mu m$.

Šaltasis tūrinis formavimas. Kadangi deformuojant metalas sukietėja ir sumažėja jo plastiškumas, šaltai formuojamos dažniausiai nedidelės detalės iš plastiškų metalų ir jų lydinių atviraisiais štempais (3.20 pav.). Šiuo būdu gaminamos ir sudėtingos formos tuščiavidurės detalės. Šaltai formuojant dažniausiai tepama.

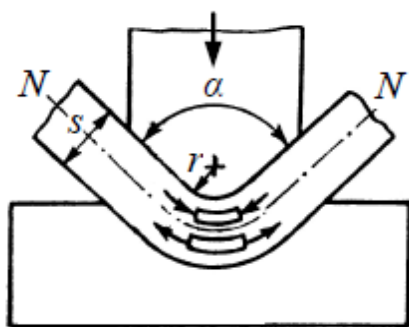
3.8.2. Šaltasis lakštinis štempavimas

Tai metalų ir jų lydinių lakštų, juostų, taip pat plastikų, odos, kartono ir kt. nemetalinių medžiagų deformavimas kambario temperatūroje, keičiant tam tikro elemento formą. Ruošinio storis

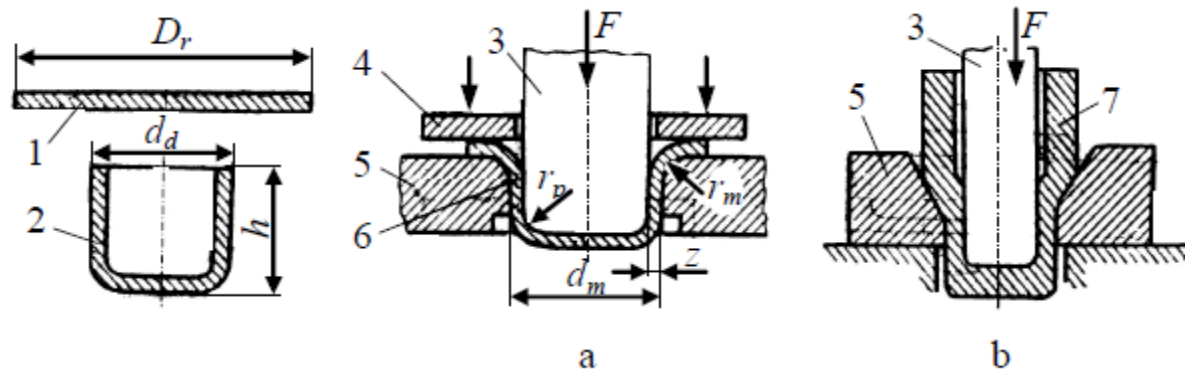
iš esmės nesikeičia. Storesni nei 10 mm lakštai ir mažo plastiškumo lydiniai šampuojami karšti arba įkaitinti. *Privalumai*: didelis našumas, operacijų automatizavimas, tikslūs matmenys ir glotnūs paviršiai, taikomas smulkiaserijinėje gamyboje.

Lakštinio šampavimo operacijos skirstomos:

1. **Atskyrimo operacijos** (atliekamos pagal uždarą arba atvirą kontūrą): atkirpimas (ruošinio dalies atskyrimas); iškirtimas (gaminio atskyrimas nuo ruošinio pagal išorinį kontūrą); pramušimas (medžiagos dalies pašalinimas į atliekas šampuojant skylę); įkirtimas (dalinis ruošinio atskyrimas neprarandant sukibimo); apkirpimas (nedidelės metalo dalies atskyrimas pagal ruošinio ar gaminio kraštą).
2. **Formos keitimo operacijos** (detalės formos ir matmenų pakeitimas erdvėje):
 - a) Lenkimas (3.31 pav.). Lenkimo šampu keičiama ruošinio ašies kryptis. Lenkiamos medžiagos išoriniai sluoksniai yra tempiami, o vidiniai – gniuždomi. Kad lenkiamas ruošinys nesuirėtų, lenkimo spindulys $r = (0,25 - 2,5)s$. Ruošinio matmenys yra nustatomi pagal neutralų sluoksnį $N-N$, kadangi lenkiant jo matmenys praktiškai nekinta (deformacija lygi nuliui). Šaltojo lenkimo metu plastiškai deformuojama tik su puansonu ir matrica susiliečianti ruošinio dalis. Veikiant tampriosioms jėgoms, lenkimo kampas padidėja (lenkimo spyruokliavimas) ir tai būtina įvertinti.
 - b) Tempimas (3.32 pav.). Tuščiavidurė detalė gaunama puansonui įstūmus plokščią ruošinį į matricos skylę. Dėl radialine kryptimi veikiančių gniuždymo įtempių susidaro raukšlės. Jų išvengiama naudojant žiedo tipo prispaudiklį, kuris prispaudžia ruošinį prie matricos. Kad neprakirstų lakšto, puansono briaunos suapvalinamos. Matricos ir prispaudiklio kontaktiniai paviršiai yra tepami. Operacijos metu metalas sukietinamas, todėl, ištempiant keliais perėjimais, apdorojama termiškai (atkaitinama). Kai gaminyje ištempiamas *neploninant sienelių*, tarpas tarp puansono ir matricos $z = (1,1 - 1,3)s$. Kai šis tarpas mažesnis už pradinį lakšto storį, ištempinama *ploninant sienelės*. Taip ištempiamos ilgos plonasienės detalės.



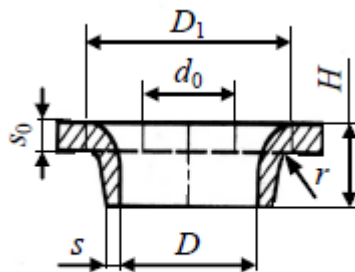
3.31 pav. Lenkimo schema



3.32 pav. Ištempimo schemas: *a* – neploninant sienelės; *b* – ploninant sienelės
1,7 – ruošinys; 2 – detalė; 3 – puansonas; 4 – prispaudiklis; 5 – matrica

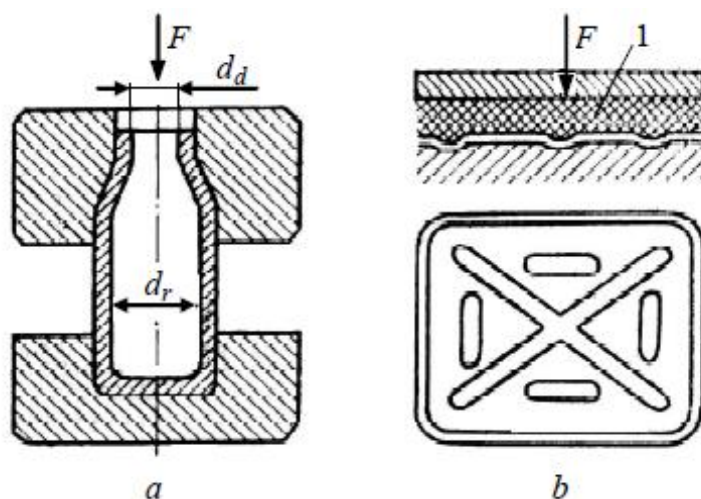
c) Atrietimas (3.33 pav.). Borteliai gaunami stumiant puansoną į ruošinio dalį su skylė.

Kad skylės kraštai neįtrūktų, $D/d_0 = 1,2 - 1,8$.



3.33 pav. Atrietimas

- d) Apspaudimas (3.34 pav., *a*). Tai tuščiavidurio ruošinio galo skersmens sumažinimas matricoje. Vengiant išilginių ir skersinių raukšlių deformuojamoje ir nedeformuojamoje dalyje, leistinas skersmens sumažėjimas $d_d = 0,7 - 0,8 d_r$.
- e) Formavimas (3.34 pav., *b*). Ruošinyje daromos standumo briaunos, įdubos, iškylos ir kt. Deformuojama metaliniais štaisais. Puansonas arba matrica gali būti ir iš gumos.



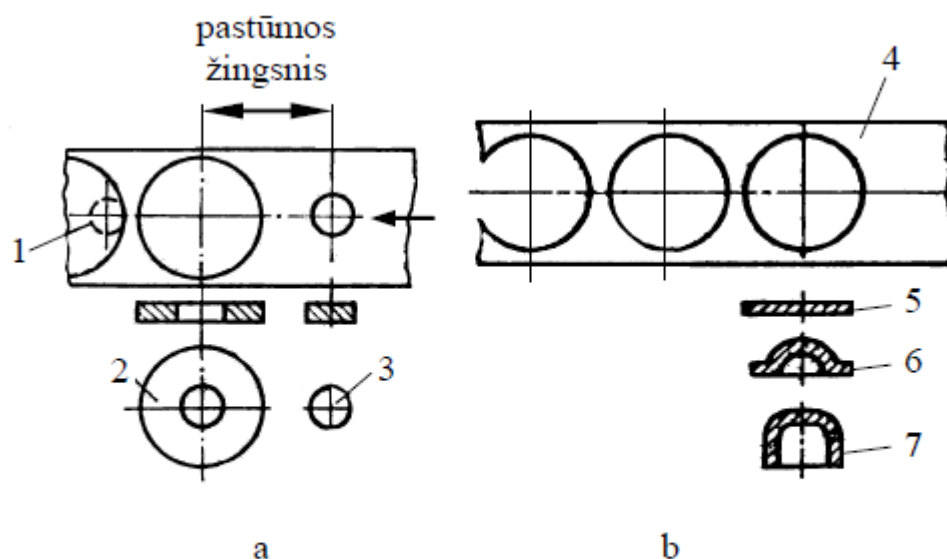
3.34 pav. Apšpaudimas (a) ir reljefinis formavimas (b): 1 – guminis puansonas

3.9. Lakštinio šampavimo šampai

Vienai atskyrimo arba formos keitimo operacijai atlikti naudojami paprastojo veikimo šampai.

Vienu metu kelioms operacijoms tuo pačiu šampu (3.35 pav.) atlikti naudojami:

- nuoseklaus veikimo šampai (pramušimas ir iškirtimas skirtingose pozicijose, išdėstytose pastūmos kryptimi),
- sutapdinto veikimo šampai (pramušimas ir iškirtimas, iškirtimas ir lenkimas, iškirtimas ir ištempimas ir kt. vienoje pozicijoje vienu metu).



3.35 pav. Nuoseklaus veikimo (a) ir sutapdinto veikimo (b) schema: 1 – atrama; 2, 7 – detalė; 3 – atlieka; 4 – juosta; 5 – iškirstas ruošinys; 6 – ištempimo pradžia