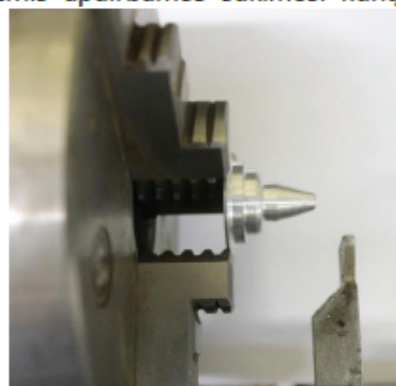
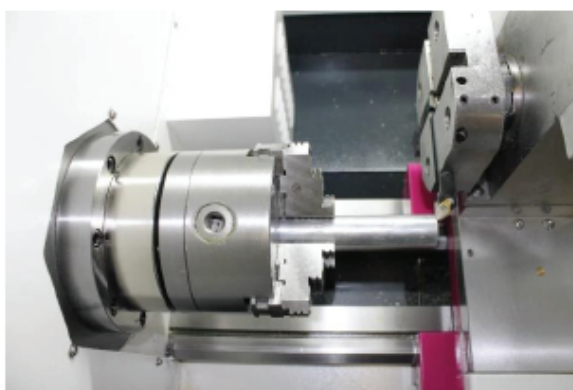


# 3. MECHANINIO APDIRBIMO PROCESAI

## 3.1. Tekinimas

Tekinimas yra medžiagos pjovimas nustatytos geometrinės formos ašmenimis apskritiminiu pjovimo judesiu, t.y. tekinimo staklėmis apdirbamos sukimosi kūnų formos detalės. Tekinimu galima apdirbti išorinius, vidinius ir galinius detalių paviršius. Tai labiausiai paplitęs sukinių apdirbimo būdas (3.1 pav.).



3.1 pav. Tekinimo procesas

Įprastai tekinimo metu sukasi ruošinys, o įtvirtintas pjovimo įrankis slenka ir išilgai, ir skersai apdirbamuoju paviršiumi.

Tekinimu apdirbami įvairių formų cilindriniai, kūginiai, fasoniniai, sraigtiniai paviršiai (3.2 pav.).

Pagal paviršiaus apdirbimą tekinimo būdai yra skirstomi į išilginį, skersinį, galinį, sriegių pjovimo, griovelinį (3.3, d pav.), kūgių (3.3, f pav.) ar fasoninį tekinimą.

**Išilginio tekinimo** metu ruošinys apdirbamas pjovimo peiliu slenkant išilgai besisukančio ruošinio (3.3, a pav.).

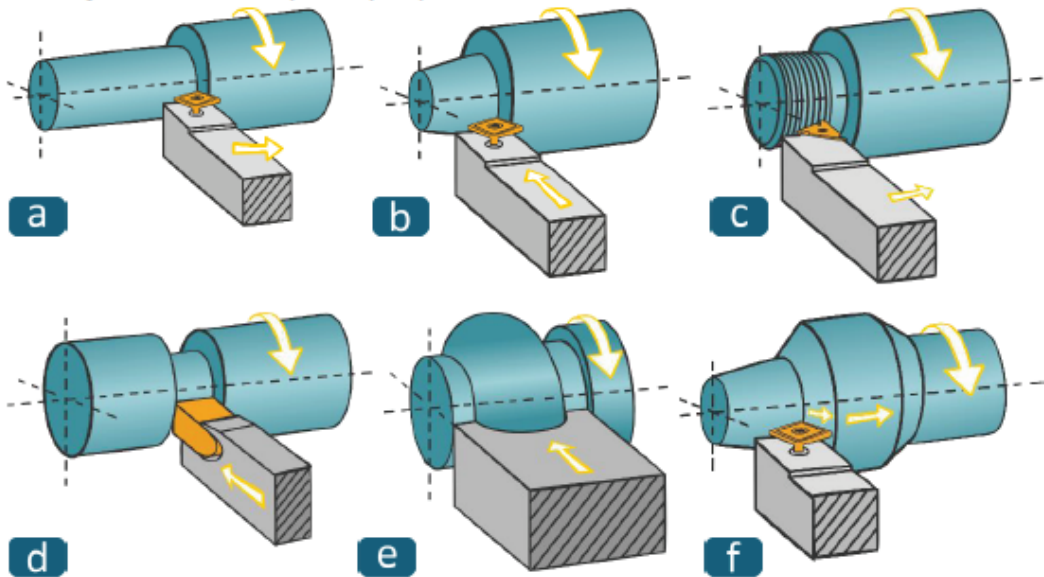
**Galiniu tekinimu** apdirbami statmeni sukimosi ašiai paviršiai. Peiliui gali būti suteikiama skersinė arba išilginė pastūma (3.3, b pav.). Galinis tekinimas dar skirstomas į skersinį galinį tekinimą, skersinį nupjovimą ir išilginį galinį tekinimą.

**Sriegių pjovimas** yra srieginių paviršių tekinimas reikiamo profilio sriegimo peiliu, kai pastūma vienam ruošinio apsukimui lygi sriegio žingsniui (3.3, c pav.).



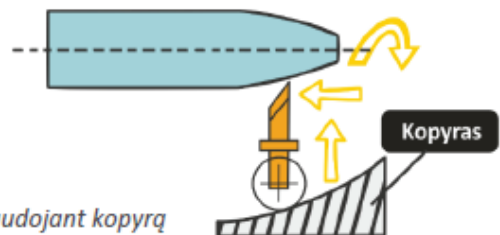
3.2 pav. Tekintų detalių pavyzdžiai

*Fasoniniame tekiniame* fasoninio įrankio forma suteikiama apdirbamajam ruošiniui. Fasoniniais peiliais dažniausiai apdirbamos trumpos ir standžios fasoninio profilio sukinių formos detalės (3.3, e pav.).

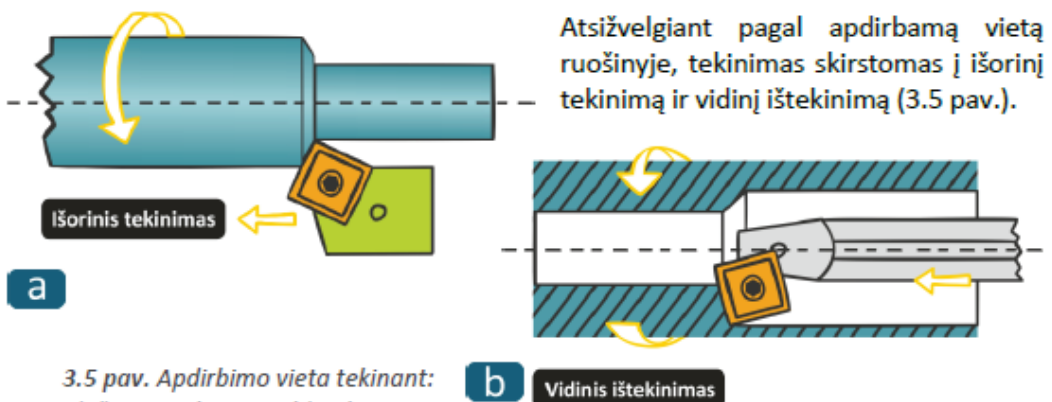


3.3 pav. Tekinimo būdai: a) išilginis tekimas, b) skersinis galinis tekimas, c) sriegių pjovimas, d) griovelių tekimas, e) fasoninis tekimas, f) kūgių tekimas

Norint paprasčiau apdirbti ruošinius fasoninio tekimo būdu, universaliosiose tekimo-kopijavimo staklėse gali būti panaudojamas kopyras, kurio kontūras atitinka apdirbamojo paviršiaus kontūrą (3.4 pav.).

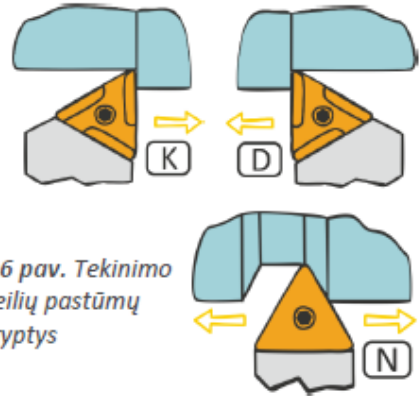


3.4 pav. Tekinimas, naudojant kopyrą



3.5 pav. Apdirbimo vieta tekinant: a) išorinis tekimas, b) vidinis ištekimas

Peilio pagrindinės pjovimo briaunos padėtis peilio koto atžvilgiu nusako pjovimo kryptį. Pagal peilio pastūmos kryptį, tekinimo peiliai skirstomi į dešinius *D*, kairinius *K* ir neutralius *N* (3.6 pav.). Dešiniu vadinamas toks peilis, kuris tekinant slenka iš dešinės į kairę pusę, o kairiniu – iš kairės į dešinę pusę. Jie lengvai atskiriami uždėjus ant peilio dešinėsios arba kairiosios rankos delną. Dešinio peilio pagrindinė pjovimo briauna yra dešinės rankos nykščio pusėje, o kairinio peilio – kairės rankos nykščio pusėje.



3.6 pav. Tekinimo peilių pastūmų kryptys

Pagal apdirbamojo paviršiaus padėtį peiliai skirstomi į aptekinimo ir ištekinimo. Peilio forma, dydis, nustatymo kampas ir pjovimo plokštelės konstrukcija parenkama pagal gaminamos detalės medžiagą ir formą, pastūmos kryptį ir drožlės tipą. Detalių skylės ištekinamos peiliais su viena pjovimo briauna, dvišoniais peiliais su dviem arba daugiau pjovimo briaunų ir ištekinimo galvutėmis. Ištekinant peiliais, gali sukintis detalė arba įrankis. Ištekinimo peiliais ištekinamos dažniausiai didesnės kaip 40 mm skersmens aklinosios, kiaurosios ir laiptuotos skylės, o ištekinimo galvutėmis apdirbamos didesnės kaip 150 mm skersmens skylės.

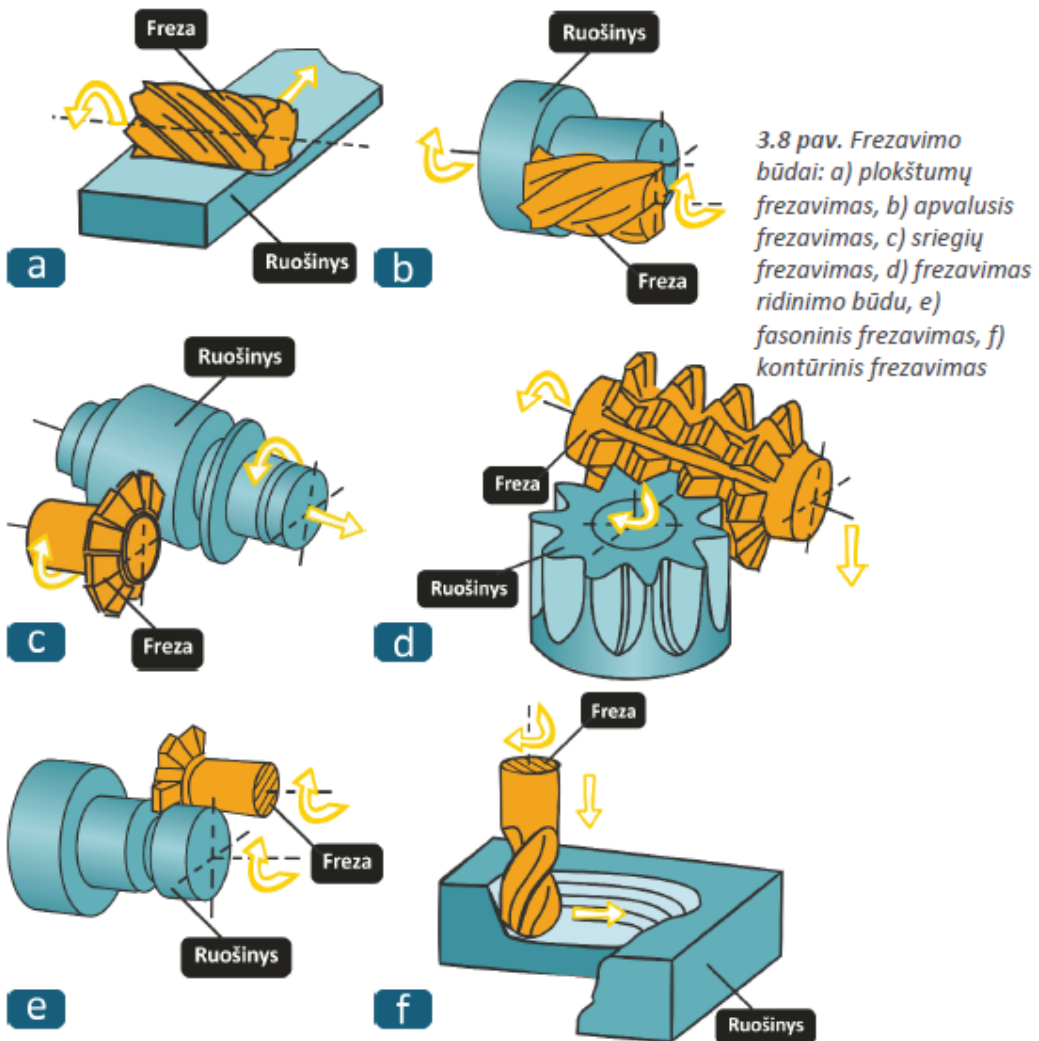
Pagal apdirbamo elemento tikslumą ir paviršiaus kokybę tekinimas gali būti paruošiamasis, rupusis, pusiau glotnus, glotnusis ir tikslusis. Ištekinimas taip pat gali būti rupusis, glotnusis ir tikslusis, dažnai dar vadinamas deimantiniu ištekinimu.

## 3.2. Frezavimas

Frezavimu vadinamas toks mechaninis medžiagų apdirbimas, kai darbo įrankis (freza) sukdamasis ir judėdamas detalės paviršiumi nupjauna nuo apdirbamojo paviršiaus nustatyto storio drožlę (3.7 pav.). Frezuojama daugiadančiu įrankiu, kurio keli dantys pjauna vienu metu. Tai yra dažniausiai pasitaikantis našus plokštumų apdirbimo būdas.



3.7 pav. Frezavimo procesas

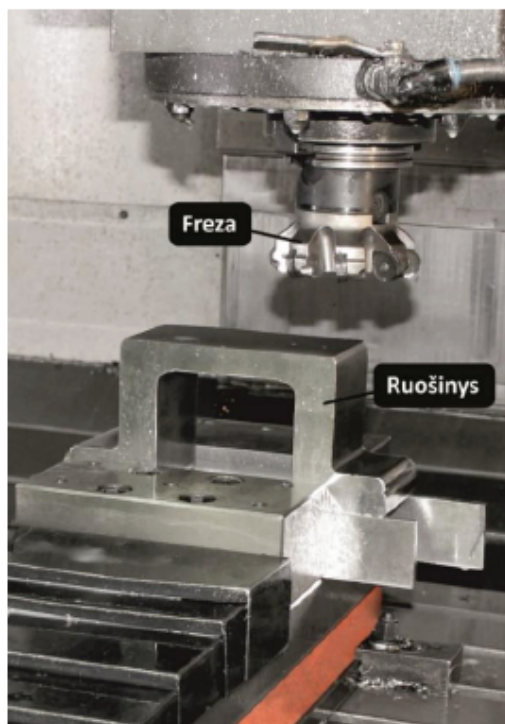


Frezavimu galima apdirbti įvairius detalių paviršius: plokštumas, fasoninius ir sraigtnius paviršius, krumpliaraičių krumplius, išdrožas, griovelius, šampų kontūrus, pjovimo įrankių dantis ir t.t. (3.8 pav.).

Frezuojant galima ruošinio paviršių lyginti, išpjauti jame įvairių formų, gylių bei profilių griovelius, nuožulas, apdirbti tiesinius ir kreivalinijinius kontūrus. Freza darbo metu gali sukstis vietoje arba sukdamasi slinkti apdirbamojo ruošinio paviršiumi. Tai priklauso nuo frezavimo staklių konstrukcijos.

Frezuojamas ruošinys tvirtinamas įtaise, arba specialiomis priemonėmis pritvirtinamas tiesiog prie staklių stalo. Dažniausiai stačiakampių ruošinių tvirtinimui naudojami spaustuvai, cilindro formos ruošinių tvirtinimui – griebtuvai. Frezuojant jis gali judėti kartu su stalu arba stovėti vietoje. Frezos atskirų dantų pjovimo briaunos ne visą laiką liečia metalo paviršių, kaip tekinimo staklėse, todėl mažiau įkaista. Tai leidžia padidinti frezavimo greitį.

**Plokštumų frezavimas.** Tiesialinijine pastūma cilindrinėmis, galinėmis (3.9 pav.) ir galinėmis cilindrinėmis frezomis frezuojami plokšti paviršiai.



3.9 pav. Plokštumos frezavimas galine freza

**Apvalusis frezavimas.** Suteikiant apskritinę pastūmą, frezuojami cilindriniai paviršiai: išorinis apvalusis frezavimas ir vidinis apvalus frezavimas.

**Sriegių frezavimas.** Suteikiant pastūmą sraigtine linija, frezuojami sraigtiniai paviršiai: fasoninės, sriegių arba cilindrinės sliakinės frezomis, sriegimo plokštele arba sriegimo šukomis.

**Frezavimas ridinimo būdu.** Fasoninei frezai suteikiama ridinimo ir įsigilinimo pastūma: krumpliaračių frezavimas ir velenų su išdrožomis frezavimas.

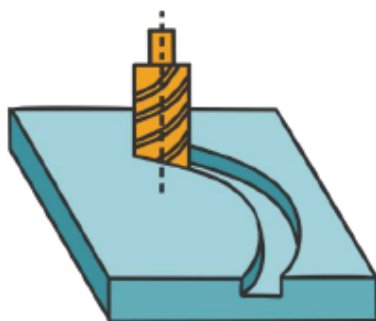
**Fasoninis frezavimas.** Frezos profilis įpjaunamas ruošinyje: išilginis fasoninis frezavimas, apvalusis fasoninis frezavimas.

**Kontūrinis frezavimas.** Bet kokie plokšti arba erdviniai paviršiai frezuojami suteikiant valdomą pastūmą: graviravimas, frezavimas pagal kontūrą, PV kontūrinis frezavimas (3.10 pav.).

**Frezos skirstomos pagal:**

- tvirtinimo būdą (kotinės su cilindrinio ar kūginiu kotu, užmaunamos su cilindrine ar kūgine tvirtinimo skylė);
- frezos formą (cilindrinės, galinės, diskinės, kampinės, pusapvalaus profilio, T formos griovelio ir kt.);
- dantų formą ir kryptį;
- paskirtį (plokštumų, išėmų, fasoninių paviršių, sriegių ir krumplių įpjovimo, nupjovimo).

Įpjovimo įrankių gamintojai siūlo įvairias frezas, skirtas mechaniniam ruošinių apdirbimui (3.11 pav.).

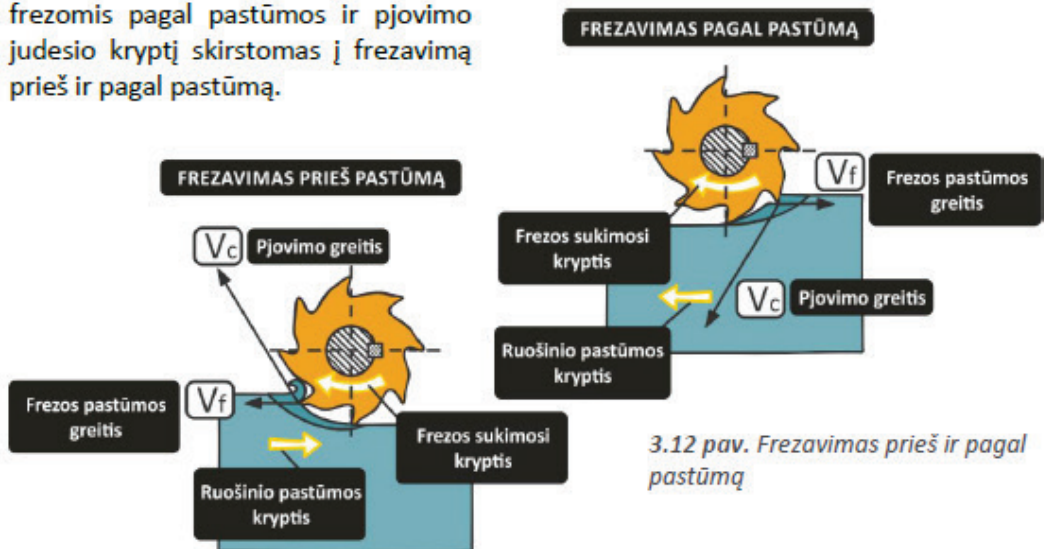


3.10 pav. Kontūrinis frezavimas pirštine freza



3.11 pav. Frezų tipų pavyzdžiai: a) diskinės frezos, b) galinės frezos, c) cilindrinės frezos, d) pirštinės frezos, e) griovelinė T formos freza (Gehring Technologies GmbH)

**Frezavimas prieš ir pagal pastūmą.** Frezavimas cilindrinėmis, galinėmis ir diskinėmis frezomis pagal pastūmos ir pjovimo judesio kryptį skirstomas į frezavimą prieš ir pagal pastūmą.



3.12 pav. Frezavimas prieš ir pagal pastūmą

Frezuojant prieš pastūmą, frezos apskritiminio greičio kryptis yra priešinga ruošinio pastūmos kryptčiai (3.12 pav.). Frezuojant prieš pastūmą, pjovimas prasideda nuimant ploną drožlę ir baigiasi nuimant maksimalią drožlę.

Frezuojant pagal pastūmą, frezos apskritiminio greičio ir ruošinio pastūmos kryptys esti vienodos. Frezuojant pagal pastūmą, pjovimas prasideda nuimant maksimalią drožlę ir baigiasi nuimant minimalią drožlę. Todėl frezuojant pagal pastūmą, gaunama geresnė paviršiaus kokybė. Be to, frezuojant pagal pastūmą, padidėja įrankio patvarumo laikotarpis.

#### **PRAKTINIAI PATARIMAI:**

*plazmos srautu arba lazeriniu būdu atpjautiems ruošiniams rekomenduojama taikyti frezavimą prieš pastūmą.*

Frezavimas skirstomas į rupųjį, pusiau glotnųjį, glotnųjį ir tikslųjį. Rupusis frezavimas taikomas pašalinant dideles užlaidas (didesnes kaip 3 mm), dažniausiai nuo kaltinių ir liejinių ruošinių apdirbamųjų paviršių. Tiksliajam frezavimui rekomenduojama naudoti galines frezas. Naudojant tikslųjį frezavimą, pjovimo gylis  $t=0,05-0,1\text{mm}$ , o tiesumo nuokrypa neviršija 0,04–0,02 mm vieno metro ilgyje.

## 3.3. Gręžimas, gilinimas, plėtimas, sriegimas

Tekinimo ir frezavimo apdirbimo centruose galima atlikti ne vien tekimą ar frezavimą, bet taip pat gręžimą, gilinimą, plėtimą, sriegimą.

Tekinimo staklėse besisukant detalei, įrankis nejuda. Gręžimo operacijos atliekamos įvirtinus grąžtą į arkliuko pinolę. Sriegimas šiose staklėse gali būti vidinis ir išorinis. Vidiniam sriegimui naudojami sriegikliai arba vidinio sriegimo peiliai. Išorinis sriegimas atliekamas naudojant sriegimo peilius arba sriegpjoves.

Frezavimo staklėse gręžimas, sriegimas ir plėtimas atliekamas taip pat kaip ir frezavimo operacija, tik tai vietoj frezos įdedamas grąžtas, plėstuvai ar pan.

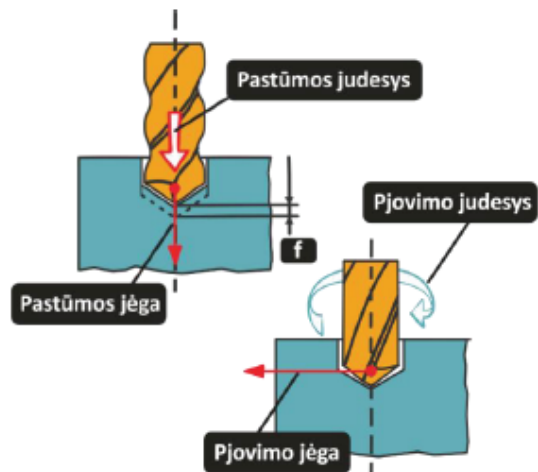
#### **Gręžimas**

Skylės apdirbamos įvairiais pjovimo įrankiais, atsižvelgiant į ruošinio rūšį, reikiamą tikslumą ir paviršiaus šiurkštumą. Ruošiniai gali būti su skylėmis, pagaminti liejimo, kalimo, arba šampavimo būdu, o taip pat be iš anksto padarytų skylių. Ruošiniai, kuriuose nėra iš anksto padarytų skylių, visuomet apdirbami, pradėdant gręžimu.

Gręžimas – tai vienas labiausiai paplitusių ir seniausių metalo ir įvairių medžiagų pjovimo būdų skylėms formuoti. Pagal konstrukciją grąžtai būna šių tipų: spiraliniai, su tiesiais grioveliais, plunksniniai, plokšteliniai, karūniniai, giliojo gręžimo (šautuviniai), žiedinio gręžimo, centravimo, specialūs.

Grąžto pjovimo judesys apskritiminis, o pastūmos judesys nukreiptas sukimosi ašies kryptimi. Veikiant pastūmos jėgai, pjovimo briaunos įsminga į medžiagą. Apskritiminis pjovimo judesys sukuria pjovimo jėgą (3.13 pav.).

3.13 pav. Jėgos ir judesiai gręžiant



**Centravimo grąžtais** viena darbo eiga (praėjimu) vientisame metale gręžiamos centravimo duobutės (3.14 pav.). Jos reikalingos ruošiniui įtvirtinti tarp centrų tekinant arba šlifuojant. Pradinis centravimas plačiai taikomas gręžiant skyles automatizuotais įrenginiais.

3.14 pav. Centravimo grąžtas (Gehring Technologies GmbH)



Centravimo duobutė su tiesialinijiniu kreiplančiu paviršiumi be apsauginio įgilinimo

Tiksliam ir greitam pradiniam centravimui vientisame metale programinio valdymo staklėmis naudojami specialūs SPV centravimo grąžtai, gaminami iš greitapjovio plieno arba kietlydinio (3.15 pav.). Centravimo grąžtai gaminami su 90° arba 120° viršūnės kampu ir mažesniu negu paprastų spiralinių grąžtų spiralinio griovelio kampu.

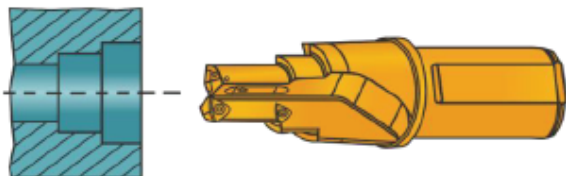


3.15 pav. SPV centravimo grąžtas (Gehring Technologies GmbH)

**Spiraliniai grąžtai.** Jie gaminami iš greitapjovio plieno ir kietlydinio. Rekomenduojama, kad iš karto metale būtų gręžiama ne didesnė nei 30 mm skersmens skylė. Prieš gręžiant didesnio skersmens skylę, reikėtų išgręžti 10-15 mm skersmens paruošiamąją skylę. Skylės iki 80 mm skersmens yra gręžiamos spiraliniais grąžtais. Šiais grąžtais taip pat gręžiamos skylės, kurių ilgio ir skersmens santykis  $l/d \leq 5$ . Spiraliniais grąžtais gręžti gilesnes skylės yra sunku, nes pablogėja drožlės pašalinimas, pjaunančiųjų grąžto briaunų aušinimas, sunku gauti skylės ašį statmeną galiniam paviršiui. Todėl gręžiant galias skylės, naudojami šautuviniai arba giliojo gręžimo grąžtai. Prieš gręžiant, ypač mažesnio skersmens skylės, rekomenduojama žymėjimo operacija. Kartais grąžto kreipimui gręžiant yra naudojamos konduktorinės įvorės. Naudojant konduktorines įvoves, nereikalingas žymėjimas. Spiraliniais grąžtais galima pasiekti 11 arba 12 kvaliteto



išgręžtų skylių tikslumą. Didesnio kaip 80 mm skersmens skylės gręžiamos žiediniais grąžtais.



3.16 pav. Pakopinis grąžtas su mažais laipteliais

*Pakopiniai grąžtai* su mažais laipteliais skirti gręžti sriegių skylėms su kūginiu arba cilindrinu įgilinimu (3.16 pav.). Trumpi įgilinimai lemia didelį grąžto stabilumą susukimui, todėl jis ypač tinka naudoti SPV staklėse.

**Giliojo gręžimo grąžtai.** Giliojo gręžimo (kai skylės  $l/d > 5$ ) grąžtai gali būti vienabriauniai ir daugiabriauniai. Giliojo gręžimo grąžtais galima pasiekti 8 kokybės tikslumą ir aukštą paviršiaus kokybę. Giliojo gręžimo grąžtai įsijpaujant į ruošinį centruojasi ant koto esančiomis kreipiančiomis juostelėmis į uždėtą gręžimo konduktorių. Vėliau grąžtas pats centruojasi skylėje. Tepimo-aušinimo skystis 1,2...1,6 MPa slėgiu per kotą paduodamas prie grąžto viršūnės į pjovimo zoną ir per kote įvalcuotą aušinimo kanalą išplauna iš skylės drožles.

#### **PRAKTINIAI PATARIMAI:**

*gręžiant stebėti grąžto briaunų būklę ir užtikrinti tinkamą aušinimą darbo zonoje.*

*Gręžiant periodiškai tikrinti išgręžtų skylių paviršiaus kokybę tam, kad laiku pakeisti arba pagalvoti grąžtą*

#### **Gilinimas**

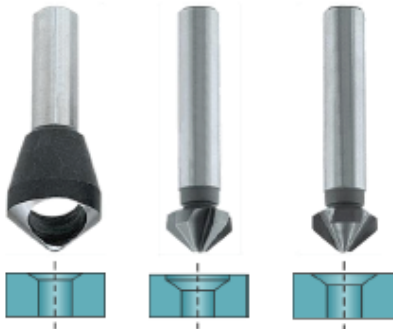
Gilinimu vadinamas cilindrinų ir kūginių neapdirbtų skylių lietuose, kaltuose ar šampuotuose ruošiniuose arba paruošiamai pragręžtų skylių apdirbimas gilintuvais, norint padidinti skersmenį, pagerinti jų paviršiaus kokybę, padidinti tikslumą (sumažinti kūgiškumą, ovalumą), pataisyti kreivą skylės ašį. Gilinant išgręžtą skylę, jos tikslumas padidinamas vienu tikslumo kokybe. Gilinimas gali būti ir galutinis skylės apdirbimas ar tarpinė operacija prieš skylės plėtimą.

Skylės gilinamos standartiniais gilintuvais. Jie turi daugiau pjovimo briaunų ir yra standesni negu grąžtai. Skylės gilinamos iki 120 mm skersmens. Labai dažnai gilintuvai gaminami laiptuoti 2–3 pakopų, kad suformuoti atitinkamos formos skylę (3.17 pav.).

Gilintuvus patogiu naudoti įleidžiamų varžtų galvučių cilindrinėms ar kūginėms skylėms apdirbti (3.18 pav.).



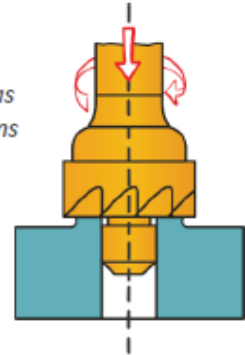
3.17 pav. Laiptuotas gilintuvas (Coin Precision Tools Co, Ltd)



3.18 pav. Kūginis gilinimas (Gehring Technologies GmbH)

Taip pat yra gilintuvų galiniams skylių paviršiams nulyginti. Jie dar vadinami glemžtuvais ir turi pastovų arba keičiamą nukreipimo kakliuką (3.19 pav.).

3.19 pav. Glemžtuvas plokštiems paviršiams glemžti



### Plėtimas

Plėtimas - tai skylių apdirbimas, esant mažoms užlaidoms, norint gauti tikslius, glotnius paviršius. Plečiant yra sumažinama cilindriškumo nuokrypa, patikslinamas matmuo, bet neištaisomas skylės ašies nukrypimas nuo statmenumo galinei plokštumai.



a



b

3.20 pav. Plėstuvai: a) cilindrinė skylių plėtimui, b) kūginių skylių plėtimui (Gehring Technologies GmbH)

Plėtimas skirstomas į cilindrinę skylių plėtimą, naudojamą norint gauti tikslių matmenų ir formos skyles (3.20, a pav.) ir fasoninių skylių plėtimą, naudojamą kūginiams ir fasoniniams paviršiams apdirbti (3.20, b pav.).

Skirtingai negu gręžimas ir gilinimas, plėtimas gali būti rupusis ir glotnis, mašininis ir rankinis. Dažniausiai iki 10 mm skersmens skylės yra plečiamos iš karto po gręžimo, o didesnio skersmens – po gilinimo arba ištekimo. Naudojant šiuolaikinius įrankius (plokštelinius grąžtus) didesnes kaip 10 mm skersmens skyles galima po gręžimo iš karto apdirbti plėtimu, pvz. išgręžus 19,7 mm skersmens skylę, atlikti plėtimą 20 mm skersmens skylėi gauti.

Plėtimas palyginti yra brangi

operacija, nes susidėvėjusio plėstuvo negalima pergalsti. Plėstuvą galima pergalsti tik mažesniai skersmeniui.

Plečiant, panašiai kaip gręžiant ir gilinant, drožlė atpjaunama plėstuvo pjaunančiąja dalimi (3.21 pav.). Cilindrinės nuo 0,1 iki 0,3 mm pločio juostelės kalibravimo dalyje lygina skylės

3.21 pav. Plėstuvo pjaunančioji dalis



paviršių ir nulemia skylės matmenų ir formos tikslumą. Plėstuvams su tiesiais ir įstrižais dantimis apdirbimo užlaida, priklausomai nuo skersmens, yra nuo 0,1 iki 0,5 mm. Sraigtinių dantų plėstuvams, kai plečiant gaunama ilga drožlė, apdirbimo užlaida yra iki 0,8 mm.

Tiksliau apdirbama, kai plėstuvus tvirtinamas taip, kad suklyje savaime nusistatytų pagal skylės ašį, nes tada jo neveikia staklių pavaros virpesiai, o taip pat kai plečiama rankiniu būdu.

#### *Sriegimas*

Detalių sujungimams arba judesiui bei apkrovoms perduoti naudojami srieginiai paviršiai. Sriegiai formuojami ant išorinių ir vidinių cilindrinų paviršių, rečiau ant kūginių paviršių. Sriegių sudarymo būdas parenkamas atsižvelgiant į sriegio tipą, paskirtį, apdirbamąją medžiagą, tikslumo reikalavimus sriegiui, turimus įrankius ir stakles. Labiausiai paplitę sriegio sudarymo būdai yra pjovimas sriegimo peiliais, sriegių frezavimas srieginėmis frezomis, sriegimas sriegikliais ir sriegpjovėmis, sriegių formavimas sriegimo galvutėmis, sriegių šlifavimas, valcavimas.

Atliekant mašininį sriegimą sriegikliais, gręžimo staklių suklysis turi turėti atgalinę eigą, tam, kad sriegiklį būtų galima išsukti iš įsriegtos skylės. Nesant atgalinės eigos, turi būti naudojami taip vadinamieji iškrentamieji iš suklio lizdo sriegikliai. Tačiau jais negalima sriegti aklinių skylių.

Sriegiant rankiniu būdu, rankiniais sriegikliais įsriegiama per du arba tris praėjimus, pagal dydį paeiliui naudojant į komplektą įeinančius sriegiklius (3.22 pav.).

Gautų sriegių tikslumas priklauso nuo sriegiklių tikslumo ir jų tipo (3.22 pav.). Šlifuoti sriegikliais pasiekiamas 6, o nešlifuoti – 8 kvaliteto tikslumas. Norint sriegikliu įpjauti kūginį sriegį, išgręžta skylė turi būti išplėsta kūginiu plėstuvu. Labai svarbu, kad sriegimo pradžioje sriegiklio ašis būtų statmena pagrindo plokštumai. Todėl sriegimo pradžioje patariama naudoti kampinius sriegiklio ašies statmenumus nustatyti. Tam, kad užtikrinti sriegiklio įsisukimą į skylę, skylėje rekomenduojama sudaryti nuožulą.

3.22 pav. Sriegiklių komplektai rankiniam sriegimui: a) dviejų sriegiklių komplektas dviem praėjimams, b) trijų sriegiklių komplektas trims praėjimams (Thürmer Tools)



Aklinosios kiaurymės turi būti 3-4 vijom ilgesnės (gilesnės) už sriegio ilgį, nes reikia palikti vietos drožlei sriegimo metu. Sriegiant kiaurymes plastiškuose metaluose, vyksta plastinė deformacija, dėl to sumažėja vidinis sriegio profilio skersmuo. Norint to išvengti, plastiniuose metaluose gręžiamos didesnio skersmens skylės. Pvz., norint

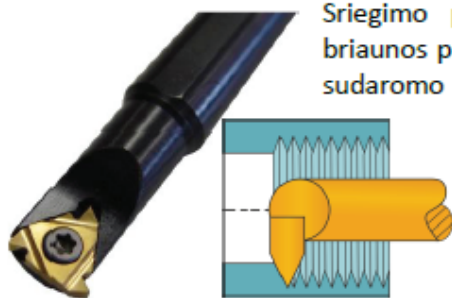
įsriegti skylę M16, pliene reikia išgręžti 13,9 mm skersmens skylę, o ketuje – 13,7 mm skersmens skylę.

Išoriniai ir vidiniai sriegiai gali būti frezuojami diskinėmis, šukutinėmis, srieginėmis (monolitinėmis ir plokštelinėmis) frezomis (3.23 pav.). Sriegiant diskinėmis sriegimo frezomis, įrankis nustatomas kampų, lygiu sriegių vijos kilimo kampui. Trumpi išoriniai ir vidiniai trikampio profilio sriegiai frezuojami šukutinėmis frezomis. Šukutinę frezą sudaro keletas galais sujungtų diskinių sriegimo frezų.



3.23 pav. Sriegimo frezos: a) srieginė monolitinė (OSG Corporation), b) srieginė plokštelinė (W.W. Grainger, Inc.), c) diskinė (Lalson Tools Corporation), d) šukutinė (MSC Industrial Direct Co., Inc.)

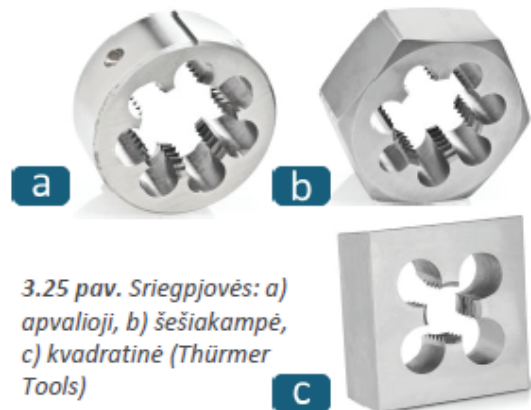
Sriegių sudarymas sriegimo peiliais yra universalus ir tikslus būdas. Sriegimo peiliais galima sudaryti įvairių matmenų ir profilių išorinius bei vidinius sriegius (3.24 pav.).



3.24 pav. Vidinio sriegio pjovimas sriegimo peiliu (Machineryhouse (NZ) Pty Ltd)

Sriegimo peiliai yra fasoniniai įrankiai, kurių pjovimo briaunos profilis ir viršūnės užapvalinimo spindulys atitinka sudaromo sriegio profilį. Sriegimo peiliais sriegiami ne tik trikampio (metriniai), stačiakampio, trapezinio, bet ir kitų profilių sriegiai. Sriegimo peiliai gaminami ir galandami kaip tekimo peiliai. Pagal konstrukciją sriegimo peiliai skirstomi į strypinius, prizminius ir diskinius. Sriegių pjovimas sriegimo peiliais yra nenaši operacija, nes, norint padaryti visą sriegio profilį, reikia atlikti daug praėjimų.

Apvaliomis sriegpjovėmis (3.25 pav.) sriegiami palyginti mažo tikslumo išoriniai trikampiai sriegiai, nes šių sriegpjovių vijų profilis nešlifluotas. Pailgintos apvalaus skerspjuvio sriegpjovės vadinamos vamzdinėmis. Jos naudojamos revolverinėse staklėse, automatuose ir pusautomatuose. Sriegpjovių trūkumas – mažas darbo našumas, nes sriegiama palyginti mažu greičiu, be to, sriegpjovė nuo sriegiamojo ruošinio reikia nusukti.



3.25 pav. Sriegpjovės: a) apvalioji, b) šešiakampė, c) kvadratinė (Thürmer Tools)

Išoriniai ir vidiniai sriegiai įvalcuojami tarp dviejų lygiagrečių prizminių valcavimo plokštelių arba tarp cilindrinų sukamųjų ritinėlių, išdėstytų tam tikru atstumu vienas nuo kito. Sriegiai įvalcuojami plastinės deformacijos principu. Metalas išspaudžiamas iš sriegio griovelio į iškilimą. Dėl to sriegiai valcuojami tik plastiškuose metaluose. Tai našiausias sriegių formavimo būdas. Valcuojant sudaryto sriegio mechaninės savybės yra geresnės, nes sriegio paviršius valcavimo metu sukietinamas, metalo sluoksniai išlankstomi, o ne perpjaunami.

Grūdintose detalėse, kurių kietumas ne mažesnis kaip 40 ... 42 HRC, sriegiai dažniausiai šlifuojami, nes terminio apdirbimo proceso metu sriegis deformuojasi. Tam tikslui naudojami abrazyviniai diskai. Renkantis šlifavimo diską (grūdelių stambumą ir jo kietumą), atsižvelgiama į šlifuojamojo sriegio žingsnį. Paruošiamajam šlifavimui naudojami rupesni ir minkštesni diskai, o glotniajam – smulkesni, su kietesne rišamąja medžiaga. Dažniausiai sriegių šlifavimui yra naudojami daugelio vijų šlifavimo diskai, kurie yra našesni už vienos vijos diskus, tačiau šlifavimas su daugelio vijų disku ne toks tikslus.

## 3.4. Šlifavimas ir kiti paviršių išbaigimo metodai

Šlifavimas yra labai svarbus medžiagų apdirbimo būdas, norint gauti tikslų ir glotnų paviršių (3.26 pav.). Šlifavimas skirstomas į paruošiamąjį (rupųjį), glotnųjį ir tikslųjį. Tiksliuoju šlifavimu pasiekiamas 5 arba 6 cilindrinio apdirbamojo matmens tikslumo kokybės ir iki  $R_a=0,1 \mu\text{m}$  paviršiaus šiurkštumas.

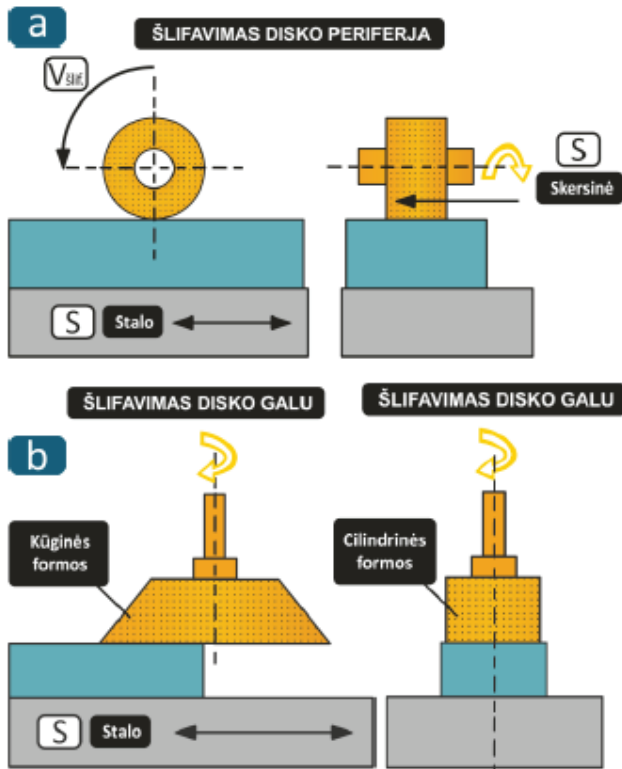


3.26 pav. Šlifuočių detalių pavyzdžiai (Gehring Technologies GmbH)



3.27 pav. Šlifavimo staklės: a) plokščiojo šlifavimo SCHLEIFPOWER FSM 30100 AHD staklės (HESSE+CO Maschinenfabrik GesmbH), b) apvaliojo šlifavimo AJG27 staklės (Ajax Machine Tool Company, Ltd.)

Šlifavimas atliekamas įvairios paskirties šlifavimo staklėmis (3.27 pav.), kurių bendras bruožas tas, kad pjovimo įrankis yra abrazyvinis diskas, sudarytas iš abrazyvinių grūdelių, surišėtų rišamąja medžiaga. Metalą pjauna kiekvienas abrazyvinis grūdelis, kai tik judėdamas prisiliečia prie apdirbamojo paviršiaus.



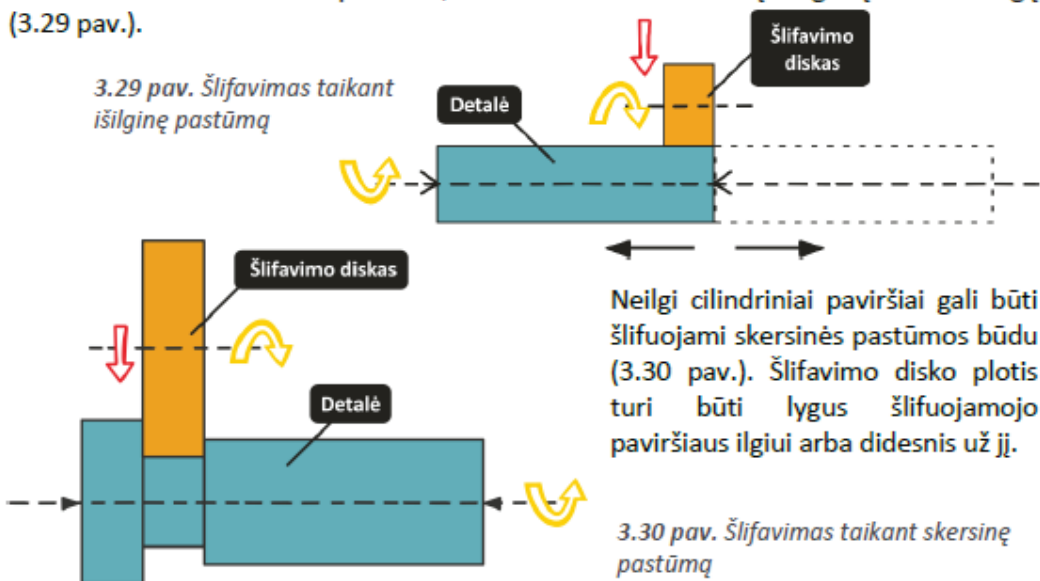
Šlifavimas skirstomas į apvalųjį šlifavimą (išorinį ir vidinį) ir plokštųjį šlifavimą. Plokštumos šlifuojamos dviem būdais: disko periferiniu paviršiumi (3.28, a pav.) ir kūginio, cilindrinio arba segmentinio disko galu (3.28, b pav.).

3.28 pav. Plokščiųjų paviršių šlifavimas: a) – šlifavimas disko periferija, b) – šlifavimas disko galu.  $V_{šlif.}$  – šlifavimo disko sukimosi kryptis, s - pastūma

Šlifavimas disko galu yra našesnis, nes vienu metu pjauna daug abrazyvinių grūdelių.

Cilindriniai paviršiai šlifuojami taikant išilginę pastūmą, skersinę pastūmą ir becentriu būdu. Šlifuojant išilginiu būdu,

šlifavimo diskas ir ruošinys sukasi, ruošinys juda išilgai ašies išilgine pastūma, o šlifavimo diskui suteikiama skersinė pastūma, dažniausiai kas kiekvieną dvigubą ruošinio eigą (3.29 pav.).

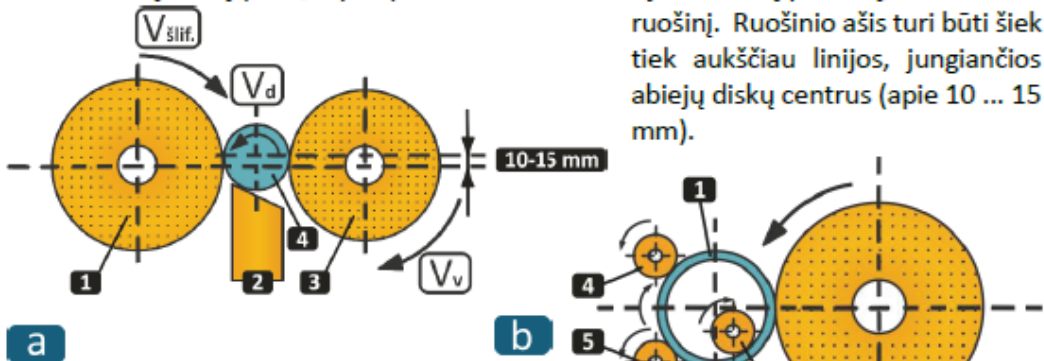


3.29 pav. Šlifavimas taikant išilginę pastūmą

Neilgi cilindriniai paviršiai gali būti šlifuojami skersinės pastūmos būdu (3.30 pav.). Šlifavimo disko plotis turi būti lygus šlifuojamojo paviršiaus ilgiui arba didesnis už jį.

3.30 pav. Šlifavimas taikant skersinę pastūmą

Šlifuojant becentriu būdu išorinius paviršius, ruošinys dedamas ant atramos tarp dviejų besisukančių diskų (3.31, a pav.). Vienas diskas šlifuoja cilindrinį paviršių, o kitas suka ruošinį. Ruošinio ašis turi būti šiek tiek aukščiau linijos, jungiančios abiejų diskų centrus (apie 10 ... 15 mm).



3.31 pav. Becentris šlifavimas: a) išorinių cilindrinų paviršių: 1-šlifavimo diskas, 2-atrama, 3-varantysis diskas, 4-detalė; b) skylių: 1-detalė, 2-varantysis diskas, 3-šlifavimo diskas, 4-prispaudimo ritinėlis, 5-atraminis ritinėlis.  $V_{slif.}$  – šlifavimo disko sukimosi kryptis,  $V_d$  – detalės sukimosi kryptis,  $V_v$  – varančiojo disko sukimosi kryptis

Šlifuojant skyles vidinio becentrio šlifavimo būdu, ruošinys bazuojamas apdirbtu išoriniu paviršiumi (paruošiamai nušlifuotu). Ruošinį palaiko du atraminiai ritinėliai ir varantysis diskas, kuris ne tik suka ruošinį, bet ir pristabdo jį, kad nesisuktų per daug greitai nuo šlifavimo disko poveikio (3.31, b pav.).

Darbas, kai įrankis sukasi ir juda išilgai savo ašies, vadinamas honingavimu. Honingavimas atliekamas honingavimo staklėmis (3.32 pav.) Tai skylių apdirbimas smulkiagrūdžiais abrazyviniais strypeliais.



3.32 pav. Vertikaliosios honingavimo HSV-250 staklės (Creative Engineering)

Strypeliai įtaisomi į įrankį, vadinamą honu (3.33 pav.). Strypeliai patys pasigalanda, jų paviršiaus lyginti nereikia.

Tai ypač lygaus ir glotnaus paviršiaus apdirbimo būdas. Hono strypeliai spaudžiami prie apdirbamosios skylės sienelių, o juos sudarantys abrazyviniai grūdėliai sienelėse palieka nepasikartojančių, tam tikru kampu susikertančių trajektorijų pėdsakus. Vienu metu pjauna daug abrazyvinių grūdelių, dėl to našumas yra didelis, slėgis sąlyginai mažas, neaukšta pjovimo vietos temperatūra, todėl

3.33 pav. Hono strypelis honingavimui (GEHRING)





3.34 pav. Poliravimo su abrazyvine juosta staklės Model-ZX-150-2 (Rohit Polishers)

vidiniai detalės paviršiai. Pritrinant pasiekama geresnė paviršiaus kokybė ir formos tikslumas negu šlifuojant ar honinguojant. Pritrinant pasiekiamas aukščiausios kokybės paviršius, mikronelygumų aukštis sumažinamas iki  $R_a=0,01 \mu\text{m}$ , o matmenų ir formos paklaidos sumažinamos iki  $0,3 \mu\text{m}$ . Pritrynimo įrankiai vadinami trintuvais. Jie gaminami iš minkštesnės medžiagos negu apdirbamoji medžiaga, t.y. ketaus, spalvotųjų metalų, plastmasių.

Superfinišavimas – tai taip pat vienas iš pritrinimo metodų. Superfinišavimui užlaida neskiriama. Nuimamos tik mikronelygumų viršūnės. Metodas taikomas įvairaus dydžio išoriniams ir vidiniams cilindriniams, kūginiams sukimosi paviršiams ir plokštumoms išbaigti. Superfinišavimu paviršiaus mikronelygumų aukštis sumažinamas iki  $R_a=0,012 \mu\text{m}$  (3.35 pav.).

Detalių paviršiaus mikronelygumams sumažinti, paviršių kontakto plotui padidinti, paviršiaus sluoksniui sukietinti yra taikomas plastinis paviršiaus deformavimas. Jis vyksta įrankiui spaudžiant ir slystant, riedant paviršiumi arba apdaužant paviršių, pavyzdžiui, plieninių rutuliukų srautu.

3.35 pav. Superfinišavimo Supfina MultiFlex staklės (Supfina Grieshaber GmbH & Co. KG)



apdirbamojo paviršiaus sluoksnio struktūra nesikeičia. Taip honinguojami vidaus degimo variklių, kompresorių, siurblių cilindrai. Po honingavimo galima gauti 5 kokybės tikslumą.

Norint po šlifavimo dar pagerinti detalių paviršiaus glotnumą, taikomas poliravimas. Poliruojama dažniausiai elastingais diskais su abrazyvu arba abrazyvinėmis juostomis (3.34 pav.). Diskai daromi iš odos, veltinio, audinio, polimero. Jų paviršius padengiamas abrazyvu su klijais arba ant jo dirbant tepama abrazyvinė pasta. Nupoliruotas detalės paviršius tampa tarsi veidrodis.

Pritrinant išbaigiami plokšti, taip pat cilindriniai, kūginiai, sferiniai išoriniai ir



## 3.5. Ruošinio parinkimas

*Ruošiniu* vadinamas pusfabrikatis arba paruošta medžiaga, kurią apdirbant pagaminama detalė. Ruošinys gaminamas iš pirminio ruošinio. *Pirminiu ruošiniu* yra vadinamas ruošinys prieš pirmąją technologijos operaciją. Ruošiniai gaminami iš įvairių medžiagų.

Parentant ruošinį, reikia numatyti kaip jis bus pagamintas, jo konfigūraciją, matmenis, užlaidas ir tolerancijas tolimesniam apdirbimui, bei ruošinio gamybos sąlygas (gaminių kiekį, pasikartojamumą ir pan.). Ruošiniai gali būti parentami dvejopai. Jeigu ruošinys yra sudėtingas, jo gamybos būdą numato ir brėžinį nubraižo konstruktorius, konstruodamas detalę. Jeigu ruošinys nėra sudėtingas, konstruktorius nurodo tik jo medžiagą, kietumą, jeigu reikia – terminį apdorojimą. Tada ruošinio gamybos būdą pasirenka ir jo darbo brėžinį paruošia pats technologas. Parentant tikslų ruošinį, kada jis savo forma ir matmenimis artimas pagamintai detalei, daugiau darbo tenka paruošimo skyriams. Esant netiksliam ruošiniui, t.y. su didelėmis užlaidomis mechaniniam apdirbimui, pagrindinis darbas gaminant detalę tenka mechaninio apdirbimo cechams ir barams.

### **PRAKTINIAI PATARIMAI:**

*prieš pradėdant ruošinio mechaninį apdirbimą, reikia patikrinti ruošinio matmenis ir medžiagą.*

Gamyboje naudojami įvairūs ruošiniai, kurie skirstomi:

- įvairiais liejimo būdais gauti lieti ruošiniai;
- valcuoti, kalibruoti profiliai: strypai, juostos, lakštai, viela, vamzdžiai ir iš jų atpjauti ruošiniai ;
- laisvu kalimu gauti ruošiniai – kaltiniai;
- iš lakštinės, strypinės medžiagos, karštai ir šaltai štampuoti ruošiniai;
- kombinuoti ruošiniai, pvz., iš pradžių štampuojama, o po to atskiros štampuotos dalys suvirinamos;
- metalokeraminiai ruošiniai (miltelinė metalurgija);
- iš plastmasių lieti bei presuoti ruošiniai.

### *Ruošinio gavimo būdo parinkimas*

Renkant ruošinio tipą, atsižvelgiama į:

- medžiagos markę, nurodytą detalės darbo brėžinyje. Kartais jau pati medžiaga nusako ruošinio tipą. (pavyzdžiui, jeigu medžiaga ketus ar liejiminis plienas, tai ruošinys bus liejamas);
- detalės gabaritinius matmenis. Jei detalės yra masyvos, jų negalima štampuoti, todėl tokie ruošiniai formuojami laisvu kalimu;
- turimus gamykloje įrenginius, t.y. realias gamyklos galimybes;

- kapitalinius įdėjimus (įrenginių kainą) ir pasiruošimo laiką (įrenginių projektavimas, gamyba, įsisavinimas, pirkimas, pastatymas, šampų gamyba ir t.t.);
- minimalią detalės savikainą, t.y. apskaičiuoti kas pigiau: darbas ruošinių paruošimo skyriuje ar mechaninis apdirbimas.

Neretai tinkamiausias ruošinio gamybos būdas pasirenkamas ekonomiškai lyginant numatomus ruošinio tipus ir ieškant pigiausio.

### Liejiniai

Daugelyje mašinų lietos detalės sudaro apie 75% visos gaminio masės (tai korpusai, stovai, stalai, rogės, variklių korpusai, greičių dėžių korpusai ir pan.). Ruošiniai liejami, kai kitais būdais gaminti neįmanoma arba neekonomiška.

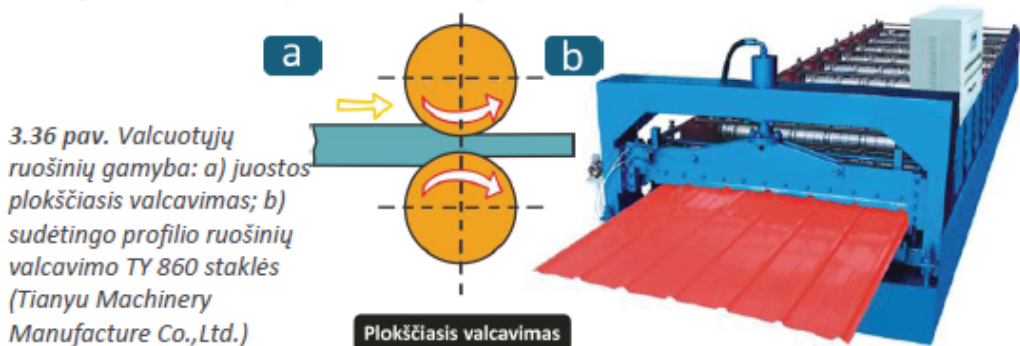
Dažniausiai naudojami liejimo būdai yra šie (išvardinti tikslumo didėjimo tvarka):

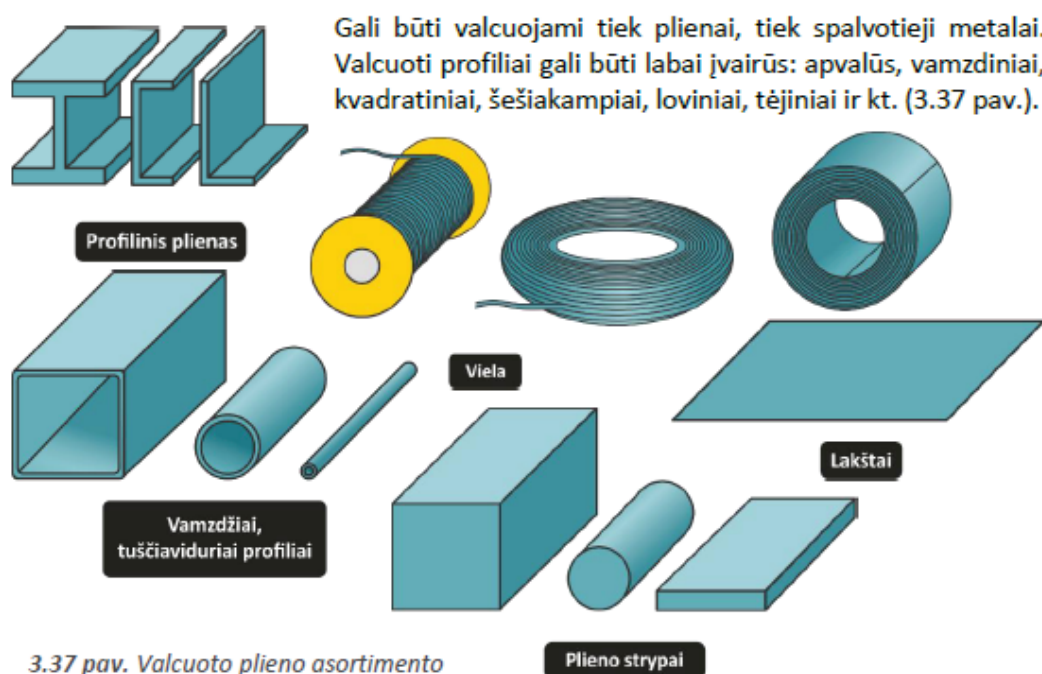
- liejimas formuojant žemėje rankiniu būdu naudojant medinius modelius;
- liejimas, formuojant žemėje mašininu būdu, naudojant medinius arba metalinius modelius;
- liejimas kokilėse (metalinėse formose);
- išcentrinis liejimas;
- liejimas kevalinėse formose;
- liejimas naudojant išlydomus modelius;
- liejimas slegiant.

Liejimo būdais pagamintų ruošinių mechaninės savybės dažniausiai yra blogesnės negu kaltinių, šampuotų ar iš valcuotų profilių pagamintų ruošinių.

### Valcuotieji ruošiniai

Apdirbimo spaudimu būdai paremti medžiagos plastinio deformavimo principu, kai ruošinio forma keičiama perstumiant ruošinio dalis viena nuo kitos atžvilgiu, nesuardant medžiagos vienalytiškumo. Valcuoto gaminio skerspjūvio forma vadinama jo profiliu. Valcuoti profiliai gaunami metalurgijos gamyklose įkaitinus lietus metalo luitus ir daug kartų juos apspaudus valcavimo staklynuose (3.36 pav.). Tikslūs profiliai, plonos juostos ir skarda po to dar valcuojami šaltai.





Gali būti valcuojami tiek plienai, tiek spalvotieji metalai. Valcuoti profiliai gali būti labai įvairūs: apvalūs, vamzdiniai, kvadratiniai, šešiakampiai, lovieniai, tėjiniai ir kt. (3.37 pav.).

3.37 pav. Valcuoto plieno asortimento pavyzdžiai

Normalaus tikslumo karštai valcuoti profiliai būna 17 kvaliteto, padidinto – 15–16 kvaliteto tikslumo. Tikslūs, t.y. po valcavimo kalibruoti strypai atskirais atvejais būna 9–10 kvaliteto tikslumo. Automatams ir pusautomatams skirti valcuoti strypai būna 11–13 kvaliteto tikslumo.

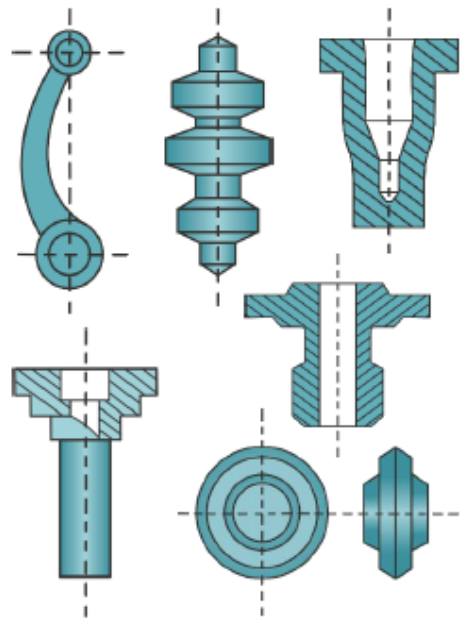
Ruošinius iš apvalaus valcuoto metalo naudoti veleno formos detalėms gaminti dažniausiai tikslingiau negu kaltus ir šampuotus ruošinius, norint sutaupyti gamybos kaštus, bei sumažinti detalės savikainą. Tačiau tais atvejais, kai ruošinio iš valcuoto metalo masė būna daugiau kaip 15 % didesnė už šampuotos detalės masę, tikslingiau naudoti šampuotus ruošinius.

#### **Kaltiniai**

Ruošiniai laisvuju kalimu gaminami esant vienetinei, smulkiaserijinei ir vidutinio serijingumo gamybai. Kalami yra plienai, aliuminio, plastiškieji vario, titano ir magnio lydiniai. Kalimas labai paplitęs sunkiųjų mašinų gamyboje, gaminant ruošinius laiptuotiesiems ir alkūniniams velenams, galingų presų kolonomis ir kitoms detalėms. Smulkūs ruošiniai laisvuju kalimu kalami esant vienetinei gamybai, siekiant ekonomiško. Kalimo būdu gauti ruošiniai nėra labai tikslūs ir artimi savo forma pagamintai detalei, todėl yra brangus jų mechaninis apdirbimas. Pastaruoju metu kalimo cechuose vis dažniau naudojami programiniai kalimo įrenginiai. Jais kalant gaunami tikslesni, geros paviršiaus kokybės ruošiniai.

**Štampuoti ruošiniai**

Palyginus su kalimu, šampavimas turi daug privalumų. Štampuoto ruošinio tolerancijos 3-4 kartus mažesnės, negu kalto, todėl labai sumažėja mechaninio apdirbimo apimtis. Be to, šampavimas žymiai našesnis, negu kalimas. Štampuoti galima sudėtingesnius ruošinius, mažiau būna metalo atliekų. Tačiau šampavimo įrankis – šampas yra brangus įrankis ir jis tinka tik vienam, konkrečiam ruošiniui gaminti. Todėl štampuoti ekonomiškai tik esant pakankamos apimtys gamybinei programai. Šampavimas gali būti karštasis ir šaltasis. Karštojo šampavimo būdu gaminami nedidelių detalių ruošiniai, esant serijinei ir masinei gamybai. Tai automobilių, traktorių, žemės ūkio mašinų, geležinkelio vagonų, staklių detalėms skirti ruošiniai (3.38 pav.).



3.38 pav. Štampuoti ir kalti ruošiniai

Atsižvelgiant į šampo tipą, šampavimas skirstomas į šampavimą atviraisiais ir užduraisiais šampais. Dažniausiai štampuojama atviruose šampuose, iš kurių metalo perteklius gali ištekti. Metalu nuostoliai šiuo atveju gali siekti iki 20%. Štampuojant užduruose šampuose, metalas ištekėti negali, todėl pirminiai ruošiniai turi būti žymiai tikslesni. Našiam darbui užtikrinti naudojami daugiapoziciniai šampavimo automatai. Plačiai naudojamose horizontaliose kalimo mašinose suformuojami 100 g – 100 kg masės ruošiniai. Nesudėtingi ruošiniai šiose mašinose štampuojami šampuose be išlajų, o sudėtingesni – su nedidelėmis išlajomis.

Šaltasis šampavimas skirstomas į tūrinį ir lakštinį šampavimą. Šaltuoju tūriniu šampavimu gaminamos tvirtinimo detalės: varžtai, kniedės, ritinėliai, pirštai, vožtuvų stūmikliai. Be to, tokiu pat būdu iš lakštinės medžiagos gaunami ruošiniai ir detalės prietaisų ir elektrotechnikos pramonėje, taip pat ir kitose pramonės šakose. Taip gaminami gaubtai, skydai, dangteliai, tarpikliai ir įvairios kitos plokščiosios detalės. Šaltasis šampavimas iš lakštinės medžiagos yra labai našus, lengvai automatizuojamas. Tūriniam šampavimui yra naudojama juosta, valcuoti profiliai, kalti ruošiniai, liejiniai. Lakštiniam – naudojami lakštai, viela, skarda. Lakštiniam šampavimui taip pat priskiriamas lankstymas, pramušimas, ištraukimas.

Visas šampavimo operacijas galima suskirstyti į dvi grupes: į atskyrimo operacijas, kurių metu viena ruošinio dalis atskiriama nuo kitos, ir formos pakeitimo operacijas, kada viena ruošinio dalis pasislenka kitos atžvilgiu.

Prie atskyrimo operacijų priskiriamas nukirtimas, iškirtimas, pramušimas, apkarpymas. Prie formos pakeitimo – lenkimas, traukimas, apspaudimas, reljefinis formavimas.

Ruošinių, pagamintų iš lakštų šaltojo šampavimo būdu, dažnai nereikia mechaniškai apdirbti, nes jie būna tikslių matmenų ir iš karto tinka surinkimui.

#### **PRAKTINIAI PATARIMAI:**

*prieš įtvirtinant ruošinį įtaise įsitikinti, kad nebūtų užvartų, atplaišų, prielajų ir, esant reikalui, jas pašalinti.*

#### *Kombinuotais būdais pagaminti ruošiniai*

Kartais sudėtingi ruošiniai yra suskaidomi į paprastesnes dalis, kurias gaminamos našiais ir ekonomiškais būdais, o po to atskirtos dalys jungiamos į vieną ruošinį. Pavyzdžiu galėtų būti atskirų ruošinio dalių štampavimas, o po to suvirinimas. Taip sutaupoma metalo, ruošiniai būna lengvesni, atpinga jų mechaninis apdirbimas. Be to, kombinuotais būdais gaminant ruošinius, galima sutaupyti brangaus metalo. Pavyzdžiui, gaminant grąžtus, pjaunančioji dalis gaminama iš brangesnio įrankinio plieno, o kotas – iš pigesnio konstrukcinio plieno.

#### *Metalokeraminiai ruošiniai*

Kai kurių specifinių detalių, kurios turi pasižymėti specialiomis savybėmis, gamybai yra gaminami ruošiniai sumaišant metalus su nemetalinėmis medžiagomis. Tokiems deriniams gauti taikomas metalokeramikos metodas. Metalokeraminiai ruošiniai gaunami presuojant susmulkintų komponentų mišinius dideliu slėgiu (iki 600 MPa), o paskui sukepinant juos tokioje temperatūroje, kurioje lydosi rišamoji medžiaga. Šiuo būdu pagamintų ruošinių paviršiaus šiurkštumas ir matmenų tikslumas būna tokie, kad jie mechaniškai apdirbami mažai, o kartais ir visai nebeapdirbami. Taip gaminami ruošiniai frikciniais diskams, pastoviems magnetams, prietaisų kontaktų detalėms, guolių įvorėms, pjovimo įrankių dalims ir kt.

## 3.6. Įrankinės medžiagos ir įrankių geometrija pjovimo procese

### 3.6.1. Įrankinių medžiagų klasifikavimas

Metalo pjovimo procese, siekiant atskirti ruošinio/detalės medžiagos dalį, reikalinga nugalėti atsirandančias jėgas. Šios jėgos priklauso nuo apdirbamosios medžiagos stiprumo, pjovimo įrankio ašmenų kampų, pjovimo metu susiformavusios drožlės skerspjūvio.

Ruošinio atžvilgiu judant įrankiui, formuojami pjovimo (kai drožlė nupjaunama per vieną įrankio apsisukimą arba per vieną išilginę eigą) ir pastūmos judesiai (kai vykstant pjovimo judesiui, drožlė pjaunama nepertraukiamai įrankio ašmenims įsipjovus į ruošinį).

Priklausomai nuo pjovimo pobūdžio (gręžimo, tekinimo, frezavimo ir pan.) pjovimo ir pastūmos judesys gali sąlygoti nepertraukiamą drožlės nupjovimą. Tinkama įrankio

pjaunančiosios dalies forma užtikrina optimalų pjovimo jėgų pasiskirstymą, išsiskiriančios šilumos pašalinimą ir apdirbamojo paviršiaus kokybę. Drožlės forma ir jos nuvedimo kryptis priklauso nuo įrankio ašmenų geometrijos.

Medžiagos, iš kurių gaminama įrankių pjaunančioji dalis, yra veikiamos didelių apkrovų, atsirandančių dėl pastovių arba smūginių pjovimo jėgų, aukštos temperatūros arba temperatūros svyravimų, trinties ir dilimo poveikio. Kad įrankių medžiagos atlaikytų šias apkrovas, jos turi turėti atitinkamas savybes. Medžiagos turi būti kietos, lengvai galandamos, atsparios aukštai temperatūrai ir jos svyravimams, atsparios dilimui ir lenkimui bei pakankamai tšios. Dalį šių savybių turi nelegiruoti ir legiruoti įrankiniai plienai, turintys savo sudėtyje nuo 0,8 iki 1,5% anglies ir skirti rankiniams pjovimo įrankiams gaminti. Dėl didelio tšumo ir nejautrumo kintančioms apkrovoms, plačiai naudojami labai legiruoti įrankiniai plienai – greitapjoviai plienai. Šias medžiagas lengva formuoti gaminant specialiai paskirčiai skirtus įrankius ar įrankius, turinčius didelius priekinius kampus ir specialią pjovimo pleišto formą. Be to, visų greitapjovių plienų sudėtyje yra 3,5 – 4,5% chromo. Kad padidinti atsparumą dilimui, greitapjoviai plienai dažnai padengiami 2 – 4 μm storio titano nitrido sluoksniu. Taip padengtiems įrankiams galima panaudoti didesnius pjovimo greičius.

3.1 lentelė. Kietlydinių klasifikacija pagal apdirbamąją medžiagą

Mechaninės savybės	Žymėjimas	Grupė	Apdirbamoji medžiaga
	P01 P10 P20 P30 P40 P50	<b>P</b> Skiriamoji spalva mėlyna	Medžiagos, kurias pjaunant susidaro ištisinės drožlės (plienas ir jo liejiniai, kalusis ketus)
	M10 M20 M30 M40	<b>M</b> Skiriamoji spalva geltona	Medžiagos, kurias pjaunant susidaro ištisinės ir sąnariuotosios drožlės (plienas, grūdintas plienas, ketus, spalvotieji metalai)
	K01 K10 K20 K30 K40	<b>K</b> Skiriamoji spalva raudona	Medžiagos, kurias pjaunant susidaro biriosios drožlės (baltasis ir kalusis ketus, plastmasės, stiklas)


Siekiant trumpinti gamybos laiką padidinant pjovimo greitį, reikalingos kietesnės, tšesnės bei atsparesnės didesnėms temperatūroms medžiagos, tokios kaip kietlydiniai. Šios medžiagos įgalina apdirbti kietas medžiagas, pavyzdžiui, baltąjį ketų,

chromonikelinius plienus, stiklą, granitą, porcelianą ir pan. Apdirbimui pjovimu skirti kietlydiniai skirstomi pagal apdirbamas medžiagas į P, M ir K grupes, pagal rišančiųjų medžiagų kiekį ir atitinkamą tąsumą (3.1 lentelė). Siekiant užtikrinti apdirbamųjų paviršių kokybę ir specializuotoms trapioms medžiagos apdirbti naudojami smulkiagrūdžiai kietlydiniai ir kermetai (metalo keramikos lydiniai su titano karbidais ir/arba titano nitridais). Didinant kietlydinių atsparumą dilimui, atliekami specialūs įrankių padengimai. Tam naudojamos aliuminio oksido, titano nitrido, titano karbido ir kitos dangos.

Specialiųjų medžiagų, pvz., trapiaus ketaus, grūdintų ir cementuotų plienų apdirbimui gali būti naudojamos mineralų keramikos pagrindu pagamintos įrankinės medžiagos. Mineralų keramika, kuri būna dviejų pagrindinių rūšių (aliuminio oksido pagrindu ir silicio nitrido pagrindu) yra dar kietesnė už kietlydinius. Spalvotųjų metalų ir jų lydinių, pilkojo ketaus, pluoštinio ir armuoto plastiko, sukepintiems kietlydiniams, stiklui ir keramikai apdirbti naudojamos monokristalinės ir polikristalinės įrankių medžiagos – deimantai ir boro nitridai.

Esant konstrukcinėms ir technologinėms galimybėms panaudoti didesnių gabaritų įrankius, reikalingos įrankinės medžiagos pjovimo dalis formuojama kaip keičiamasis elementas. Tai užtikrina ekonomišką pjovimo elemento – keičiamosios pjovimo plokštelės panaudojimą bei daugkartinį įrankio korpuso pritaikymą. Dėl simetriškos konstrukcijos pjovimo plokštelė gaminama su keliomis pjovimo briaunomis ir papildomais elementais – drožlių laužymo grioveliais, skirtais užtikrinti gerą drožlių laužymą. Pagal apdirbamą medžiagą parenkama tinkamiausia plokštelės konstrukcija (pjaunančiosios briaunos ilgis  $l$ ), kuri apibrėžia leistinas pastūmos  $s$  bei pjovimo gylio  $t$  ribas (3.2 lentelė).

3.2 lentelė. Pjovimo režimai esant skirtingoms pjovimo plokštelėms

Pjovimo plokštelė		Pjovimo gylis $t$ , mm	Pastūma $s$ , mm	Pjovimo jėga $F_c$ , N
Forma	Dydis $l$ , mm			
	9	6	0,4	5000
	12	8	0,6	10000
	16	10	0,8	16000
	9	7	0,4	5000
	12	9	0,6	10000
	15	12	0,8	16500
	19	14	1,0	23000
	11	5	0,4	4000
	16	8	0,6	9000
	22	11	0,8	15000

Tekinant įrankio ašmenys dyla dėl trinties, ištrupėjimo ir aukštoje temperatūroje vykstančios difuzijos. Apdirbimo metu siekiama, kad būtų kuo ilgesnis įrankio patvarumo laikotarpis – įrankio darbo laikas iki galandimo ar keitimo. Patvarumas labiausiai priklauso nuo pjovimo greičio  $v$ , taip pat nuo įrankių medžiagos, ruošinio medžiagos, nuopjovos ploto ir tepimo-aušinimo skysčio.

**PRAKTINIAI PATARIMAI:**

*naudojant plokštinius įrankius ir keičiant jų plokšteles, varžtus tepti gamintojo rekomenduojamomis specialiomis tepimo priemonėmis.*

Apdirbant pjovimu reikalinga įvertinti ruošinio medžiagos stiprumą, tšumą ir kietumą. Medžiagos tšumas ir kietumas yra pagrindiniai apdirbamumo faktoriai, įtakojantys įrankio dilimą ir patvarumą, drožlės tipą, pjovimo jėgą. Pagal juos nustatomas pjovimo greitis, pastūma, pjovimo gylis, parenkama įrankio pjaunančiosios dalies geometrija ir medžiaga. Papildomai pjovimo proceso režimams nustatyti įvertinama naudojamų staklių galia. Ruošinį optimaliai apdirbti galima tik tiksliai nustačius staklių pjovimo režimus, medžiagos rūšį ir pjovimo įrankio geometriją. Šiuos parametrus įvertinus klaidingai, apdirbto paviršiaus kokybė bus bloga, netikslūs detalės matmenys, o pjovimo įrankis smarkiai dils.

Įrankių gamintojai, apibendrinami ruošinio apdirbimo sąlygas ir bandymų rezultatus, pateikia rekomendacines pjovimo režimų reikšmes, kurios yra vidutinės ir pagal pjovimo sąlygas gali būti didinamos arba mažinamos (3.3 lentelė).

3.3 lentelė. Rekomendacinis pjovimo greičių reikšmių koregavimas tekinimui

Faktorius, veikiantis į pjovimą	Korekcijos koeficientas	
Kalimo, valcavimo ar liejimo pluta	0,70 ... 0,80	
Pjovimas su pertrūkiais	0,80 ... 0,90	
Ištekinimas	0,75 ... 0,85	
Nestandus ruošinys	0,80 .. 0,95	
Labai standus ruošinys	1,05 ... 1,20	
Išdilusios staklės	0,80 ... 0,95	
Naujos staklės	1,05 ... 1,20	
Įrankio patvarumo laikotarpis	$T = 8 \text{ min}$	1,10 ... 1,30
	$T = 30 \text{ min}$	0,80 ... 0,90
	$T = 60 \text{ min}$	0,60 ... 0,80

Rekomenduojamos režimų reikšmės turi būti patikrintos atsižvelgiant į staklių galią, tvirtinimo įtaiso, įrankio ir ruošinio standumą, staklių suklio sukimosi dažnio diapazoną.

Tinkamas įrankinės medžiagos pasirinkimas yra ekonomišką mechaninio apdirbimo sąlyga. Pasirenkant įrankines medžiagas, reikalinga įvertinti apdirbamąją medžiagą. Apdirbamosios medžiagos yra klasifikuojamos į grupes naudojant medžiagų klasifikavimo kodus (3.39 pav.).





3.39 pav. Apdirbamųjų medžiagų klasifikavimas į grupes pagal medžiagų klasifikavimo kodus

Savo ruožtu pjovimo įrankių medžiagos yra klasifikuojamos į grupes pagal cheminę sudėtį (3.4 lentelė).

3.4 lentelė. Pjovimo įrankių medžiagų žymėjimas

Pavadinimas	Žymėjimas
Cementuotas nepadengtas karbidas	HW
Cementuotas padengtas karbidas	HC
Keraminė medžiaga - kermetas	
Nepadengtas kermetas, susidedantis iš titano karbido TiC ar titano nitrido TiN arba iš šių abiejų komponentų	HT
Padengtas kermetas	HC
Mineralų keramika	
Oksidinė mineralų keramika iš gryno aliuminio oksido $Al_2O_3$	CA
Oksidinė karbidinė mineralų keramika iš gryno aliuminio oksido $Al_2O_3$ ir metalų karbidų	CM
Nitridinė keramika iš silicio nitrido $Si_3N_4$	CN
Padengtoji nitridinė keramika iš silicio nitrido $Si_3N_4$	CC
Kubinis boro nitridas	BN
Polikristalinis deimantas	DP
Padengtas polikristalinis deimantas	HC

Papildomai įrankinę medžiagą galima įvertinti pagal jos detalesnes savybes apdirbimui konkrečiomis sąlygomis. Parinkus tinkamiausią įrankinę medžiagą, svarbu atkreipti dėmesį į įrankio pjovimo briaunų geometriją, priklausomai nuo detalių apdirbimo pobūdžio (rupiajam apdirbimui – H, pusiau glotniam – M, glotniajam apdirbimui – S ir tiksliajam – F). Po to, galima nustatyti bendruosius pjovimo režimus, atsižvelgiant į pjovimo briaunos dydį ir staklių galią.

Kad įvertinti pjovimo sąlygų sudėtingumą (geros, vidutinės, sunkios), kiekvienas įrankių gamintojas apibendrina tikslinį apdirbimo būdą pagal jam būdingus veiksnius (3.5 lentelė).

Įvertinant apdirbimo sąlygas, reikalinga nustatyti įrankio pjovimo briaunos formos atsparumą pjovimo jėgoms ir tinkamumą konkrečios formos elemento apdirbimui. Šiuo tikslu įrankių gamintojai nustatę konkrečios įrankinės medžiagos ir pjovimo elementų geometrijos geriausią atitikimą, kurį galima rasti pjovimo įrankių gamintojų kataloguose.

3.5 lentelė. Mechaninio apdirbimo sąlygos



















Apdirbamoji medžiaga	● Geros sąlygos	◐ Vidutinės sąlygos	● Sunkios sąlygos
P			Apdirbimas esant mušimui Mažas pjovimo greitis Didelės šlampavimo nuodegos
M			Apdirbimas esant mušimui Mažas pjovimo greitis Didelės liejimo arba šlampavimo nuodegos
K			Apdirbimas esant mušimui Mažas pjovimo greitis Liejimo metu susiformavusi perlito pluta
N			Apdirbimas esant mušimui
S			Apdirbimas esant mušimui Šlampavimo nuodegos
H			Apdirbimas esant mušimui

Tekinimo atveju šiuolaikinėje gamyboje dažniausiai naudojami surenkamieji aptekinimo peiliai su daugiabriaunėmis keičiamosiomis plokštelėmis. Kai plokštelė atšimpa, užtenka pasukti ją į kitą padėtį ir vėl galima toliau apdirbti detalę. Įrankių gamintojai siūlo įvairias keičiamąsias plokšteles. Jos būna vienpusės, dvišpusės, su tvirtinimo kiauryme, be tvirtinimo kiaurymės, su drožlės laužymo grioveliais ir be jų. Plokštelės žymimos raidėmis ir skaičiais, nurodant jų formą, užpakalinį kampą  $\alpha$  (nuo 0 iki 30°), tikslumą, tipą, pjovimo briaunų ilgį, storį, viršūnės suapvalinimo spindulį, pjovimo briaunų tipą, pastūmos kryptį. Daugiabriaunių keičiamųjų plokštelių, skirtų tekinimui, klasifikacija pagal plokštelės formą pateikta 3.6 lentelėje.

3.6 lentelė. Daugiabriaunių keičiamųjų kietlydinio plokštelių formos žymėjimas

Keičiamosios pjovimo plokštelės forma	Išilginis tekinimas	Kontūrinis tekinimas	Galinis tekinimas
 – rekomenduojama  – alternatyva			
1	2	3	4
 C – rombinė 80°			

3.6 lentelės tęsinys

1	2	3	4
 D – rombinė 55°			
 R – apvali			
 S – kvadratinė			
 T – trikampė			
 W – šešiakampė			
 V – rombinė 35°			

Plokštelių žymėjimo pavyzdys pateiktas 3.7 lentelėje. Plokštelių forma koduojama lotyniškos abėcėlės raidėmis. Plokštelės užpakalinio kampo reikšmės žymimos raidėmis pagal kampo reikšmę laipsniais: A – 3°, B – 5°, C – 7°, D – 15°, E – 20°, F – 25°, G – 30°, N – 0°, P – 11°, O – kitas kampas.

3.7 lentelė. Pjovimo plokštelių žymėjimo pavyzdys

C	A	K	G	16	o4	o8	T	L	TM
Plokštelės forma	Plokštelės užpakalinis kampas $\alpha$	Tikslumo klasė	Plokštelės tipas	Pjovimo briaunos ilgis	Plokštelės storis	Plokštelės viršūnės suapvalinimo spindulys	Plokštelės pjovimo briaunos tipas	Pastūmos kryptis	Drožliaužio kodas

Plokštelės tikslumo klasę apsprendžia jos matmenų tikslumas. Plokštelių tikslumo klases ir jų geometrinių matmenų tolerancijas pateikia įrankių plokštelių gamintojai kataloguose. Plokštelės tipas apibūdina plokštelės konstrukciją (plokštelės tvirtinimo būdą, galimybę naudoti plokštelę iš kitos pusės). Šie duomenys ir juos atitinkantys raidiniai žymėjimai taip pat pateikiami gamintojų kataloguose. Plokštelės pjovimo briaunos ilgis apibūdina jos matmenis milimetrais, pvz., 16 reiškia 16 mm pjovimo

briaunos ilgį. Plokštelės storis rašomas dviem skaitmenimis. Užrašas 04 reiškia, kad storis lygus 4 mm. Plokštelės viršūnės suapvalinimo spindulys taip pat žymimas dviem skaičiais. Pateiktame pavyzdyje (3.7 lentelė) užrašas 08 reiškia, kad spindulys lygus 0,8 mm. Pastūmos kryptis koduojama raide: R – dešinysis peilis, L – kairinis, N – neutralus. Paskutinėje pozicijoje pateikiamas drožlialaužio kodas, nurodantis drožlialaužio geometriją. Šis žymėjimas taip pat pateikiamas gamintojų kataloguose.

3.8 lentelė. Rekomenduojami pjovimo režimai gręžimui, plėtimui, sriegimui apdirbant plieną 1.0037

Įrankio tipas	Įrankio medžiaga	Įrankio skersmuo, mm	Pjovimo greičio ribos $v$ , m/min	Pastūmos ribos $s$ , mm/aps	Apsisukimų skaičiaus ribos $n$ , aps/min	Minutinės pastūmos ribos $s_m$ , mm/min
	HSS*	10	127-174	0,10-0,11	4045-5541	404-610
	Kietlydinis	10	357-401	0,14	11369-12771	1592-1788
	HSS	10	292-398	0,22-0,25	9299-12675	2046-3169
	Kietlydinis	10	385-1100	0,20-0,30	12261-35032	2452-10510
Plokštelinis grąžtas	Kietlydinis	10	100-565	0,17-0,20	3183-17985	541-3597
	HSS	10	53-83	0,15-0,23	1688-2643	253-608
	Kietlydinis	10	53-83	0,20	2643	529
	HSS	M10	9-45	–**	287-1433	–
	Kietlydinis	M10	30-50	–	955-1592	–

\* HSS – greitapjovis plienas

\*\* Sriegimo atveju pastūmų ribos priklauso nuo sriegiamojo sriegio žingsnio

3.9 lentelė. Rekomenduojami pjovimo režimai gręžimui, plėtimui, sriegimui apdirbant plieną 1.4301

Įrankio tipas	Įrankio medžiaga	Įrankio skersmuo, mm	Pjovimo greičio ribos $v$ , m/min	Pastūmos ribos $s$ , mm/aps	Apsisukimų skaičiaus ribos $n$ , aps/min	Minutinės pastūmos ribos $s_m$ , mm/min
	HSS	10	19-24	0,04	605-764	24-31
	Kietlydinis	10	48-67	0,06-0,07	1529-2134	92-149
	HSS	10	48-67	0,10-0,11	1529-2134	153-235
	Kietlydinis	10	69-251	0,11-0,15	2197-6083	242-912
Plokštelinis grąžtas	Kietlydinis	10	65-359	0,11-0,20	2069-11427	227-2285
	HSS	10	33-56	0,15-0,26	1051-1783	158-464
	Kietlydinis	10	64-136	0,20	2038-4331	408-866
	HSS	M10	4-18	–	127-573	–
	Kietlydinis	M10	12-20	–	381-637	–

Apibrėžtos paskirties įrankiams (grąžtams, gilintuvams, sriegikliams, plėstuvams ir pan.) aiškiai įvardijamos tinkamiausios darbo sąlygos ir paskirtis. Pagal jas nustatyti tinkamiausi pjovimo režimai. Pjovimo režimai pateikiami įrankių gamintojų kataloguose.

Tam, kad tiksliau įvertinti apdirbamą medžiagą ir parinkti apdirbimo režimus, įrankių gamintojai papildomai išskirsto medžiagas į tam tikrus pogrupius pagal kietumą ar tąsumą, kuriems priskiria išbandytus ir tinkamiausius pjovimo režimus (3.8 ir 3.9 lentelės).

Tekinimo ir galinio frezavimo procesams dažniausiai naudojami įrankiai su keičiamomis pjovimo plokštelėmis, todėl pagrindiniai pjovimo režimai, nustačius tikslingiausią įrankinę medžiagą, parenkami pagal plokštelės geometriją ir įrankio tipą (3.10 lentelė).

3.10 lentelė. Rekomenduojami pjovimo režimai tekinimui

Įrankio tipas	Įrankio medžiaga	Apdirbamas skersmuo, mm	Apdirbamoji medžiaga (pagal ISO)	Pjovimo greičio ribos $v$ , m/min	Pastūmos ribos $s$ , mm/aps	Pjovimo gylio ribos $t$ , mm	Apsisukimų skaičiaus ribos $n$ , aps/min
	Kietlydinis	50	1.0037	100-330	0,1-0,15	0,3-0,5	637-2102
	Kietlydinis	50	1.4301	100-200	0,4-0,5	2,0-4,0	637-1274
	Kietlydinis	50	1.0037	90-330	0,05-0,2	0,2-1,0	573-2102
	Kietlydinis	50	1.4301	80-210	0,05-0,3	0,2-3,0	453-1189
	Kietlydinis	50	1.0037	150-160	–	–	955-1019
	Kietlydinis	50	1.4301	90-120	–	–	573-764
	Kietlydinis	50	1.0037	120-250	0,05–0,3	–	764-1592
	Kietlydinis	50	1.4301	80-150	0,05–0,25	–	509-955

Šiuolaikinėse SPV frezavimo staklėse ir apdirbimo centruose plokštumų apdirbimui beveik išimtinai naudojamos tik galinės frezos su keičiamosiomis plokštelėmis. Šios plokštelės dažniausiai žymimos pagal ISO sistemą. Galinių frezų plokštelių žymėjimas labai panašus į tekinimo peilių keičiamųjų plokštelių žymėjimą. Pirmojoje pozicijoje, kaip ir tekinimo peilių plokštelėms, nurodoma plokštelės forma (3.11 lentelė). Antrosios raidės, nurodančios plokštelės užpakalinį kampą, reikšmės analogiškos tekinimo peilių plokštelėms. Tikslumo klasės, kurias nurodo trečioji raidė, irgi panašios į tekinimo peilių plokštelių klases. Ketvirtoji raidė nurodo plokštelės konstrukcijos tipą. Toliau seka skaičiai, nurodantys plokštelės pjovimo briaunos apytikrą ilgį ir storį milimetrais. Pavyzdžiui, skaitmenys 02 rodo, kad plokštelės storis yra 2,38 mm, 03 – 3,97 mm, 04 – 4,76 mm, 05 – 5,56 mm, 06 – 6,35 mm, 07 – 7,94 mm, 09 – 9,52 mm. Toliau esanti raidė nurodo plokštelės pagrindinio kampo plane  $\varphi$  reikšmę. Šis kampas gali turėti tokias reikšmes: A – 45°, D – 60°, E – 75°, F – 85°, P – 90°, Z – kiti kampai. Toliau nurodomas plokštelės užpakalinis kampas  $\alpha$ , kurio reikšmės yra analogiškos tekinimo peilio plokštelės reikšmėms. Sekanti raidė nurodo pagrindinės pjovimo briaunos formą: F –

nesuapvalinta (aštri), E – suapvalinta, T – su nuožulna, S – suapvalinta ir su nuožulna, K – su dviguba nuožulna, P – suapvalinta ir su dviguba nuožulna. Toliau esanti raidė, kaip ir tekimo plokštelės atveju, nurodo pastūmos kryptį. Atskirais atvejais, apibūdinant plokštelę, gali būti nurodoma papildoma gamintojo informacija. Pavyzdžiui, pateiktoje 3.11 lentelėje AC reiškia, kad plokštelė skirta rupiajam apdirbimui su drožlės laužymu.

3.11 lentelė. Frezų plokštelių žymėjimo pavyzdys

S	D	K	N	12	02	A	G	T	N	AC
Plokštelės forma	Plokštelės užpakalinis kampas	Tikslumo klasė	Plokštelės tipas	Pjovimo briaunos ilgis	Plokštelės storis	Plokštelės pagrindinis kampas plane $\varphi$	Plokštelės užpakalinis kampas $\alpha$	Pagrindinės pjovimo briaunos tipas	Pastūmos kryptis	Specialiosios plokštelės savybės

Žemiau esančiose 3.12 ir 3.13 lentelėse pateikti frezavimo pjovimo režimai naudojant frezų plokšteles.

3.12 lentelė. Rekomenduojami pjovimo režimai frezavimui apdirbant plieną 1.0037

Įrankio tipas	Įrankio medžiaga	Įrankio skersmuo; pjovimo plotis $b$ ir gylis $t$ , mm	Pjovimo greičio ribos $v$ , m/min	Pastūmos dančiui ribos $s_z$ , mm/dant	Apsisukimų skaičiaus ribos $n$ , aps/min	Minutinės pastūmos ribos $s_m$ , mm/min
	HSS*	80	18-37	0,11-0,12	72-147	24-53
	Kietlydinis	80	250-240	0,18-0,18	995	537-516
Galinė freza HS	Kietlydinis	80, $b=80$ , $t=2.5$	230-260	2,0-4,5	916-1035	5494-13973
	HSS	10, $b=10$ , $t=5$	75-95	0,05-0,032	2389-3025	358-290
	HSS	10, $b=15$ , $t=1$	75-95	0,05-0,019	2389-3025	358-172
	Kietlydinis	10, $b=10$ , $t=5$	80-140	0,06	2548-4459	459-803
	Kietlydinis	10, $b=10$ , $t=10$	60-120	0,05-0,06	1911-3822	287-688
	HSS	10, $b=10$ , $t=5$	28-78	0,027	892-2484	72-201
	HSS	10, $b=15$ , $t=1$	28-78	0,016	892-2484	43-119
	Kietlydinis	10, $b=10$ , $t=5$	80-140	0,06	2548-4459	459-803
	Kietlydinis	10, $b=10$ , $t=10$	70-120	0,05	2229-3822	334-573

\*HSS – freza iš greitapjovio plieno. Skaičiuota, kad frezų pjaunančių briaunų skaičius 3.

\*\* pjovimo plokštelės posvyrio kampas

3.13 lentelė. Rekomenduojami pjovimo režimai frezavimui apdirbant plieną 1.4301

Įrankio tipas	Įrankio medžiaga	Įrankio skersmuo; pjovimo plotis $b$ ir gylis $t$ , mm	Pjovimo greičio ribos $v$ , m/min	Pastūmos dančiui ribos $s_z$ , mm/dant	Apsisukimų skaičiaus ribos $n$ , aps/min	Minutinės pastūmos ribos $s_m$ , mm/min
	HSS	80	10-12	0,11-0,12	40-48	13-17
	Kietlydinis	80	140-270	0,15-0,14	557-1075	251-451
Galinė freza HS	Kietlydinis	80, $b=80$ , $t=2.5$	160-200	3,5-4,5	637-796	6688-10748
	HSS	10, $b=10$ , $t=5$	14-36	0,024-0,032	446-1146	32-110
	HSS	10, $b=10$ , $t=10$	14-36	0,014-0,019	446-1146	19-65
	Kietlydinis	10, $b=10$ , $t=5$	45-85	0,04	1433-2707	172-325
	Kietlydinis	10, $b=10$ , $t=10$	40-80	0,03	1274-2548	115-229
	HSS	10, $b=10$ , $t=10$	14-23	0,024	446-732	32-53
	HSS	10, $b=10$ , $t=5$	14-23	0,014	446-732	19-31
	Kietlydinis	10, $b=10$ , $t=5$	45-85	0,04	1433-2707	172-325
	Kietlydinis	10, $b=10$ , $t=10$	40-80	0,03	1274-2548	115-229

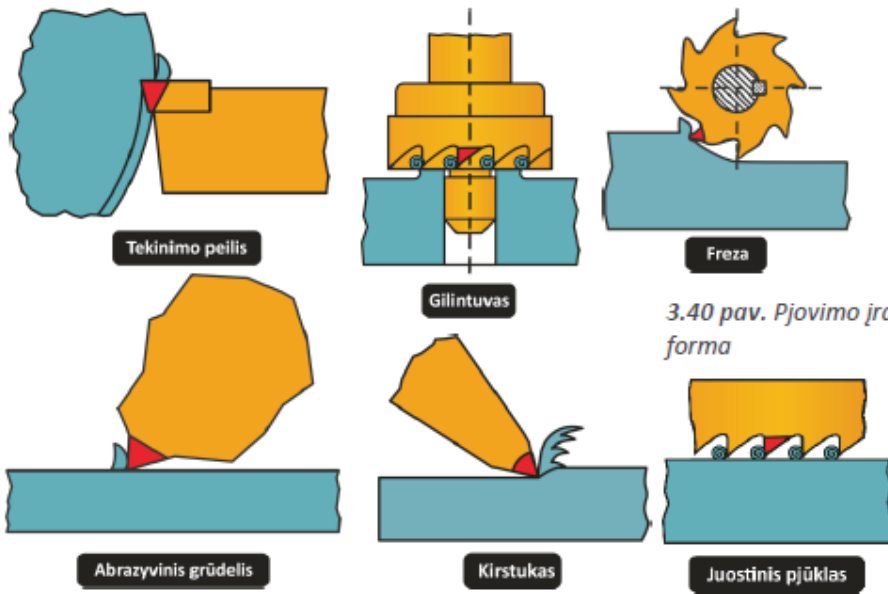
Pastaba: skaičiuota, kad frezų pjaunančių briaunų skaičius 3.

Praktikoje, atsižvelgiant į realius įrenginius ir darbo sąlygas, nusistovėję režimai gali skirtis nuo rekomenduojamųjų, tačiau būtina parinkti suderintas įrankio ir detalės medžiagos pjovimo charakteristikų pradines reikšmes.

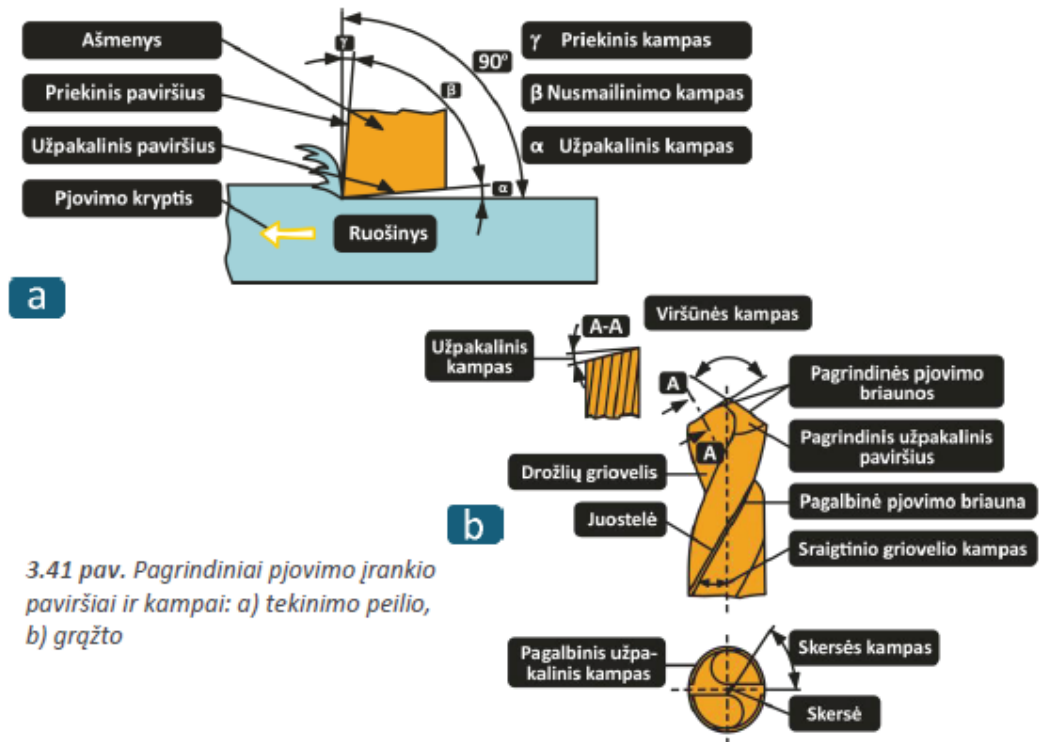
### 3.6.2. Pjovimo įrankių geometrija

Kad būtų galima atlikti pjovimo veiksmą – pašalinti medžiagos sluoksnį ir suformuoti tinkamą drožlę – pjovimo įrankio ašmenys turi būti pleišto formos ir pagaminti iš stiprios, dilimui atsparios bei pakankamai tšios medžiagos (3.40 pav.).

Pleištą sudaro priekinis ir užpakalinis paviršiai. Šie paviršiai tarpusavyje ir su apdirbimo plokštuma sudaro kampus, kurių dydžiai įtakoja pjovimo galimybes ir proceso savybes (mažiausią trintį, didžiausią patvarumą ir mažiausias pjovimo jėgas). Kiekvienam pjovimo būdai reikalingi atitinkamos formos bei dydžio pjovimo paviršiai ir kampai (3.41 pav.), tačiau pleištas turi išlikti pakankamai stiprus.



3.40 pav. Pjovimo įrankių ašmenų forma




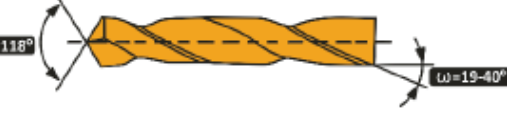


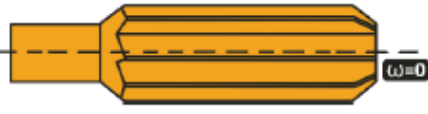


3.41 pav. Pagrindiniai pjovimo įrankio paviršiai ir kampai: a) tekinimo peilio, b) grąžto



Besisukantiems įrankiams, kurie kontaktuoja su medžiaga keliais paviršiais (pavyzdžiui, pirštinėms frezoms, grąžtams, plėstuvams), svarbu apibrėžti ir papildomų pjovimo briaunų geometriją, kurios įtakoja drošlių nuvedimą iš darbo zonos bei jėgų persiskirstymą apdirbant skirtingų savybių medžiagas (3.14 lentelė).



3.14 lentelė. Pjovimo įrankių savybės

Pjovimo įrankis		Įrankio tipo žymėjimas	Apdirbamoji medžiaga
1		2	2
Freza	<p>Įstrižais dantimis</p>  <p><math>\omega = 25-40^\circ</math></p>	N	Vidutinio stiprumo ir kietumo medžiagos
	<p>Įstrižais dantimis</p>  <p><math>\omega = 20-40^\circ</math></p>	H	Kietos, grūdintos medžiagos ir medžiagos su biria drožle
	<p>Sraigтинiais dantimis</p>  <p><math>\omega = 35-45^\circ</math></p>	W	Minkštos, tšios medžiagos su ištisine drožle
	 <p><math>\omega = 19-40^\circ</math></p> <p>118°</p>	N	Vidutinio stiprumo ir kietumo medžiagos
	 <p><math>\omega = 10-19^\circ</math></p> <p>118°</p>	H	Kietos medžiagos ir medžiagos su biria drožle
	 <p><math>\omega = 27-45^\circ</math></p> <p>130°</p>	W	Minkštos, tšios medžiagos su ištisine drožle
Plėstuvas	<p>Tiesiais dantimis</p>  <p><math>\omega = 0</math></p>	N, H	Plienai, kurių stiprumo riba daugiau kaip 700 N/mm <sup>2</sup> , kietos ir trapios medžiagos (kiauroms ir aklinioms skylėms)

3.14 lentelės tęsinys

	1	2	2
	<p>Sraigtiniais dantimis</p> 		
	<p>Sraigtiniais dantimis</p> 		

Įrankiams, judantiems išilgai įrankio ašies, svarbu, kad įrankis nestrigdama įsigilintų į medžiagą. Tam tikslui suformuojamas papildomas pjovimo briaunų posvyris: viršūnės kampas ir sraigtinio griovelio posvyrio kampas  $\omega$ . Šiuo principu suskirstyti N, H ir W tipų spiraliniai grąžtai, kurie turi skirtingas sraigtinio griovelio posvyrio ir viršūnės kampų reikšmes. Plėstuvų dantys gali būti tiesūs arba sraigtiniai kairiniai. Pastaruosiuose sraigtiniai grioveliai nukreipia drožlę pastūmos kryptimi ir plėstuvus nestringa. Tai svarbu apdirbant minkštas medžiagas, kuriose formuojasi išsistinė drožlė. Todėl įrankio tipas turėtų būti parenkamas priklausomai nuo apdirbamos detalės medžiagos. Be to, pasirenkant tinkamiausią įrankio pjovimo briaunų geometriją, reikėtų įvertinti ir kitus veiksnius: darbo pobūdį, pastūmos kryptį, įrankio medžiagą. Apibendrinant įrankio pjovimo briaunų geometriją ir jos priklausomybę nuo apdirbamos medžiagos, galima teigti, kad:

- kietų ir trapių medžiagų apdirbimui turi būti stiprus pjovimo pleištą (didelis nusmailinimo kampas  $\theta$ ), mažas priekinis kampas  $\gamma$  (sudaroma drožlė trapi) ir vidutinis užpakalinis kampas  $\alpha$  (trinties sumažinimui);
- vidutinio kietumo, tąsesnių medžiagų apdirbimui gali būti mažesnis pleišto nusmailinimo kampas, turi būti didesnis priekinis kampas geresniam drožlės formavimui ir nuvedimui ir, atitinkamai, mažesnis užpakalinis kampas, kad išlaikyti pleišto stiprumą;
- minkštomis medžiagoms pjauti reikalingas didelis priekinis pjovimo kampas, palengvinantis drožlės formavimą, didelis užpakalinis kampas, maksimaliai sumažinantis trintį ir minimalus nusmailinimo kampas.

## 3.7. Pjovimo režimai ir apdirbimo laikas

Vienas iš pagrindinių uždavinių detalių gamybos procese yra pjovimo režimų parinkimas arba apskaičiavimas. Parenkant pjovimo režimus, atsižvelgiama į apdirbamajam paviršiui keliamus reikalavimus, visų pirma, į paviršiaus šiurkštumą ir matmenų

tikslumą. Be to, įvertinama, koks naudojamas apdirbimo būdas, t.y., ar tai tekimas (išorinis ar vidinis), frezavimas, gręžimas ir t.t., koks bus naudojamas pjovimo įrankis, jo matmenys bei pjaunančiosios dalies medžiaga, kokia apdirbamojo ruošinio medžiaga ir būklė.

Pagrindiniai pjovimo režimai būtų pjovimo gylis  $t$ , pastūma  $s$ , pjovimo greitis  $v$  ir sukimosi dažnis (apsisukimų skaičius)  $n$ .

*Pjovimo gylis  $t$  (mm)* – tai per vieną praėjimą apdirbimo metu nuimamas medžiagos sluoksnis. Jis parenkamas atsižvelgiant į apdirbimo būdą. Rupiai apdirbant gylis  $t$  yra pats didžiausias ir gali būti lygus apdirbimo užlaidai. Esant glotniajam apdirbimui, pjovimo gylis pasirenkamas pagal apdirbamojo matmens tikslumą ir paviršiui keliamus reikalavimus.

*Pastūma  $s$  (mm/aps) arba  $s_z$  (mm/dančiui) (frezavimo atveju)* – tai pjovimo įrankio ar apdirbamosios detalės nustatytas pastūmimas, paslinkimas. Pastūma taip pat parenkama atsižvelgiant į apdirbamojo matmens tikslumą ir reikalaujamą paviršiaus šiurkštumą. Rupiai apdirbant, pastūma bus didesnė nei glotniojo apdirbimo metu. Be to, parenkant pastūmą, įvertinamas staklių – įtaiso – įrankio – detalės (SJJ) sistemos standumas, pjovimo įrankio savybės bei jo tvirtinimas ir kiti ribojantys reikalavimai.

*Pjovimo greitis  $v$  arba  $v_c$  (m/min)* – tai kelias, kurį nueina pjovimo įrankis per minutę apdirbimo metu. Rupiai apdirbant, pjovimo greitis bus mažesnis nei glotniojo apdirbimo metu.

*Sukimosi dažnis  $n$  (aps/min)* – tai ruošinio (detalės) ar pjovimo įrankio apsisukimų skaičius per laiko vienetą.

Pjovimo režimai yra dažniausiai parenkami iš leidinių, sudarytų įrankių bei staklių gamintojų.

Gamybos pramonėje vienas iš pagrindinių našumo rodiklių yra apdirbimo (gamybos) laikas, reikalingas detalei pagaminti.

Laikas technologinei operacijai atlikti - tai laikas normavimo vieneto apimties darbui atlikti arba vienetinio laiko norma.

Vienetinis gamybos laikas  $T_{vnt}$  (min) skaičiuojamas:

$$T_{vnt} = T_m + T_p + T_{dv} + T_a \quad (3.1)$$

čia  $T_m$  – pagrindinis, arba mašininis, apdirbimo laikas, min;

$T_p$  – pagalbinis laikas, min;

$T_{dv}$  – darbo vietos aptarnavimo laikas, min;

$T_a$  – asmens reikmėms ir poilsiui reikalingas laikas, min.

Apdirbant detales partijomis (serijinėje gamyboje), skaičiuojamas vienetinis kalkuliacinis laikas:

$$T_{vnt-k} = T_m + T_p + T_{dv} + T_a + \frac{T_{pp}}{n_d} \quad (3.2)$$

čia  $T_{pp}$  – pradžios ir pabaigos laikas detalių partijai;

$n_d$  – detalių kiekis partijoje.

Pagrindinio ir pagalbinio laikų suma vadinama operaciniu laiku.

Pagrindinis apdirbimo laikas yra išreiškiamas kelio, kurį nueina pjovimo įrankis, santykiu su minutine pastūma (pastūmos greičiu). Apibendrintai tekimo, frezavimo, gręžimo, gilinimo ir plėtimo operacijų apdirbimo pagrindinis laikas gali būti išreikštas:

$$T_m = \frac{L \cdot i}{s_m} = \frac{L \cdot i}{n \cdot s} \quad (3.3)$$

čia  $L$  – įrankio kelias, mm;

$i$  – eigių (praėjimų) skaičius;

$s_m$  – minutinė pastūma, mm/min;

$n$  – suklio arba įrankio apsisukimų skaičius per minutę, aps/min;

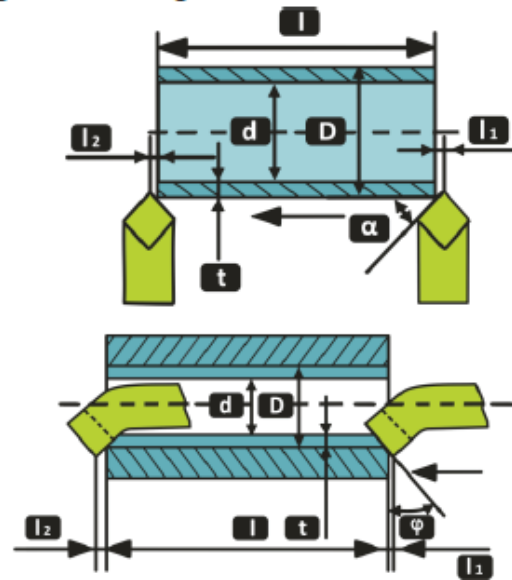
$s$  – pastūma vienam apsisukimui, mm/aps.

Įrankio kelias apskaičiuojamas:

$$L = l + l_1 + l_2 \quad (3.4)$$

čia  $l$  – apdirbamojo paviršiaus ilgis, mm;

$l_1$  ir  $l_2$  – įrankio įsigilinimo į ruošinio medžiagą ir išėjimo iš pjovimo zonos keliai (3.42 pav.).



3.42 pav. Apdirbimo ilgiai tekiant ir ištekiant

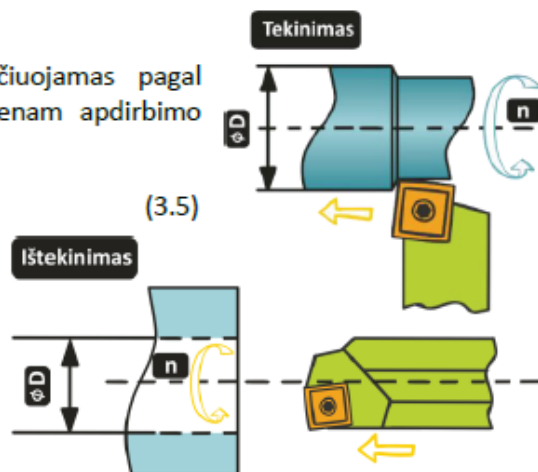
### 3.7.1. Pjovimo režimų skaičiavimo formulės tekimui

Pjovimo greitis  $v_c$  gali būti apskaičiuojamas pagal empirines formules, nustatytas kiekvienam apdirbimo būdai, kurių bendroji išraiška yra:

$$v_c = \frac{C_v}{T^m \epsilon^x s^y} K_v \quad (3.5)$$

Koeficientų  $C_v$ ,  $K_v$ , laipsnių rodiklių  $m$ ,  $x$  ir  $y$  reikšmės, pjovimo įrankio patvarumo laikotarpis  $T$  yra pateikti atitinkamų žinyų lentelėse,

3.43 pav. Tekimo ir ištekimo operacijų schemas



priklausomai nuo apdirbimo būdo;  $s$  – pastūma vienam apsisukimui, aps/min;  $t$  – pjovimo gylis, mm.

Naudojantis įrankių bei staklių gamintojų sudarytais leidiniais, skirtais pjovimo režimų parinkimui, pjovimo greitį  $v_c$  galima apskaičiuoti pagal paprastesnę formulę:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3.6)$$

čia  $v_c$  – pjovimo greitis, m/min;

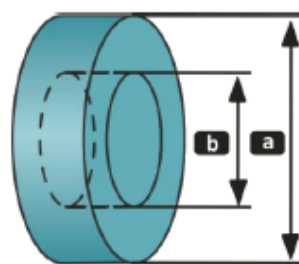
$n$  – apsisukimų skaičius per minutę, aps/min;

$D$  – ruošinio skersmuo, mm (3.43 pav.).

Apsisukimų skaičius  $n$  gali būti išreikštas taip:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (3.7)$$

Tekinimo ir ištekinimo pagrindinis apdirbimo (pjovimo) laikas randamas pagal formulę 3.3. Apdirbamojo paviršiaus ilgis imamas iš detalės brėžinio (3.44 pav.).



3.45 pav. Geometriniai parametrai, reikalingi pagrindinio laiko apskaičiavimui ruošinio galo tekinimo atveju

Ruošinio galo tekinimas (3.45 pav.) pagrindinis apdirbimo laikas apskaičiuojamas:

$$T_m = \frac{\pi \cdot (a^2 - b^2)}{4000 \cdot v_c \cdot s} \cdot i \quad (3.8)$$

$a$  – išorinis skersmuo, mm;

$b$  – vidinis skersmuo, mm.

Reikalinga galia  $N$  (kW) pjovimo metu apskaičiuojama taip:

$$N = \frac{P_z \cdot v_c}{1020 \cdot 60} \quad (3.9)$$

$P_z$  – tangentinė pjovimo jėgos dedamoji, N.

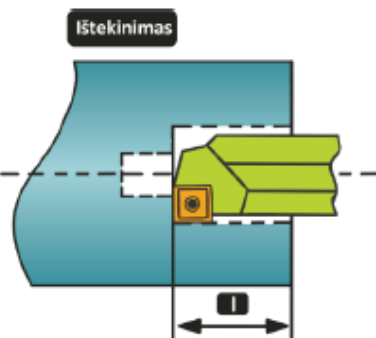
### 3.7.2. Pjovimo režimų skaičiavimo formulės frezavimui

Frezuojant pjovimo greitis (3.46 pav.) apskaičiuojamas pagal formulę:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D_c \cdot n}{1000} \quad (3.10)$$



3.44 pav. Apdirbamojo paviršiaus ilgis tekinant ir ištekinant



$v_c$  – pjovimo greitis, m/min;

$n$  – apsisukimų skaičius per minutę, aps/min;

$D_c$  – frezos skersmuo, mm.

Iš formulės 3.10 galima išreikšti apsisukimų skaičių  $n$ .

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} \quad (3.11)$$

Minutinė pastūma (pastūmos greitis) frezuojant yra lygi:

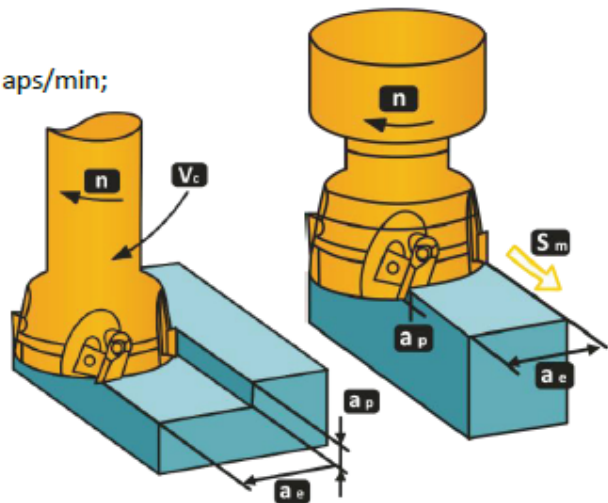
$$s_m = s_z \cdot z \cdot n \quad (3.12)$$

$s_m$  – minutinė pastūma, mm/min;

$s_z$  – pastūma dančiui, mm/dančiui;

$z$  – frezos dantų skaičius;

$n$  – apsisukimų skaičius per minutę, aps/min.



3.46 pav. Frezavimo galinėmis frezomis schemas:  $a_p$  – pjovimo gylis,  $a_e$  – pjovimo plotis,  $n$  – frezos sukimosi kryptis,  $s_m$  – minutinės pastūmos kryptis

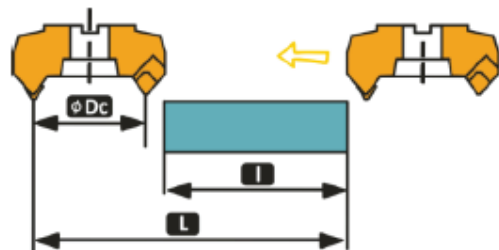
Paviršiaus frezavimo pagrindinis apdirbimo laikas nustatomas:

$$T_m = \frac{L}{s_m} \quad (3.13)$$

čia  $L$  – pjovimo įrankio kelias (3.47 pav.), kuris nustatomas pagal formulę:

$$L = l + D_c \quad (3.14)$$

Reikalinga pjovimo galia  $N$  (kW) frezuojant apskaičiuojama pagal 3.9 formulę.



3.47 pav. Pjovimo įrankio kelias frezuojant

### 3.7.3. Pjovimo režimų skaičiavimo formulės gręžimui, gilinimui, plėtimui ir sriegimui

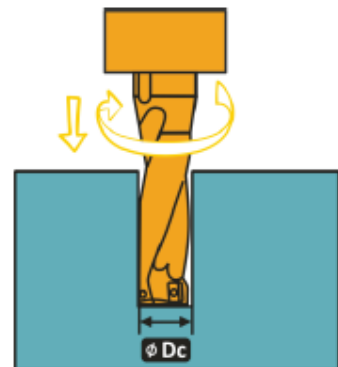
Gręžimui pjovimo gylis yra nustatomas grąžto skersmenį  $D_c$  padalinus pusiau (3.48 pav.). Gilinant ir plečiant pjovimo gylis apskaičiuojamas taip:

$$t = \frac{D-d}{2} \quad (3.15)$$

čia  $D$  – apdirbtos skylės skersmuo, mm;

$d$  – skylės skersmuo prieš apdirbimą, mm.

Gręžimo (gilinimo, plėtimo) greitis  $v_c$  apskaičiuojamas pagal formulę 3.10, apsisukimų skaičius  $n$  – pagal formulę



3.48 pav. Skylės apdirbimas gręžimo staklėmis

3.11, o pagrindinis apdirbimo laikas  $T_m$  – pagal formulę 3.3. Tos pačios formulės naudojamos skaičiuojant pjovimo gylį, pjovimo greitį ir apsisukimų skaičių, kai apdirbamoji detalė sukasi, pvz., apdirbant skylės tekinimo staklėmis (3.49 pav.).

Išimtį sudaro pagrindinio pjovimo laiko apskaičiavimas įsriegiant sriegį skylėje sriegikliu. Šiuo atveju pagrindinis laikas skaičiuojamas naudojantis formule:

$$T_m = \left( \frac{L}{s \cdot n} + \frac{L}{s \cdot n_1} \right) \cdot i \quad (3.16)$$

čia  $n$  – sriegiklio apsisukimų skaičius sriegiant,  $n_1$  – sriegiklio apsisukimų skaičius, išsukant jį iš ruošinio.

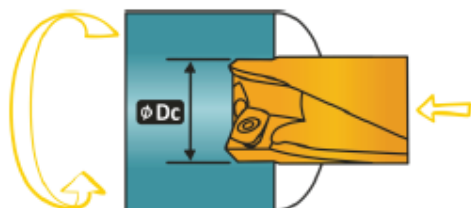
Pjovimo procesui suvartojama galia  $N$  (kW) yra nustatoma pagal formulę:

$$N = \frac{M_s \cdot n}{9750} \quad (3.17)$$

čia  $M_s$  – pjovimo momentas, Nm.



#### PRAKTINIAI PATARIMAI:


parenkant pjovimo režimus, atkreipti dėmesį į įrankių gamintojo rekomendacijas.






3.49 pav. Skylės apdirbimas tekinimo staklėmis

## 3.8. Apdirbimo programos išmaniuosiuose įrenginiuose

Daugelis įrankių gamintojų kuria įvairias apdirbimo bei pjovimo režimų nustatymo programas, skirtas darbui su išmaniuoju telefonu ar planšetiniu kompiuteriu. Tai palengvina ir pagreitina pjovimo režimų skaičiavimus bei įrankio pasirinkimą. Daugumą tokių programų galima atsisiųsti iš  Google play ir  iPhone internetinių puslapių.

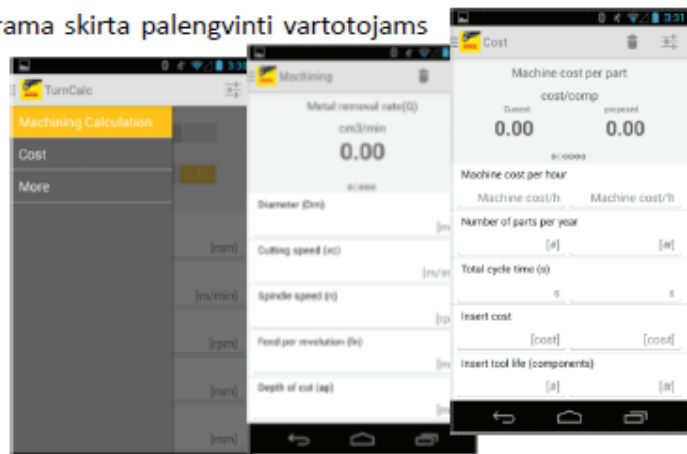
Pavyzdžiu gali būti švedų kompanija Sandvik Coromant , kuri yra sukūrusi įvairių programų, skirtų gamybos ekonomiškesnei apskaičiuoti, įrankių patvarumo laikotarpiui nustatyti apdirbant įvairias medžiagas, tekinimo, frezavimo ir kitų mechaninio apdirbimo operacijų režimams apskaičiuoti, bei daugelį kitų.

Tekinimo proceso skaičiuotuvai leidžia ne tik apskaičiuoti gamybos proceso režimus, bet taip pat ir detalių apdirbimo savikainą (3.50 pav.).

Japonijos kompanija Tungaloy Corporation  siūlo Dr. Carbide programą , skirtą mobiliesiems telefonams, ir programą Tungaloy Tool Navigator  (Tungaloy kompanijos įrankių navigatorius), skirtą darbui virtualioje aplinkoje.

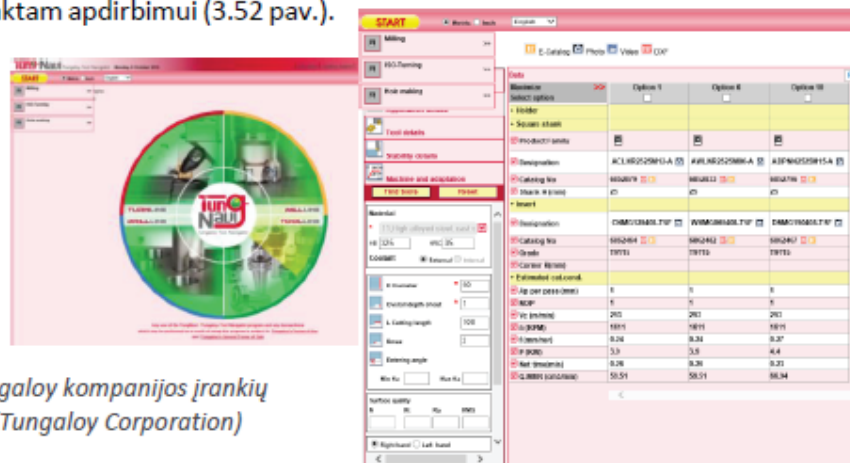
Tungaloy Dr. Carbide programa skirta palengvinti vartotojams įrankių pasirinkimą bei apdirbimo procesų režimų įvertinimą (3.51 pav.).

3.50 pav. Tekinimo proceso skaičiuotuvo programos langai (Sandvik Coromant)



3.51 pav. Dr. Carbide Tungaloy programa (Tungaloy Corporation)

Tungaloy Corporation kompanijos įrankių navigatoriumi galima apskaičiuoti pjovimo režimus pagal pasirinktus parametrus. Be to, programa pasiūlo kelis tinkamus pjovimo įrankius pasirinktam apdirbimui (3.52 pav.).



3.52 pav. Tungaloy kompanijos įrankių navigatorius (Tungaloy Corporation)

Be minėtų įrankių gamintojų, galima pasinaudoti ir kitų gamintojų panašiomis programomis, skirtomis apdirbimo režimams skaičiuoti.