

 **innove**
kutseharidus



MEHAANILISE TÖÖTLEMISE TEHNOLOOGIAD JA KASUTATAVAD SEADMED

ÕPPEMATERJAL KUTSEKOOLIDELE
VEIKO PÖLDMAA



MEHAANILISE TÖÖTLEMISE TEHNOLOOGIAD JA KASUTATAVAD SEADMED

Õppematerjal kutsekoolidele

Veiko Põldmaa

Tallinn 2014

Käesolev õppematerjal on valminud „Riikliku struktuurivahendite kasutamise strateegia 2007-2013” ja sellest tuleneva rakenduskava „Inimressursi arendamine” alusel prioriteetse suuna „Elukestev õpe” meetme „Kutseõppe sisuline kaasajastamine ning kvaliteedi kindlustamine” programmi „Kutsehariduse sisuline arendamine 2008-2013” raames.

Õppematerjalide koostamisel on lähtutud valdkonna kutsestandardite nõuetest ja tööstuse vajadustest. Õppematerjalid on vastavuses riiklike õppekavadega ja abistavad kutseõppeasutuste õppureid edasiseks tööks vajalike teadmiste omandamisel. Kompetentne töötaja omab eeldusi tööturul tugevama positsiooni saavutamiseks. Väga vajalik on, et iga töötaja töökohal oskaks parimal võimalikul viisil kasutada vastavaid seadmeid ja tehnoloogiaid ning tunneks kulusäästliku ja tulemusliku töö põhimõtteid.

Mehaanika ja metallitöödega seotud sari sisaldab alljärgnevaid õppematerjale kutsekoolidele:

1. Tootmise korraldamine;
2. Mehaanilise töötlemise tehnoloogiad ja kasutatavad seadmed;
3. Metalltoodete valmistamine, koostamine ja viimistlemine;
4. Keevitustööd;
5. Lehtmetalli töötlemistehnoloogiad;
6. Mehhatroonika komponendid;
7. Robotitehnika kutsekoolidele.

Kogu sarja ettevalmistuse ja eestvedamise juures on olnud: Jüri Riives, Tõnu Lelumees, Jaak Lavin, Triin Ploompuu, Lii Topaasia, Helina Seljamäe, Leelo Kingisepp ja Piret Kärtner.

ISBN 978-9949-547-81-4 (pdf)

Autorist



Veiko Põldmaa on sündinud 10.02.1971 Eestis.

Haridus: lõpetanud Tallinna Tehnikaülikooli 1994 aastal aparaadiehituse erialal ning kaitstud tehnikateaduste magistrikraadi 2000 masinate ja aparaatide projekteerimise õppesuunal.

Töötab Tallinna Tööstushariduskeskuses arvprogrammjuhtimisega metallilõikepinkide operaatori eriala juhtõpetajana.

Sisukord

Eessõna	7
1. Metallilõikepinkide ehitus ja üldpõhimõtted.....	8
1.1.Liigitus ja tähistamine	8
1.2.Tööpinkide täpsus	10
1.3.Pinkide pea- ja abiliikumised ning nende iseloomustus.....	11
1.4.Pinkide kinemaatilised skeemid ja nende elementide tingtähised.....	12
1.5.Spindlid ja nende toed.....	15
1.6.Kiiruste astmeteta reguleerimisega mehaanilised ajamid.....	17
1.7.Ettenihkemehhanismid.....	19
1.8.Määrimis- ja jahutussüsteemid ning vedelikud	25
Enesekontrolliküsimused.....	27
2. Rakised ja nende kasutamine metallilõikepinkidel	28
2.1. Rakiste liigitus kasutusvaldkondade ja ehituse järgi.....	28
2.2.Mehaanilise töötlemise universaalrakised.....	29
2.3.Universaalrakistus trei- ja ümarlihvpinkidele	29
2.4.Universaalrakistus freespinkidele.....	35
Enesekontrolliküsimused.....	39
3. Mehaanilise töötlemise tehnoloogiad	40
3.1. Treimine	40
3.1.1. Treipinkide kasutamine tööstuses	40
3.1.2. Lõikeriistad, nende ehitus ja lõikeosa materjalid	40
3.1.3. Tooriku paigaldamine kolmepakilistesse treipadrunitesse	46
3.1.4. Tooriku paigaldamine tsentritesse	48
3.1.5. Tehnoloogilised baasid.....	52
3.1.6. Lõikerežiimide määramine treimisel.....	53
3.1.7. Sileda silindrilise välispinna treimine	57
3.1.8. Tasase otspinna ja astmete töötlemine.....	60
3.1.9. Astmeliste võllide töötlemine.....	62
3.1.10. Välissoonte treimine ja mahalõikamine.....	63
3.1.11. Silindriliste avade töötlemine	65
3.1.12. Puurimine treipingis	67
3.1.13. Avardamine, hõõritsemine.....	71
3.1.14. Keermetamine keermelõikuri ja keermepuuriga	75
3.1.15. Keermetamine keermeteraga.....	83
3.1.16. Keerme rullimine.....	88

3.1.17. Koonuspindade töötlemine	89
3.1.18. Kujupindade töötlemine	92
3.1.19. Pinna viimistlemine	94
Enesekontrolliküsimused.....	97
3.2. Freesimine	98
3.2.1. Freespinkide kasutamine tööstuses.....	98
3.2.2. Freesid, nende ehitus ja materjalid	98
3.2.3. Toorikute ülesseadmine ja kinnitamine freespingil	104
3.2.4. Lõikerežiimide määramine freesimisel	106
3.2.5. Tasapindade freesimine silinderfreesidega.....	115
3.2.6. Tasapindade freesimine otsfreesiga.....	115
3.2.7. Astmete ja soonte freesimine	118
3.2.8. Kald- ja kujupindade freesimine.....	125
Enesekontrolliküsimused.....	128
3.3. Lihvimine.....	129
3.3.1. Lihvimispinkide kasutamine tööstuses	129
3.3.2. Töövahendid lihvimisel.....	129
3.3.3. Erinevate pindade lihvimine	131
Enesekontrolliküsimused.....	133
4. Arvjuhtimisega tööpinkidel töötlemine	134
4.1. Arvjuhtimisega tööpinkide kasutamine tööstuses	134
4.2. Tehnoloogilised nullpunktid ja koordinaadisüsteemid.....	135
4.3. Lõikeriista liikumise trajektorid	139
4.4. Juhtimisprogrammide koostamise põhimõtted	139
4.5. Töötlemise tehnoloogia treimisel.....	147
4.6. Töötlemise tehnoloogia freesimisel	150
Enesekontrolliküsimused.....	151
5. Ajanormid ja omahinna arvutus.....	152
5.1. Ajanormid treimisel	156
5.2. Ajanormid freesimisel.....	159
Enesekontrolliküsimused.....	159
6. Ülesanded.....	160
Ülesanne 1.....	160
Ülesanne 2.....	161
Ülesanne 3.....	162
Ülesanne 4.....	163
Ülesanne 5.....	164

Ülesanne 6.....	165
Ülesanne 7.....	166
Ülesanne 8.....	167
Ülesanne 9.....	168
Ülesanne 10.....	169
Ülesanne 11.....	170
Kasutatud allikad.....	171

Eessõna

Käesolev raamat on mõeldud kasutamiseks kutsekoolide õpilastele, kes õpivad metallitöötlemisega seotud erialadel nagu metallilõikepinkidel töötaja ning arvprogrammjuhtimisega (APJ) metallilõikepinkide operaator. Et saada toorikust vajalike mõõtmete, kuju ja pinnakvaliteediga detaili, töödeldakse toorikut metallilõikepinkides. Siin raamatus on ära toodud lühiülevaade metallilõikepinkidest ja nendes kasutatavatest ülekannetest. Metallilõikepinkidel eemaldatakse tooriku pinnalt liigne metallikiht. Peamisteks metallide lõiketöötlemise viisideks on treimine, freesimine ja lihvimine. Täpsemalt on siin raamatus välja toodud treimise ja freesimisega seonduv. Lisaks treimisele ja freesimisele on välja toodud põhitõed lihvimise ning arvprogrammjuhtimisega pinkide kohta. Viimases peatükis on selgitatud lahti ajanormid detailide töötlemisel ning põhimõtted toote omahinna kujundamisest.

Masinaehitusettevõtetele valmistavad ette tööjõudu kutseõppeasutused. Õppurid saavad seal vajaliku teoreetilise ettevalmistuse ja omandavad seadmeil töötamise esmase vilumuse. Kutsekoolist saadavad teadmised ja vilumused on piisavad keskmise keerukusega tööde tegemiseks metallitöötlemisega tegelevates ettevõtetes. Hiljem avanevad sellise ettevalmistuse saanud noore inimese ees kõik võimalused enese täiendamiseks ja oma kutseoskuste arendamiseks. Võib minna tööle ja läbi täiendkoolituste arendada ennast edasi oma erialal või minna õppima kõrgkooli ja omandada juba kõrgharidus vastaval erialal.

1. Metallilõikepinkide ehitus ja üldpõhimõtted

1.1. Liigitus ja tähistamine

Metallilõikepingid on masinad, mille abil saadakse toorikust laastuvõtmise teel tööjoonisele vastava kujuga detail. Pinkide mudelite tähistused erinevad vastavalt tootjamaal ja ettevõttes kehtestatud nõuetele, kuid pinkide markide tähistamise üldpõhimõtted on enamvähem sarnased. Pingi mudel tähistatakse tinglikult kolme või nelja numbriga (mõnikord lisatakse ka tähti). Esimene number näitab pingi gruppi, teine pingi tüüpi selle grupi piires, kolmas ja neljas iseloomustavad antud mudelil detaili töötlemise mõõtmeid. Esimesele numbrile järgnev täht viitab pingi moderniseeritusele, numbrite lõpus olev täht aga baasmudeli modifikatsioonile (erikujule). Selline tähistus oli kasutusel endises Nõukogude Liidus.

Spetsialiseeritud ja spetsiaalpinkide mudeleid tähistatakse kahetäheliste märkidega. Neile tähtedele lisatakse samuti pingi väljalaske järjekorra number.

Universaalsuse järgi liigitatakse pingid järgmiselt:

Universaalseteks ehk üldotstarbelisteks, mis on ette nähtud erinevate detailide mitmesuguste lõikeoperatsioonide sooritamiseks.

Spetsialiseerituteks ehk eriotstarbelisteks, mis on määratud sarnase kujuga, kuid erinevate mõõtmetega detailide, näiteks astmeliste võllide, veerelaagrite võrude jt töötlemiseks.

Spetsiaalseteks ehk eripinkideks, kus töödeldakse ainult samade tüüpimõõtmetega detaile.

Täpsuse järgi liigitatakse pingid viide klassi:

Normaaltäpsusega – sellesse klassi kuuluvad enamus universaalpinke.

Kõrgendatud täpsusega – need pingid valmistatakse normaaltäpsusega pinkide baasil kuid kõrgendatud nõudmistega vastutusrikaste pingidetailide valmistamise täpsuse, montaaži ja reguleerimise osas.

Kõrge täpsusega – nende pinkide töötlemistäpsus saavutatakse sõlmede erikonstruktsiooniga ja kõrgendatud nõudmistega kõigi pingidetailide täpsuse, montaaži ja reguleerimise osas.

Täppispinkideks (pretsisioonpinkideks) – millele valmistamisel järgitakse veelgi kõrgemaid nõudmisi kui kõrge täpsusega pinkide valmistamisel.

Eriti täpseteks pinkideks (meistriklassi pingid).

Kolme viimastesse täpsusklassidesse kuuluvate pinkide tootmisel peab pinkide valmistamise tootmisruumides olema automaatselt tagatud ettenähtud ruumi õhutemperatuur ja -niiskus.

Tööorganite juhtimise aspektist jaotatakse pingid **käsitsijuhtimisega pinkideks** ja **automaatpinkideks**. Käsijuhtimisega pinke nimetatakse ka konventsionaalseteks pinkideks.

Automatiseerimisastme järgi liigitatakse pingid **mehhaniseeritud pinkideks**, **poolautomaatpinkideks** ja **automaatpinkideks**.

- **Mehhaniseeritud pink** omab ainult ühe automatiseeritud operatsiooni, näiteks tooriku kinnitamist või lõikeriista ettenihet.
- **Poolautomaatpink** teostab automaatselt vaid ühe tsükli, mille kordamiseks on vajalik pingitöölise sekkumine.
- **Automaatpink** teostab kõik tehnoloogilised pea- ja abioperatsioonid ning kordab neid kuni detaili lõpliku valmimiseni. Pingitöölise (operaatori) ülesandeks jääb pingi häälestamine ja jälgimine tootmisprotsessi jooksul.

Tänapäeva materjalide lõiketöötlemise pingid on tootlikkuse, vajaliku täpsuse ja pinnasileduse tagamiseks kõrgelt automatiseeritud nn. arvjuhtimisega pingid. Vanemat tüüpi arvjuhtimisega pinke nimetati ka **NC-pinkideks**. Nendes puudus iseseisev arvuti. Programmid salvestati perfolintidele. Neid pinke, kus arvuti on juba sisse ehitatud ja on pingi lahutamatu osa, nimetatakse arvprogrammjuhtimisega (APJ) pinkideks. Tavakeeles kasutatakse nende kohta ka väljendit **CNC-pingid**.

Lõikepinkide töö automaatjuhtimine võimaldab toodete valmistamise aega vähendada kordades võrreldes käsitsijuhtimisega pinkidega ning seega suurendada töö tootlikkust. Ka on nendel pinkidel palju paremini tagatud detailide valmistamise nõuded.

Spindli (valmistavale detailile pöörlemise edastav töövõll) asetuse järgi liigitatakse:
horisontaalsed, vertikaalsed, kallutatud ja kombineeritud.

Massi järgi liigitatakse pingid *kergeteks (kuni 1 t) keskmisteks (kuni 10 t), rasketeks (10...100 t) ja eriti rasketeks (üle 100 t) või unikaalpinkideks.*

Treipingid võib jagada:

- konventsionaalsed treipingid,
- plaan- ja karusselltreipingid:
 - **Plaanreipingid** on mõeldud selliste suurte toorikute töötlemiseks, mille läbimõõt on tunduvalt suurem kui pikkus. Plaanseib on suurte mõõtmetega ja selle pingil puudub tsentripukk. Kuna toorikute kinnitamine plaanseibile on ebamugav, siis sellepärast selletüübilisi pinke kasutatakse ka vähem.
 - **Karussellreipinkidel** töödeldakse ka suure läbimõõduga toorikuid. Sellel pingil asetseb plaanseib horisontaalselt. Tihti nimetatakse ka seda sel juhul töölauaks. Sellel kinnitatud toorik pöörleb koos plaanseibiga vertikaalse telje ümber. Eristatakse ühe ja kahe sambaga karusselltreipinke.
- revolvertreipingid;
 - **Revolvertreipinkidel** on tsentripuki asemel kelk millel paikneb revolverpea, kuhu omakorda on kinnitatud lõikeriistad. Seda tüüpi pinke kasutatakse seeriatootmisel. Eristatakse kahte tüüpi revolverpinke: vertikaalsed ja horisontaalsed.
- poolautomaattreipingid;
 - **Poolautomaat** on treipink, mis sooritab automaatselt lõikeriistade liikumistsükli, ilma inimese osavõtuta. Tsükkel hõlmab lõikeriista lähemale viimist, töötlemist, lõikeriista eemale viimist ja pingi seiskamist. Töölise

ülesanne on ainult tooriku paigaldamine ja valmisdetaili eemaldamine. Tema ülesannete hulka kuulub ka pingi käivitamine ja seiskamine.

- automaattreipingid;
 - **Automaatpinkidel** on lisaks lõikeriistade automaatsele liikumistsükli täitmisele ka tooriku kinnitamine ja vabastamine teostatud ilma inimese sekkumiseta. Eraldi on olemas lattmaterjali töötlemise automaadid. Tööstuses kasutatakse ühe spindliga treiautomaate. Neid nimetatakse mõnikord ka nukkautomaatideks, kuna suportid saavad ettenihke ketasnukkidelt.
- arvprogrammjuhtimisega treipingid;
 - Neid pinke võib omakorda jagada APJ treipinkideks ja APJ treitöötlemiskeskusteks. APJ treipink on tavaliselt kahe teljega, töötlemiskeskusel aga on telgi rohkem (seal hulgas aktiivne telg C) ja on võimalik teostada ka freesimisoperatsioone.

Freespingid võib jagada:

- vertikaalfreespingid,
 - Vertikaalfreespinkidel asetseb pingi spindel vertikaalselt.
- Horisontaalfreespingid
 - Horisontaalfreespinkidel asetseb pingi spindel horisontaalselt.
- Arvprogrammjuhtimisega freespingid
 - Neid pinke võib omakorda samuti jagada APJ freespinkideks ja APJ freestöötlemiskeskusteks. APJ freespink on tavaliselt kolme teljega, töötlemiskeskusel aga on telgi rohkem. Tööstuses kasutatakse üpris palju viieteljelisi pinke. Neil pinkidel on võimalik töödelda ka keerukaid kujupindasid.

Lihvpinke võib jagada:

- tasalihvpink,
Sellel pingil töödeldakse tasapindu ja astmeid.
- ümarlihvpink,
Nii nagu nimigi ütleb, töödeldakse sellel pingil ümarpindasid

1.2. Tööpinkide täpsus

Tööpinkidel valmistatavate toodete kvaliteet on otseselt seotud pingi täpsusega, nn töötlusvigadega: geomeetriliste, kinemaatiliste, elastsete, temperatuuriliste ja dünaamiliste.

Geomeetrilised vead sõltuvad pingi detailide valmistamise ja montaaži täpsusest aga samuti detailide kulumisest eksploatatsiooni käigus. Need vead mõjuvad valmistatava detaili täpsusele lõikeinstrumendi ja tooriku omavahelises asetuses ja töös lõikeprotsessis.

Kinemaatilised vead esinevad pingi erinevate jõuülekandesuhete baasil pingi kinemaatilistes ahelates (hammasrattad, tiguülekanded, keermepaarid jne).

Elastusvead on seotud pingi tehnoloogiliste osade deformatsiooniga, nn jäikusastmetest. Kõikidest töötlusvigadest langeb elastsuse arvele 80 %. Pingi osade jäikusnäitajate suurenedes suureneb ka detailide valmistamistäpsus.

Temperatuurilised vead tekivad erinevate pingiosade ebaühtlasest kuumenemisest tööprotsessis mis võib oluliselt mõjutada detailide valmistamise täpsust.

Dünaamilised vead on tingitud lõikeinstrumendi ja tooriku võnkumistest lõikeprotsessis, mis mõjutavad pingi tööiga ja vähendavad lõikeinstrumendi püsivusaega. Neid vigu saab pingiooperaator vältida kasutades lõikeriista sobivat paigutust ja vastavaid lõikerežiime.

Lisaks eeltoodule mõjutab toodete valmistamise kvaliteeti lõikeinstrumendi enda valmistamistäpsus ja lõikeosa kulumine.

Pingi korrapärane hooldamine tagab ka pikemaajalise pingi eksploatatsiooni. Hooldamata pingil ei ole tihtilugu võimalik valmistada detaile vastavalt tööjoonisele.

1.3. Pinkide pea- ja abiliikumised ning nende iseloomustus

Et metallilõikepingil töödeldav toorik saaks nõutavad mõõtmed ja vajaliku pinnasileduse, tuleb lõikeriista lõikeserva nihutada tooriku suhtes, eraldades sellelt laastuna töötlusvaru. Võib nihutada ka toorikut lõikeriista suhtes või anda üheaegselt kooskõlastatud liikumisi nii toorikule kui ka lõikeriistale. Järelikult peavad pingil olema mehhanismid kahe põhiliikumise (tööliikumise) tekitamiseks, millest üks on **pea- ehk lõikeliikumine** ja teine **ettenihkeliikumine**. Pealiikumise kiirus määratakse kindlaks optimaalse lõikekiirusega, ettenihke suurus oleneb töödeldud pinna nõutavast pinnakaredusest.

Metallilõikepinkides esineb kahte liiki pealiikumisi: pöörlev ja sirgjooneline. Pealiikumine antakse kas töödeldavale toorikule või lõikeriistale. Treipinkidel on pealiikumiseks töödeldava tooriku pöörlemine; frees-, lihv- ja puurpinkidel lõikeriista pöörlemine; tõuke- ja osal hambalõikepinkidel lõikeriista sirgjooneline edasi-tagasi liikumine; pikihöovelpinkidel tooriku sirgjooneline edasi-tagasiliikumine.

Enamikul juhtudel, kui pealiikumine antakse töödeldavale toorikule, siis ettenihkeliikumine antakse tööriistale ja vastupidi. Peale pealiikumiste on pingil vajalikud veel tooriku töötlemiseks abiliikumised: transportliikumised, kinnitus- ja ülesseadmisliikumised, juhtimisliikumised, lõikeriista paigaldusliikumised jt.

Kõigi nende, tooriku töötlemise detailiks vajalike, liikumiste tagamiseks peab lõikepinkidel olema erinevad jõuülekanne allikad, ülekandeahelad ja nende ülekannete juhtimismehhanismid. Lõikepinkide ehituskonstruksioonide areng, uute materjalide kasutuselevõtt pinkide konstruktsioonelementide valmistamisel ja juhtimissüsteemide automatiseerimine on võimaldanud konstrueerida väga täpselt töötavate üksikosadega pinke. Põhilised mehaanilised ülekandesüsteemid ja kinemaatilised lahendused on aga põhimõtteliselt jäänud samaks kui need olid aastakümneid tagasi.

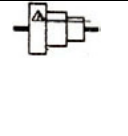
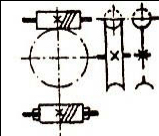
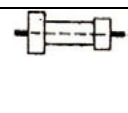
Selleks, et tekiksid ühtsed arusaamad pingiehituses kasutatavatest ülekandeahelatest, nende üksikosadest, on välja töötatud ja ühtlustatud vastavad tingtähised. Selleks on kasutusele võetud riigisisesed ja riikidevahelised standardid.

1.4. Pinkide kinemaatilised skeemid ja nende elementide tingtähised

Pingi kinemaatiline skeem on tema mitmesugustele organitele liikumist üleandvate üksikute elementide ja mehhanismide omavahelise seose lihtsustatud ja tinglik kujutis. Kinemaatiliste

Tabel 1.4.1. Kinemaatiliste skeemide tingtähised

Nimetus	Tingtähis	Nimetus	Tingtähis
Võll		Kruvihammasülekanne	
Pingi spindel Treipingil		Hammaslattuülekanne	
Revolverpingil		Koonushammasratas a) jäigalt kinnitatud b) nihutatav	
Puurpingil			
Freepingil			
Lihvpingil			
Rihmülekanne		Hõõrdsidur	
lahtine		kooniline	
ristuva rihmaga		laialisurutava rõngaga	
Kiilrihmülekanne		ketastega	
Kettülekanne		Nukksidur	
Kruvi-mutter ülekanne		ühepoolne	
Silinderhammasratas		kahepoolne	
vabalt võllil		Laager	
jäigalt kinnitatud võllile		radiaalliugelaager	
nihutatav pikki võlli		radiaalveerelaager	
		radiaaltugiveere- laager	

kinnitatakse võllile nihutatava liistuga		Tiguülekanne	
võllil vabalt pöörlev hammasratasplokk			

Kinemaatilised skeemid joonestatakse vabas mastaabis. Siiski tuleb kujutada kinemaatilist skeemi või tema tähtsamaid sõlmi ja mehhanisme nii, et pingi põhiprojektsioonide piirides säilitataks nende suhtelise paigutuse õigsus. See hõlbustab skeemist aru saamist.

Tööpinkide käsitlemise tundmaõppimist tagavad kinemaatilised skeemid ilma, et tööpinki oleks vajalik tema tundmaõppimiseks üksikosadeks lahti lammutada. Teadmised tööpinkide ehitusest ja jõuülekandesüsteemidest võimaldavad tagada tööpingi korrashoiu ja õigeaegse hooldamise ning kergendavad remontide läbiviimist. [1]

Tabelis 1.4.1. toodud kinemaatilise ahela elementide tingtähised ei ole kaugeltki ammendav loetelu, kuid annab ettekujutuse ja võimaluse saada aru kinemaatilistest skeemidest ja jõuülekannete kooslustest. Ülekannete iseloomust arusaamine ja ülekandesuhete leidmine võimaldab tugevusarvutuste kaudu määrata lõikepinkide jõuülekannete optimaalsed suurused ja seega vähendada pinkide materjalimahukust.

Käesoleva peatükis käsitletu eesmärk ei ole tööpingiehitajate koolitamine, vaid arusaama tekitamine metallilõikepinkide tööpõhimõtetest.

Joonisel 1.4.1 on esitatud enamlevinud kinemaatilised skeemid ja ülekannete tüübid, millised on kasutusele võetud metallilõikepinkide konstrueerimisel. [2]

Ülekandesuhete ja nihutuste määramist mitmesugustes ülekannetes vaatame lähemalt allpool [2]. Veetava ja vedava võlli pöörlemiskiiruste suhet nimetatakse ülekandesuhteks i .

Rihmülekanne (joonis 1.4.1.a) ülekandesuhe rihma libisemist arvestamata on järgmine:

$$i = \frac{d_1}{d_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1.4.1)$$

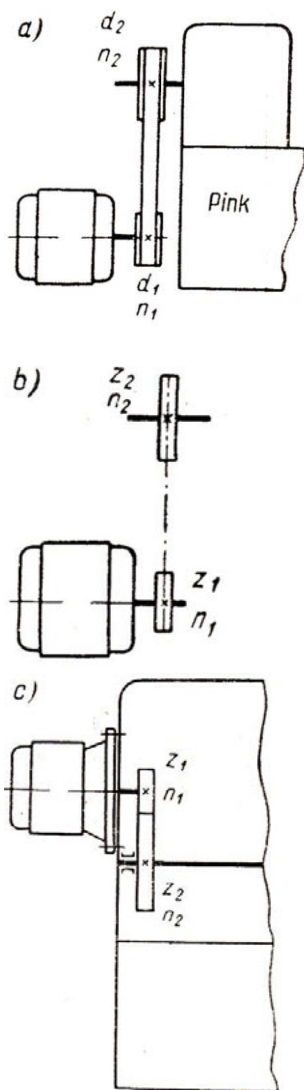
kus n_1 - mehhanismi vedava lüli pöörlemiskiirus,
 d_1 - vedava rihmaratta läbimõõt,
 n_2 - mehhanismi veetava lüli pöörlemiskiirus,
 d_2 - veetava rihmaratta läbimõõt.

Rihma libisemine vähendab ülekandesuhet ja seda arvestatakse täpsemates arvutustes libisemisteguriga (0,97...0,38). See sõltub aga konkreetsest ülekandest ja kasutatavatest materjalidest.

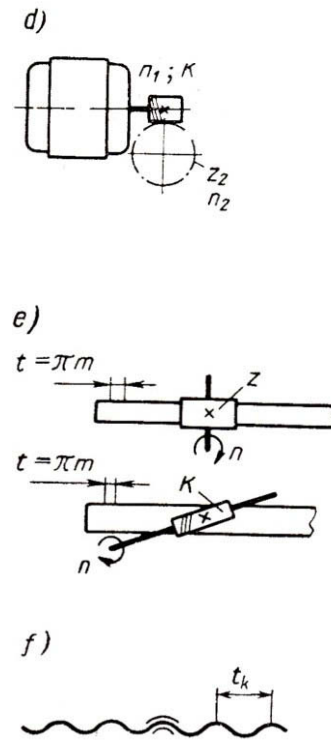
Kettülekanne (joonis 1.4.1.b) ülekandesuhe:

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1.4.2)$$

kus n_1 - mehhanismi vedava lüli pöörlemiskiirus,
 z_1 - vedava ketiratta hammaste arv,



n_2 - mehhanismi veetava lüli pöörlemiskiirus,
 z_2 - veetava ketiratta hammaste arv.



Joonis 1.4.1. Pinkide ülekanded: a) rihmülekanne, b) kettülekanne, c) hammasülekanne, d) tiguülekanne, e) hammaslattuülekanne, f) kruvi-mutter ülekanne, g) hambafrees-pingi pealiikumise ajami kinemaatiline ahel

Hammasratasülekanne (joonis 1.4.1.c) ülekandesuhe:

$$i = \frac{z_1}{z_2} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1.4.3)$$

kus n_1 - mehhanismi vedava lüli pöörlemiskiirus,
 z_1 - vedava hammasratta hammaste arv,
 n_2 - mehhanismi veetava lüli pöörlemiskiirus,
 z_2 - veetava hammasratta hammaste arv.

Tiguülekanne (joonis 1.4.1.d) ülekandesuhe:

$$i = \frac{K}{z} = \frac{n_2}{n_1}, \quad (1.4.4)$$

kus n_1 - mehhanismi vedava lüli pöörlemiskiirus,
 n_2 - mehhanismi veetava lüli pöörlemiskiirus,
 K - teo käikude arv,

z - tiguratta hammaste arv.

Hammaslattülekanne (joonis 1.4.1.e). Hammaslati nihutuse pikkus sirgjoonelisel liikumisel:

$$s = n \cdot z \cdot t, \quad (1.4.5)$$

kus t - hammaslati hambumise samm,
 z - hammasratta hammaste arv,
 n - tigu või hammasratta pöörete arv,
 s - hammaslati nihutuse pikkus.

Kruvi-mutter ülekanne (joonis 1.4.1.f) . Mutri nihutuse pikkus kruvi n pöörde vältel on:

$$s = n \cdot t_k, \quad (1.4.6)$$

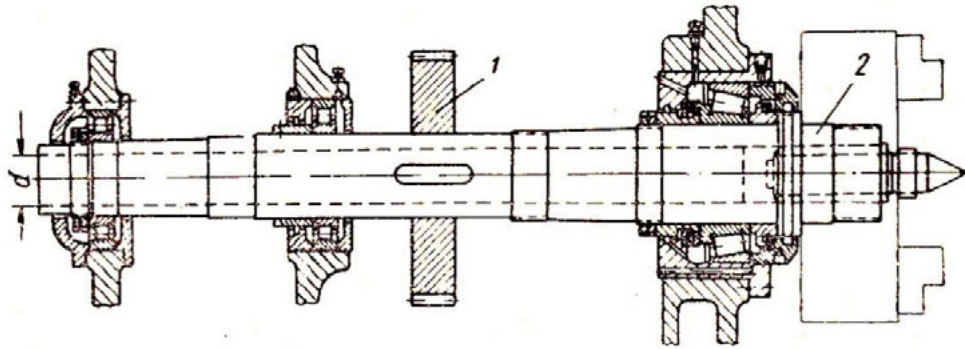
kus t_k - kruvijoone samm,
 s – mutri nihutuse pikkus,
 n - kruvi pöörete arv.

Kinemaatiliste ahelate ülekandesuhete, pöörlemiskiiruste ja pöördemomentide arvutuse kohta täpsema informatsiooni annab „Mehaanikainseneri käsiraamat“ [6].

1.5. Spindlid ja nende toed

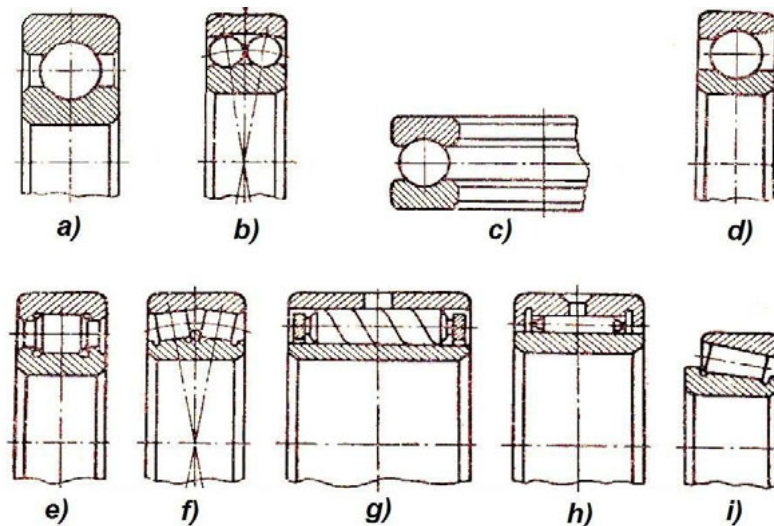
Spindlid on metallilõikepinkide vastutusrikkamaid põhielemente: nad annavad pöörlemise edasi kas tööriistale või töödeldavale toorikule. Seetõttu peavad olema spindlisõlmede radiaal- ja telgviskumised vajaliku täpsuse piires. Lisaks sellele peavad spindlid olema küllaldase jäikuse ja vibratsioonikindlusega, tema hõõrdepinnad aga piisava kulumiskindlusega. Spindlite materjalina kasutatakse põhiliselt parendatud (karastatud ja kõrgelt noolutatud kõvadusega HRC 22...28) keskmise süsinikusisaldusega (0,45%) konstruktsiooniterast. Kõrgendatud nõuete puhul ja suure pinnakõvaduse andmiseks kasutatakse mõnikord terast, mis on karastatud ja noolutatud kõvaduseni HRC 40...50. Eriti kõrgete nõuete esitamisel spindli kaelte pinnakõvadusele kasutatakse väikese süsinikusisaldusega terast, mis on tsementiiditud, karastatud ja noolutatud kõvaduseni HRC 56...62. Suure täpsusega pinkide vähekoormatud spindlite valmistamiseks kasutatakse konstruktsiooniteraseid, mis kuuluvad nitreerimisele koos järgneva karastamise ja noolutamisega kõvaduseni HV 850... 1000. Raskete pinkide spindliteks kasutatakse mangaanteraseid, mida normaliseeritakse või karastatakse koos järgneva kõrge noolutamisega kõvaduseni HRC 28 ... 35. Suure läbimõõduga õõnsate spindlite valmistamiseks on otstarbekas kasutada keraja grafiidiga suure tugevusega malmi.

Spindli konstruktiivne kuju määratakse spindli otsas oleva detaili kinnitusseadme või tööriista kinnitusviisiga, ajami elementide istuga ja kasutatavate laagrite tüübiga. Joonisel 1.5.1. on kujutatud treipingi spindel kolmel toel. Eesmise toe lähedal on kinnitatud liistuga hammasratas 1. Spindli eesotsas on keere ja aste 2 kinnitus- ja kaasavedava padrundi kinnitamiseks. Spindlid valmistatakse õõnsatena, selleks et sealt saaks lattmaterjali läbi panna, samuti vähendab see ka kaalu. Üldkasutatavate pinkide spindlite esiotste kuju on standardiseeritud. Peale joonisel kujutatul on spindleid veel äärikukujuliste sisekoonusega jt tüüpi otstega [2].



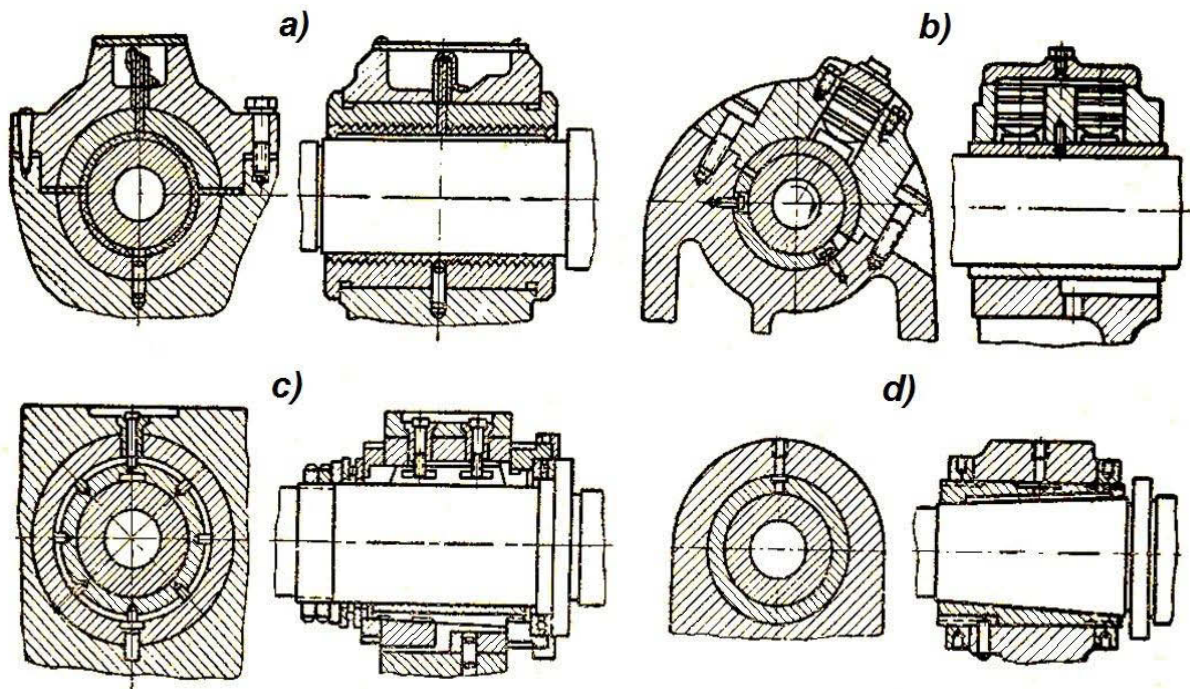
Joonis 1.5.1. Treipingi spindel, 1- hammasratas, 2- aste kinnitus- ja kaasavedava padruni kinnitamiseks

Pingi spindlite tugedeks kasutatakse veere- ja liugelaagreid. Joonisel 1.5.2. on näidatud põhilised veerelaagrid, mis võtavad vastu radiaal-, aksiaal- ja radiaal-aksiaalkoormust. Joonisel 1.5.2.a, b, e, f, g ja h on kujutatud laagrid, mis võtavad vastu radiaalkoormust; joonisel 1.5.2.c on kujutatud laager, mis võtab vastu aksiaalkoormust; joonisel 1.5.2.d ja i on kujutatud radiaal-aksiaalkoormust vastuvõtavad laagrid [2].



Joonis 1.5.2. Veerelaagrid: a) radiaalne mitteseaduv kuullaager, b) radiaalne iseseaduv kuullaager, c) tugikuullaager, d) radiaal-tugikuullaager, e) radiaal-rull-laager, f) radiaal-sfääriline rull-laager, g) radiaal-kruvirull-laager, h) radiaal-nõellaager, i) radiaal-tugirull-laager

Liugelaagreid on mittereguleeritavaid (kasutatakse harva, praktiliselt kulumise täieliku puudumise korral pika ekspluatatsiooniaja vältel), reguleeritavaid aksiaal- ja radiaalsuunas (joonis 1.5.3.) ning õhkpadjal liugelaagrid.



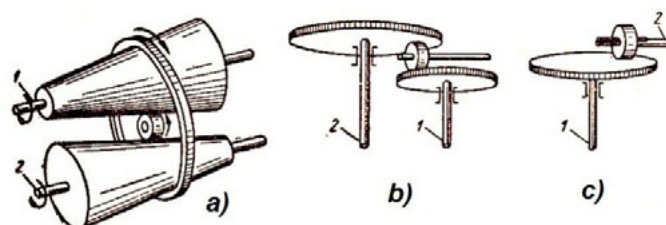
Joonis 1.5.3. Spindlite liugelaagrid: a) ja b) - reguleeritavad radiaalsuunas, c) ja d) - reguleeritavad aksiaalsuunas

1.6. Kiiruste astmeteta reguleerimisega mehaanilised ajamid

Astmeteta mehaanilisi ajameid kasutatakse spindli pöörlemiskiiruse pidevaks ja sujuvaks muutmiseks. Nad võimaldavad anda optimaalseid löikekiirusi erinevate läbimõõtudega toorikute töötlemisel. Lisaks sellele võimaldavad nad muuta pealiikumise kiirusi ja ettenihet pinki peatamata.

Koonus-rihmajam. Veetava võlli pöörlemiskiiruse muutmine toimub rihma nihutamisega piki koonusrattaid. Mõningates koonus-rihmajami tüüpides on rihm asendatud terasrõngaga, koonused on lähendatud minimaalsele kaugusele ja nende läbipaindumise vältimiseks on koonuste vahele pandud rull. Reguleerimispiirid ulatuvad sel juhul kuni 10:1.

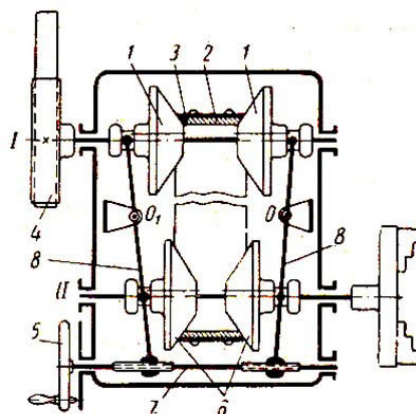
Ketas-hõõrdajam. Veetava ketta pöörlemiskiiruste reguleerimine toimub rulli nihutamisega piki tema telge (joonis 1.6.1.b). Joonisel 1.6.1.c toodud ajam võimaldab muuta ka veetava ketta pöörlemise suunda.



Joonis 1.6.1. Astmeteta ajamite skeemid: 1 – vedav võll, 2 – veetav võll a) koonus-rihmajam, b) ja c) ketas-hõõrdajam

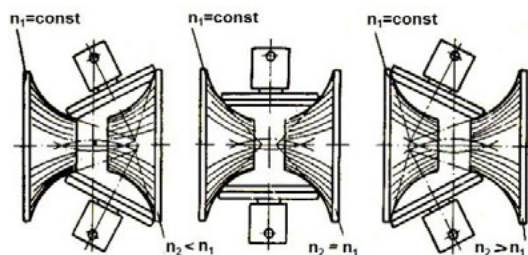
Nihutatavate koonustega ajam (joonis 1.6.2).

Rihmarattaga 4 antakse võllil I olevatele kahele vedavale koonusele püsiv pöörlemiskiirus. Võllil II on kaks vedavate ketastega võrdse läbimõõduga veetavat koonilist ketast 6, ülekannet võllide vahel toimub kiilrihmaga 2, mille sisepinnal on puitklotsid 3, või laia vastavakujulise profiiliga rihmaga. II võlli pöörlemiskiiruse muutmiseks tuleb võllil I kas lähendada või eemaldada koonuseid teineteisest, ning samal ajal toimub koonuste võrdne nihutus ka võllil II. See saavutatakse kangidega 8, mis pöörduvad punktide 0 ja 0_1 , ümber. Kangide pööramine toimub kruviga 7, millel on vasak- ja parempoolne keere, käsiratta 5 abil. Reguleerimise piir ulatub kuni 12:1 [2].



Joonis 1.6.2. Nihutatavate koonustega ajam

Rull-hõõrdajam (variaator). Variaatorit (joonis 1.6.3.) kasutatakse mõne treipingi pealiikumise ajamiseks. Ta võimaldab reguleerida pöörlemiskiirusi ülekandega kuni 8:1, kandes üle võimsust kuni 25 kW [2].

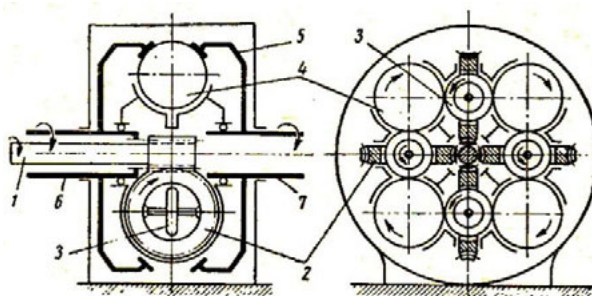


Joonis 1.6.3 Rull-hõõrdajam (variaator)

Kuul-hõõrdajam (joonis 1.6.4.). Võlli 1 otsas olev tigu hambub nelja sümmeetriliselt asetatud tigurattaga 2. Iga tiguratta sees on rull 3, milline pöörleb vabalt võllil, mis asub tiguratta diametraaltasapinnas. Iga rullipaari vahel on teraskuulid 4, mis haaratakse kaasa kahe koonilise hõõrdrattaga 5; üks neist on kinnitatud vedavale võllile 6, teine veetavale 7. Vedav ketas pöörab kuule, mis panevad pöörlema veetava ketta.

Pöörates teoga tigurattaid koos rullidega 3, võib muuta rullide pöörlemistelgede asendit, mille tulemusena muutub ka kuulide pöörlemistelgede asend. Kui kuulide pöörlemisteljed on paralleelsed võlliga 1, on variaatori ülekandesuhe võrdne ühega. Kui kuulide pöörlemisteljed on

risti ühe ketta koonilise pinna moodustajaga, siis veetav võll peatub ja sellest punktist üleminekul hakkab veetav võll pöörlema vastupidises suunas. Reguleerimise piir on 12:1 [2].



Joonis 1.6.4. Kuul-hõõrdajam

1.7. Ettenihkemehhanismid

Pingi ettenihkemehhanism koosneb järgmistest sõlmedest: ettenihkemehhanismi ajamist, ettenihkemehhanismi lülitamisseadmet; ettenihke suuna muutmise seadmet; ülekoormuse kaitseseadmet; ettenihkeahela üksikutest ülekannetest; suportite, töölaua jne. kiirekäiguliste ahelate ülekannetest; ettenihetekastist ja ettenihkemehhanismi veoseadmet. Peamiseks neist on ettenihetekast, mille ülesandeks on muuta trei-, puur- ja teistes pinkides tööriista või frees-, risthõövel- ja teistes pinkides töödeldava tooriku ettenihke suurust. Ettenihkemehhanismid saavad liikumise enamasti pingi pealiikumise organilt või eraldi asetsevalt elektrimootorilt. Ettenihke suurust muudetakse kitarrri vahetushammasrattastega, hammasülekannetega ettenihetekastidega, hüdrauliliste ja põrkemehhanismidega.

Kitarrri vahetushammasrattaid kasutatakse suurseriatootmisega pinkides, samuti hambalõikepinkides. Vahetushammasrattaste kitarrri ettenihkemehhanismi ajami skeem on toodud joonisel 1.7.1.a. Kitarrri võib saada ülekandesuhteid kuni $i_{min} = 1/8$.

Hammasülekannetega ettenihetekastid on pinkides laialdaselt levinud. Neid liigitatakse nihutatavate hammasrattastega, nihutatava liistuga, Meander- ja Norton-tüüpi ning vahetushammasrattaste kitarrridega ettenihetekastideks.

Suure hulga ettenihete saamiseks koostatakse ettenihetekastid sageli mitmest eespool loetletud eriliiki mehhanismist, milliseid sel juhul nimetatakse kas põhi-, vahe- või täiendavateks mehhanismideks.

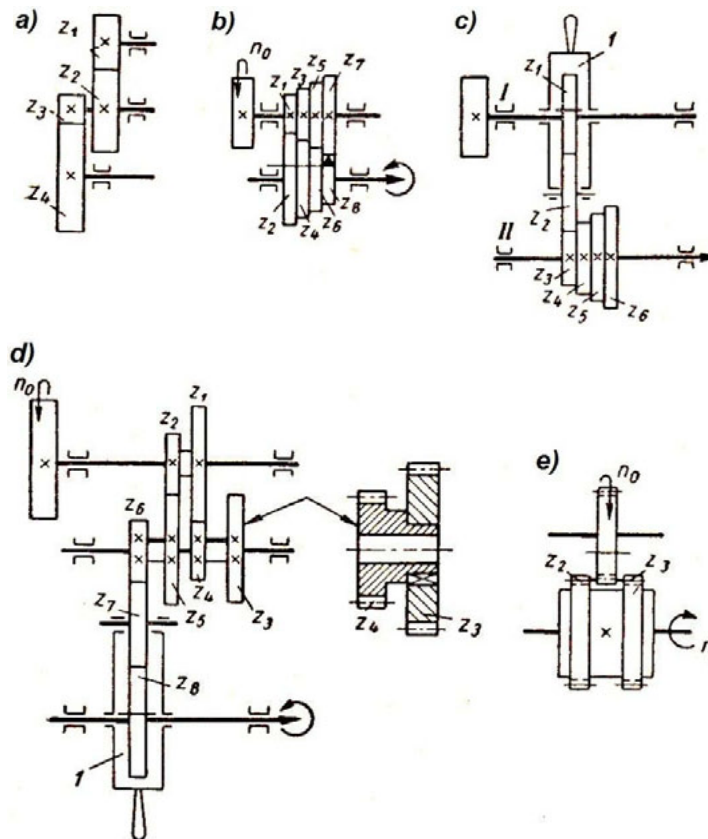
Universaaltreipingis on põhimehhanism keermesammude põhirea saamiseks; vahemehhanism on põhirea diapasoni laiendamiseks ja täiendav mehhanism ühelt keerme liigilt teisele üleminekuks.

Täiendava mehhanismina kasutatakse sageli vahetushammasrattaste kitarrri.

Norton-mehhanismid kuuluvad ettenihke põhimehhanismid hulka. Meander-mehhanismid on enamasti vahemehhanismid.

Nihutatavate hammasratastega ettenihetekastid on analoogilised oma konstruktsioonilt kiirustekastidega.

Nihutatava liistuga mehhanism (joonis 1.7.1.b) tagab neli erinevat ülekandesuhet. Skeemil on näidatud ülekanne hammasrataste z_7/z_8 kaudu.



Joonis 1.7.1. Ettenihetekastide lihtsad mehhanismid: a) nihutatavate hammasratastega, b) nihutatava liistuga, c) Norton-tüüpi, d) Meander tüüpi, e) vahetushammasrataste kitarriga

Meander-mehhanism (joonis 1.7.1.d) koosneb kolmest hammasratasplokist. Hammasrattad z_1 ja z_2 on jäigalt kinnitatud vedavale võllile, hammasrattad z_3, z_4, z_5 ja z_6 pöörlevad vabalt vahevõllil. Hammasratas z_7 on sidestav ja alatises hambumises nihutatava hammasrattaga z_8 . Ümberlülitamine toimub kangiga 1. Toodud mehhanism annab neli ülekandesuhet:

$$i_1 = \frac{z_2 \cdot z_6}{z_5 \cdot z_8}; \quad i_2 = \frac{z_2}{z_8}; \quad i_3 = \frac{z_1}{z_8}; \quad i_4 = \frac{z_1 \cdot z_6}{z_4 \cdot z_8}. \quad (1.7.1)$$

Seda tüüpi mehhanismid võivad anda ka rohkem ülekandesuhteid. Mehhanismi hammasrattad on valitud järgmiselt:

$$z_1 = z_3 = z_5 = 2z_2 = 2z_4 = 2z_6 = z_8. \quad (1.7.2)$$

Asetades need väärtused ülekandesuhte valemitesse saame, et

$$i_1 = \frac{1}{4}; \quad i_2 = \frac{1}{2}; \quad i_3 = 1; \quad i_4 = 2, \quad (1.7.3)$$

st naaberülekandesuhted erinevad teineteisest kaks korda, järelikut geomeetrilise rea tegur $\varphi=2$.

Norton-mehhanism (joonis 1.7.1.c). Vedaval võllil I on vabalt käepide 1, mille abil saab hammasrattast z_1 , mis on alatises hambumises hammasrattaga z_2 , nihutada piki võlli. Sidestades hammasratta z_2 ühega hammasrattastest veetaval võllil, saadakse vastav ülekandesuhe. Toodud skeemil on Norton-mehhanismil neli ülekandesuhet:

$$i_1 = \frac{z_1}{z_3} ; \quad i_2 = \frac{z_1}{z_4} ; \quad i_3 = \frac{z_1}{z_5} ; \quad i_4 = \frac{z_1}{z_6} . \quad (1.7.4)$$

On olemas Norton-mehhanisme, kus ülekandesuhete arv ulatub 10...12. Vedavaks lüliks võib olla ka hammasrattaskoonus, st ülekanne on pööratav.

Suletud ettenihetekastides kasutatakse Norton-mehhanismi asemel korrigeeritud hammastega hammasülekannet. See võimaldab ühte vedavat hammasrattast (joonis 1.7.1.e) viia hambumisse vaheldumisi hammasrattastest z_2 ja z_3 ning saada kaks ülekandesuhet.

Sirgjoonelise liikumise mehhanismid

Kaasaegsetes metallilõikepinkides kasutatakse sirgjoonelise liikumise andmiseks hammasrattas-hammaslatt-, tigu-hammaslatt-, kruvi-mutter-, nukk- ja hüdraulilisi mehhanisme.

Hammasrattas-hammaslattmehhanismi kasutatakse näiteks pikihöövelpingi edasi-tagasi-liikumise ajamites. Tavaliselt kasutatakse kaldhammastega ja mõnikord ka noolhammastega (hammaslatt koostatakse kahest kaldhammastega hammaslatist) hammaslattülekannet.

Hammaslattülekannet kasutatakse ettenihkeajamites kiire käsiettenihke andmiseks, kuid hammaslattülekande ebaühtlus kahjustab ettenihke sujuvust.

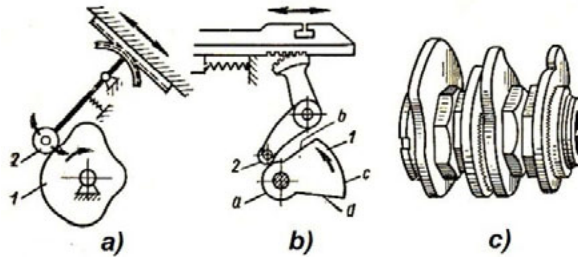
Tigu-hammaslattmehhanismis esineb kahte liiki ülekandeid. Esimene, kus tigu on asetatud hammaslati suhtes nurga all. See võimaldab ülekande sujuvuse eesmärgil suurendada tigu vedava hammasratta läbimõõtu. Teine, kus teo ja hammaslati telg asetsevad ühes tasapinnas. Hammaslatt kujutab endast nagu pikka mutrit, mis ei haara kruvi-tigu täisringi ulatuses. Tigu-hammaslattülekande töötingimused on tunduvalt soodsamad hammasrattas-hammaslati omadest.

Kruvi-muttermehhanism on põhiliseks sirgjoonelise liikumise mehhanismiks.

Selle peamiseks omadusteks on suur ülekandesuhe, mis võimaldab kasutada lühikesi ülekandeahelaid; isepidurdavus, mis võimaldab kasutada antud paari koormatuna, suur kontakttööpind ja madal kasutegur.

Nukkmehhanismid muudavad pöörleva liikumise sirgjooneliseks. Neid kasutatakse peamiselt automaatides. Eristatakse lamedate ja silindriliste nukkidega nukkmehhanisme.

Joonisel 1.7 on näidatud lamedate nukkidega mehhanismid. Nuki 1 pöörlemisel (joonis 1.7.2.a) antakse rulli 2, kangülekande ja hammassektori kaudu liikumine hammaslatile, mis saab edasi-tagasi liikumise vastavalt nuki profiilile.



Joonis 1.7.2. Lame nukkmehhanism a) rulliga, b) kangmehhanismiga c) jaotusvõllile monteeritud nukid

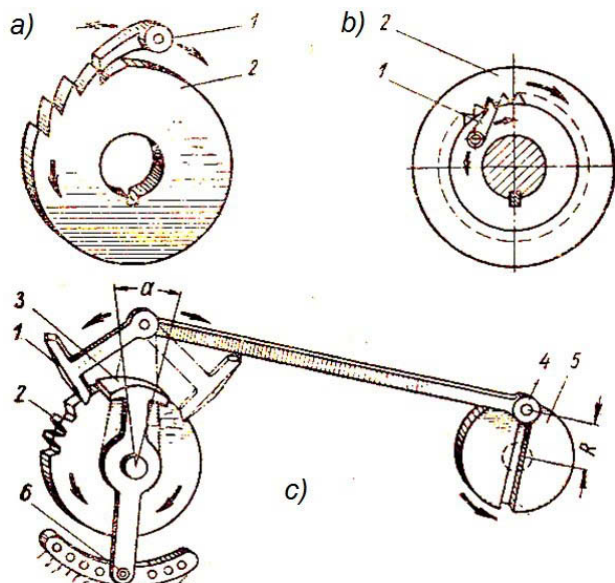
Vaadeldud mehhanismiga analoogiliselt töötab ka joonisel 1.7.2.b kujutatud mehhanism. Erinevus seisneb selles, et ringi kaart moodustavas kõvera osas *a* on rull liikumatu, osas *b* toimub supordi järsk ja kiire liikumine paremale, osa *c* annab supordile aeglase ja ühtlase liikumise (ettenihke) paremale, osas *d* tuuakse suport järsult tagasi algasendisse. Rulli 2 surutakse kogu aeg vastu nuki profiili vedru jõuga. Joonisel 1.7.2.c on näidatud pingi jaotusvõllile monteeritud nukid.

Katkendliku liikumise mehhanismid

Mehhanismide hulka, mille abil antakse veetavale detailile katkendlik liikumine, kuuluvad pörk- ja malta mehhanismid.

Pörkmehhanisme on välis-, sise- ja otshambumisega.

Välishambumisega pörkmehhanismis (joonis 1.7.3.a) saab pörklink 1 vönkliikumise, mille suund on näidatud nooltega. Liikumisel paremalt vasakule lükkab link pörkratta 2 hammast ja pöörab ratast teatava nurga võrra. Tagasi liikumisel libiseb link üle pörkratta hammaste ega pööra seda.



Joonis 1.7.3. Pörkmehhanismid, a) välishambumisega, b) sisehambumisega, c)

Sisehambumisega pörkmehhanismis (joonis 1.7.3.b) on võllil ja temaga jäigalt kinnitatud kettal koos pörklingiga 1 vönkeliikumine. Liikudes vasakult paremale, pöörab link pörkratast 2. Lingi

liikumisel tagasi pökrattale pöörlemist ei anta. Joonisel 1.7.3.c on toodud pökrmehhanismi ajami skeem. Pökrklingi võnkeliikumine saadakse veokettalt 5 vända 4 ja kepsu kaudu. Vändasõrme 4 asendi muutmisega soones saab reguleerida pökrklingi 1 pöördenurka α ning sellega pökratta 2 pöördenurka veoketta 5 ühe pöörde kestel. Pökratta reverseeriv liikumine saadakse pökrklingi 1 viimisel joonisel 1.7.3.c punktiirjoonega tähistatud asendisse.

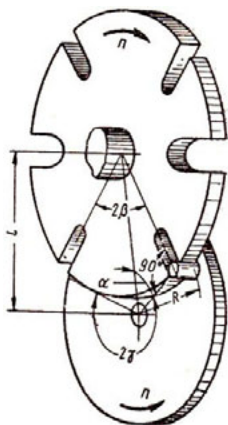
Pökratta pöördenurka saab muuta ilma vändasõrme 4 asendit muutmata kilbiga 3, mis katab osa pökratta hambaid. Sel viisil libiseb pökrklink liikumise algperioodil mööda kilpi, siis aga satub pökratta hambale ja pöörab ratast. Kilpi hoitakse valitud asendis fiksaatori 6 abil.

Malta mehhanisme kasutatakse kõige enam revolverpeade, spindliplokkide, mitmespindiliste automaatide laudade jt perioodiliseks pööramiseks konstantse nurga võrra.

Malta mehhanisme on korrapäraseid ja korrapäratuid. Korrapärestel mehhanismidel on ristil olevad sooned paigutatud ühtlase sammuga, ebakorrapärestel mehhanismidel on nurgad kõrvuti asetsevate soonte vahel erinevad. Metallilõikepinkides kasutatakse reeglina korrapäraseid välishambumisega jaradiaalsoontega malta mehhanisme.

Malta mehhanismi (joonis 1.7.4.) pööramisel satub sõrm risti soonde ja iga oma pöördega pöörduv rist $1/z$ pöoret (z - soonte arv, tavaliselt $z=3 \dots 8$). Malta mehhanismi ülekandesuhe:

$$i = \frac{1}{z}. \quad (1.7.5)$$



- α – vändasõrme tööpöörde pool kesknurka,
- β – naabersoonte vaheline poolnurk,
- R – sõrme kaugus tsentrist,
- γ – vändasõrme tühikäigu kesknurk,
- n – pöördesuund.

Joonis 1.7.4. Malta mehhanism

Malta mehhanismi parameetritevahelised põhiseosed on järgmised:

$$2\beta = \frac{2\pi}{z}, \quad (1.7.6) \quad \text{kus } \beta \text{ - naabersoonte vaheline poolnurk}$$

$$\alpha + \beta = \frac{\pi}{2}, \quad (1.7.7) \quad \text{kus } \alpha \text{ on vändasõrme tööpöörde pool kesknurka (rist pöörduv sel ajal nurga } \beta \text{ võrra)}$$

Kui lahendada see võrrand 2α suhtes, siis vändasõrme tööpöörde kesknurk:

$$2\alpha = \pi - 2\beta = \pi - \frac{2\pi}{z} = \frac{\pi \cdot (z-2)}{z}. \quad (1.7.8)$$

Siit leiame vändasõrme tühikäigu kesknurga:

$$2\gamma = 2\pi - 2\alpha = 2\pi - \frac{\pi \cdot (z-2)}{z} = \frac{\pi \cdot (z+2)}{z}. \quad (1.7.9)$$

Täistsükli kestus:

$$T = t_1 + t_2 \quad (1.7.10) \quad \text{kus } t_1 \text{ on risti pöörde kestus,} \\ t_2 \text{ - risti paigaloleku kestus.}$$

$$1 = \frac{t_1}{T} + \frac{t_2}{T}, \quad (1.7.11)$$

Vändasõrme ühtlasel liikumisel:

$$\frac{t_1}{T} = \frac{2\alpha}{2\pi} = \frac{z-2}{2z}, \quad (1.7.12)$$

$$\frac{t_2}{T} = \frac{2\gamma}{2\pi} = \frac{z+2}{2z}. \quad (1.7.13)$$

Nurgad α , β , γ on antud radiaanides.

1.8. Määrimis- ja jahutussüsteemid ning vedelikud

Määrimissüsteemid pinkides liigitatakse individuaalseteks, kui üksikute sõlmede ja mehhanismide määrimine toimub üksteisest sõltumatutest määrimispunktidest ja tsentraliseerituteks, kui määrimispunktid on omavahel ühendatud.

Tsentraliseeritud määrimist kasutatakse sel juhul, kui pingi sõlmed ei muuda oma suhtelist asendit ja võib kasutada ühesugust määrideainet. Määrida võib isevoolumisega, tsirkulatsioonmeetodil või survega.

Jahutussüsteeme kasutatakse määride-jahutusvedelike juhtimiseks tööriista lõikeservale lõikeprotsessis, mis tõstab pingi tootlikkust ja lõikeriistade püsivusaega. Määride-jahutusvedelikeks on sulfofresoolid ja emulsioonid. Sulfofresoolid on väävliga ja vaikudega aktiveeritud mineraalõlid. Emulsioonid on sünteetilised ja naturaalsed. Sünteetilised emulsioonid on hapude naatriumisoolade kolloidlahused mineraalõlis. Naturaalemulsioonid saadakse naftahapetest piirituse või aluseliste jääkidega töötlemisel. Palju kasutatakse jahutusmeetodit, kus lõiketsooni suunatakse jahutusvedelikust tekitatud udu. Uduga jahutamine ei musta töökohta ja suurendab tunduvalt lõikeriista püsivust. Kaasaegsetes pinkides kasutatavad parendatud määrideomadustega mineraalõlid ja jahutusvedelikud on vähendanud oluliselt pinkide liikuvate osade kulumist.

Metallilõikepinkide kinemaatika ja üksikosade ning sõlmede kohta leiab piisavat informatsiooni vastavast erialakirjandusest. Igale pingile on kaasa antud pingitootja poolt pingi ülesehitust ja käsitlemist selgitav instruksioon – pingi kasutamisejuhend. Seal on täpselt ära määratud pingi

hoolduse intervallid. Samuti on ära määratud perioodilist määrimist ja hooldamist vajavad sõlmed.

Enesekontrollküsimused

1. Iseloomustage tööpinkide põhiliikumisi.
2. Kuidas jagatakse pingid täpsuse järgi?
3. Miks on vaja osata lugeda kinemaatilist skeemi? Põhjendage näidete varal.
4. Millised oleksid kiiruste astmeteta reguleerimise võimalused pinkidel?
5. Mida kujutab endast Nortoni mehhanism?
6. Kuidas töötab Malta mehhanism?
7. Milliseid jahutusvedelikke kasutatakse metallilõikepinkides?

2. Rakised ja nende kasutamine metallilõikepinkidel

2.1. Rakiste liigitus kasutusvaldkondade ja ehituse järgi

Rakiste osatähtsus masinaehituse tehnoloogilises protsessis on suur. Nende abil on võimalik tõsta tehnoloogilise protsessi efektiivsust, mis avaldub abiaegade vähenemises ja töötajate töö lihtsustumises. Oma kasutusala järgi tehnoloogilises protsessis rakised jagunevad:

Mehaanilise töötlemise rakised on põhiline osa kogu rakistusest. Kasutatakse toorikute kinnitamiseks tööpinki, aga ka spetsiaalsete lõikeinstrumentide kinnitamiseks. Viimaseid nimetatakse abirakisteks või ka moodulrakisteks.

Koostetööde rakised leiavad kasutamist masintoodete ja sõlmede koostamisel.

Metallkonstruktsioonide rakised, mida kasutatakse nende konstruktsioonide koostamiseks ja keevitamisel.

Oma iseloomult jaotatakse rakised mitmesse liiki:

Universaalsed rakised. Need on suure kasutusala rakised, mida valmistatakse ja turustatakse laias nomenklatuuris.

Universaalsed- ümberhäälestatavad rakised. On täiendatud konstruktsiooniga universaalsed rakised, võimaldades vajadusel vahetada üksikuid seadeelemente (mis määravad detaili asendi rakises).

Universaalsed-, koostatavad ja lahtivõetavad rakised. Need rakised koostatakse suure täpsusega valmistatud normaliseeritud elementidest konkreetse detaili töötlemise operatsioonile. Peale kasutamist rakis lahutatakse uuesti elementideks. Komplektis olevate erineva konstruktsiooniga elementide arv on mitu tuhat, mis võimaldab üheaegselt koostada 15 kuni 30 erinevat rakist. Piltlikult kujutab see rakise süsteem nagu "Lego" süsteemi.

Spetsiaalsed rakised. Kitsa kasutualaga rakised, millised projekteeritakse ja valmistatakse teatud kindla ülesandeks täitmiseks.

Rakiste kasutamise ulatus sõltub tootmistüübist. Üksik- ja väikeseeriatootmises kasutatakse peamiselt universaalseid rakiseid. Seeriatootmise puhul - universaalseid-ümberhäälestatavaid ja koostatavaid ning lahtivõetavaid rakiseid. Seeriatootmises on rakiste osatähtsus suur. Peale eelnimetatute kasutatakse palju teatud operatsiooni teostamiseks selleks spetsiaalselt projekteeritud ja valmistatud erirakiseid.

Kompositsiooniliselt koosneb igasugune rakis:

- a) alusest e. korpusest,
- b) seade- ja paigalduselementidest,

- c) kinnitusmehhanismist.

Paljudel juhtudel on kinnitusmehhanism sisseehitatult rakise korpuses.

2.2. Mehaanilise töötlemise universaalrakised

Universaalrakistus leiab laialdast kasutamist kõigi põhiliste universaalsete metallilõikepinkide puhul. Selle abil on võimalik töödelda enamik masinaehituslikke detaile. Põhiliselt rahuldab see rakistus individuaal- ja väikeseeria tootmise nõudeid. Seeriatootmise puhul ei taga universaalrakistus tootmise vajalikku efektiivsust, kuna ei võimalda detaile töödelda häälestatud seadistuses. Selle osaliseks tagamiseks on paljud rakiseid tootvad firmad täiustanud universaalrakiste konstruktsioone selliselt, et muuta nad ka kasutatavateks seeriatootmise tingimustes. Seda tehakse eelkõige tooriku paigalduselementide vahetamise teel. Mehaanilisel töötlemisel võimaldab rakiste kasutamine järgmist:

- laiendada tööpinkide tehnoloogilisi võimalusi,
- lähetada toorikuid tööpinki ilma täiendava rihtimiseta, seega tagada paigalduse suurem täpsus ja võimalus kasutada häälestatud ülesseadet (pink);
- suurendada töötlemise täpsust,
- vähendada töötlemise abiaegu ja kergendada pingoperaatori tööd, võimaldades kasutada madalama kvalifikatsiooniga töötajaid.

Pöörlevaid rakiseid, nagu padrunid, tornid ja muud, kinnitatakse tööpingi spindli esiotsale. Esineb nelja erineva konstruktsiooniga tööpinkide spindli otsa kujundusi. Kaasaja tööpinkide spindlid omavad põhiliselt äärikuga otsikut, kuhu koonilise istamispinna ja poltidega kinnitatakse rakised.

2.3. Universaalrakistus trei- ja ümarlihvpinkidele

Nende pinkide universaalrakistus koosneb:

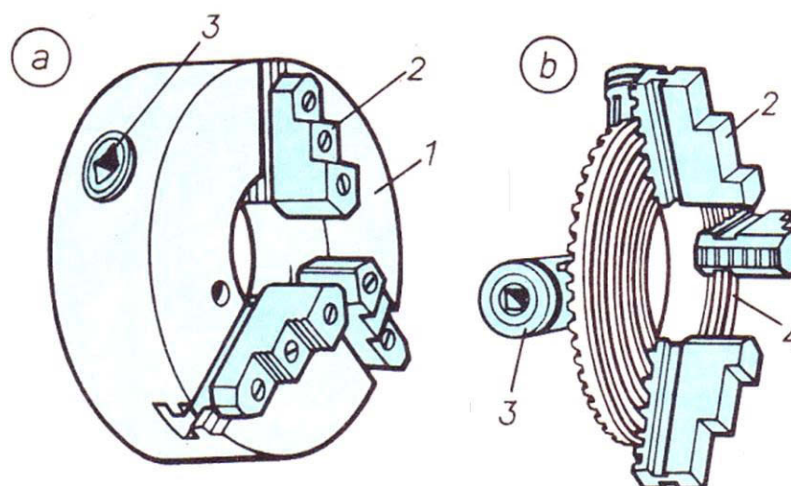
- **isetsentreerivatest padrunitest** - tükktoorikute kinnitamiseks. Detailidele: äärik, muhv, hammasratas, võllik jne;
- **piht e. tsangpadrunitest** - latt-toorikute kinnitamiseks, eelkõige revolverpinkides ja automaattööpinkides;
- **plaanseibpadrunid** - erikujuga tükktoorikute töötlemiseks rihtimisega paigaldamisel;
- **kaasavedavad padrunid;**
- **mitmesuguse konstruktsiooniga tsentritest**, mida kasutatakse pikkade ning väikese jäikusega detailide töötlemisel;
- **lünnettdest**, mis leiavad kasutamist täiendava toena pikkade toorikute töötlemisel.

Isetsentreerivad kinnituspadrunid

Neid padroneid kasutatakse lühikeste toorikute kinnitamiseks ja on praktikas kõige laiemalt levinud. Nad kindlustavad silindriliste toorikute jäiga kinnituse. Padrunid kinnitatakse tööpingi spindli otsale kas täiendava kinnitusääriku abil või otseselt padruni korpusest. Olenevalt kinnitusmehhanismist jagunevad padrunid käsi- ja mehaanilise kinnitusviisiga padruniteks.

Kinnituspakside arvult: 2-e, 3-e ja 4-pakilisteks. Esineb ka 5-e ja 6-e pakilisi padruneid. Isetsentreerivaid padruneid valmistatakse mõõtudes Ø 80 kuni 630 mm.

Enamlevinud isetsentreerivad padrunid on spiraal-hammaslatt käsimehhanismiga, lameda (archimedese) spiraaliga ja koonilise hammasülekandega spiraalkettal (joonis 2.3.1).



Joonis 2.3.1. Isetsentreeriv kolmepakiline padrun: a üldvaade, b padruni detailid; 1 kere, 2 pakid, 3 võtmeavaga koonushammasratas, 4 spiraalsoonega koonushammasratas

Pakid liiguvad sünkroonselt korpuse T-kujulistes radiaalsoontes spiraalketta pöörlemise teel kas padruni tsentri suunas või vastupidi. Sellega teostatakse tooriku tsentreerimine ja kinnitamine või vabastamine. Pöörleva liikumise saab ketas ühelt kolmest koonilisest hammasrattast. Spiraalketta teine pool on kujundatud koonilise hammasrattana [3].

Padrun varustatakse tavaliselt 2-e komplekti kinnituspaksidega: otsesed - ja pööratavad pakid, (joonis 2.3.2). Tervikpakid on otseses ühenduses pöörleva spiraalketta soontega (tüüp A). Kaheosalised pakid koosnevad aluspakist e. liugurist ja temale kruvidega kinnitatavast pööratavast kinnituspakist (tüüp B). Selline konstruktsiooni lahendus võimaldab kasutada piiramatul arvul erineva kujuga kinnituspakke, mis laiendab töödeldavate toorikute nomenklatuuri. Selline lahendus võimaldab efektiivsemalt kasutada ka nn. “pehmeid pakke” (HRC28...32). Töödeldes need pakid vahetult operatsioonis kinnitatava tooriku mõõtme järgi, suureneb paigalduse täpsus, mis on eriti tähtis puhastöötlemise operatsioonidel.

Tüüp A



Tüüp B



Joonis 2.3.2. Isetsentreerivate manuaalsetel kinnituspadrunitel normaalpakid [11]

Mehaanilise kinnituseadmega isetsentreerivad padrunid

Konstruksioonilt on taolised padrunid vahetatavate pakkidega, kiil- või kiil-kang mehhanismiga ja mitteuniversaalsed. Erineva diameetriga toorikute kinnitamiseks on vaja kinnituspakid aluspakil ümber asetada ja uuesti fikseerida. Need padrunid valmistatakse välisdiameetriga 80...630 mm. Padrun kinnitatakse treipingi spindlile kas otse või täiendava ääriku abil [3].

Kiilmehhanismiga padrunite eelisteks on:

- kompaktsus ja jäikus, sest padruni mehhanism koosneb ainult neljast liikuvast osast - liikuv muhv ja pakid;
- detailide suurem kulumiskindlus, seega ka täpsuse säilimine on tagatud pikema aja jooksul.

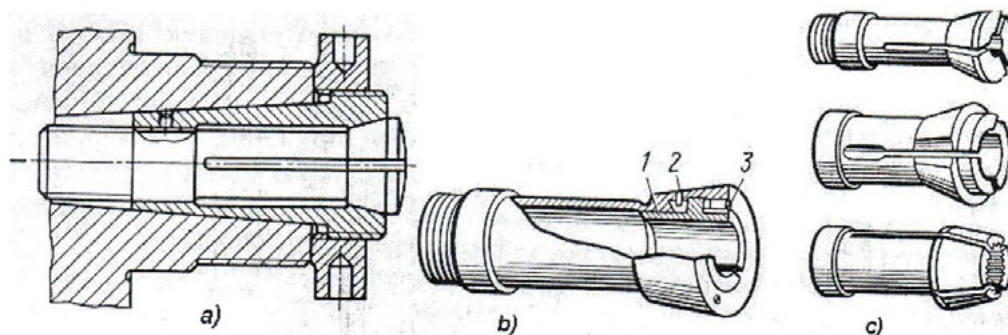
Puuduseks on see, et spindli avas asetsev jõumehhanismi varras ei võimalda kasutada töötlemisel latt-toorikuid. Samuti padruni vahetamine pingil on padruni ja kinnitusemehhanismi konstruktsiooni keerukuse tõttu aeganõudev.

Treipinkide kiil-kang konstruktsiooniga padrunid valmistatakse mõõtudes \varnothing 125 kuni 630 mm. Taoline padrun on mõeldud „äärik, hammasratas, muhv, telg” tüüpi detailide töötlemiseks.

Piht e. tsangpadrunid

Tsangpadrunid leiavad kasutamist põhiliselt varbmaterjali (lattmaterjali) töötlemisel revolverpinkides ja APJ pinkides. Tooriku kinnitus toimub mehaaniliselt, kas pneumo- või hüdro-mehhanismi abil. Padruni korpus on tavaliselt morse koonusega ja paigaldatakse tööspindli koonusavasse. Korpuses asetsev vahetatav kinnitustsang on avaga tõmbevarda kaudu ühendatud jõumehhanismiga.

Lihvpinkides ja konventsionaalsetes trei- ning freespinkides kasutatavad tsangpadrunid on ka käsikinnitusega. Üleminekul tooriku ühelt mõõdult teisele vahetub korpuses ka kinnitustsang. Tsangi koonuse nurk on 30° . Kinnitustsangide universaalsuse suurendamiseks kasutatakse tema konstruktsioonis vahetatavaid otsikuid. Tsangpadruni konstruktsioonilisi lahendusi esitab joonis 2.3.3.



Joonis 2.3.3 Tsangpadrunid. a) mehaanilise kinnitusega, b) vahetatavate otsikutega kinnitustsang: 1- vahetatav otsik, 2 - asendit orienteeruv sõrm, 3 - fikseeriv kruvi, c) terviktsangide tüübid.

Tsangid valmistatakse tööriistaterasest, õhukeseseinalised vedruterasest ning karastatakse: HRC30 - 35 sabaosa ja HRC45 - 60 kinnitusosa.

Plaanseib-padrunid

Põhiliselt valmistatakse 4-pakilisi plaanseib-padruneid mõtudes $\varnothing = 160 - 1000$ mm. Treipingi spindlile kinnitatakse plaanseib-padrunid kahel viisil:

- otse tööspindli äärikotsikule,
- täiendava vaheääriku abil.

Plaanseib-padrunid ei ole isetsentreerivad, pakkide liikumine on üksteisest sõltumatu. Asendamatud on need padrunid toorikute töötlemisel, mis vajavad paigaldamisel täiendavat rihtimist nagu keerulise konfiguratsiooniga ja ebasümmeetrilised detailid. Pakkide reguleerimine toimub käsitsi padrunivõtmega. Igat pakki saab eraldi reguleerida.



Joonis 2.3.4. 4-pakiline plaanseib-padrun [11]

Padrun koosneb valatud teras- või malmkorpusest. Kinnituspakid liiguvad korpuse T-kujulistes soontes trapetskeermega spindli abil. Kinnituspakid on kahte tüüpi:

- ümberpööratavad tervikpakid,
- 2-osalised pakid, koosnedes aluspakist (liugurist) ja sellele kruvidega kinnitatavast põhipakist.

Täiendavalt on padruni korpusesse töödeldud telgsuunalised T-kujulised sooned rakise kinnituspoltide tarvis. Kinnituspakkide eemaldamisel on võimalik nn. plaanseibile kinnitada erinevaid seadistusi erikujuga detailide töötlemiseks. Selleks kasutatakse korpuse ava seadistuse tsentreerimiseks ja teljesuunalisi sooni tema kinnitamiseks poltidega.

Mitmesuguse konstruktsiooniga tsentrid

Tsentreid kasutatakse võllitüüpi ja teiste detailide töötlemisel, millel on selleks spetsiaalselt töödeldud tsentriavad. Eesmine tsester baseerub töövõlli koonusavas ja pöörleb koos detailiga. Tagumine tsester asetseb tagapuki pinoolis ja töötab kui liugelaager suure erisurve ning kulumise olukorras. Konstruktsioonilt jagunevad tsentrid:

- terviktsentrid,
- pöörlevad tsentrid

Terviktsentreid kasutatakse treipinkidel eesmise tsentrina, ümarlihvpinkides ka tagumise tsentrina, ning on valmistatud karastuvast tööriista- või legerterasest. Sabaosa on morse koonusega, MK2, 3...6 või ka meeterkoonusega 80, 100 ja 120 [3].

Esi- e. tööosa, koonuse nurk $\alpha = 60^\circ$ või 75° ja on kõvadusega 58...62 HRC. Sabaosa kõvadus on 40...45 HRC. Terviktsentri tööosa suuremaks vastupidamiseks kulumisele valmistatakse ta kõvasulamist kõvadusega kuni HRC 70. Sabakoonuse ja töökoonuse konsentrilisuse lubatud hälve on 0,005 mm.

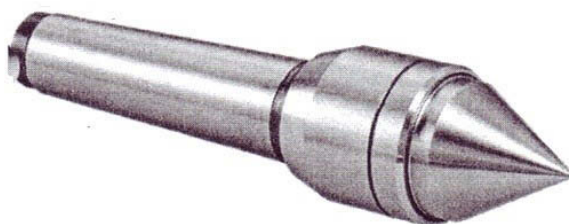


Joonis 2.3.5. Terviktsenter [11]

Pöörlevad tsentrid on põhilised tagumised tsentrid toorikute töötlemisel treipinkides. Need võimaldavad töödelda toorikuid suurtel kiirustel ja omavad küllaldast täpsust. Valmistamise täpsuse järgi jagunevad:

- normaaltäpsusega tsentrid,
- kõrgendatud täpsusega tsentrid.

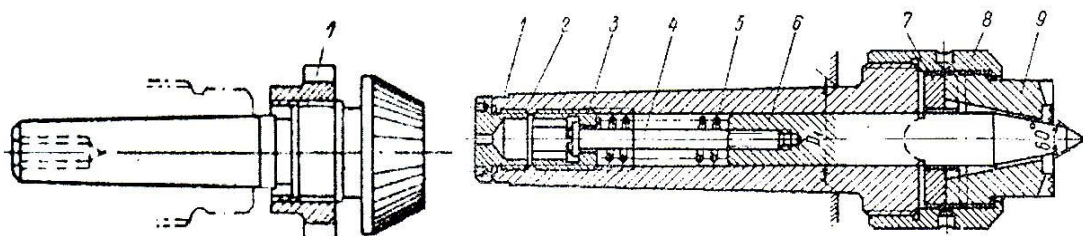
Lihvimistöodel, kus on nõutavad suured täpsused, kasutatakse kõrgendatud täpsusega pretsisioon pöörlevaid tsentreid [3].



Joonis 2.3.6. Pöörlev tsester [11]

Peale standardsete tsentrite kasutatakse mitmesuguse konstruktsiooniga eritsentreid. Kõige enamlevinumad on avaga detailide töötlemisel kasutatavad kaasavedavad seentsentrid ja kaasavedavad ujuvtsentrid (joonis 2.3.7)

Kaasavedava tsentri paigaldamisel treipingi spindli koonusavasse võimaldab puhastreimisel võllitüüpi detaile töödelda lõplikult ühe paigaldusega. Suurim efektiivsus saavutatakse sel puhul APJ treipinkides, kuna siis jääb ära teine paigaldus.



Joonis 2.3.7. Eritsentrid. a) Seentsenter, b) Ujuvtsenter

Kaasvedava seentsentri pea kooniline pind on rihveldatud (kolmnurk sooned) avaga tooriku kaasavedamiseks, ning pöörleva seentsentriga avaldatakse vajalik survejõud. Mutri 1 abil eemaldatakse kaasavedav tseenter pingi spindlist [3].

Kaasavedav ujuvtsenter koosneb: 1 - korpusest, 2 - keermega korgist, 3 - fikseerivast mutrist, 4 - keermega vardast, 5 - vedrust, 6 - ujuvtsentrist, 7 - vaheseibist, 8 - kinnitusmutrist ja 9 - teravasoonelise otspinnaga kaasavedajast, mis lõikub detaili otspinda. Survejõud rakendatakse pingi tseentpukis oleva pöörleva tsentriga kuni 200 dN.

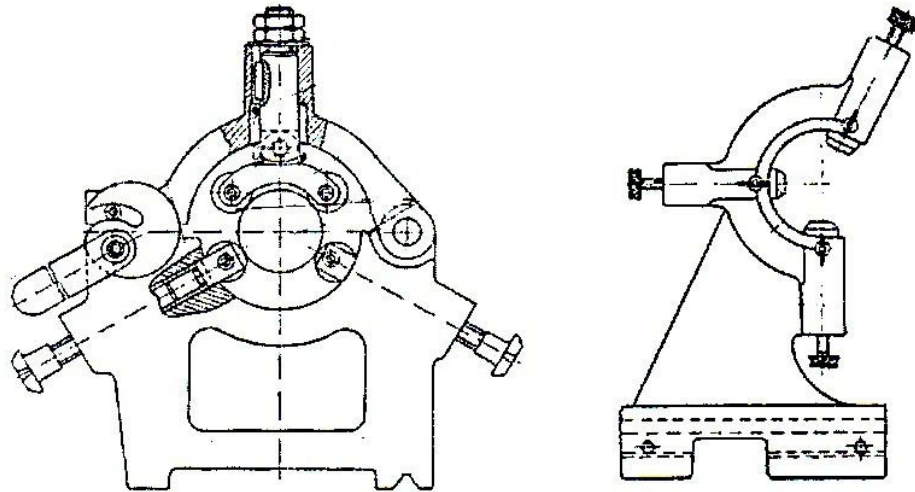
Et vähendada kasutatavate erivajadustega pöörlevate tsentrite nomenklatuuri on firmad valmistanud uue konstruktsiooniga tsentrid, kus detailiga kokkupuutes olevat otsikut saab vahetada.

Lünetid

Lünette kasutatakse täiendava toena pikkade, vähese jäikusega, võllide töötlemisel treipinkides. Selleks kasutatakse kahte tüüpi universaalseid lünette:

- a) **liikumatu lünett**, kinnitatuna jäigalt pingi sängile ja on orienteeritud sängi juhtpinnalt,
- b) **liikuv lünett**, mis kinnitatuna pikisupordile, liigub töötlemisel lõiketera taga kaasa.

Kaasaegne lünett on joonisel 2.3.8. Tema rakendamiseks tuleb eelnevalt, pika võlli toorikule selleks ettenähtud kohas, treida sile silindriline pind, millele asetuvad töötamisel lüneti toed [3].



Joonis 2.3.8. Lünett

2.4. Universaalrakistus freespinkidele

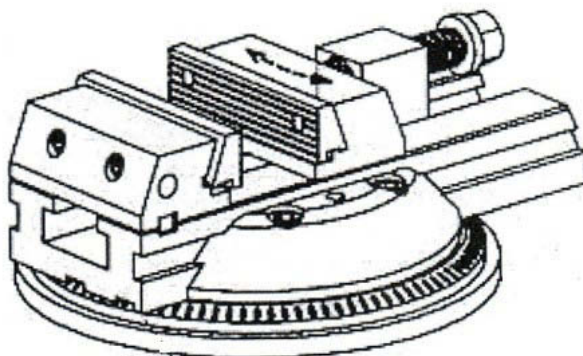
Freesimistöde universaalrakistus peab tagama toorikute kindla kinnituse ja täpse paigalduse võimalikult väikese ajakuluga. Need tingimused nõuavad kõrge täpsusega valmistatud rakistust ja võimalust koordineeritud asetuseks pingi töölauale lõikeriista suhtes.

Oma konstruktsioonilt ja kasutamise otstarbelt võib freespinkide rakiseid liigitada:

- a) universaalsed masinkruustangid,
- b) ümberhäälestatavad masinkruustangid,
- c) spetsiaalsed masinkruustangid,
- d) jagamismehhanismid.

Universaalsed masinkruustangid

Universaalsed masinkruustangid on kõige laialdasemalt kasutatavad kinnitusrakised väikese ja keskmise gabariidiga toorikute freesimistödel. Masinkruustangid koosnevad: korpusest koos seisva põsega, liikuvast põsest, põskedele kinnitatud pakkidest ja kinnitusmehhanismist. Pakid on vahetatavad. Korpus valmistatakse kas kõrgkvaliteedilisest malmist või terasest. Liikuva põse juhtpinnad on üldjuhul karastatud ja lihvitud. Valmistamise täpsuse järgi liigitatakse masinkruustange normaal- ja kõrge täpsusega e. täppiskruustangideks. Täpsust reglementeeritakse tööpindade paralleelsuse ja ristiseisude kaudu. Lihtsaid masinkruustange kujutab joonis 2.4.1. Universaalsed masinkruustangid koosnevad alusest ja sellele kinnitatavatest, ümber vertikaaltelje pööratavatest kruustangidest [1].

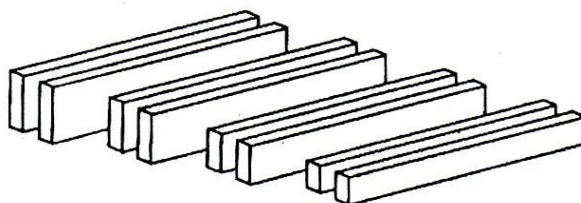


Joonis 2.4.1. Ümber vertikaaltelje pööratavad masinkruustangid

Kinnitusmehhanismi ehituselt jagunevad masinkruustangid:

- a) käsikinnitusega, põhiliselt väikegabariidilised kruustangid,
- b) pneumomehhanismiga kinnitus,
- c) hüdraulilise kinnitusmehhanismiga.

Kaasaegseid masinkruustange iseloomustab töötamise (kinnituse) kiirus, suur kinnitusjõud, jäikus ja kompaktsus. Paljude konstruktsioonide puhul, peale pakkide vahetamise võimaluse, on põskedele töödeldud paralleelsed T-kujuliste liistusoontega täpsed pinnad täiendava seadistuse paigaldamiseks. Universaalsete masinkruustangide pakid on valmistatud karastatavast terasest HRC 55...60. Standardsete pakkide tööpind on kas sile või sooneline, erikujuga pakkidel ka prismaatiline või astmeline tööpind. Tooriku paigaldamisel on vajalik, et töödeldav pind oleks kõrgemal kui on masinkruustangide kinnituspind. Seda võimaldavad täpsed karastatud ja lihvitud paralleel-alusplaadid. Plaadid on valmistatud legeeritud tööriistaterasest ja karastatud HRC58 [1].



Joonis 2.4.2. Paralleel-alusplaadid

Ümberhäälestatavad masinkruustangid

Seda tüüpi masinkruustangide ehitusele on iseloomulik täpselt töödeldud, lihvitud ja karastatud, põskede pinnad T kujuliste või prismaatiliste liistusoontega. See võimaldab kruustange kasutada rakise baaselemendina: korpus koos kinnitusmehhanismiga. Projekteeritud ja valmistatud erinevad seadistused kinnitatakse kruustangide põskedele ja saadakse rakis konkreetse tooriku töötlemiseks. Kinnitusmehhanism on mehaaniline: hüdrauliline- või pneumoajam. Põhiline kasutusala on APJ tööpinkidel. Korpuse aluspinnal asetsevad täpselt töödeldud liistusooned töölauale paigaldamiseks. Vahetatavaid pakke valmistatakse nii karastatuid, kui ka karastamata, nn „pehmeid”.

Spetsiaalsed masinkruustangid

Spetsiaalsed masinkruustangid on oma konstruktsioonilt mitmesuguste täiendustega, mis laiendavad töötlemise võimalusi või on ettenähtud teatud tüüpi detailidele.

Olenevalt kinnitatava detaili kujust ja ettenähtud töötlemisprotsessi tehnoloogilistest ettekirjutustest kasutatakse näiteks spetsiaalseid pneumokinnitusega masinkruustange silindriliste detailide kinnitamiseks. Sarnaseid masinkruustange kasutatakse võllidele liistusoonte freesimisel kuna tagavad täpsema paigaldusega liistusoone samateljelisuse võlli kaela suhtes. Sageli on masinkruustange võimalik kinnitada tööpingile kahes asendis, mis võimaldab töötlemist horisontaalse või vertikaalse tööriistaga. Joonisel 2.4.3 on näidatud spetsiaalalusele kinnitatud masinkruustangid, mis on pööratavad kolmes tasapinnas. Need kruustangid annavad laialdase võimaluse töödelda toorikutel pindasid, mis on tasapinna suhtes erinevate nurkade võrra pööratud [1].



Joonis 2.4.3. Kolmes tasapinnas pööratavad spetsiaalkruustangid [12]

Jagamismehhanismid

Jagamismehhanisme kasutatakse freesimistöodel laialdaselt, kuna võimaldavad ühes kinnituses ja operatsioonis töödelda nurga võrra pööratud pindu. Töötlemises kasutatavate jagamismehhanismiga rakiste konstruktsioon on erinev. Kõik nad aga koosnevad ühistest põhiosadest: korpusest, pööratavast sõlmest, jagamismehhanismist ja kinnitusemehhanismist. Universaalsed jagamiskruustangid varustatuna jaotusketastega ja vahetatavate hammasrataste komplektiga võimaldavad töödelda toorikutele täpse jaotusega hammaspindu, profiilseid keermeid ja erineva konfiguratsiooniga detaile.

Kasutamise funktsioonilt jagamismehhanismiga rakised jagunevad kahte rühma: **jagamislaud** ja **jagamispead**. Töödeldavate detailide kinnitus neil on erinev. Jagamispeadesse kinnitatakse töödeldav detail harilikult tsentrite vahele, ka isetsentreerivasse padrunit, tsangi ja teistesse tsentreerivatesse rakistesse, mis paigaldub spindlivõlli otsikule. Jagamislaudadel kinnitatakse töödeldav detail pööratavale alusele põhiliselt täiendava seadistuse abil. Kasutatakse ka isetsentreerivat padrunit asetusega pöörlemisteljel [1].

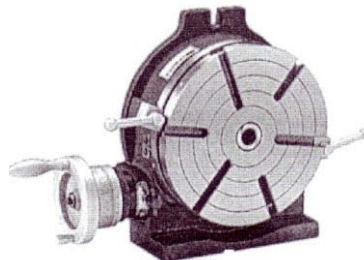
Jagamispead ja -laud valmistatakse nii horisontaalse kui ka vertikaalse spindlivõlliga. Töödeldava detaili pööramine ja fikseerimine toimub jagamispeades ja laudadel käsitsi. Joonisel 2.4.4 on toodud lihtsa jagamislauda konstruktsioon. Vahetatav puksidega jaotusketas on lahutatud töölaust, mille tulemusena saab teostada ringjoone jaotuse soovitud osadeks. Töölauale kinnitatakse detaili töötlemiseks vajalik seadistus, mille vahetamine ei ole keeruline.



Joonis 2.4.4. Jagamislaud [12]

Täpsema jaotusega jagamise tagavad pöördlaudad, millede töölaua pööramine toimub mehaaniliselt tiguajamiga, ning pöördnurga kraadijaotus on täiendatud tiguvõllil limbiga. Pöördlaud koosneb korpusest ja teovõlliga käepideme abil pööratavast töölauast (plaanseibist). Töölaua asend fikseeritakse korpusel asuva lukustuskäepidemega. Plaanseibile on töödeldud T-kujulised kinnitussooned töödeldavate detailide ülesseade rakistuse kinnitamiseks. Keskel on tsentraalne ava koos koonusavaga MK3 või 4 tornrakistele. Ekstsentrihülsiga reguleeritakse teoajami lõtku ja ka teovõlli ajamist lahtiühendamist. Käepidemega fikseeritakse hülsi asend. Universaalsele pöördlauale on võimalik pöörlev liikumine anda freespingi töölaua käigukruvilt mehaanilise ülekande kaudu [1].

Töölaua üheaegse pikiettenihke ja pöördlaua pöörlemise puhul saab freesida kõverjoonelisi pindasid ning sooni. Kui töötlemiseks on vaja ainult pöörlevat liikumist tuleb töölaua käigukruvi mutter lahti ühendada. Joonisel 2.4.5 on näidatud 2-e tasapinnaline universaalne mehaaniline täppispöördlaud.



Joonis 2.4.5. Universaalne mehaaniline täppispöördlaud

Freesimistöodel vertikaal- ja horisontaalfreespinkides kasutatavad jagamispead jagunevad konstruktiivselt ehituselt:

- lihtjagamispead,
- pooluniversaalsed
- universaalsed jagamispead.

Lihtjagamispead võimaldavad ainult ringjoone kordset jaotust. Nad on põhiliselt horisontaalse pöörlemisteljega ja toorik kinnitatakse kas isetsentreerivasse padrunisse, tsangiga või pikad toorikud tsentrite vahele. Valatud korpus on töödeldud, omab aluse keskjoonel liistusoonet paigalduse elementidele, mis tagavad jagamispea täpse asetuse pingi töölaual.

Pooluniversaalsed- ja universaalsed jagamispead võimaldavad ringjoone jagamist mistahes suurustega osadeks. Nad on varustatud mehaanilise pöörlemismehhanismiga ja täiendava jagamissüsteemiga. Korpus on aluse suhtes pööratav. Jagamise pöördmehhanismi ülekande suhe on 40 :1 või 90 :1 [1].

Universaalne jagamispea omab täiendava diferentsiaalülekanedega jagamise võimalust.



Joonis 2.4.6. Universaalne jagamispea [12]

Täpsemad andmed mitmesuguste rakiste ehitusest ja kasutamispõhimõtetest on esitatud TTKK õppejõu H. Buschmann'i koostatud õpikus "Universaalsed rakised metallilõikepinkidele". Puur-, trei-, frees- ja APJ pinkidel kasutatavate rakiste põhimõtteline kirjeldus ja kasutamine on toodud vastavate metallilõikepinkide käsitlemise peatükkides.

Enesekontrolliküsimused

1. Milleks kasutatakse täppispöördlauda?
2. Milliseid masinkruustangide tüüpe oskate nimetada?
3. Millal kasutada toorikute kinnitamiseks kolmepakilist ja millal neljapakilist padrunit?
4. Milliseid tsentreid on olemas ja millistes tingimustes neid kasutatakse?
5. Loetlege erinevat tüüpe pakke padrunitele.
6. Milleks kasutatakse lünetti?
7. Mida kujutab endast tsangpadrun?

3. Mehaanilise töötlemise tehnoloogiad

3.1. Treimine

3.1.1. Treipinkide kasutamine tööstuses

Treipinke kasutatakse tänapäeval valdavalt pöördkehade töötlemiseks. Uutel APJ treipinkidel on lisavõimalused töödelda lisaks pöördpindadele ka mittepöördpindasid nagu näiteks sooned, mitte tsentris paiknevad avad jm. Olenevalt töödeldavate detailide keerukusest töödeldakse neid ka sobivatel pinkidel – lihtsamaid detaile lihtsamatel pinkidel ja keerukama kujuga detaile pinkidel, millel on juba lisavõimalused. Lähtutakse sellest, et detail tuleb valmistada võimalikult väheste paigaldustega, soovitatavalt ainult ühega.

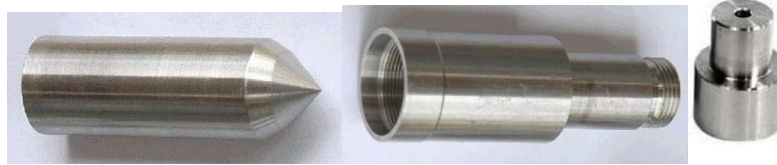


Joonis 3.1.1.1. Konventsionaalne treipink [12]

3.1.2. Lõikeriistad, nende ehitus ja lõikeosa materjalid

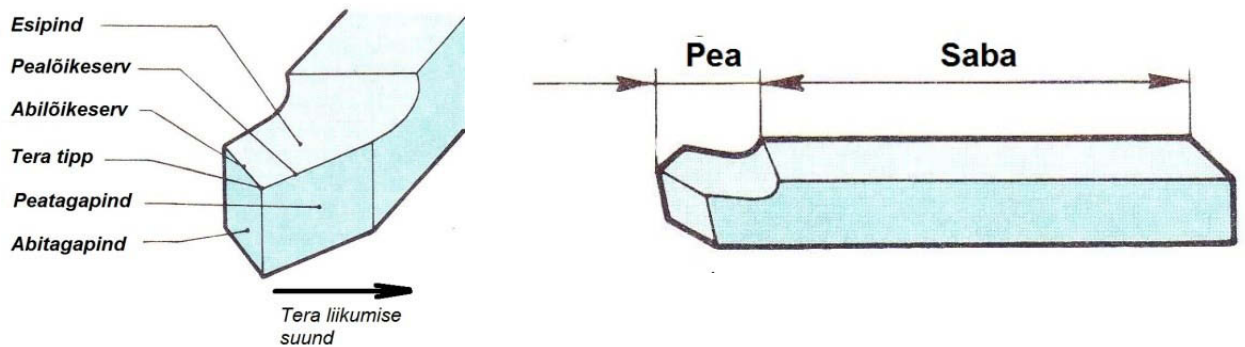
Treimistöodel kasutatakse peamiselt treiteri, puure ja keermepuure. Harvematel juhtudel hõõritsaid, avardeid jt. lõikeriistu.

Treiterad on enimkasutatud lõikeriistad treipinkides. Neid kasutatakse nii metallide kui ka mittemetallide lõiketöötlemisel. Treiterasid on väga mitmesuguseks otstarbeks – silindriliste ja otpindade treimiseks, soonte ja kujupindade treimiseks, keermete töötlemiseks jm (joonis 3.1.2.1).



Joonis 3.1.2.1. Erinevad treititud detailid

Väga laiaast töödeldavate materjalide hulgast tingitult on ka treiterade enda materjalidel suur tähtsus. Tänapäeval kasutatakse vahetatavate terikplaatidega terasid. See võimaldab oluliselt tõsta detailide valmistamise tootlikkust. Klassikaline treitera (joonis 3.1.2.2) koosneb kahest osast: sabast mille abil tera kinnitatakse terahoidikusse ja peast ehk tööosast [3].



Joonis 3.1.2.2. Treitera ehituse elemendid

Treitera peas eristatakse järgmisi elemente:

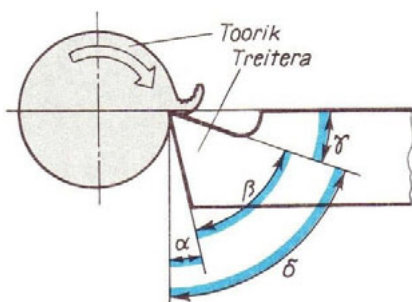
esipind- pind, mida mööda libiseb laast;

tagapind (pea- ja abitagapind) - need on orienteeritud töödeldava tooriku poole;

lõikeserv (pea- ja abilõikeserv) - pealõikeserv moodustub esi- ja peatagapinna lõikejoonel, abilõikeserv aga esi- ja abitagapinna lõikejoonel;

teriku tipp moodustub pea- ja abilõikeserva lõikumiskohas. Teriku tipp võib olla terav, ümardatud või faasiga.

Lõiketera vajaliku lõikevõime, detaili töötluse täpsuse ja pinna kvaliteedi saavutamiseks tuleb valida õiged teriku kujundusnurgad.



α - taganurk,

β - teravnemisnurk,

γ - esinurk,

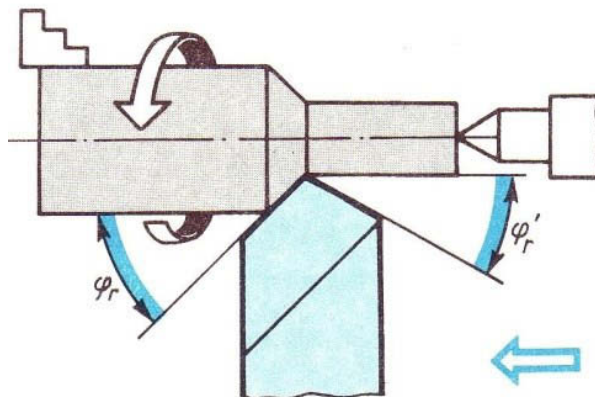
δ - lõikeserva kaldenurk.

Joonis 3.1.2.3. Treitera kujundusnurgad

Peale selle määratakse veel (joonis 3.1.2.4):

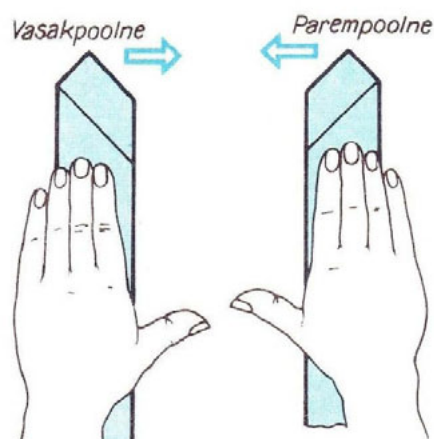
lõikeservanurk - φ_r ja

abilõikeservanurk - φ'_r .



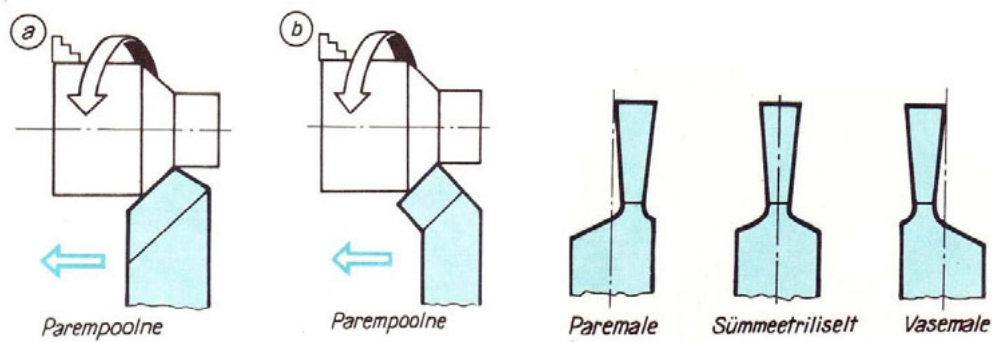
Joonis 3.1.2.4. Treitera lõikeservade nurgad

Treiterad võivad olla mitmesuguse ehitusega. Sõltuvalt ettenihke suunast eristatakse **parem-** ja **vasakpoolseid** treiteri (joonis 3.1.2.5). Parempoolse teraga treitakse paremalt vasakule, so tsentripuki poolt spindlikasti suunas, vasakpoolsega vastupidi. Tänapäeval aga ei saa enam ainult lõikamise suuna järgi seda arvestada. Arvjuhtimisega pinkidel on võimalik terasid mitmel viisil kinnitada ning sellest tingitult määratakse tera käeliskus konkreetsest terast lähtudes, mitte aga lõikamise suunast pingis. Pannes käe terale peale, siis näitab põial lõikamise suunda [3].



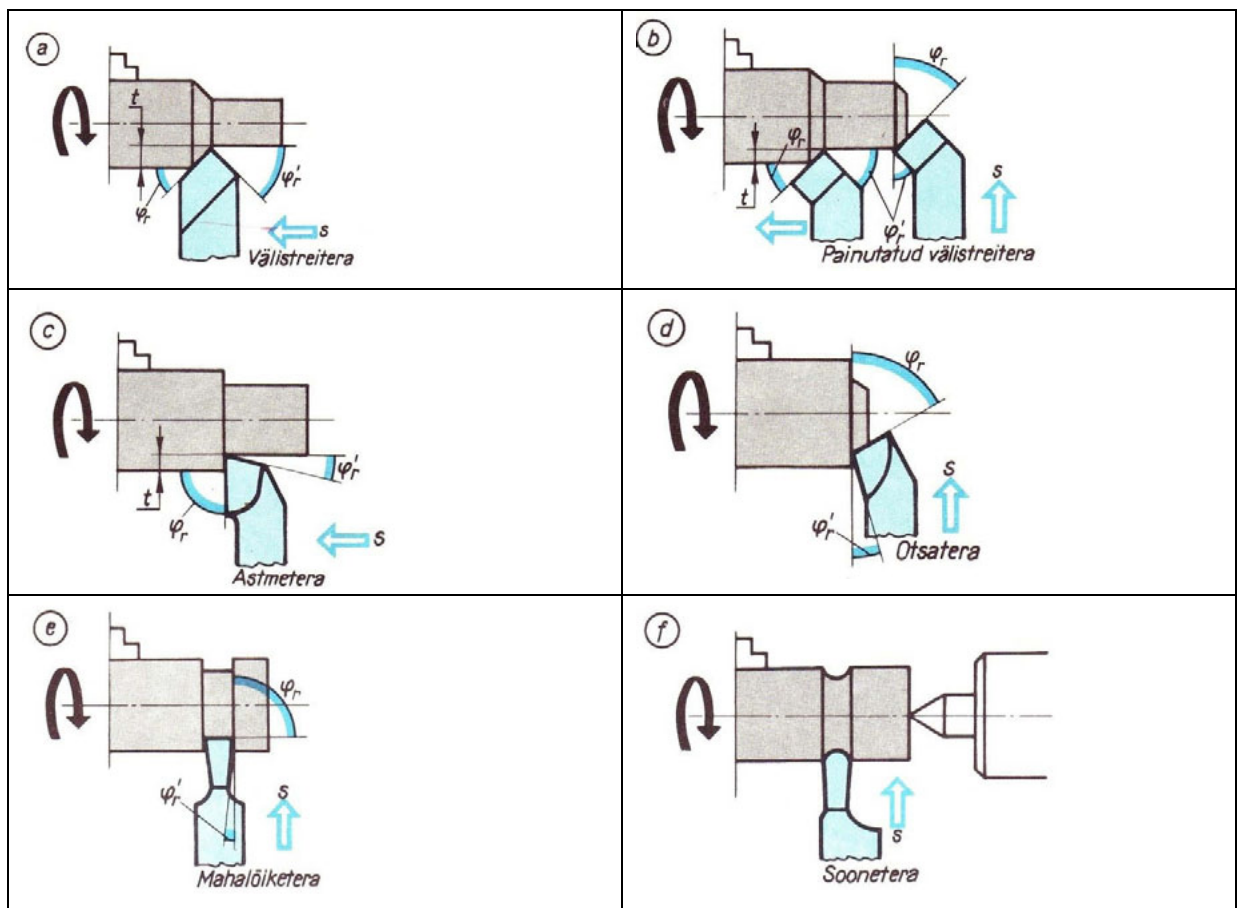
Joonis 3.1.2.5. Treiterade nimetused ettenihke suuna järgi

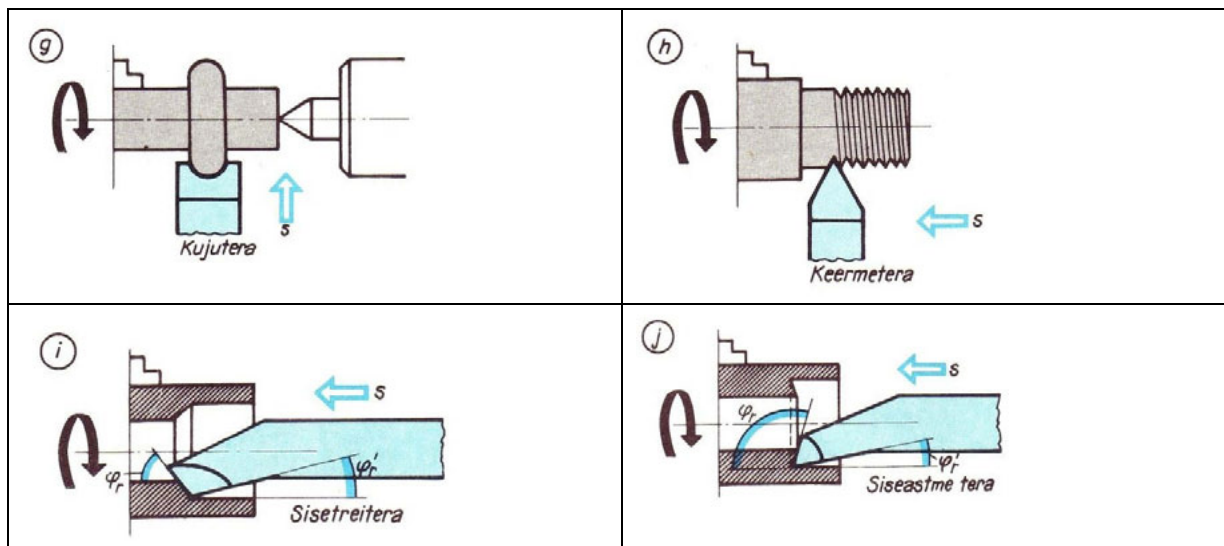
Pea kuju järgi eristatakse **sirgeid, painutatud või venitatud** treiteri (joonis 3.1.2.6).



Joonis 3.1.2.6. Treitera pea kuju: a) sirge, b) painutatud, c) venitatud

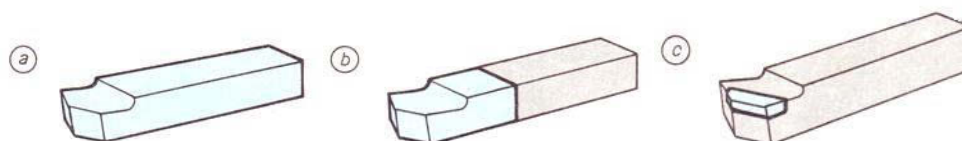
Otstarbe järgi eristatakse **pinnaltreimise, astme-, soone-, kuju- ja keermetreiterasid**. Kõik nad võivad olla nii sise- kui välistreimiskujunduses. Veel võib eristada **otsa- ja mahalõiketreiterasid**. Lisaks sellele liigitatakse treiteri veel **must- ja puhastöötlasteradeks**. Esimesi kasutatakse eel- ehk koorivtöötlemiseks, teisi lõpp ehk puhastöötlemiseks [3].





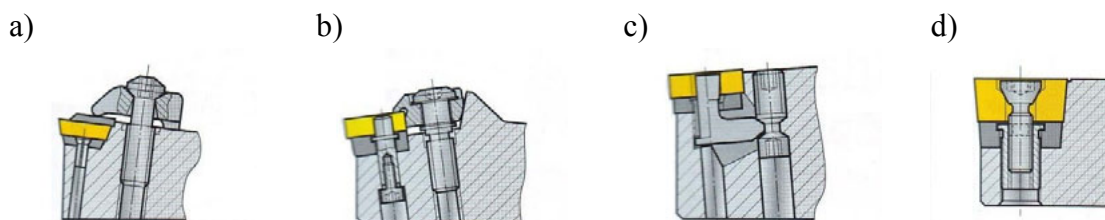
Joonis 3.1.2.7. Treiterade liigid otstarbe järgi: a) välistreitera, b) painutatud välistreitera, c) astmetera, d) otsatera, e) mahalõiketera, f) soonetera, g) kujutera, h) keermetera, i) sisetreitera, j) siseastmetera

Konstruksioonilt võivad treiterad olla **tervikterad** või koostatavad terad. Esimesed valmistatakse tervikuna ühest ja samast materjalist. Koostatavatel teradel valmistatakse terakeha konstruktsiooniterasest, terik aga tööriistamaterjalist. Terik keevitatakse või joodetakse terakeha külge. Võidakse kasutada ka mehaanilist kinnitust [3].



Joonis 3.1.2.8. Tervik- ja koostatavad treiterad: a) terviktera, b) keevitatud peaga, c) joodetud plaadiga, d) mehaaniliselt kinnitatud plaadiga treitera

Tänapäeval kasutatakse palju terikplaatide mehaanilist kinnitust [15].



Joonis 3.1.2.9. Mehaaniline kinnitus. a) pealt, b) pealt ja avast, c) avast, d) peitpeakruviga kinnitatud avast

Treitera materjal

Terik peab olema kõva, soojuspüsiv (s.t. säilitama kuumenemisel kõvaduse), kulumiskindel (vastu pidama hõõrdumisele) ja sitke (taluma löökkoormust). Lõikeriistade

valmistamiseks kasutatakse rohkesti kiirlõiketerast (HSS). Suurel lõikekiirusel töötava treitera terik valmistatakse karbiidkermistest. Terik moodustub sobiva kujuga plaadist, mis kinnitatakse treitera esipinnale. Kermiste soojuspüsivus ulatub 1000 °C-ni. Malmi ja värvilist metalli töödeldes kasutatakse teriku plaate, mis on valmistatud volframi ja koobalti baasil [3].

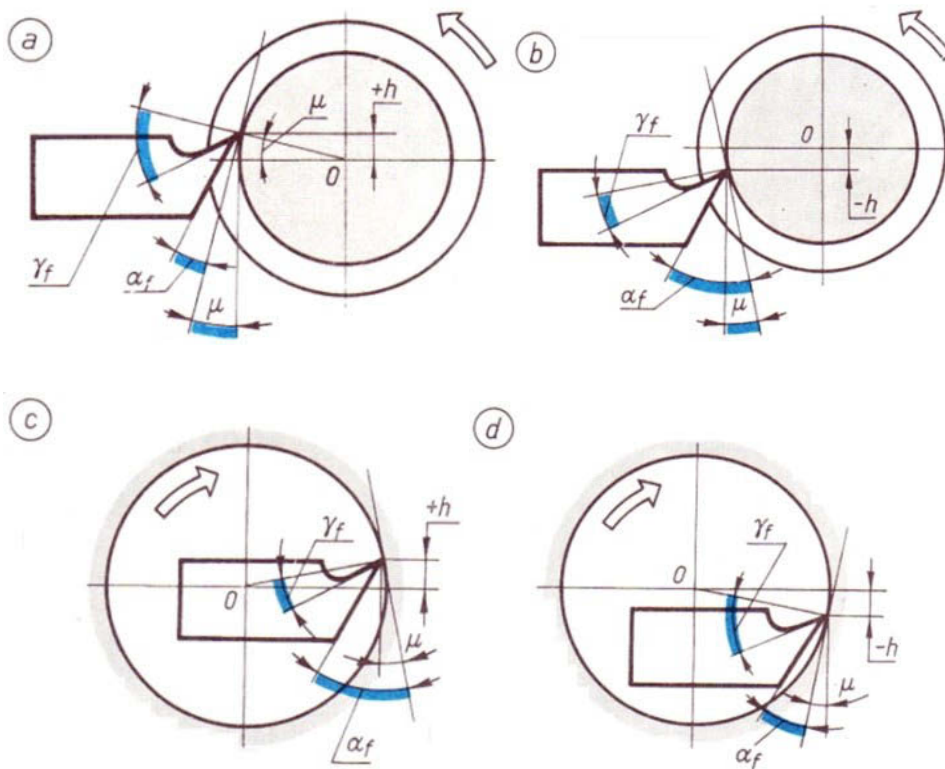
Treitera peanurkade sõltuvus tera paigaldusest treipingi tsentrite telje suhtes

Nurgad α ja γ ei sõltu ainult teritamiseast, vaid ka tera asendist treipingi tsentrite telje suhtes. Kui tera paikneb tsentri teljest kõrgemal, pöörduv lõikeservatasand kui lõiketaseandi puutuja nurga μ võrra (joonis 3.1.2.10) [3].

LT lõiketaseand

$$\sin \mu = \frac{h}{D/2} = 2h/D, \quad (3.1.1)$$

kus μ – esinurk,
 h – teratipu kõrgus detaili tsentrist,
 D – diameeter.



Joonis 3.1.2.10. Nurkade α ja γ muutumine, kui treitera ei ole paigaldatud tsentrite kõrgusele. Tera asend välistreimisel: a) tsentriteljest kõrgemal, b) tsentriteljest madalamal; sisetreimisel: c) tsentriteljest kõrgemal, d) tsentriteljest madalamal

Välistöötlemise korral on löikeservatasandi pöördumise tõttu tegelik taganurk α_l nurga μ võrra vastavast teritusnurgast väiksem. Samal ajal on aga tegelik esinurk γ , suurem nurga μ võrra (joonis 3.1.2.10. a):

$$\alpha_f = \alpha - \mu; \quad \gamma_f = \gamma + \mu. \quad (3.1.2)$$

Kui treitera paigaldada tsentriteljest allapoole, siis taganurk suureneb ja esinurk väheneb (joonis 3. 1.2.10.b):

$$\alpha_f = \alpha + \mu; \quad \gamma_f = \gamma - \mu. \quad (3.1.3)$$

Praktiliselt on lubatud välistreimisel paigaldada treitera tsentriteljest kõrgemale suuruse $h = 0,02D$ võrra, sest löikejõud surub tera mõningal määral alla ning löikeserv asetub tsentri telje kõrgusele. Ka sisetreimisel muutuvad nurgad α ja γ vastavalt treitera asendile, kuid vastupidises suunas (joonis 3.1.2.10.c ja d) [3].

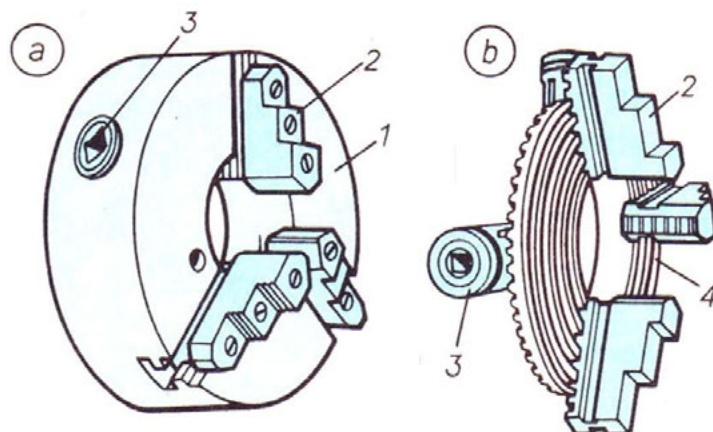
Treitera kulumine, teritamine ja kasutamishõõrded

Treimisel hõõrdub tera esipind vastu laastu ja tagapind vastu toorikut, mistõttu terik kulub. Kulunud treiteraga edasi töötada ei tohi, sest alaneb tööviljakus, väheneb töötlemistäpsus ja halveneb pinna kvaliteet. Nürinenud tera tuleb võimaluse korral teritada. Treitera teritatakse terituspingil või käial. Vahetatavate terikplaatidega terade korral vahetatakse terikplaat uue vastu. Vana utiliseeritakse [3].

3.1.3. Tooriku paigaldamine kolmepakilistesse treipadrunitesse

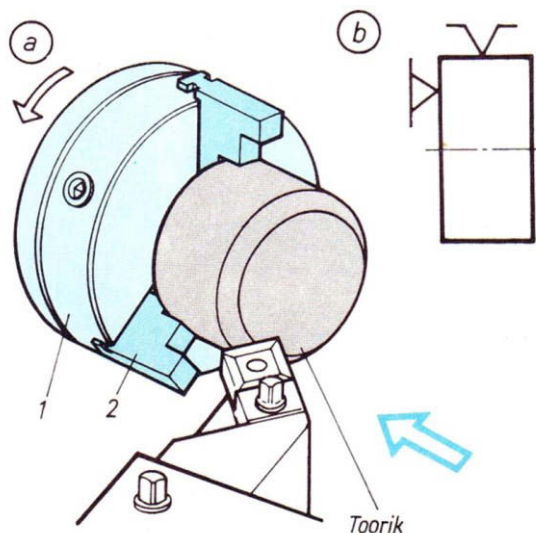
Lühikesed toorikud kinnitatakse treipadrunitesse. On olemas isetsentreerivad kolmepakilised ja mittetsentreerivad neljapakilised padrunid ehk lihtpadrunid.

Universaalsel kolmepakilisel isetsentreerival treipadrunitel on kolm pakki, mis liiguvad keskme poole või eemalduvad sellest üheaegselt (joonis 3.1.3.1)



Joonis 3.1.3.1. Isetsentreeriv kolmepakiline padrun: a üldvaade, b padruni detailid; 1 kere, 2 pakid, 3 võtmeavaga koonushammasratas, 4 spiraalsoonega koonushammasratas

Pakid tsentreerivad tooriku täpselt (tooriku ja spindli teljed ühtivad). Isetsentreeriva padruni pakid kuuluvad ebaühtlaselt. Seepärast tuleb neid perioodiliselt üle treida või lihvida. Treiali töökohal peab alati olema kaks kolmepakilist padrunit - üks musttöötlemiseks (koorimiseks) ja teine puhastöötlemiseks. Viimase padruni pakid ei ole karastatud. Enne täpsete detailide partii treimisele asumist treitakse mittekarastatud pakid läbimõõtu, mis vastab kinnitatava pinna läbimõõdule. Suure läbimõõduga toorikud kinnitatakse ümberpööratud pakkidega.

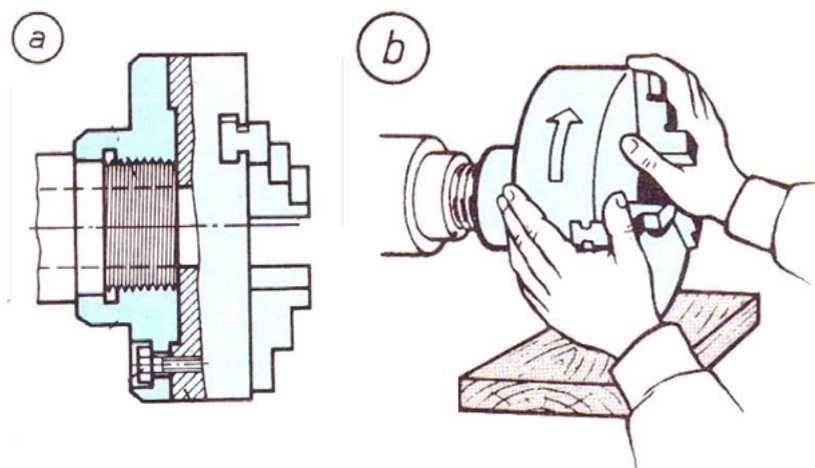


Joonis 3.1.3.2. Tooriku kinnitamine padruni ümberpööratud pakkidesse a), tingtähistus b): 1 padruni kere, 2 pakk

Sellisel kinnitamisel toetavad pakkide nukid toorikut. Joonis 3.1.3.2.a kujutab tooriku kinnitamist ümberpööratud pakkidega, joonisel 3.1.3.2.b on tooriku padrunisse kinnitamise tingtähistus vastavalt tehnoloogiadokumentatsiooni ühtsussüsteemile [3]. Padruni kere uurdeil ja pakkidel on numbrid 1, 2 ja 3 või vastav hulk kärnijälgi. Padruni koostamisel tuleb pakid asetada uurdeisse numbrite või vastavate kärnijälgede järjekorras. Selle nõude mittetäitmisel koostatakse treipingi padrun valesti ning ei ole enam võimalik tooriku või detaili õige kinnitamine spindli ja padruni telgjoone tsentrisse.

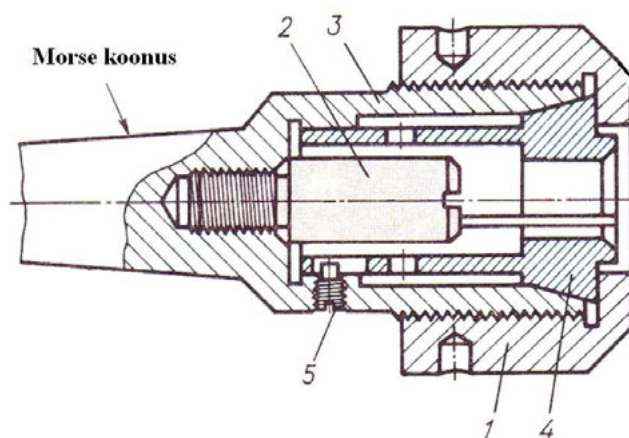
Padrunit ei tohi peale ega maha keerata, kui spindli käik on sisse lülitatud. Padruni peale- ja mahakeeramisel asetatakse selle alla niisuguse kõrgusega puitpruss, et padruni ava ja spindli keere oleksid kohakuti. Enne padruni spindlile keeramist tuleb spindli keere puhastada ja õlitada. Padruni keere tuleb puhastada [3].

Mõnedel treipinkidel tsentreeritakse padruni plaanseib spindli välimise koonuse järgi ja tõmmatakse ääriku otsa vastu nelja kruvi ja mutriga. Padruni kinnitamine äärikuga annab suure tsentreerimistäpsuse ja väldib lahtikeerdumist. Tooriku padrunisse kinnitamisel ei tohi kasutada võtme pidemete pikendeid. Toorik kinnitatakse või vabastatakse võtme pööramisega. Seejuures tuleb võtit hoida korralikult kahe käega pidemeotstest. Võtit ei tohi jätta padrunisse, sest see võib põhjustada õnnetuse. Treipadrun tuleb aeg-ajalt lahti võtta, puhastada ja õlitada. Enne padruni riistakappi panekut tuleb pakid keskele kokku keerata ja ava katta vahtplastist korgi või kaltsuga.



Joonis 3.1.3.3. Treipadruni kinnitamine keermele; a) kinnitamise skeem, b) padruni pealekeeramine;

Isetsentreerivat tsangpadrunit (pihtpadrunit) (joonis 3.1.3.4) kasutatakse töödeldud välispinnaga toorikute kinnitamiseks. Survemuhvi 1 keeramisel padruni kere 3 silindrilisele osale surutakse tsang 4 (karastatud terasest õhukese seinaga lõhispuks) kokku, sest tema väliskoonus läheb padruni kere sisekoonusesse. Nii surutakse tsangi sisepind vastu toorikut ja viimane kinnitubki padrunisse [3].



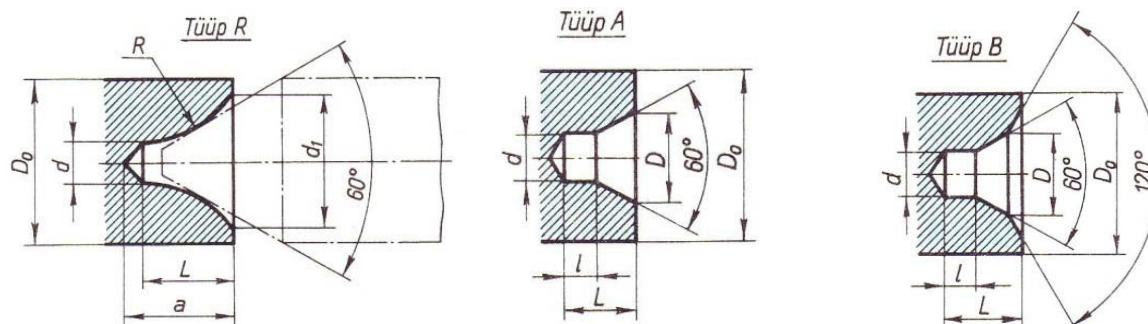
Joonis 3.1.3.4. Tsangpadrun: 1 survemuhv, 2 reguleeritav tugi, 3 kere, 4 tsang, 5 kruvi

Kui toorik pärast kolmepakilisse või tsangpadrunisse kinnitamist viskub, siis tuleb teda pöörata ja uuesti kinnitada. Pärast viskumise kõrvaldamist kinnitatakse toorik lõplikult [3].

3.1.4. Tooriku paigaldamine tsentritesse

Võllitüüpi toorikud, mille pikkus on üle viie korra suurem kui läbimõõt, kinnitatakse treimiseks tsentrite vahele. Kõigepealt puuritakse tooriku otstesse koonilised süvendid - tsentriavad, mille kaudu toorik toetub tsentritele. Esitsenter kinnitatakse spindlisse, tagatsenter aga tsentripuki pinooli. Esitsenter pöörleb koos toorikuga, tagatsenter on liikumatu. Seetõttu tekib tooriku ja tagatsentri vahel hõõrdumine. Selle vähendamiseks pannakse tooriku tagumise tsentriava põhja plastset määret (tehniline vaseliin), mis

kuumenedes vedeldub ja määrib tsentri koonust. Tsentriavad on standardiseeritud. Põhilised nendest on alloleval joonisel 3.1.4.1.

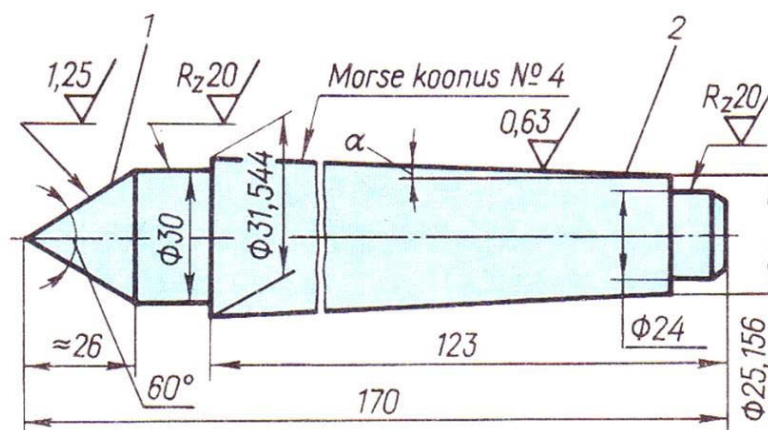


Joonis 3.1.4.1. Tsentriavad: tüüp A, tüüp B, tüüp R

- **A- tüüpi** tsentriavasid kasutatakse siis, kui pärast tooriku treimist vajadus tsentriava järele puudub.
- **B- tüüpi** tsentriavasid siis, kui neid kasutatakse ka tooriku edasisel töötlemisel.
- **R- tüüpi** tsentriavasid aga täpsete detailide töötlemisel.

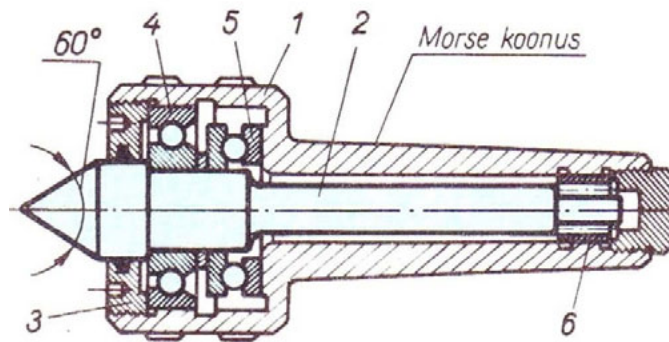
Selliste tsentriavade korral on tooriku ja tsentri pinnad kindlas ringkontaktis ka teatud nurgiasetuse puhul [3].

Liht- ehk jäigal tsentril (joonis 3.1.4.2) on 60-kraadine töökoonus 1 (rasketel pinkidel on koonuse tipunurk 70° või 90°) ja saba 2, millele antakse standardse koonuse kuju - tavaliselt Morse koonus nr. 2, 3, 4, 5, 6 [3].



Joonis 3.1.4.2. Jäik tsester: 1 töökoonus, 2 saba

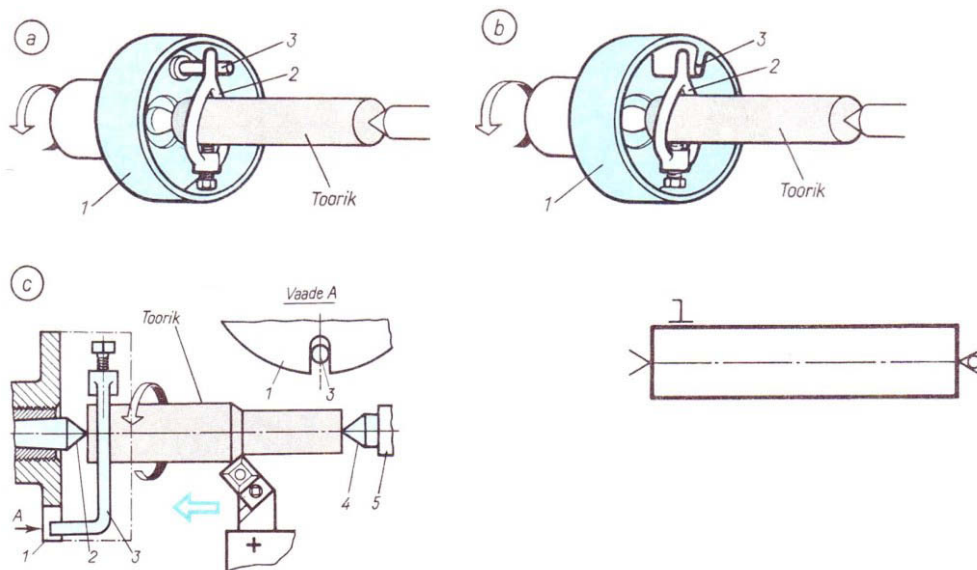
Lihttsentrit kasutatakse spindli võrdlemisi väikesel pöörlemissagedusel (kuni 150 min⁻¹). Suurel pöörlemissagedusel tuleb kasutada *pöörlevat tsentrit*, mille spindel toetub veerelaagritele. Alloleval on kujutatud kergetel töödel kasutatav pöörlev tsester.



Joonis 3.1.4.3. Väikestel (kuni 2 kN) radiaalkoormustel kasutatav pöörlev tsepter: 1 kere koos sabaga, 2 tsepter, 3 kaas, 4 radiaallaager, 5 tugilaager, 6 nõellaager

Telgkoormuse võtavad vastu tugilaager 5 ja tagumine nõellaager 6, radiaalkoormuse aga radiaallaager 4. Kaas 3 kruvitakse tsentri kereesse 1 ja see toetub vastu radiaallaagri välisrõnga otspinda. Nii on võimalik reguleerida lõtku. Kaane vilttihend kaitseb laagrit mustumise eest ega lase mäardel välja tulla [3].

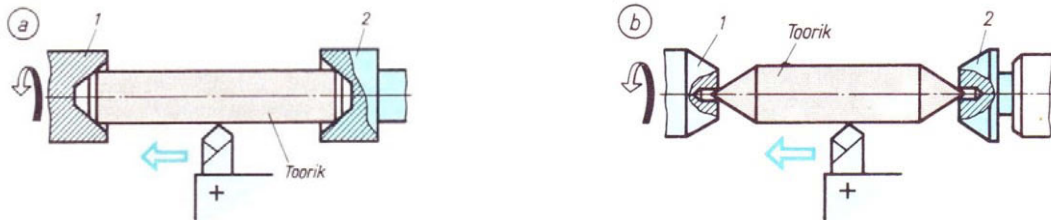
Tsentritesse paigutatud tooriku pöörlemapanekuks kasutatakse mitmesuguseid kaasaveoseadmeid. Lihtsaim neist on kaasaveduk (joonis 3.1.4.4). Spindli pöörlemisel haarab plaanseibile 1 kinnitatud kaasaveosõrm 3 kaasaveduki 2 ja paneb koos sellega pöörlema tsentritesse kinnitatud tooriku. Kaasaveduki saba painutatud ots ulatub plaanseibi radiaalsesse soonde. Kaasavedukiga töötlemine on ohtlik, sest tema saba võib töölise riiete taha jääda. Seepärast kasutatakse tööohutuse tagamiseks kaitsekestaga plaanseibe. Selleks, et vältida puhastöötlemisel tooriku pinna kahjustamist kaasaveduki kruvi otsaga, pannakse toorikule lõhispuks või kummiseib [3].



Joonis 3.1.4.4. Pöörlemise edasiandmine kaasaveduki abil; a) kaasaveosõrmega plaanseib, b) kaasaveonukiga plaanseib; 1 plaanseib, 2 kaasaveduk, 3 kaasaveosõrm (-nukk); c) painutatud

sabaga kaasaveduki kasutamine; 1 plaanseib, 2 esitsenter, 3 kaasaveduk, 4 tagatsenter, 5 pinool

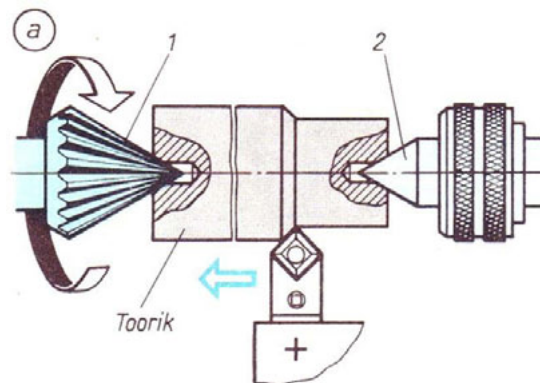
Väikese läbimõõduga võllide kaasaveoks võib kasutada hõõrdetsentreid (joonised 2.3.9 ja 3.1.4.5) [3].



Joonis 3.1.4.5. Tooriku kinnitamine hõõrdetsentrisse; a) faaside abil, b) koonuste abil; 1 esitsenter, 2 pöörlev tagatsenter

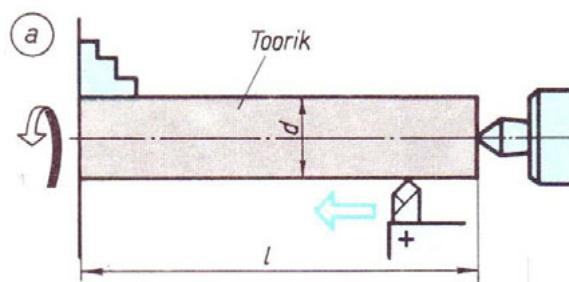
Toorik surutakse pöörleva tagatsentri abil vastu esitsentrit ning haaratakse kaasa esisentri ava ja tooriku faasi pindadel tekkiva hõõrdejõu tõttu (joonis 3.1.4.5) [3].

Poolpuhastõõtlemissel võib kuni 30 mm läbimõõduga võllide kaasaveoks kasutada rihveltsentrit (joonis 3.1.4.6) [3].



Joonis 3.1.4.6. Tooriku kinnitamine rihveltsentriga a: 1 rihveltsenter, 2 pöörlev tagatsenter

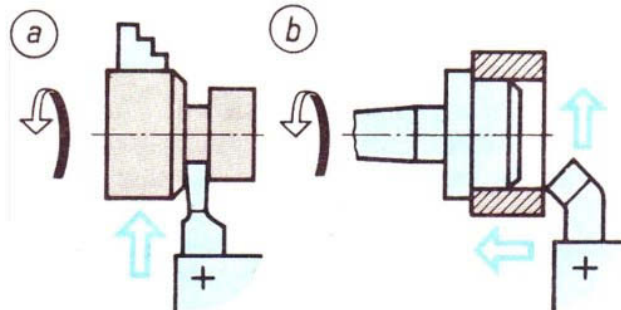
Pikad ($l > 5d$) valtsitud toorikud kinnitatakse musttõõtlemissel kolme pakiga padrunisse, kusjuures nende teist otsa toetatakse tagatsentriga (joonis 3.1.4.7) [3].



Joonis 3.1.4.7. Pikkade detailide toetamine treimisel

3.1.5. Tehnoloogilised baasid

Baaspind - pind, mille järgi toorik kinnitatakse treipinki ning orienteeritakse treipingi ja lõiketera suhtes. Õigete baaspindade valikuga saame tagada detaili valmistamise täpsuse. Treimisel võivad baaspindadeks olla tooriku välispinnad, sisepinnad, otpinnad või tsentriavad.



Joonis 3.1.5.1. Paigaldusbaaside valik: a – välispinnalt, b - sisepinnalt

Baasina võib üheaegselt kasutada ka kahte pinda. Näiteks tooriku kinnitamisel padrunisse ja tagatsentrisse on baaspinnad tooriku välispind ja tsentriava faasi koonuspind [3].

Alg- e. mustbaas - esimene baaspind.

Lõpp- e. puhasbaas - baaspind, mis kujunes musttöötlemisega ja mida kasutatakse tooriku kinnitamiseks edasise töötlemise tarvis.

Põhibaaspind - pind, mis on tähtis detaili vahekoostus talitlemise seisukohalt. Näiteks sõrme pind Ø25 mm sobitatakse kokku masina vahekoostu avaga.

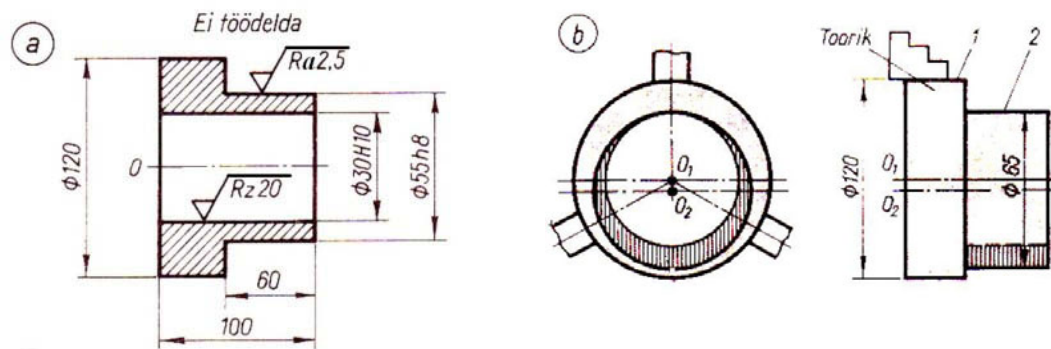
Abibaaspind - pind, mida kasutatakse küll paigalduspinnana, kuid mis ei kuulu kokkusobitusele teiste detailidega ning mille töötlemist ei ole ette nähtud. Sellised pinnad on näiteks võlli otstesse puuritud tsentriavad.

Mõõtebaasid - töödeldava tooriku pinnad, millest alates detaili valmistamisel võetakse mõõtmeid. Näiteks sõrme töötlemisel tooriku otpind.

Tehnoloogilised baasid - paigaldus- ja mõõtebaasid kokku.

Baaside ühtsuse reegel - paigaldus- ja mõõtebaasid peavad olema võimalikult ühed ja samad pinnad. Selle reegli täitmiseta ei saada suurt töötlustäpsust. Tehnoloogiliste baaside valikul arvestatakse ka järgmisi reegleid:

- **Alg- ehk mustbaasiks** võetakse töötlemisele mittekuuluv pind või selline pind, mille mõõtmeterants on suurim. Selle reegli täitmine väldib praaki edasisel töötlusel.
- **Lõppbaasiks** võetakse ühtlane vigadeta pind. See võimaldab toorikut kindlalt kinnitada.
- **Lõppbaasi** valikul tuleb täita baasi püsivuse põhimõtet, st ühest ja samast lõppbaasist tuleb töödelda võimalikult palju pindu.
- Detaili valmistamisel on toorik algselt treipingi padrunisse kinnitatud tooriku välispinnalt (joonis 3.1.5.2.b). Välispind on paigaldusbaasiks. [1, 3]



Joonis 3.1.5.2. Puksi töötlemise tehnoloogia: a) joonis, b) baaspinna valik

3.1.6. Lõikerežiimide määramine treimisel

Lõikeprotsessi iseloomustab kindel režiim. Treimisel on lõikerežiimi elemendid lõikesügavus, ettenihe ja lõikekiirus, vahel ka pöörlemissagedus.

Lõikesügavus a_p on lõikeriista ühe läbimi jooksul maha lõigatud kihi paksus. Lõikesügavust mõõdetakse risti töödeldud pinnaga [mm]. Välispikitreimisel (joonis 3.1.6.1.a) on lõikesügavus töödeldava pinna läbimõõdu D ja töödeldud pinna läbimõõdu d poolvahe [3]:

$$a_p = \frac{D-d}{2}, \quad (3.1.4)$$

kus d on töödeldud pinna läbimõõt
 D on töödeldava pinna läbimõõt

Sisepikitreimisel (joonis 3.1.6.1.b) on lõikesügavus töödeldud ja töötlemata ava läbimõõdu poolvahe. Ostreimisel võrdub lõikesügavus mahalõigatud kihi paksusega, mõõdetuna töödeldud pinnaga risti (joonis 3.1.6.1.c). Mahalõikamisel või soonetreimisel võrdub lõikesügavus tera lõikeserva laiusega (joonis 3.1.6.1.d).

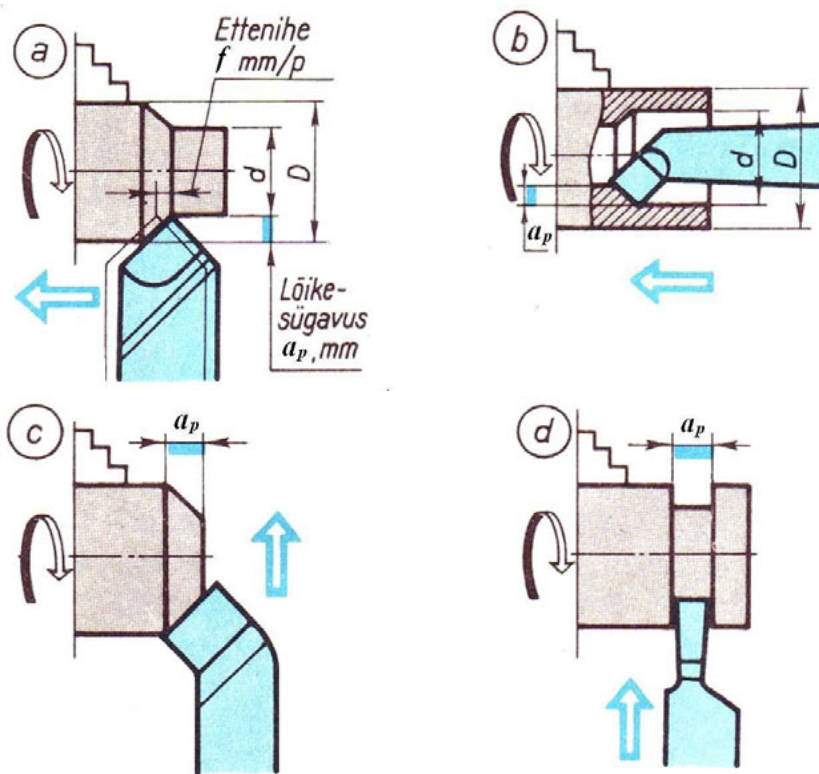
Pöördetenihe f on treitera lõikeserva liikumine tooriku ühe pöörde jooksul ettenihke suunas [mm]. Lõikesügavuse ja ettenihke korrutis annab lõikepinna pindala A [mm²]

Lõikekiirus v on teekond, mille läbib pöörlemisteljest kaugeim lõikepinna punkt treitera lõikeserva suhtes ajaühiku jooksul. Lõikekiirust mõõdetakse meetrites minutis [m/min] või meetrites sekundis [m/s]. Metallide töötlemisel kasutatakse lõikekiiruse ühikuna tavaliselt mittestandardset ühikut meeter minutis [m/min]. Et $1\text{ m} = 1000\text{ mm}$, siis lõikekiirus

$$v = \pi \cdot D \cdot n, \quad (3.1.6)$$

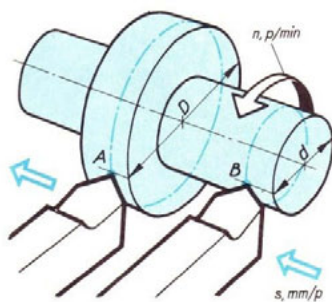
kus D - töödeldav läbimõõt,
 n - tooriku pöörlemissagedus.

$$A = f \cdot a_p. \quad (3.1.5)$$

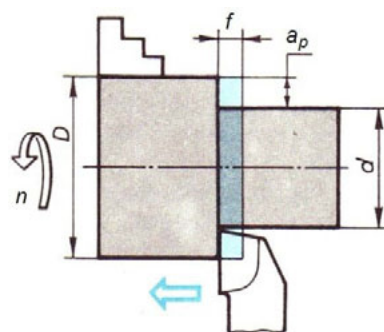


Joonis 3.1.6.1. Lõikesügavus: a) välis-, b) sise-, c) otstreimisel, d) mahalõikamisel

Valemist selgub, et mida suurem on tooriku läbimõõt D , seda suurem on ka lõikekiirus spindli ühel ja samal pöörlemissagedusel, sest tooriku ühe pöörde või ühe minuti jooksul on punkti A teekond pikem kui punkti B teekond (läbimõõt D on suurem kui läbimõõt d (joonis 3.1.6.2)).



Joonis 3.1.6.2. Lõikekiiruse määramine



Joonis 3.1.6.3. Tera tootlikkuse määramine

Tera tootlikkus on lõiketeraga ajauhikus eraldatud laastu maht. Tooriku ühe pöörde jooksul eemaldatakse temalt rõngakujuline kiht (joonis 3.1.6.3.) [3].

Selleks, et saada vajalike mõõtmete ja kujuga detaili, peab sellel toorikul olema küllaldane töötlusvaru. Liiga väike varu võib põhjustada praaki (detaili pinnale jäävad töötlemata kohad), liiga suur aga suurendada töö mahtu ja metallikulu. Töötlusvarud valitakse käsiraamatutest.

Kui on teada lõikekiirus, mille määravad lõikeriista lõikeomadused, ja tooriku läbimõõt, siis saab arvutada vajaliku pöörlemissageduse n ja häälestada spindli sellele sagedusele [min^{-1}]. Selleks avaldame valemist (3.1.2) pöörlemissageduse n .

$$n = \frac{v}{\pi \cdot D} \quad (3.1.7)$$

Lõikeriista otstarbekas kasutamine seisneb sellise lõikerežiimi valikus, mille korral lõikeriist peab vastu normile vastava aja.

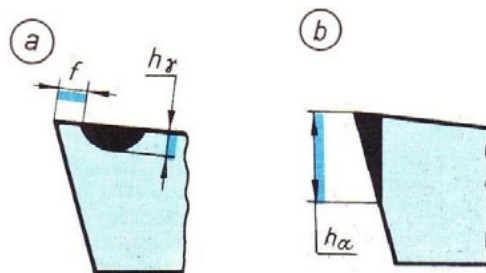
Vajalikud lõikerežiimid saab valida lõikeriistade tootja kataloogist. Tavaliselt on lõikerežiimid märgitud ka vahetatavate terikplaatide karbile.

Treimise tähtis seaduspärasus: **Muutumatu püsivuse korral lõikekiiruse tõstmiseks või muutumatu lõikekiiruse korral püsivuse tõstmiseks tuleb suurendada lõikesügavust ja vastavalt vähendada ettenihet[3].**

Tera kulumine ja püsivus

Laast kulutab tera esipinnasse lohu sügavusega $h\gamma$ (joonis 3.1.6.4.a). Edasisel kulumisel lohk suureneb, ulatudes lõpuks lõikeservani, mis tähendab, et serv puruneb. Praktiliselt aga on selline purunemine vähe tõenäoline, sest tööriista teritatakse uuesti juba varem tagapinna kulumise tõttu. Lohk suurendab esinurka, kergendab seetõttu lõikeprotsessi ning on isegi kasulik.

Hõõrdumine vastu tooriku lõikepinda põhjustab tera tagapinna kulumist. Siin moodustub kulumisjalg kõrgusega h_α (joonis 3.1.6.4.b). Mida suurem on h_α , seda suurem on hõõrdumine ja vastavalt ka kuumenemine, mille tagajärjel kiireneb edasine kulumine. Tagapinna tunduv kulumine on treiterale ohtlik, sest ka selle tagajärjel võib lõikeserv puruneda [3].



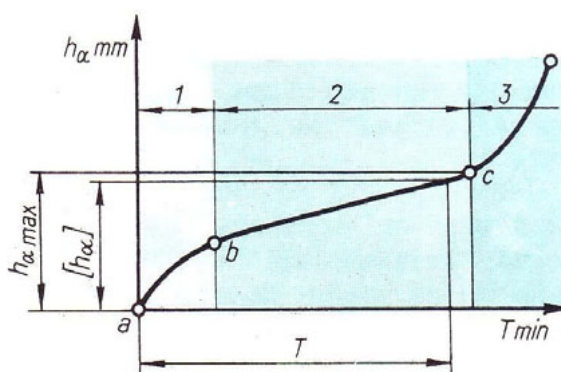
Joonis 3.1.6.4. Tera kulumine a) esipinnalt, b) tagapinnalt

Treitera kulumise põhjused on järgmised:

1. Töödeldava metalli kõvad osakesed kriimustavad vahetult lõikeriista pinda. Seda nimetatakse **abrasiivkulumiseks**, mida tuleb ette malmi töötlemisel, sest malmi kristallidel on abrasiivsed omadused.

2. Tera kuumenemisel tema pehmenenud osad kleepuvad eemalduva laastu ja lõikepinna külge (adhesioon). Mida enam tera kuuneneb, seda intensiivsem on kleepumine ja riista kulumine tema metalliosakeste väljarebimise tõttu. Selline kulumine on soojuslik e. adhesioonine ning on iseloomulik terase ja teiste sitkete metallide töötlemisele.

Kui kulumist kujutada graafiliselt (joonis 3.1.6.5), st horisontaalteljele kanda lõikeriista tööaeg T ja vertikaalteljele tagapinna kulumisjälje kõrgus h_α siis sobitumist näitab kõvera lõik ab (1. osa). Järgneb normaalkulumise periood, mille jooksul kulumisjälje kõrgus h , ühtlaselt kasvab (kõvera lõik bc , 2. osa). Kui see kõrgus saavutab suurima väärtuse $h_{\alpha max}$, kutsub tera edasine kuunenemine esile kulumisjälje kõrguse järsu kasvu ja lõikeserva purunemise. Graafikul kujutab tera järsu kulumise piirkonda kõvera 3. osa [3].



Joonis 3.1.6.5. Tera tagapinnalt kulumise sõltuvus töö kestusest; osad: 1 sobitumise, 2 normaalkulumise, 3 purunemise piirkond

Et vältida lõikeserva purunemist, tuleb ta ümber teritada varem, st siis, kui kulumine on saavutanud teatud optimaalse ehk lubatud väärtuse $[h_\alpha]$. Lubatud kulumi väärtused on antud käsiraamatuis.

Lõikeriista tööaega kuni väärtuseni h_α nimetatakse *püsivusajaks* T [min], teisiti öeldes püsivusaeg on tera ümberteritamiseni (terikplaadi vahetamiseni) kulunud masinaaeg. Lubatud kulumise h_α piiril tehtud teritus on lõikeriista õige kasutamise seisukohalt sundteritus. Laboratooriumis kontrollitakse h_α väärtust optilise riistaga, tootmises aga kasutatakse tera seisundi hindamiseks teisi kulumiskriteeriume.

Tera kulumiskriteerium võib olla elektrimootori ankruahelasse lülitatud ampermeetri näit. Selle osuti hüpe annab märku lõikamisele kuluva võimsuse suurenemisest, mida põhjustab lõikeriista suur kulumine. Kriteeriumiks võib olla ka läikiva kollase triibu ilmumine töödeldud pinnale.

Lõikeriista püsivusaeg sõltub paljudest teguritest, näiteks lõikeriista materjalist, töödeldavast materjalist, tera kujundusgeomeetriast, lõikerežiimist, jahutusvedeliku kvaliteedist. Suurimat mõju tera püsivusajale avaldab lõikekiirus. Mida suurem see on, seda

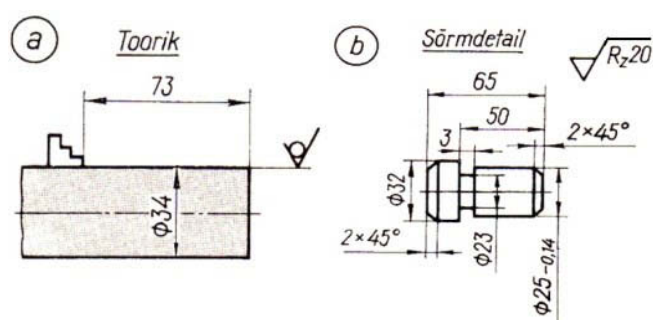
enam kulub lõikamiseks energiat ja eraldub soojust, seda intensiivsemalt kuluvad tööpinnad (soojuslik ja abrasiivne kulumine) ning seda väiksem on tera püsivusaeg.

On kindlaks tehtud, et **lõikekiiruse vähese kasvuga kaasneb tera püsivusaja tunduvalt vähenemine**. Kui näiteks kermisplaadiga varustatud treiteraga töötlemisel lõikekiirus suureneb 2 korda, väheneb tera püsivusaeg 32 korda.

Püsivusaja normatiivsest kõrgemaks tõstmine nõuab lõikekiiruse, seega ka tootlikkuse vähendamist, mis omakorda tõstab toote omahinda [3].

3.1.7. Sileda silindrilise välispinna treimine

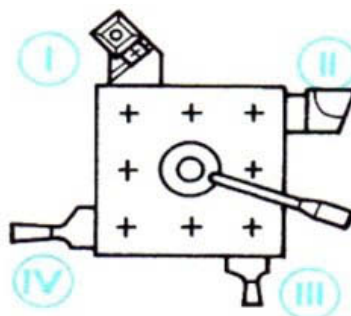
Detailide valmistamisel toimub silindrilise välispinna, otspindade, astmete ja soonte treimine ning mahalõikamine kindlas järjekorras. Näiteks toome lihtsa võlli ehk sõrme (joonis 3.1.7.1) valmistamine treimise teel ümarmaterjalist Ø34 mm.



Joonis 3.1.7.1. Valmistatav detail: a) toorik, b) detaili joonis

Varva väljaulatuse pikkus padrunist arvutatakse järgmiselt: tooriku pikkus on 65 mm, kummagi otsa töötlusvaru 1 mm, mahalõiketera laius 3 mm, mahalõiketera ja padruni vaheline kaugus 3 mm, seega kokku $65 + 1 + 1 + 3 + 3 = 73$ mm (joonis 3.1.7.1.a) [3].

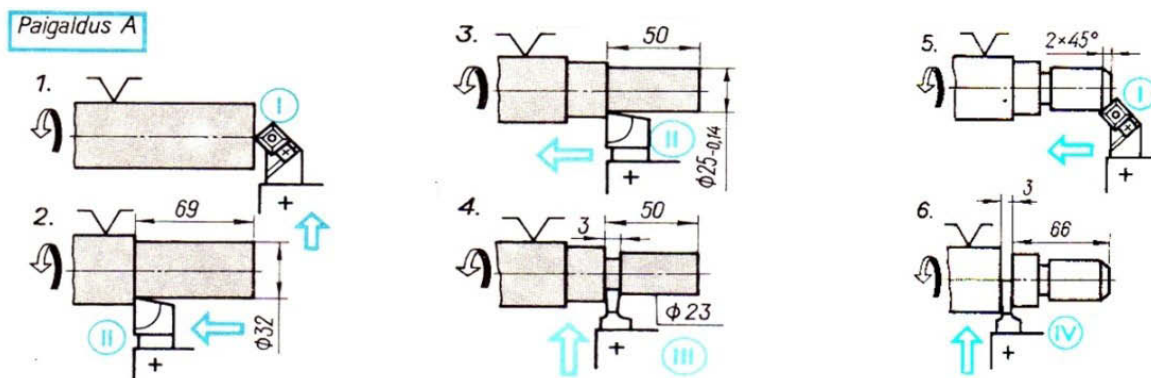
Treiterad kinnitatakse terahoidikusse nende kasutamise järjekorras ja viiakse lõikeasendisse hoidiku pööramisega. Treiterade kinnitamist terahoidikusse kindlas tehnoloogilises järjekorras nimetatakse terahoidiku seadistamiseks.



Joonis 3.1.7.2. Terahoidiku seadistuskeem sõrme töötlemisel. I välistreitera, II astmetera, III soonetera, IV mahalõiketera.

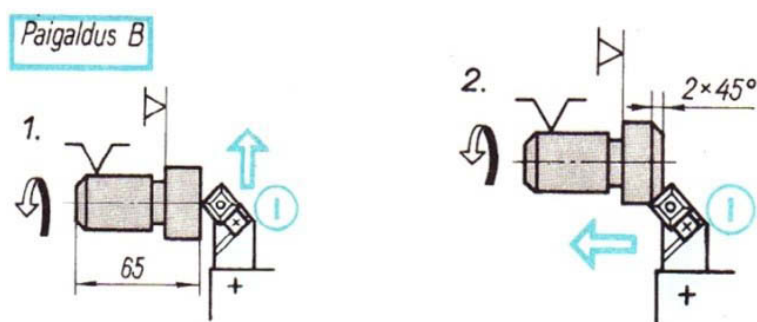
Kõigepealt töödeldakse painutatud välistreiteraga **I** tooriku otspind (c). Seejärel treitakse astmeteraga **II** silindrilised välispinnad Ø32 ja Ø50 mm. Järgnevalt treitakse sooneteraga **III**

3-mm soon, lõigatakse teraga *I* faas $2 \times 45^\circ$ ja lõpuks lõigatakse detail mahalõiketeraga *IV* maha (joonis 3.1.7.3) [3].



Joonis 3.1.7.3. Töötlemine esimesel paigaldusel A: 1 otspinna töötlemine, 2 ja 3 silindriliste pindade töötlemine, 4 soone töötlemine, 5 faasi töötlemine, 6 maha lõikamine

Nüüd paigaldatakse toorik teise otsaga ($\varnothing 25$ mm) padrunisse ning teraga *I* treitakse jämedam ots tasaseks ja lõigatakse faas $2 \times 45^\circ$ (joonis 3.1.7.4).



Joonis 3.1.7.4. Töötlemine teisel paigaldusel B: 1 otspinna töötlemine, 2 faasi töötlemine

Tooriku detailiks muutmise käigus rakendatud mitmesuguste töötlusoperatsioonide kindlat järjestust nimetatakse tehnoloogiliseks protsessiks.

Tehnoloogiline protsess on tootmisprotsessi osa, mille vältel töödeldavat objekti muudetakse kvalitatiivselt.

Operatsioon - tehnoloogilise protsessi lõpetatud osa, mis teostatakse ühel töökohal. Pärast detaili treipingist mahavõtmist ja uue tooriku kinnitamist algab uus operatsioon.

Paigaldus - operatsiooni osa, mis teostatakse töödeldavate toorikute kinnitust muutmata.

Tehnoloogiline siire - operatsiooni lõpetatud osa, mis sooritatakse tööriistu ja töötlemisel moodustuvaid pindu vahetamata. Siirded on näiteks otsa treimine, välispinna treimine, soone treimine jne.

Läbim - siirde lõpetatud osa, mis koosneb tööriista ühekordsest siirdumisest tooriku suhtes, mille tulemusel muutuvad tooriku kuju, mõõtmed või pinnakaredus (suure töötlusvaru korral jagatakse siire mitmeks läbimiks).

Üksiktootmine - tehnoloogiline protsess, mille vältel toorik töödeldakse detailiks ühe operatsiooniga.

Seeriatootmine - tooriku töötlemine jagatakse mitmeks operatsiooniks, mis tehakse ühel või mitmel pingil.

Masstootmine - ühtede ja samade detailide valmistamine pikema aja vältel (otstarbekas selleks kasutada automaattreipinki) [3].

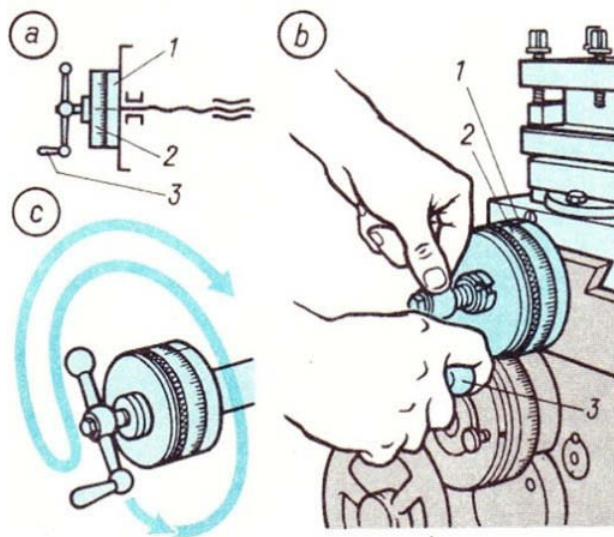
Enne töötlemist tehakse joonise ja tooriku mõõtmise põhjal kindlaks, kui paks metallikiht tuleb maha treida ja mitme läbimiga on seda võimalik teha. Treitera seatakse vajalikule lõikesügavusele limbi abil, mis on kinnitatud supordi ristettenihke kruvile (joonis 3.1.7.5). Limbi kettale on kantud jaotised ja nende väärtused. Jaotise väärtus on treitera nihe ristsuunas, kui limbi pöörata ühe jaotise võrra.

Vajaliku läbimõõduga detaili saamiseks kasutatakse prooviläbimite meetodit. Treitera viiakse kokkupuutesse pöörleva tooriku töödeldava pinnaga. Puutehetke näitab toorikul tekkiv vaevumärgatav ringsoon, misjärel treitera viiakse supordikelgu pikinihutamisega paremale, tooriku piirkonnast välja. Limbi ketas asetatakse nulli. Nüüd viiakse treitera ettepoole ristettenihke käsiratta pööramisega limbi jaotiste järgi. Tera nihutatakse mõnevõrra vähem, kui on vaja detaili treimisjärgse läbimõõdu saamiseks. Seejärel treitakse toorikut käsiettenihkega 3...5 mm pikkuselt, treitera viiakse uuesti paremale, pink lülitatakse välja ja treitud osa mõõdetakse.

Pärast mõõtmist täpsustatakse, kui palju tuleb tera veel ettepoole nihutada. See mõõde seatakse limbile ja proovilõik treitakse uuesti üle. Pärast treitera seadmist lõplikule mõõtmele treitakse partii järgmised toorikud juba limbi järgi ilma prooviläbimiteta. Ristettenihkekruvi ja tema mutri vahel on alati väike lõtk. Et see limbi järgi seadmisel ei kutsuks esile viga, tuleb limbi vänta **pöörata ainult päripäeva** (paremale). Selleks tuleb aga enne teha üks pööre vastupäeva (vasemale). Ka supordi terakelgul on limb. Treipinkidel on mõlema limbi jaotiste väärtus tavaliselt *0,05 mm*.

Treimise suur tootlikkus saavutatakse õige lõikerežiimi valikuga. Lõikerežiim sõltub tooriku ja treitera materjalist, töötlusvarust, detaili lubatud pinnakaredusest, tooriku ja treitera jäikusest, tooriku kinnitamise viisist, jahutus-määrdevedelikust jm. Kõigepealt määratakse kindlaks lõikesügavus, kusjuures kogu töötlusvaru püütakse eemaldada võimaluse korral ühe läbimiga [3].

Kui tooriku jäikus ei ole selleks küllaldane või nõutakse suurt täpsust, lõigatakse varu maha mitme läbimiga. Tavaliselt võetakse lõikesügavus musttöötlemisel 4...6, poolpuhas- ja puhastöötlemisel vastavalt 2...4 ja 0,5...2 mm.



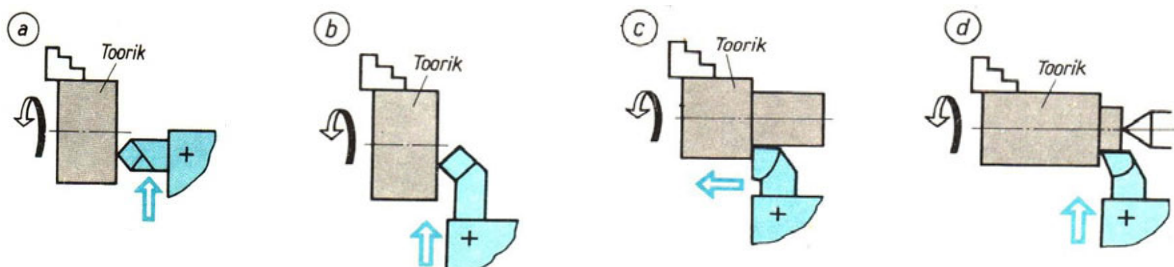
Joonis 3.1.7.5. Ristettenihke limb; a) limbi skeem (1 supordi ääriku kriips, 2 limb, 3 limbi käepide), b) mõõtme asetamine, c) lõtku kaotamine käepideme pööramisel;

Järgnevalt valitakse ettenihe. See sõltub peamiselt valmisdetaili lubatavast pinnakaredusest. Musttöötlemisel valitakse ettenihe 0,5...1,2, puhastöötlemisel aga 0,2...0,4 mm.

Edasi määratakse lubatav lõikekiirus, mis sõltub paljudest asjaoludest. Neist olulisim on treitera püsivus, so tema võime taluda kõrget temperatuuri ja mitte kuluda hõõrdumisel. Püsivus sõltub peamiselt teriku materjalist. Teades lõikekiirust ja tooriku läbimõõtu, saab määrata treipingi spindli pöörlemissageduse. Tegelikule pöörlemissagedusele valitakse spindlikasti pöörlemissageduste reast arvutuslikule lähim väiksem väärtus. Pöörlemissageduste rida on tavaliselt näidatud spindlikastile kinnitatud tabelis [3].

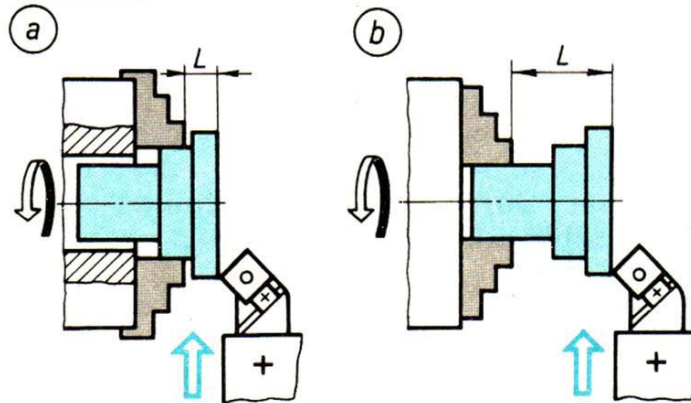
3.1.8. Tasase otspinna ja astmete töötlemine

Tasastelt otspindadelt ja astmetelt nõutakse, et nad oleksid tasased (st nad ei tohi olla kumerad ega nõgusad), teljega risti ja omavahel paralleelsed (rööbiti). Otspindu ja astmeid treitakse sirge ja painutatud välistreiteraga, astme- ja otsatreiteraga.



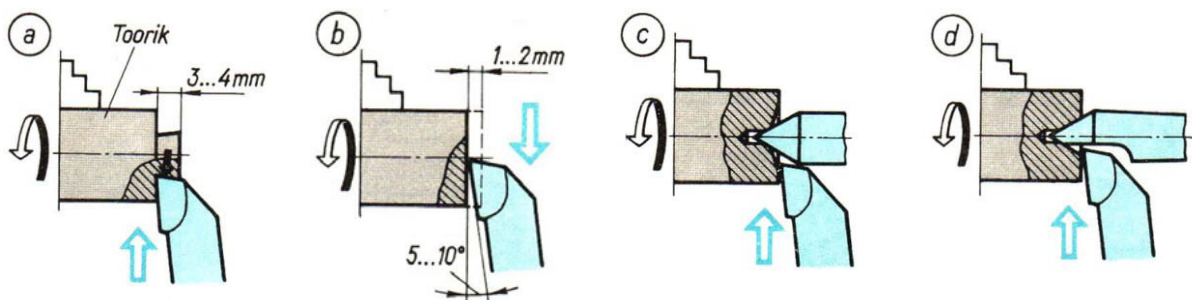
Joonis 3.1.8.1. Otspindade ja astmete treimine a) ja b) otspinna treimine, c) ja d) astmete treimine

Madalate astmete treimisel töötab astmetera pikiettenihkega, kusjuures astmete treimine on välispinna treimise loomulik jätk. Tera lõikeserv peab sel juhul olema risti tooriku teljega. Serva asendit kontrollitakse nurgikuga. Kui toorik kinnitatakse padrunisse, siis peab ta sellest välja ulatuma võimalikult vähe (joonis 3.1.8.2) [3].



Joonis 3.1.8.2. Tooriku väljaulatus otsa treimisel: a) õige, b) väär

Otsa saab treida ka astmeteraga. Sellisel juhul seatakse tera lõikeserv otspinna suhtes väikese ($5 \dots 10^\circ$) nurga alla ja treitakse ristettenihkega tooriku telje poole (joonis 3.1.8.3.a). Sellisel juhul lõikab metalli tera abilõikeserv. On aga töötusvaru suur, siis tekib telje poole suunatud ettenihkel jõud (*must nool*), mis püüab tera suruda tooriku otspinda ning see võib tulla nõgus. Puhastöötlemisel treitakse otspinda nõgususe vältimiseks ristettenihkega teljest eemale (joonis 3.1.8.3.b). Joonisel 3.1.4.3.c on kujutatud otspinna treimine, kui toorik on kinnitatud padrunisse ja tagatsentrile (tsentriaval on kuju B (joonis 3.1.4.1)). Joonisel 3.1.8.3.d on toorik kinnitatud padrunisse ja toetub lamendiga tagatsentrile. Otspinna taset kontrollitakse joonlaua või nurgikuga. Silindrilise välis- ja otspinna ristseisu kontrollitakse samuti nurgikuga [3].



Joonis 3.1.8.3. Otspinna treimine astmetreiteraga: a) ristettenihkega telje poole (suure töötusvaru korral), b) ristettenihkega teljest eemale (väikese töötusvaru korral), c) ristettenihkega telje poole, kui toorik on kinnitatud padrunisse ja tagatsentrile (tsentriaval kuju B), d) ristettenihkega telje poole, kui toorik on kinnitatud padrunisse ja lõigatud tagatsentrile.

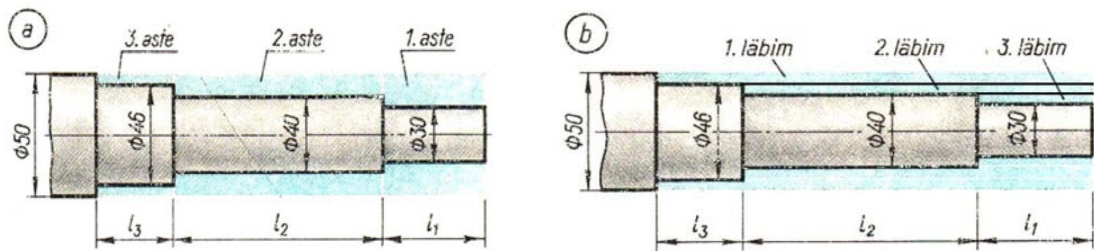
3.1.9. Astmeliste võllide töötlemine

Astmelistel võllidel on mitu erineva läbimõõdu ja pikkusega osa. Nende treimiseks seadistatakse treipink prooviläbimite abil iga astme jaoks eraldi. Astmete läbimõõtudele vastavad limbi jaotised jäetakse meelde või märgitakse üles. Kui on teada vajalikud limbi jaotised, on võimalik treida kogu toorikute partii prooviläbimiteta. Treipinkidel on olemas pikiettenihke limb. Pikiettenihke limbi abil on võimalik kontrollida treitera nihkumist pikisuunas ja peatada see, kui on saavutatud astme vajalik pikkus.

Astmeliste võllide tootlikuks töötlemiseks on vaja valida õige töötluskeem. Tootlikkus on suurim juhul, kui iga astme töötlusvaru eemaldatakse ühe läbimiga ja ühe lõikesügavuse muutmisega (joonis 3.1.9.1.a). Sellisel juhul on tera liikumistee võrdne astmete pikkuse summaga:

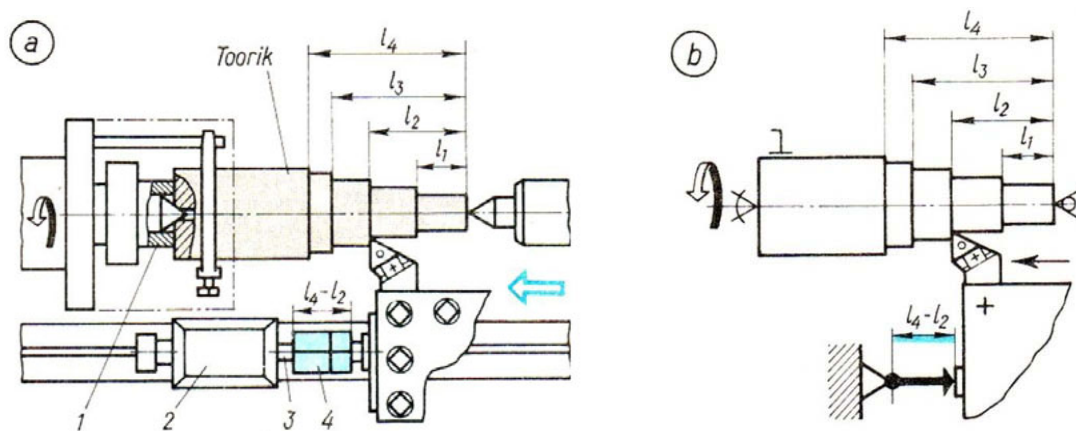
$$L_{\Sigma} = l_1 + l_2 + l_3. \quad (3.1.8)$$

Kui tooriku jäikus ei luba kasutada suurt lõikesügavust, siis treitakse mitme läbimiga (joonis 3.1.9.1.b) [3].



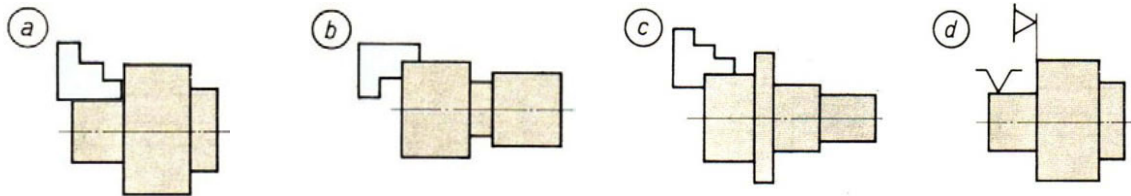
Joonis 3.1.9.1. Astmelise võlli treimise skeem: a) ühe läbimiga, b) mitme läbimiga

Mitmeastmelise võlli treimisel võib kasutada astmete pikkuse piiramiseks piirikut koos mõõtplaatidega või erisabloone (joonis 3.1.9.2). Mehaaniline ettenihe tuleb välja lülitada 1...2 mm kaugusel piirikust. Ülejäänud osa treitakse käsiettenihkega [3].



Joonis 3.1.9.2. Astmelise võlli töötlemine piirikute järgi: a) treimine pikkuspiirikute abil: 1 liuguv tsepter, 2 piirik, 3 reguleerkrugi, 4 mõõteplaat-pikkuspiirik, b) tingtähistus

Toorikutel võivad olla erineva sügavusega tsentriavad. Seepärast võivad tsentritele kinnitatud toorikud olla spindlikasti suhtes erineval kaugusel. Sügavamate tsentriavadega toorikud asetuvad seega spindlikastile lähemale, madalamatega aga kaugemale. Selle tulemusena võivad ka võlliastmete pikkused piirikuni töötlemisel tulla erinevad ja seda tuleb töötlemisel arvestada. Lühikeste (padrunisse kinnitatavate) toorikute partiid piirikuni treides on tähtis, et toorik toetuks vastu padruni pakkide astmeid (joonis 3.1.9.3). Nii saavutatakse tööpinna ristiseis spindli telje suhtes [3].

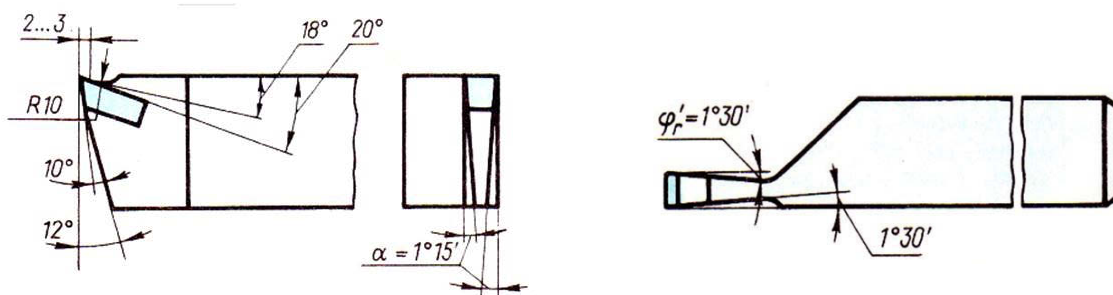


Joonis 3.1.9.3. Pakkide kasutamine toeks; a toetumine pakile, b toetumine paki astmele, c toetumine paki süvendile (toorpakkide korral), d tingtähistus

3.1.10. Välissoonte treimine ja mahalõikamine

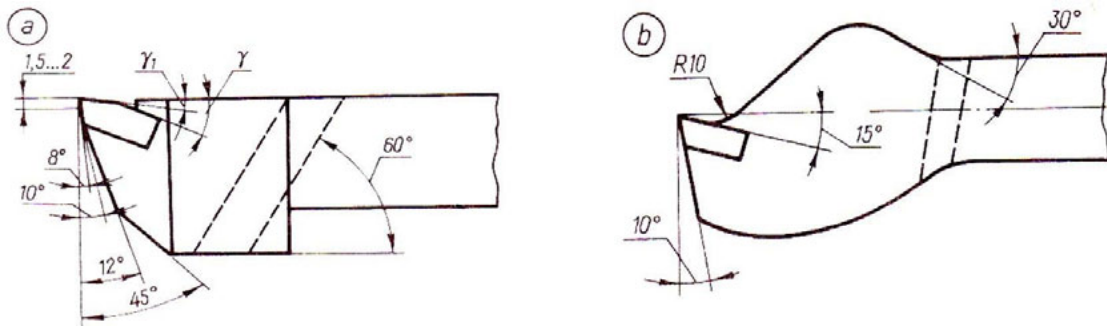
Tooriku välispinda treitakse sageli sooni. Need on vajalikud treitera väljumiseks keerme lõpus, piirikute ja rõngaste (näit. kolvirõngad) asetamiseks jne.

Soonte treimiseks ja detaili mahalõikamiseks kasutatakse erinevaid treiteri. Esimesi nimetatakse sooneteradeks, teisi mahalõiketeradeks. Viimased erinevad sooneteradest pika, väljavenitatud lõikeosa poolest (joonis 3.1.10.1). Soone- ja mahalõiketera terikul on lõikeserv ja kaks abiserva. Kumbki abiserv asetseb ristiettenihke suuna suhtes väikese abilõikeservanurga all ($\varphi = 1...3^\circ$). Peale selle aheneb treitera pea talla suunas ($\alpha = 1...3^\circ$). Selline kuju vähendab hõõrdumist treitera abiservade ja lõigatava soone seinte vahel.



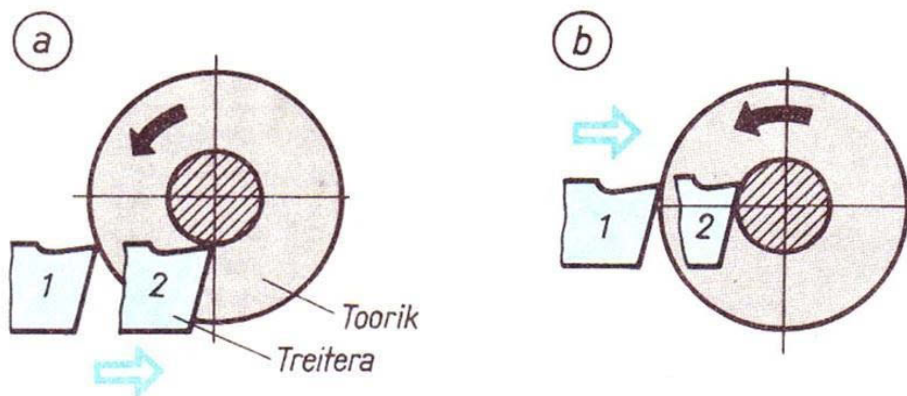
Joonis 3.1.10.1. Terikplaadiga mahalõiketera

Mahalõiketera kasutatakse valmis detaili eraldamiseks toorikust, samuti tooriku tükeldamiseks. Tera pead tugevdatakse mitmel viisil: suurendatakse ta kõrgust (joonis 3.1.10.2.a) või muudetakse pea kuju selliselt, et lõikeserv jääb tera saba teljele (joonis 3.1.10.2.b). Mahalõiketera lõikeserva laius sõltub töödeldava tooriku läbimõõdust ja võetakse tavaliselt 3...8 mm [3].



Joonis 3.1.10.2. Tugevdatud konstruktsiooniga mahalõiketerad: a) kõrgendatud peaga, b) treitera saba teljel paikneva lõikeservaga

Soonte treimisel ja mahalõikamisel tuleb kinni pidada kindlatest nõuetest. Treitera tuleb seada võimalikult täpselt treipingi tsentrite (tooriku telje) kõrgusele. Kui tera lõikeserv asetseb teljest madalamal, siis jääb tera teljele lähenemisel detail külge (joonis 3.1.10.3.a). Asetsedes teljest kõrgemal, jookseb teljele läheneva tera tagapind vastu lõikepinda (joonis 3.1.10.3.b). Mõlemal juhul võib tera pea murduda [3].



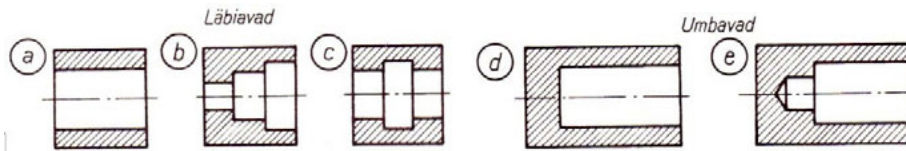
Joonis 3.1.10.3. Mahalõiketera asendid: a) tooriku teljest madalamale paigutatud, b) tooriku teljest kõrgemale paigutatud; 1, 2 treitera asendid vastavalt mahalõikamise alguses ja lõpus.

Sirge treitera keha seatakse rangelt risti tooriku teljega, et pea külgpind ei puutuks vastu soone seina. Maha tuleb lõigata võimalikult padruni pakkide lähedalt. Lõikekoha kaugus pakkidest peab olema 3...5 mm.

Lõikerežiim mahalõikamisel. Mahalõikamisel kasutatakse väiksemat ettenihet kui välis- või otstreimisel. Nii on kuni 60-mm läbimõõduga toorikute mahalõikamisel soovitatav ettenihet 0,1.. 0,15 mm, suurema läbimõõdu korral kuni 0,3 mm. Lõikekiirus on 15...20 % väiksem välistreimise omast. Konkreetseid lõikerežiime saab valida lõikeriista tootja kataloogist. Mahalõikamisel tekib lõigatavas soones lõiketera ja tooriku pindade vahel suur hõõrdumine, mistõttu tera kuumeneb tugevasti, eriti terase töötlemisel. Sellepärast soovatakse mahalõikamisel lõikekohta ohtralt jahutada [3].

3.1.11. Silindriliste avade töötlemine

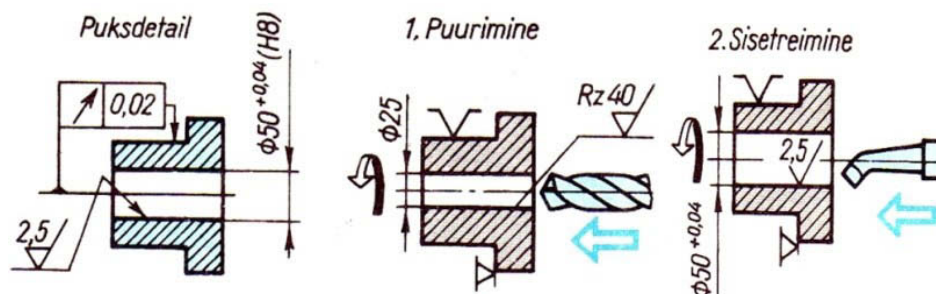
Paljude masinadetailide tähtsaimad elemendid on avad. Avad võimaldavad detaile omavahel liita näit poltide ja kruvide abil; neisse saab paigaldada laagreid; sageli kujutavad avad endast määride- ja jahutuskanaleid, samuti mootorite, kompressorite ja pumpade töökambreid. Avade suhtes kehtestatakse mitmesuguseid töötlemistäpsuse, telje sirgsuse, geomeetrilise kuju õigsuse ja pinnakareduse nõudeid. Oma kujult on silindrilised avad sirgete seintega, astmelised või soonega. Ava võib läbida detaili või olla umbne (joonis 3.1.11.1) [3].



Joonis 3.1.11.1. Silindrilise ava kuju: a) ja d) sirgete seintega, b) ja e) astmega, c) soonega

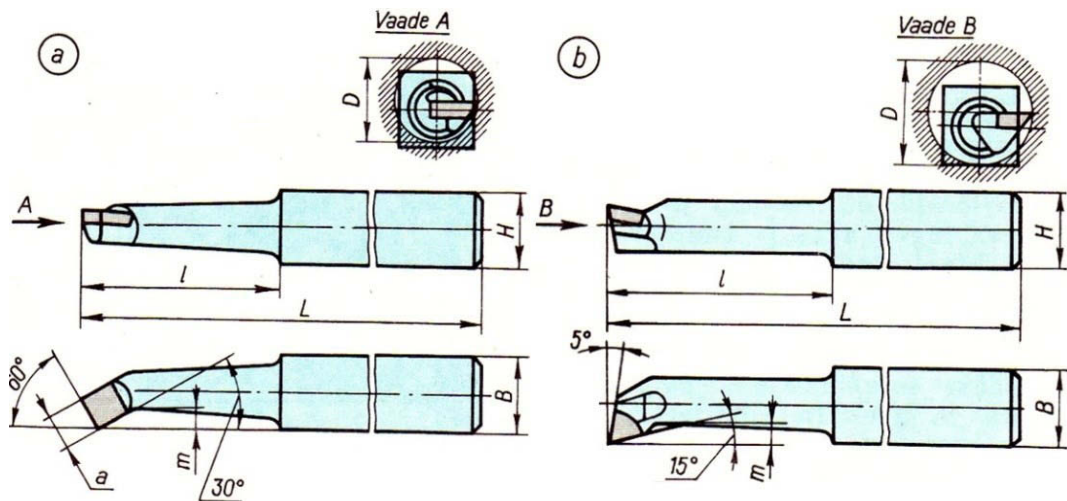
Ava treimine

Puuritud avad ja avad valandites või sepistes treitakse sageli üle, et saada suuremat läbimõõtu ja töötlustäpsust ning väiksemat pinnakaredust. Treimisega saadakse ava läbimõõdu töötlustäpsuseks kuni 0,02 mm ja pinnakareduseks $Ra = 2,5...1,25 \mu\text{m}$. Ka võimaldab treimine ava paremini tsentreerida. Joonisel 3.1.11.2 on näha puksi töötlemise tehnoloogia juhul, kui ava ja puksi välispinna samateljelisusele ning ava täpsusele (H8) on esitatud kõrged nõuded. Töödeldakse kahe siirdega. Need on 1 puurimine, 2 sisetreimine. Treimine on universaalseim avade töötlemise viis, mis ei vaja erilisi tööriistu [3].



Joonis 3.1.11.2. Puksi ava $\phi 50H8$ töötlemise tehnoloogia

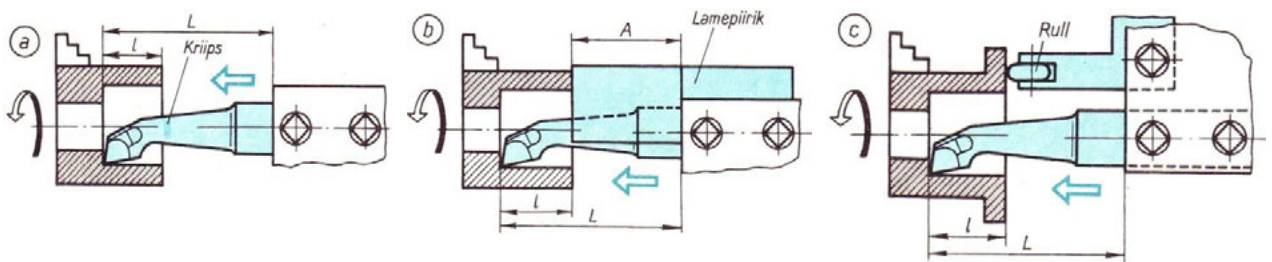
Sisetreiterad on kas läbi või umbavade treimise terad (joonis 3.1.11.3). Sisetreitera kinnitatakse terahoidikusse paralleelselt tooriku teljega. Et tera tagapind ei lõikuks töödeldavasse pinda, peab tema taganurk olema suurem kui välistreiteral ($\alpha = 12...16^\circ$).



Joonis 3.1.11.3. Sisetreiterad: a) läbiavade treimiseks, b) umbavade treimiseks

Raskel töörežiimil kasutatakse avade treimiseks jäiku sisetreiteri, mille keha ristlõige on ruudukujuline.

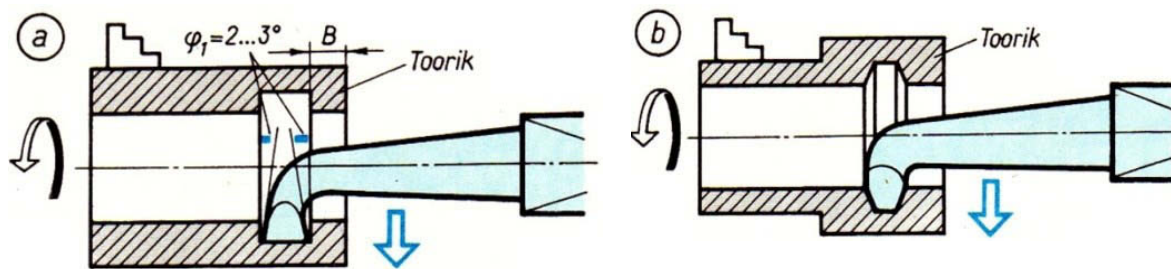
Treitava ava sügavust kontrollitakse joonlaua, nihiku sügavusvarda, šablooni või pikiettenihke limbi abil. Töö kiirendamiseks tehakse treitera kaelale kriips (joonis 3.1.11.4.a) või asetatakse terahoidikusse tera peale metalliist ehk lamepiirik (joonis 3.1.11.4.b), mille väljaulatus on võrdne treitera väljaulatuse pikkuse ja treide sügavuse vahega. Kui mehaanilise ettenihkega treimisel piirik jõuab toorikust 2...3 mm kaugusele, lülitatakse ettenihe välja ning jätkatakse treimist käsiettenihkega kuni piirikuni. Kasutatakse ka rullpiirikuid (joonis 3.1.11.4.c) [3].



Joonis 3.1.11.4. Ava sügavuse kontrollimine: a) treiterale kantud kriipsu abil, b) lamepiiriku abil, c) rullpiiriku abil; L tera väljaulatus, l sisetreide sügavus

Sisetreimisel saavutatakse läbimõõdu täpsus samal viisil kui välistreimisel, st mõõtes prooviläbimi järel nihikuga või sisekruvikuga, kasutades ristettenihke limbi, supordi ristkelgu joonlauda või ristpiirikut. Soovitavad lõikerežiimid on antud käsiraamatus.

Täisnurksete **sisesoonete** treimiseks kasutatavate sooneterade tööosa kujundusgeomeetria on sama mis välistreimisel kasutatavatel (joonis 3.1.11.5) [3].



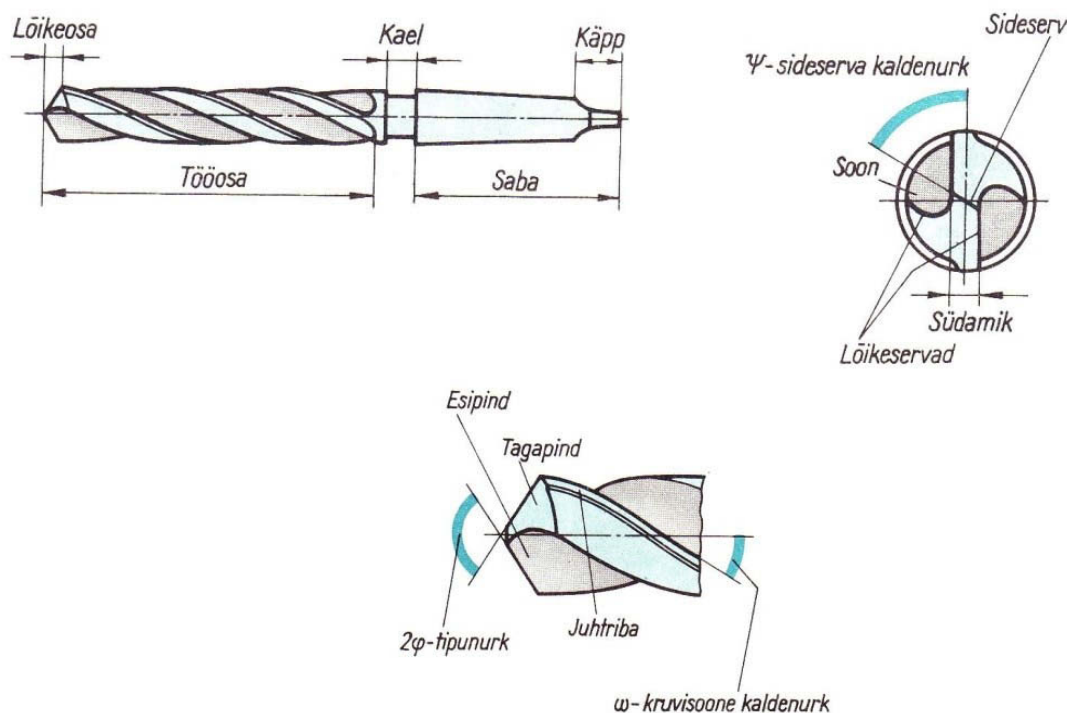
Joonis 3.1.11.5. Sisesoone treimine; a) täisnurkne soon, b) trapetsikujuline tihendisoon

Kuna treial ei näe sisesoone treimist, on väga tähtis oskuslikult kasutada piki- ja ristettenihke limbi või piirikuid.

3.1.12. Puurimine treipingis

Puurimisega saadakse mõõtetäpsus kuni IT12 ning pinnakaredus $R_z = 20...80 \mu\text{m}$.

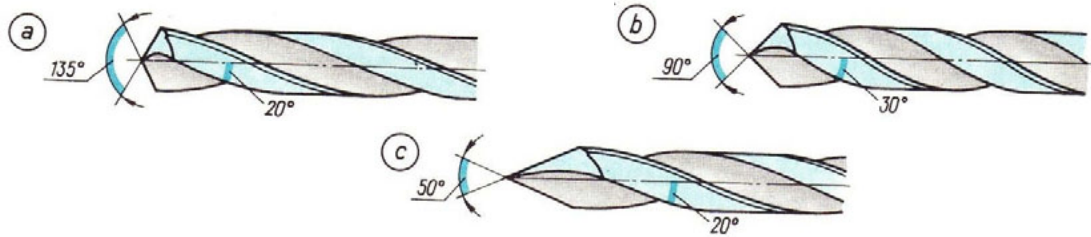
Levinuim puurimisriist on *spiraalpuur* (joonis 3.1.12.1). See koosneb tööosast, kaelast ja sabast. Tööosa kahe lõikeservaga otsa nimetatakse *lõikeosaks* e. terikuks. Lõikeservadevaheline tipunurk 2φ on terase ja malmi töötlemisel tavaliselt $118...120^\circ$ [3].



Joonis 3.1.12.1. Spiraalpuur, tema ehitus ja lõikeosa elemendid

Teiste materjalide töötlemisel kasutatavad puuri tipunurgad on näha joonisel 3.1.12.2. Puuri tööosa moodustub kahest krivijoone järgi kujundatud hambast, mis on puuri südamikuosas omavahel ühendatud. Kummagi hamba välisserval paikneb kitsas juhtriba. Hammaste vahel on kaks spiraalsoont. Üks soonesein on hamba esipind, teine sein tagapind.

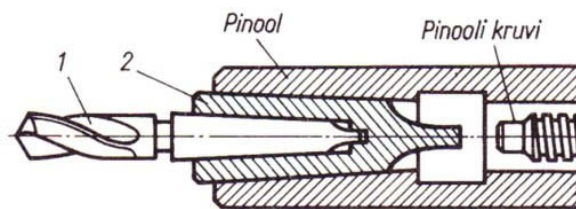
Soonte kaudu juhatakse jahutusvedelik puuri lõikeservade juurde ja neid mööda väljub puuritavast avast laast [3].



Joonis 3.1.12.2. Erimaterjalide töötlemiseks teritatud puurid: a) malmi ja roostevaba terase, b) kergsulamite, c) plastmasside töötlemiseks

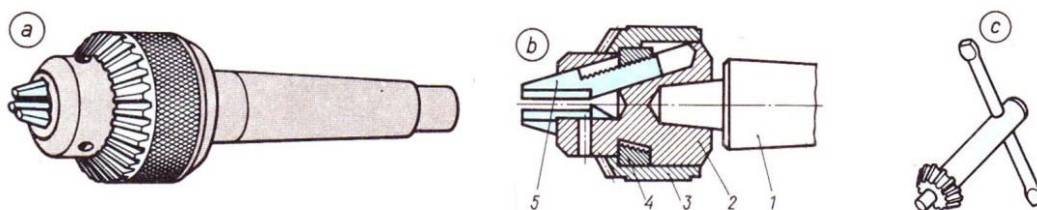
Spiraalsoone kaldenurk puuri telje suhtes $\omega = 20...30^\circ$. Hammaste tagapindade ja südamiku lõikumisel moodustub sideserv, mille kaldenurk lõikeservade suhtes $\psi = 55^\circ$. Puur kinnitub pinki (tsentripuki pinooli või supordi erihoidikusse) sabapidi. Puuri saba võib olla kooniline või silindriline. Koonilise sabaga puuridel on standardne Morse koonus nr 1, 2, 3, 4, 5. Sabakoonus võimaldab puuri kindlalt tsentreerida ja hoiab ära selle pöörlemise.

Kui puuri saba ja tsentripuki pinooli või supordisse paigaldatava hoidiku ava koonus on erinevad, siis kinnitatakse puur vahekoonuse (joonis 3.1.12.3) abil [3].



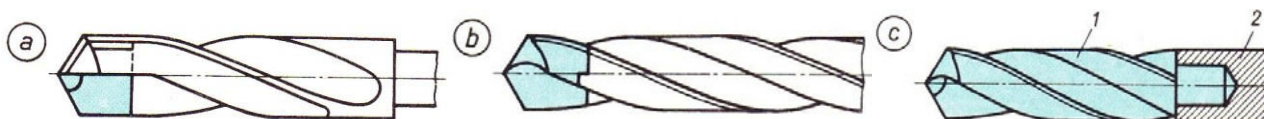
Joonis 3.1.12.3. Puuri kinnitamine vahekoonuse abil; 1 puur, 2 vahekoonus

Silindrilise sabaga puurid kinnitatakse tsentripuki pinooli või supordis asuvasse hoidikusse puuripadruni abil. Lihtsaim puuripadrun on joonisel 3.1.12.4. Padruni peas 2 asetsevad kaldu kolm väliskeermega pakki 5. Nende keermetele keeratakse mutter 4, mis on ühendatud muhviga 3. Muhvi pööratakse padruni peas olevatesse avadesse asetatava hammasvõtmega (joonis 3.1.12.4.c) [3]. Koos muhviga pöörduvad mutter, mis sunnib ka pakke liikuma. Paki pesa kaldpinna tõttu pakid nihkudes kas lähenevad üksteisele või eemalduvad, seega kinnitavad või vabastavad puuri.



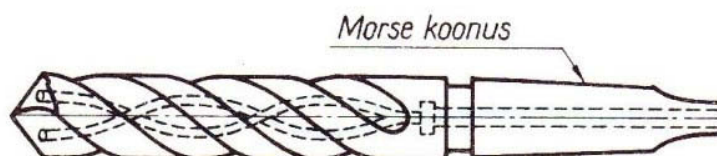
Joonis 3.1.12.4. Puuripadrun; a) üldvaade, b) lõige, c) hammasvõti; 1 saba, 2 pea, 3 muhv, 4 mutter, 5 pakk

Puuri tööosa valmistatakse tööriistaterasest, kael ja saba aga konstruktsiooniterasest. Osad keevitatakse kokku. Kõvadesse materjalidesse on avasid otstarbekas puurida kermisplaadiga varustatud puuriga (joonis 3.1.12.5). Plaat joodetakse puuri tippu freesitud lõhesse. Kasutatakse ka otsa joodetud keerdkrooniga puure. Kuni 8-mm läbimõõduga puuride tööosa tehakse üleni kõvasulamist ja joodetakse terasest sabasse [3].



Joonis 3.1.12.5. Kermisplaatidega puurid: a) külgejoodetud plaadiga, b) otsajoodetud keerdkrooniga, c) terviklik kermisest puur; 1 tööosa, 2 saba

Suur püsivus on sisemiste jahutusvedelikukanalitega puuridel (joonis 3.1.12.6). Puuri hambaid läbivad avad, mis kaelaosas liituvad, moodustades jahutusvedeliku keskkonali. Pumbast juhatakse jahutusvedelik mööda voolikut eripadrunisid ja sealt puuri sabas olevasse kanalisse; selle kaudu suundub jahutusvedelik puuri lõikeservadele. Surve all löikekohta antav vedelik jahutab intensiivselt puuri ning eemaldab avast laastud. Neid puure on eriti otstarbekas kasutada avade puurimisel sitkesse terasesse [3].



Joonis 3.1.12.6. Jahutusvedelikukanalitega puur

Lõikerežiimid puurimisel

Lõikesügavus a_p [mm] on pool puuri läbimõõtu, ülepuurimisel aga pärast ja enne töötlemist võetud läbimõõtu poolvahe:

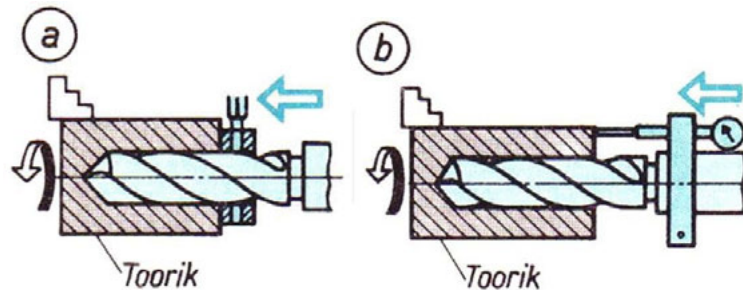
$$a_p = \frac{D}{2}, \quad (3.1.9) \quad \text{kus } D \text{ on puuri läbimõõt.}$$

Pöördetenihe f [mm] on puuri pikinihe tooriku ühe pöörde jooksul.

Lõikekiirus v [m/min] sõltub puuri läbimõõdust D ja tooriku pöörlemissagedusest n [min⁻¹]. Lõikekiirust saab arvutada valemiga (3.1.2)

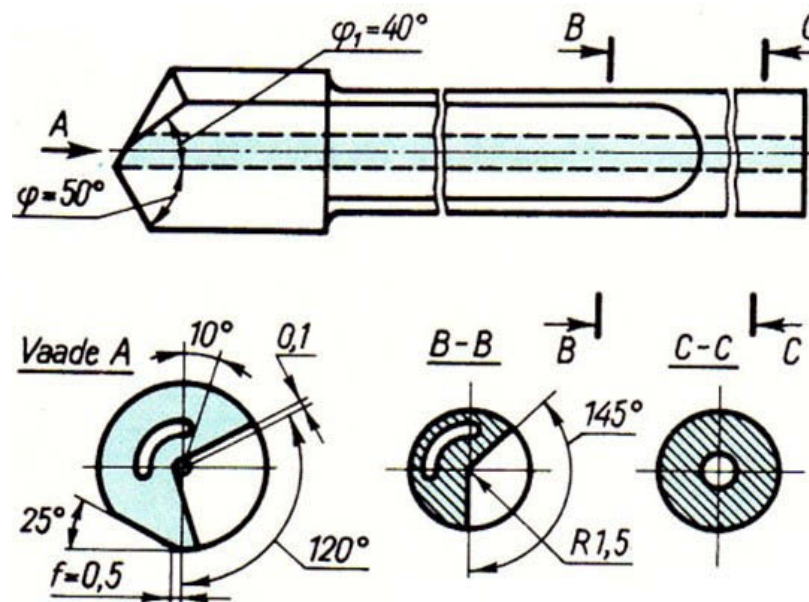
Ettenihke ja lõikekiiruse saab määrata käsiraamatuist ja lõikeriistade kataloogist vastavalt puurimise tingimustele. Puurimisel tuleb jahutusvedelik suunata otse avasse. Selleks, et puuri jahutada ja ava laastust puhastada, on soovitatav puur aeg-ajalt avast välja tuua.

Ava sügavust töötlemise ajal kontrollitakse pinooli limbi jaotiste või puurile tehtud märgi järgi. Samal eesmärgil võib puurile asetada ka piirdepuksi (joonis 3.1.12.6.a). Kasutatakse ka pinoolile kinnitatavaid indikaatorrakiseid. Indikaator seadistatakse etalondetaili järgi ja temaga saadakse ava sügavuse täpsus kuni 0,01 mm (joonis 3.1.12.6.b) [3].



Joonis 3.1.12.7. Ava sügavuse kontrollimine: a piirdepuksi abil, b indikaatori järgi

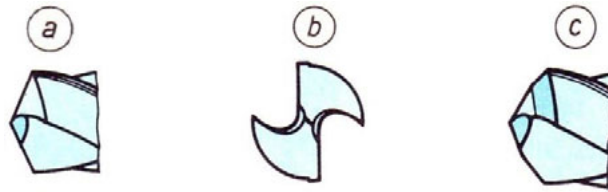
Ava on sügav sel juhul, kui tema pikkus on läbimõõdust üle 5 korda suurem. Sügavate avade telje sirksuse, kuju ja mõõtmete täpsusnõuded on sageli väga ranged. Kui sügavat ava puuritakse tavalise spiraalpuuriga, on puuri kõrvalekaldumine vältimatu tema lõikeservadele mõjuvate radiaaljõudude erinevuse tõttu. Selle tagajärjel võib ava läbimõõt tulla puuri läbimõõdust suurem. Sügava ava telje sirksus ja läbimõõdu täpsus saavutatakse puuridega, millel on üks lõikeserv ja sirge laastusoon; neid nimetatakse püssipuurideks. Selline puur suundub hästi avasse, sest tema selg puutub vastu töödeldud ava suure pinnaga (joonis 3.1.12.8.a) [3]. Jahutusvedelik suundub läbi puuri kanali lõikeserva juurde ja surub laastu avast välja.



Joonis 3.1.12.8. Püssipuur

Et vähendada lõiketakistust puurimisel, käitakse üle 12-mm läbimõõduga puuridel sideserv väikesel abrasiivkettal lühemaks (joonis 3.1.12.9.a, b). Kõige rohkem kuluvad

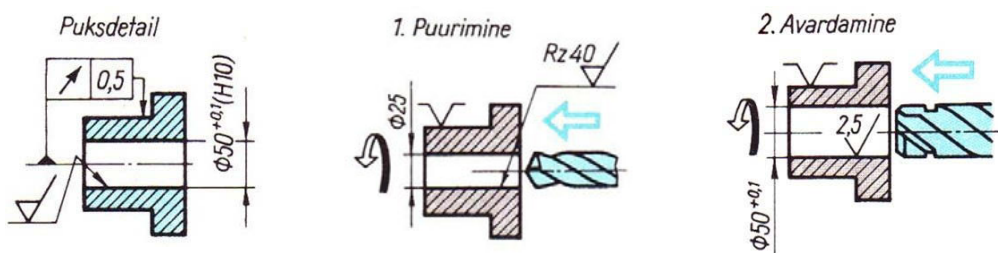
puuri lõikeservad välisläbimõõdu lähedalt, sest seal on lõikekiirus kõige suurem, mass väiksem ja soojusjuhtivus halb, nii et ääreosa kuumeneb kiiremini kui südamik. Ülekuumenemisel võib puur isegi kinni kiiluda. Suure läbimõõduga puuri töö parandamiseks suurendatakse lõikeservade pikkust kahekordse teritamise teel. Kahekordne teritamine koos siderserva järelteritamisega (joonis 3.1.12.9.c) suurendab puuri püsivusaega 2 korda [3].



Joonis 3.1.12.9. Puuride järelteritamine; a ja b siderserva lühendamiseks, c lõikeserva pikkuse suurendamiseks

3.1.13. Avardamine, hõõritsemine

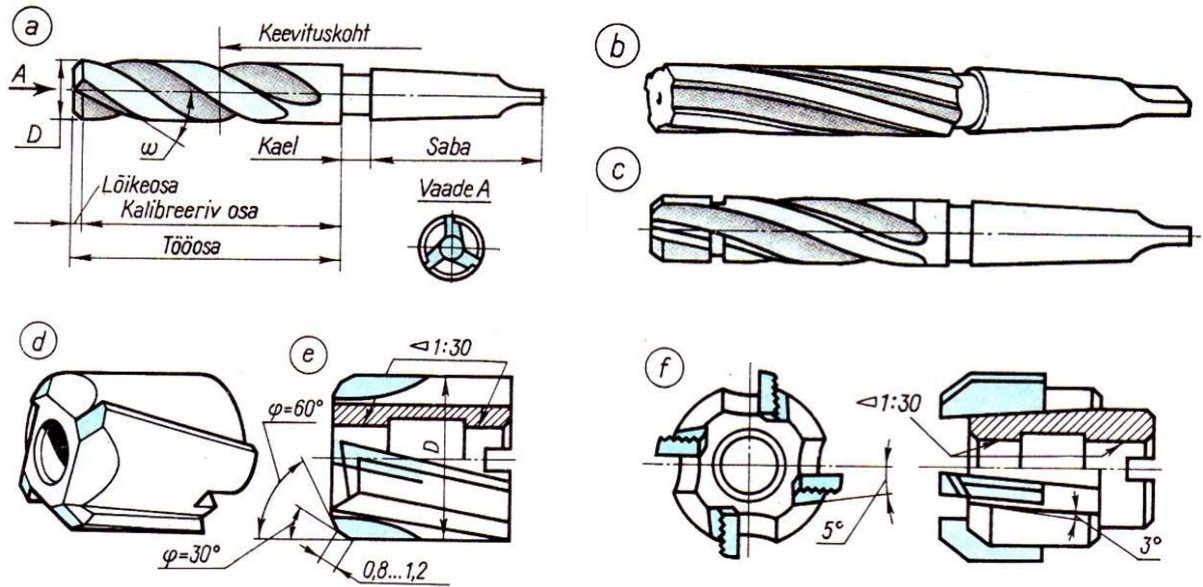
Avardamine on avade läbimõõdu intensiivne suurendamine. Avardatakse puuritud, samuti valatud või sepistatud avasid. Avardamisel saadakse tötlustäpsus kuni IT10 ja pinnakaredus $Ra=2,5...1,25 \mu\text{m}$. Joonisel 3.1.13.1 on näha ava $\text{Ø}50\text{H}10$ töötlemise tehnoloogia (puurimine ja avardamine) [3].



Joonis 3.1.13.1. Ava $\text{Ø}50\text{H}10$ töötlemise tehnoloogia

Avardid (joonis 3.1.13.2.) on kas sabaga või otsapandavad, terviklikud või koostatavad (sissepandavate teradega) [3].

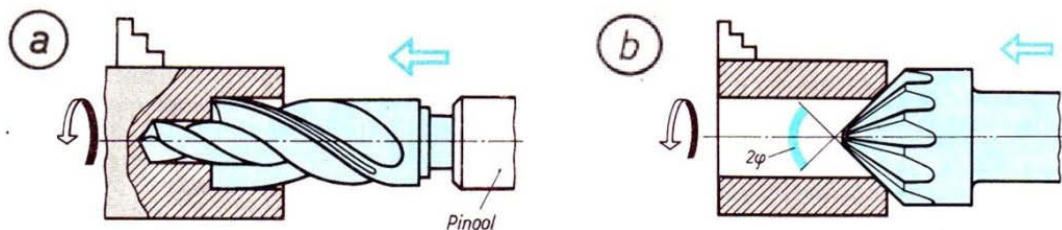
Avardi materjal on kas kiirlõiketeras või kermis. Hambaid võib olla 3...4, mõnikord kasutatakse ka kahe hambaga avardit. Avardid kinnitatakse koonussaba abil tsentripuki pinooli. Ettenihet võib anda nii käsitsi kui ka mehaaniliselt. Avardusvaru sõltub ava läbimõõdust ja on 0,5...2 mm raadiusele.



Joonis 3.1.13.2. Avardid; a) ehitus, b) nelja hambaga kiirlõiketerasest tervikavardi, c) kermiskrooniga avardi, d) otsapandav kiirlõiketerasest avardi, e) kermisest avardi, f) sissepandavate teradega otsapandav avardi.

Kiirlõiketerasest avardi pöördetenihe on $0,3...1,2$ mm, kermisavardil $0,4...1,5$ mm. Lõikekiirus on vastavalt $20...35$ m/min ja $60...200$ m/min. Suuri avasid töödeldakse liitlõikeriistaga - puuravardiga (joonis 3.1.13.3.a).

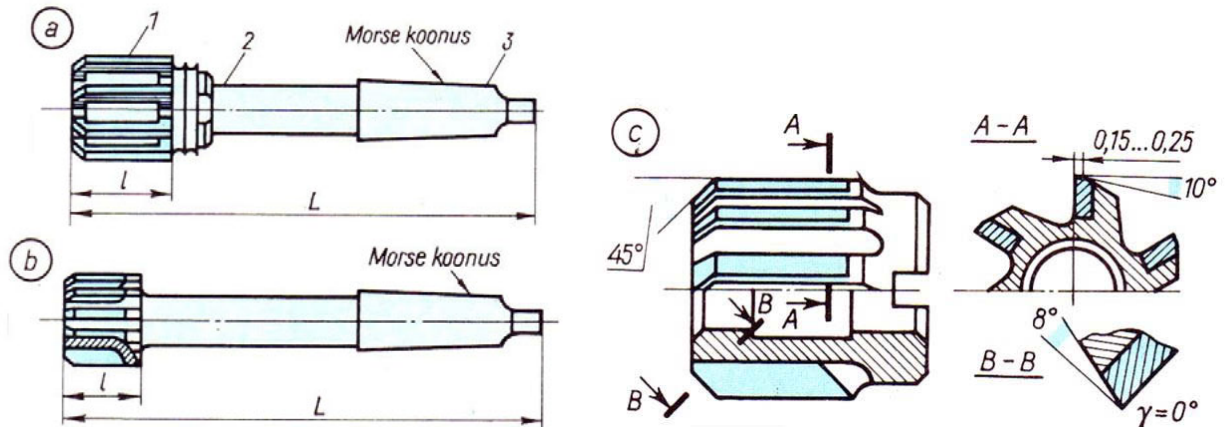
Faase ja koonussüvendeid töödeldakse **süvistiga** (joonis 3.1.13.3.b), mille lõiketerade arv on suurem kui avarditel. See võimaldab saada töötlemisel pinnakareduse $Ra = 1,25...0,63$ μm . Standardsüvistite töökoonuste nurgad on 45° , 60° , 75° ja 120° [3].



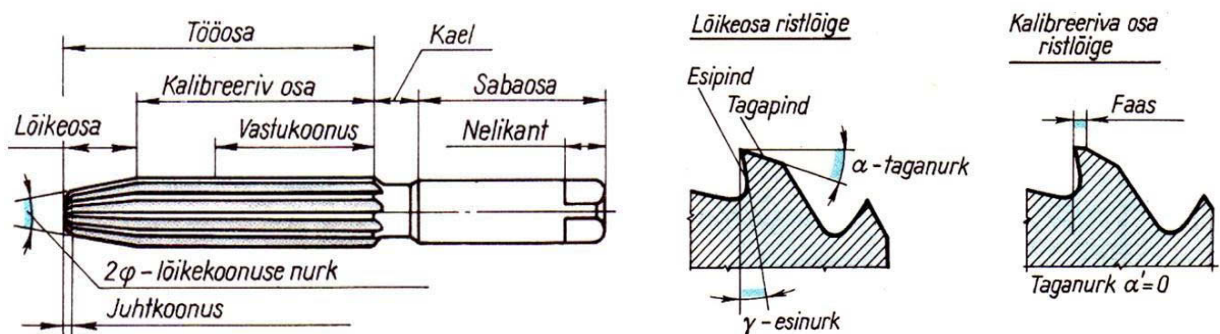
Joonis 3.1.13.3. Töötlemise võimalused; a) puuravardiga, b) süvistiga

Hõõritsaid kasutatakse suurema täpsuse ja väiksema pinnakareduse saamiseks. Nendega saadakse avad, mille tolerantsijärk on $H7...H10$ ja pinnakaredus $Ra = 0,63...0,16$ μm . Kahe hõõritsaga järjest töödeldes võib saada isegi pinnakareduse $Ra = 0,16...0,08$ μm . Hõõritsemisega ei ole võimalik kõrvaldada eelmisest töötlemisest tekkinud ava viskumist ega telje viltuseisu. Käsitsusviisilt liigitatakse hõõritsaid masin- ja käsihõõritsateks, ehituselt aga sabaga ja otsapandavateks ning tervik- ja koostatavateks (vahetatavate

teradega) hõõritateks. Kasutatakse ka reguleeritavaid hõõritsaid, mille töömoodet saab teatud piirides muuta [3].



Joonis 3.1.13.4. Masinhõõritsad: a) reguleeritavate teradega hõõrits, b) kermisteradega hõõrits, c) kermisteradega otsapandav hõõrits; 1 tööosa, 2 kael, 3 saba; l tööosa pikkus, L hõõritsa üldpikkus.

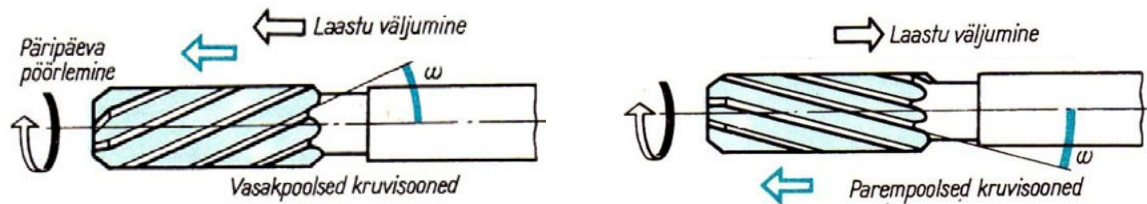


Joonis 3.1.13.5. Käsihõõritsa elemendid ja kujundusgeomeetria

Hõõrits koosneb terikust, kaelast ja sabast (joonis 3.1.13.5). Masinhõõritsal on kooniline (Morse koonus), käsihõõritsal silindriline nelikantotsaga saba pööra jaoks. Hõõritsa töösal eristatakse juhtkoonust, lõike- ja kalibreerivat osa (joonis 3.1.13.5). Juhtkoonus kergendab hõõritsa lõikumist avasse. Lõikeosal on hästi teritatud hambad. Lõikeservanurga $2\varphi_r$, väärtus oleneb töödeldavast materjalist. Malmi töötlemisel $2\varphi_r = 4...12^\circ$, terase töötlemisel $2\varphi_r = 15...30^\circ$ (läbiava hõõritsemisel). Kalibreeriv osa on silindriline lõik, mis suunab hõõritsa avasse ja kalibreerib seda. Hõõritsa vastashammaste kohal vastab moodetud läbimõõd töödeldava ava läbimõõdule. Hõõritsa avast väljaviimise kergendamiseks on kalibreeriv osa lihvitud saba poole ahenevalt kooniliseks. Hõõritsa läbimõõd väheneb saba poole 0,04...0,08 mm. Hõõritsa teriku ja kalibreeriva osa hammaste nurgad on kujutatud joonisel 3.1.13.5 [3].

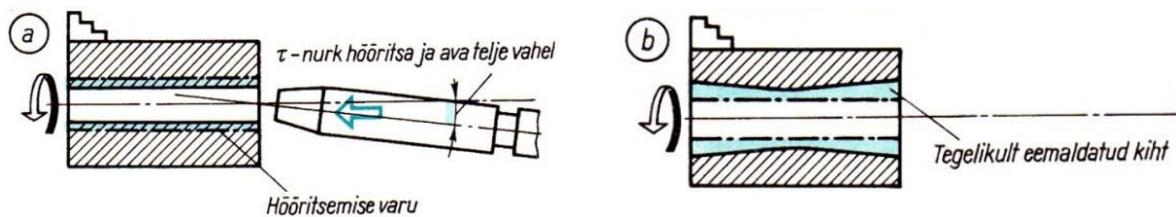
Hammaste samm ei ole hõõritsal võrdne. Kui hõõritsal on näiteks 12 hammast, siis kesknurk ei ole mitte 30° , vaid järgimiselt: $27^\circ33'$; $28^\circ28'$; $29^\circ34'$; $30^\circ30'$; $31^\circ25'$ ja $32^\circ36'$. Seejuures peavad vastashambad paiknema ühes telgtasandis, sest vastasel korral oleks hõõritsa läbimõõdu kontrollimine väga keeruline.

Sammu ebahühtlus võimaldab saada tahulisuseta ava. Töötlemise kvaliteet on kõrgem, kui kasutatakse spiraalhõõritsaid (joonis 3.1.13.6) [3].



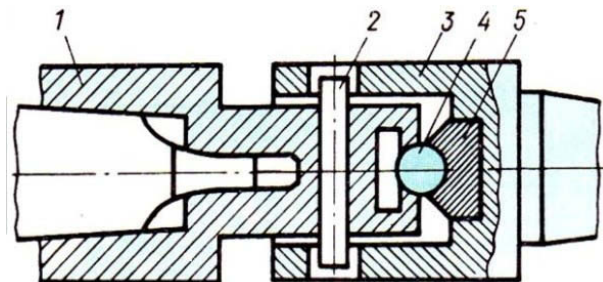
Joonis 3.1.13.6. Spiraalhõõritsaid; ω kruvisoone kaldenurk

Vasakpoolsed kruvisooned tõukavad hõõritsa päripäeva pöörlemisel laastu ettepoole. Selle tulemusena väheneb hõõritsetud avaosa laastudega vigastamise oht ja ava kvaliteet tõuseb. Parempoolsete kruvisoontega hõõritsaid kasutatakse umbavade hõõritsemisel, sest nad suunavad laastu paremini avast välja. Enne tööd tuleb hõõrits laastudest ja mustusest puhastada. Kui hõõritsa saba on jäigalt kinnitatud tsentripuki pinooli, siis kutsub isegi vähemärgatav saba ja teriku mittesamatelgus, pinooli telje hälve või istukoonuse mustus esile töötlusvaru ebahütlase eemaldamise: ava otstes tuleb läbimõõt suurem kui keskel (joonis 3.1.13.7.a ja b) [3].



Joonis 3.1.13.7. Ava viskumine hõõritsa jäiga kinnituse korral; toorik a enne, b pärast hõõritsemist

Et seda vältida, kinnitatakse hõõrits kuulliigendtorni (joonis 3.1.13.8). Torni kere kinnitatakse pinooli. Torn ise, millesse asetatakse hõõrits, on kerega ühenduses kuulliigendi kaudu. Hõõritsemisvaru sõltub ava läbimõõdust ja töödeldavast materjalist ning moodustab 0,08...2 mm ava raadiusest.

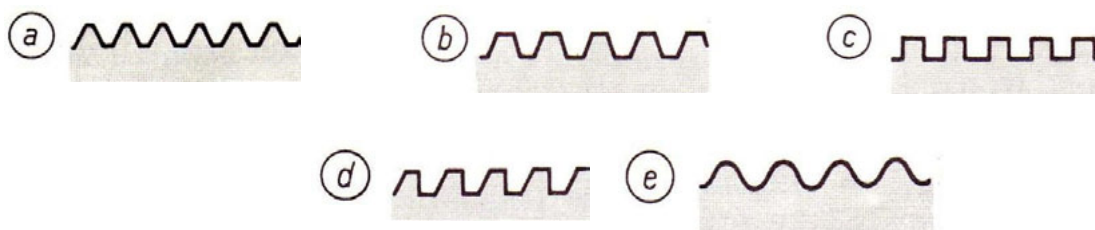


Joonis 3.1.13.8. Hõõritsemisel kasutatav kuulliigendtorn: 1 torn, 2 tihvt, 3 kere, 4 kuul, 5 tugikauss

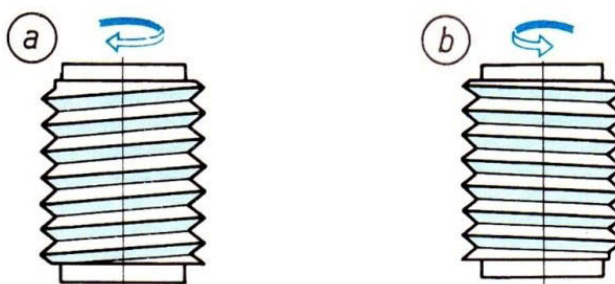
Lõikerežiimi valimine. Ettenihe võetakse hõõritsemisel 2...3 korda suurem kui sama läbimõõduga ava puurimisel, lõikekiirus aga niisama palju väiksem. Ettenihe ei avalda mõju pinnakaredusele, sest viimane sõltub ainult hõõritsa kalibreeriva osa lõikeserva seisundist. Väike lõikekiirus on vajalik selleks, et hõõritsa lõikeservadel ei tekiks terakasvajad. Siis on töötuse kvaliteet kõrge [3]. Hõõritsemisvaru, soovitatavad ettenihked ja lõikekiirused on antud käsiraamatus ja lõikeriistade tootja kataloogis.

3.1.14. Keermetamine keermelõikuri ja keermepuuriga

Masina- ja seadmetes ja aparaatides kasutatakse sageli detaile, millel on keermetatud sise- või välispind. Need on kinnituskruvid ja -mutrid, käigukruvid, mis muudavad pöördliikumise kulgliikumiseks, jõukruvid (nt tungrauad) jne. Mõõteriistades kasutatakse mikromeetrilise (täpse) sammuga kruve ja mutreid. Kruvipind moodustub mingi profiili ühtlasel ja üheaegsel ring- ja pikiliikumisel telje suhtes. Sõltuvalt profiili kujust eristatakse kolmnurk-, trapets-, ruut-, tugi- ja ümarkeermesid (joonis 3.1.14.1). Keerme suunast lähtuvalt eristatakse paremkeeret (kruvi läheb mutrisse päripäeva keeramisel) ja vasakkeeret (joonis 3.1.14.2) [3].

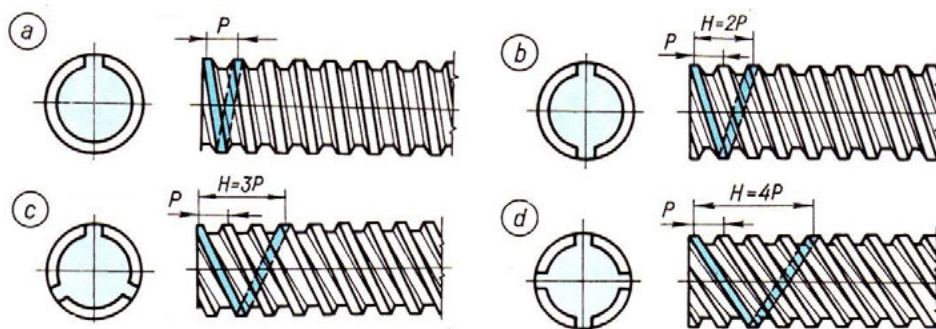


Joonis 3.1.14.1. Keermed jagunevad profiili järgi: a) kolmnurkkeere, b) trapetskeere, c) ruutkeere, d) tugikeere, e) ümarkeere



Joonis 3.1.14.2. Keermed jagunevad suuna järgi: a) parem-, b) vasakkeere

Keere võib olla ühe- või mitmekäiguline. Viimasel on mitu paralleelset keermeniiti: detaili otsas on näha mitme sümmeetriliselt paikneva keermeniidi algus (joonis 3.1.14.3) [3].



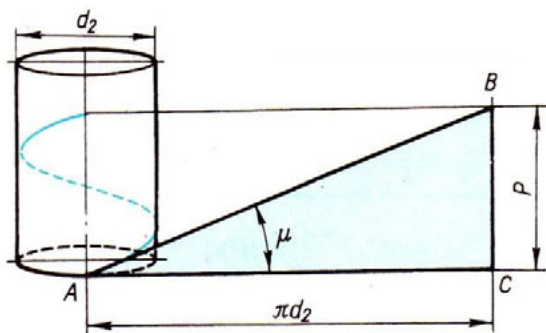
Joonis 3.1.14.3. Mitmekäigulised keermed: a) ühe-, b) kahe-, c) kolme- ja d) neljakäiguline

Keerme elemendid. Kui kruvijoon laotada tasapinnale, siis ta moodustab kolmnurga ABC hüpotenuusi. Kolmnurga üks kaatet AC on võrdne ringjoone pikkusega $\pi \cdot d_2$, kus d_2 on keerme keskläbimõõt, ning teine kaatet BC on võrdne keerme sammuga P (joonis 3.1.14.4).

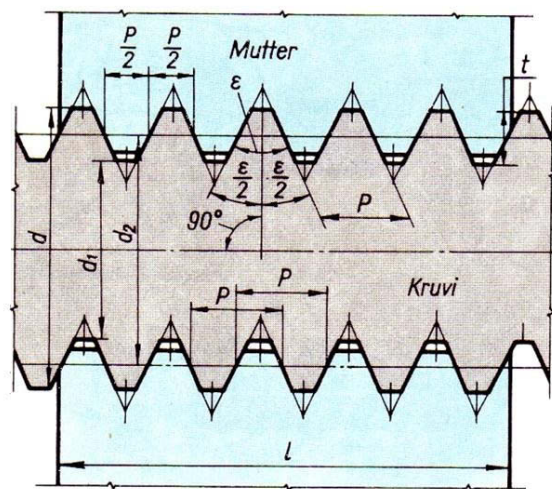
Keerme sammuks nimetatakse kahe naaberkeeru samanimeliste profiilipunktide vahekaugust telgsihis [3]. Keermeniidi sihi ja silindri telje ristpinna vahelist nurka nimetatakse **keerme tõusunurgaks** μ (joonis 3.1.14.4) [3].

$$\tan \mu = \frac{P \cdot \pi}{\pi \cdot d_2}, \quad (3.1.10)$$

kus d_2 - keerme keskläbimõõt,
 P - keerme samm,
 μ - keerme tõusunurk.



Joonis 3.1.14.4. Kruvijoon moodustumine



Joonis 3.1.14.5. Keerme elemendid

Keerme keskläbimõõt on mõttelise silindri läbimõõt, mille moodustaja jaotab keermeprofiili selliselt, et keermeniidi laius võrdub soone laiusel. Mida väiksem on nurk μ , seda isepidurduvam on keermesliide. Peale keskläbimõõdu d_2 , sammu P ja tõusunurga μ iseloomustavad keeret veel välisläbimõõt d , siseläbimõõt d_1 , profiilnurk ϵ ja profiilisügavus t . Keerme elemendid on toodud joonisel 3.1.14.5.

Keerme profiilnurkaks ϵ , nimetatakse profiili kahe külgtahu vahelist nurka ja seda mõõdetakse keerme telje ristsirge suhtes.

Keerme profiilisügavus t on välis- ja siseläbimõõdu poolvahe:

$$t = \frac{d-d_1}{2}. \quad (3.1.11)$$

Meeterkeere on kolmnurkkeere profiilinurgaga $\varepsilon = 60^\circ$. Keerme läbimõõtu ja samm moodetakse millimeetrites. Meeterkeermega poltidele (väliskeermele) on kehtestatud keskläbimõõdu tolerantsid *4g*, *6g* ja *8g*, mutritele (sisekeermele) *4H*, *5H*, *6H* ja *7H*. Meeterkeere võib olla jäme- või peenkeere. Esimesel juhul keermeläbimõõdu suurenemisel suureneb ka samm, kusjuures tema suurim väärtus on 6 mm. Peenkeerme samm ei sõltu läbimõõdust, st suure läbimõõduga detailidel võib olla ka väikese sammuga keere. Meeterkeeret tähistatakse tähega M ja arvuga, mis näitab keermeläbimõõtu. Keerme tingtähise järele märgitakse tolerantsivälja tähis, näiteks *4g*, *6H*. Vasakkeerme tähisele lisatakse tähed *LH*. Peenkeerme korral järgneb tähele M keermeläbimõõtu näitav arv. Selle järele kirjutatakse keermeläbimõõdu samm [3].

Tähistusnäiteid: *M12-6h* on meeterkeermega polt, mille keermeläbimõõtu 12mm, tolerantsivälja *6h*; *M12x1-LH-6H* on vasakpoolse meeterkeermega mutter, keermeläbimõõtu 12mm, peenkeere sammuga 1 mm, tolerantsivälja *6H*.

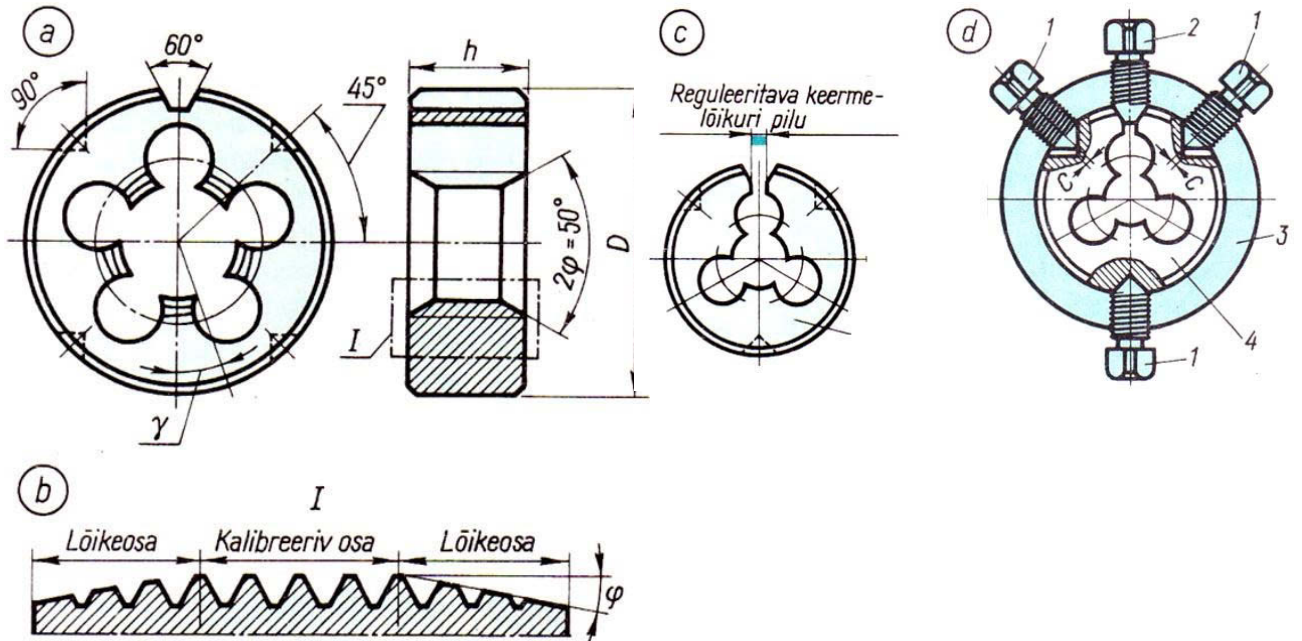
Tollkeermel kasutatakse vanade või tollimõõdustikuga maadest (Inglismaa, USA jt.) soetatud seadmetel. Tollkeermel on kolmnurkne profiil nurgaga $\varepsilon = 55^\circ$, läbimõõtu antakse tollides või selle osades ($1''=25,4$ mm), samm näidatakse keermeniitide (keerdude) arvuga ühe tolli kohta. Joonisel märgitakse tollkeeret ainult välisläbimõõduga (näit 1", 1/4"). Igale läbimõõdule vastab teatud arv keerdusid tolli kohta (saab käsiraamatuist). Näiteks keermeläbimõõdu $1\frac{1}{2}''$ $n=6$ keermeniiti ühe tolli kohta, st $P=1/6''$.

Väliskeerme lõikamine keermelõikuriga

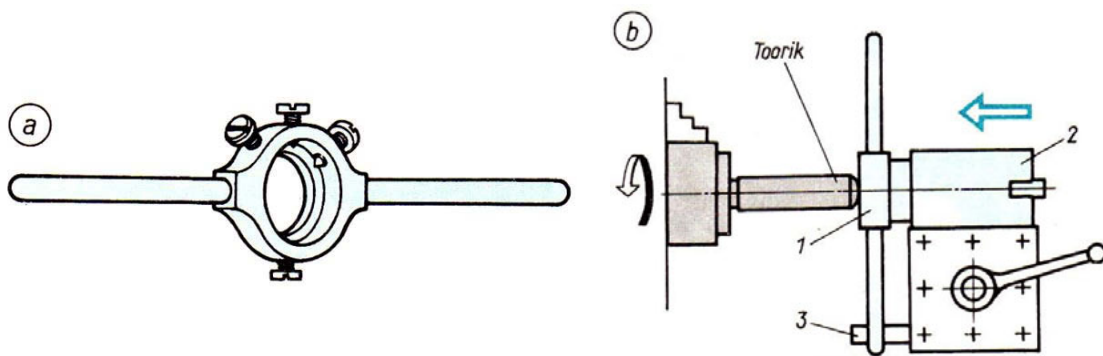
Ümarkeermelõikuriga lõigatakse kolmnurkse profiiliga ja kuni 2 mm sammuga väliseid kinnituskeermelõikureid. Mõnikord kasutatakse keermelõikurit treiteraga lõigatud jämekeermelõikureid kalibreerimiseks. Keermelõikur (joonis 3.1.14.6) sarnaneb tööriistaterasest valmistatud mutriga, millel on samasugune keere nagu lõigatav keeregi. Vastavalt keermelõikuri mõõtmetele on sellesse puuritud 3...8 keermeniiti lõikavat ava. Ava ja keermelõikuri pinnal moodustub kammitaoline lõikeserv, kusjuures lõikuri külgedel olevate faaside tõttu moodustub terik, mille ülesanne on lõigata metalli. Lõikuri keermelõikuri silindriline osa (5...6 keerdud) kalibreerib lõigatava keermelõikuri ja annab sellele nõutava pinnakareduse. Keermelõikurit saab kasutada mõlemapoolselt, st pärast ühe otsa lõikeosa kulumist pööratakse lõikur pööras ümber ja jätkatakse tööd teise otsaga. Keermelõikuri otsapinnale on märgitud temaga lõigatava keermelõikuri mõõde. Keermelõikur kinnitatakse käsipööra (joonis 3.1.14.7.a). Kulumise kompenseerimiseks kasutatakse reguleeritavaid piluga keermelõikureid. Lõigatava keermelõikuri reguleeritakse kruvidega 1 ja 2 (joonis 3.1.14.6.d).

Käsipööraga lõikamisel viiakse lõikur tooriku otsa juurde tsentripuki pinooli otsa survega, mis suunab lõikurit. Pööra käepide toetub supordile. Pärast kahte kolme pinooliga surutud keermelõikuri saab keermelõikur ettenihke juba tekkinud keermelõikurilt. Keermelõikurit võib suunata

ka terahoidikusse kinnitatud juhikuga, kusjuures pööra pide toetub tugilatile, mis on kinnitatud samuti terahoidikusse (joonis 3.1.14.7.b) [3]. Käsipööraga tuleb ettevaatlikult töötada ja jälgida, et käsi ei jääks pööra käepideme ja toe vahele.

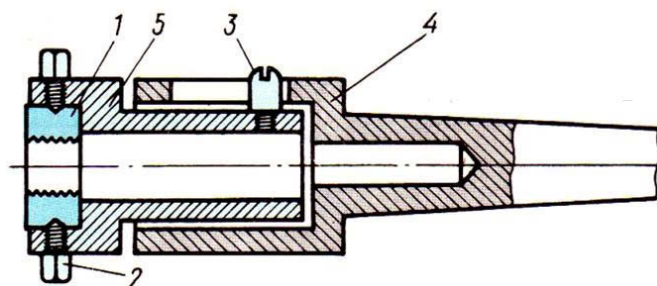


Joonis 3.1.14.6. Ümarkeermelõikur; a) pealtvaade, b) elemendid, c) reguleeritav keermelõikur, d) keermelõikuri kinnitamine hoidikusse; 1 kinnituskruvid, 2 reguleerkruvi, 3 hoidik, 4 keermelõikur



Joonis 3.1.14.7. Keermelõikuriga keermetamine; a) pöörraud, b) tugilati kasutamine; 1 pöör, 2 juhik, 3 tugilatt

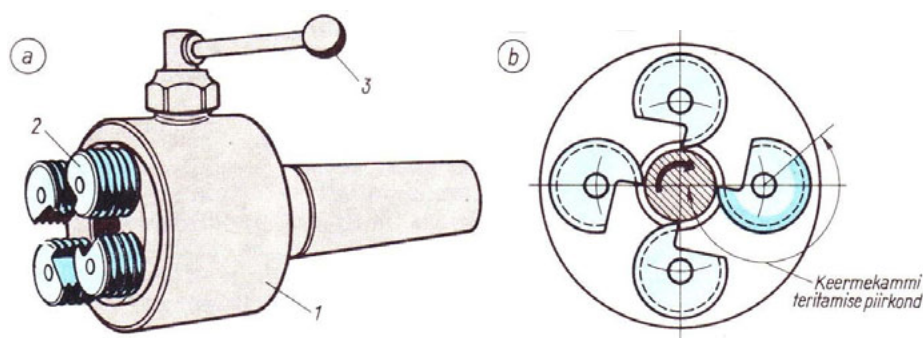
Ohutum ja parem on keeret lõigata liughoidikusse kinnitatud keermelõikuriga, mis asetatakse tsentripuki pinooli (joonis 3.1.14.8) [3].



Joonis 3.1.14.8. Liughoidik: 1 keermelõikur, 2 kinnituskruvi, 3 tihvt, 4 torn, 5 hoidik

Keermetatav varras treitakse veidi peenemaks kui on kavandatava keermelõikuri läbimõõt. Sellega kompenseeritakse lõikamisel tekkivat metalli voolamist keermelõikuri harja poole. Keermetamiseks soovitatavad varda läbimõõdud on antud käsiraamatuis. Enne keermetamist tuleb tooriku ots faasida, mis kergendab lõikuri rakendumist. Keermelõikuriga keermetamisel on lõikekiirus 2...4 m/min terase ja malmi ning kuni 10 m/min värviliste metallide korral.

Väliskeermelõikamisel on tootlikkus suurem, kui kasutatakse iseavanevat keermetuspead (joonis 3.1.14.9) [3].



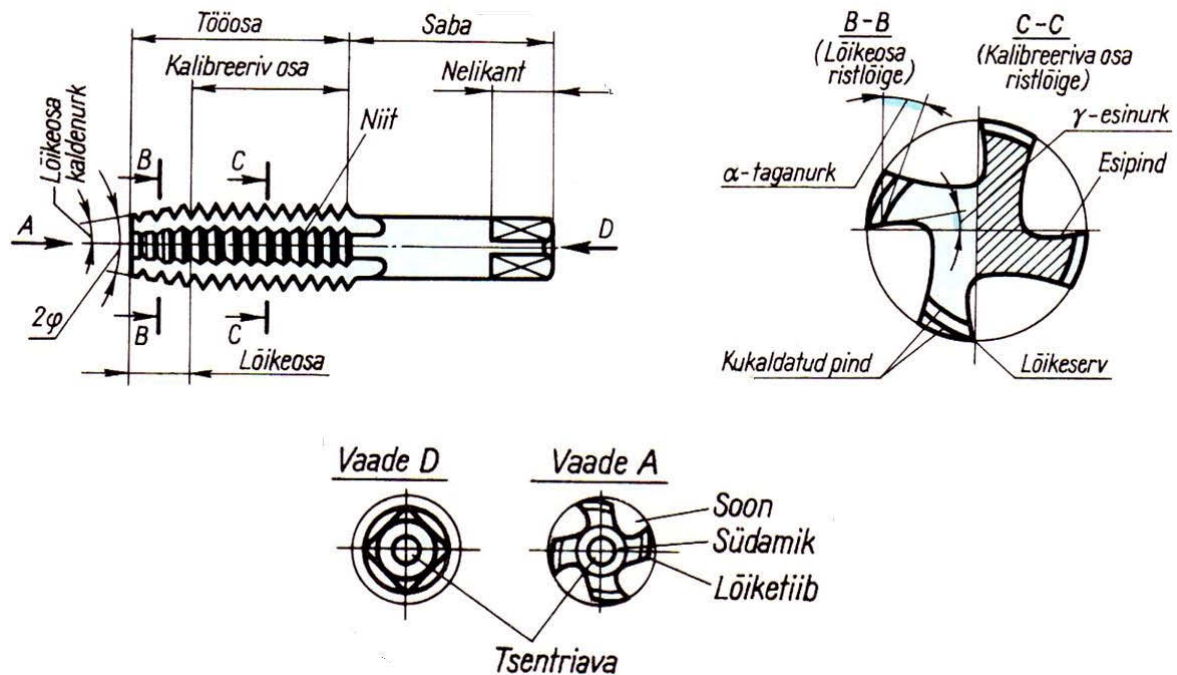
Joonis 3.1.14.9. Iseavanev keermetuspea; a) üldvaade, b) ketasterade tööskeem; 1 kere, 2 ketastera, 3 lõikuri avamismehhanismi hoob

Keres 1 on radiaalsed sooned, milles nihkuvad pakid. Nende külge on kinnitatud ketasterad 2. Lõikur kinnitatakse sabapidi tsentripukki ning ketasterad viiakse toorikusse tsentripuki käsiratta abil. Edasise ettenihke saab lõikur tekkinud keermelt. Iseavanevate keermetuspeadega töötamisel võib lõikekiirus olla 15...20 m/min. Pärast keermelõikamist vabastatakse detail lõikurist hoova pööramisega (ketasterad eemalduvad radiaalselt) ning lõikur viiakse algasendisse tagasi pinooli abil. Kettaid teritatakse esipinnalt terituspingil [3].

Sisekeermelõikamine keermepuuriga

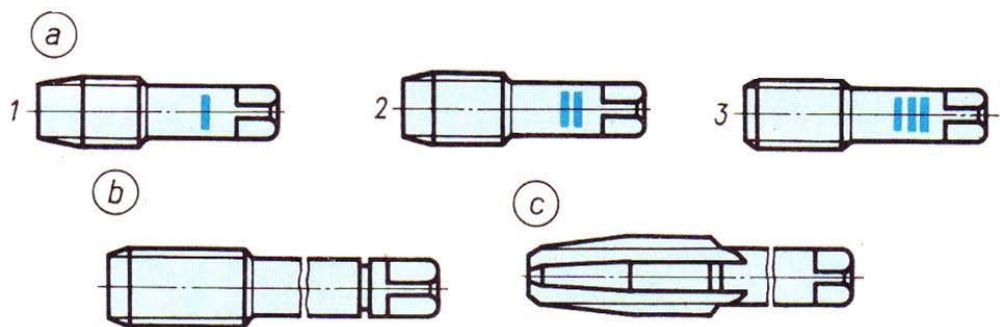
Kuni 20 mm läbimõõduga sisekeermelõikamist teostatakse treipingil keermepuuriga. Keermepuur (joonis 3.1.14.10) on kruvi, mis on sama läbimõõdu, sammu ja profiilinurgaga nagu lõigatav keere. Keermepuuril on pikisooned, mis kergendavad laastu eemaldumist. Soone ja keermetatud pinna lõikejoonel moodustub lõikeserv. Keermepuur lõikab oma terikuga

(kooniline ots), kus hammaste kõrgus pidevalt kasvab. Vastavalt puuri avasse keeramisele löikab tema terik toorikusse keermesooned. Iga hammas löikab osa töötlusvarust ning pärast teriku läbimist on keermel täielik profiil. Lõikekoonuse hammaste tagapinnad on kukaldatud Archimedese spiraali järgi. Tänu sellele moodustub lõikamist kergendav taganurk α . Terikule järgneb kalibreeriv osa, mille hambad ei ole kukaldatud ($\alpha = 0$). Kalibreeriv osa suunab puuri ja viimistleb keeme profiili. Pärast puuri nürinemist saab teda lõikehammade esipindu pidi teritada. Et kalibreeriv osa on kukaldamata, siis pärast teritamist ava keeme läbimõõt ei muutu [3].



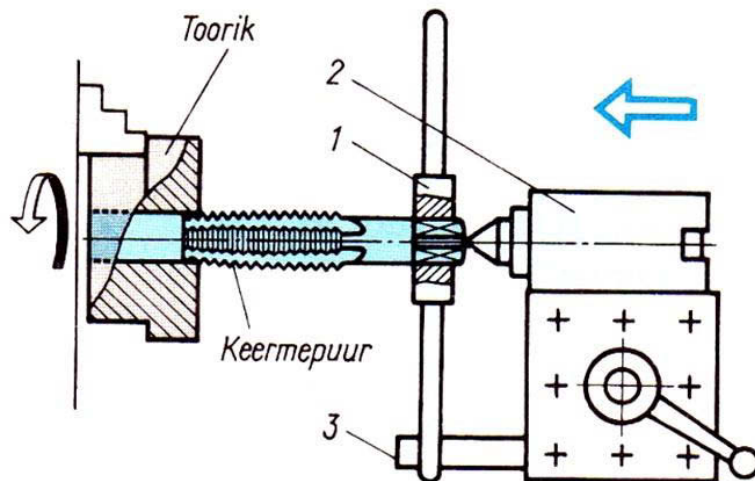
Joonis 3.1.14.10. Keermepuuri osad ja elemendid

Keermepuurid on kolme või nelja hambikuga. Kasutusotstarbe järgi jagunevad nad käsipuurideks (joonis 3.1.14.11.a), masinpuurideks (joonis 3.1.14.11.b) ja pikendatud sabaosaga mutrikermepeerideks (joonis 3. 1.14.11.c). Käsipuurid moodustavad kahe- või kolmekaupade komplekti (joonis 3.1.14.11.a), millest igaüks löikab osa töötlusvarust [3].

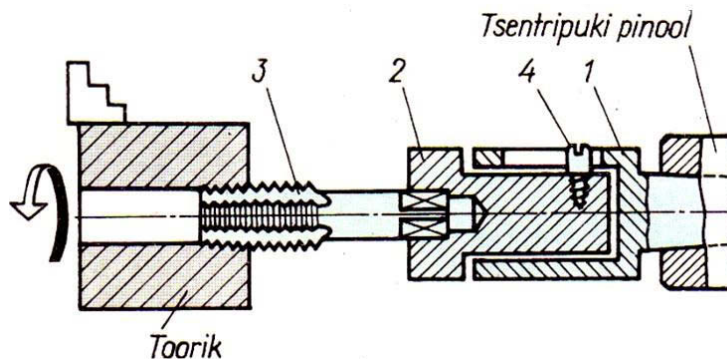


Joonis 3.1.14.11. Keermepuurid: a) käsipuuride (lukksepapuuri) komplekt, b) masinpuur, c) mutripuur

Igale keermepuurile on märgitud terase mark ja keeme mōde. Komplekti esimese (eelkeeme-), teise (vahekeeme-) ja kolmanda (lōppkeeme-) puuri eristamiseks on nende sabad märgistatud vastava arvu tōketega (joonis 3.1.14.11.a). Keeme lōikamiseks kasutatakse pōora 1, mille nelikantpessa asetatakse puur. Keermepuuri surutakse avasse tagatsentri abil, kusjuures pōora kōepide toetub supordile. Nii vōib lōigata ainult kuni 8 mm lābimōdduga keemeid. Suurema lābimōdduga keemete lōikamisel kinnitatakse terahoidikusse tsentertugi 2 ja piirav liist 3 (joonis 3.1.14.12). Keermepuuri surutakse tsentriga ning pōor toetub liistule. Et puur ja liist liiguvad koos, siis viltujooksu ei esine. See hoiab āra praagi tekkimise ja keermepuuri murdumise [3].



Joonis 3.1.14.12. Pōora abil keemetamine; 1 pōor, 2 tsentertugi, 3 piirav liist



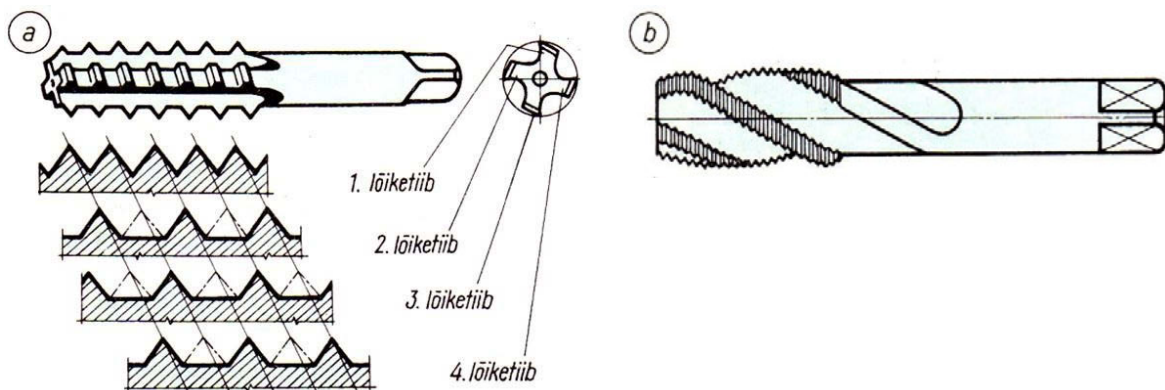
Joonis 3.1.14.13. Keermepuuri liugtorn: 1 kere, 2 liughoidik, 3 keermepuur, 4 tihvt

Eriti otstarbekas on kinnitada keermepuur liugtorni (joonis 3.1.14.13). Tomi kooniline saba lāheb tsentripuki pinooli, keermepuur 3 sabapidi liughoidiku 2 nelikantpessa. Keermepuur viiakse pōorleva tooriku avasse tsentripuki kōsiratta abil. Kui toorikusse on lōigatud kaks-kolm keerdu, ei ole surve enam vajalik, sest puur lāheb koos liughoidikuga tekkinud keeme mōjul edasi ja vāljub kerest 1 [3].

Roostevabasse ja kuumuskindlasse terasesse lōigatakse keemeid keermepuuridega, mille hambikutel on hambad malekorras, st üle ũhe āra lōigatud. Tekkinud lai vahe soodustab

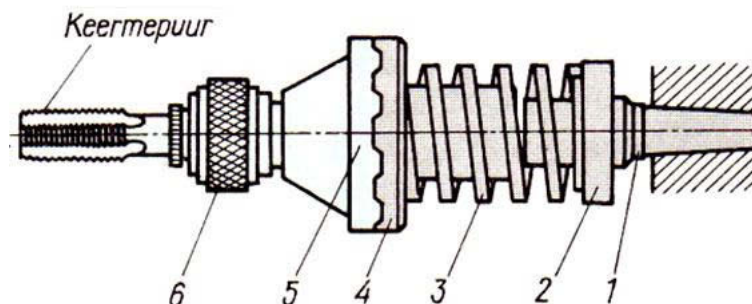
laastu edasinihkumist, väldib puuri kinnikiilumist ja vähendab terakasvajat (joonis 3.1.14.14.a).

Eriti vastupidavad on *spiraalsoontega keermepuurid* (joonis 3.1.14.14.b). Paremkeermepuuriga keermetamisel eraldub laast avast kergesti.



Joonis 3.1.14.14. Kõrgtootlikkusega keermepuurid: a) malepuur, b) spiraalsoontega keermepuur

Keerme lõikamisel tuleb läbimi lõpul keermepuur välja kruvida. Kui on tegemist umbkeermega, siis tekib keermepuuri ja ava põhja põkkumise oht. Põkkudes puur murdub ja keere rebeneb. Umbkeermeid lõigatakse kaitsetornidega (joonis 3.1.14.15) [3].



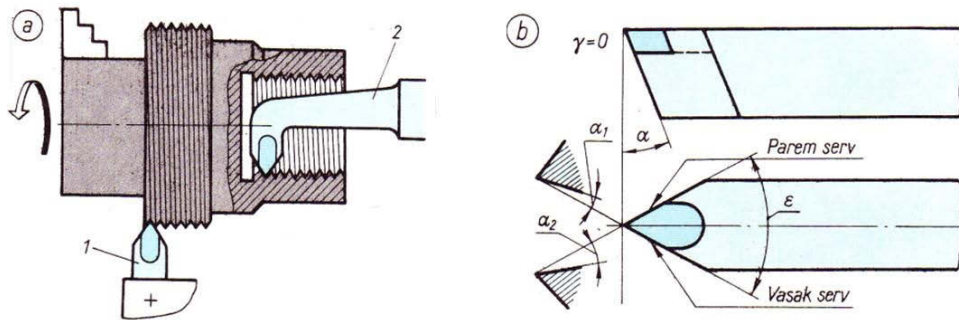
Joonis 3.1.14.15. Kaitsetorn keermepuuriga keermetamiseks: 1 koonilise sabaga kere, 2 tugimutter, 3 survevedru, 4 nukksidur, 5 torn, 6 kiirvahetuspadrun

Kui keermepuur põkkub ava põhjaga, libisevad siduri nukid mööda torni kaldpindu, suruvad vedru kokku ning lahutavad siduri. Selle tagajärjel pöörlemine keermepuurile enam edasi ei kandu ja puur seiskub.

Ava ettevalmistamine keermepuuriga keermetamiseks. Keermepuuriga keermetamisel voolab soone põhjast mõningane kiht metalli harja poole, mis vähendab ava läbimõõtu ja raskendab lõikamist. Seepärast tuleb ava läbimõõt võtta mõnevõrra suurem, kui on keeme siseläbimõõt. Et teras on plastse deformatsiooni suhtes tundlikum kui malm, siis võetakse terasest tooriku ava suurem kui malmtoorikul. Keermetamisele kuuluva ava läbimõõt leitakse käsiraamatuist. Keermepuuriga keermetamisel võetakse lõikekiirus 5...15 m/min. Täpsemad andmed saab tootja kataloogist. Kasutatakse sobivat määrdevedelikku [3].

3.1.15. Keermetamine keermeteraga

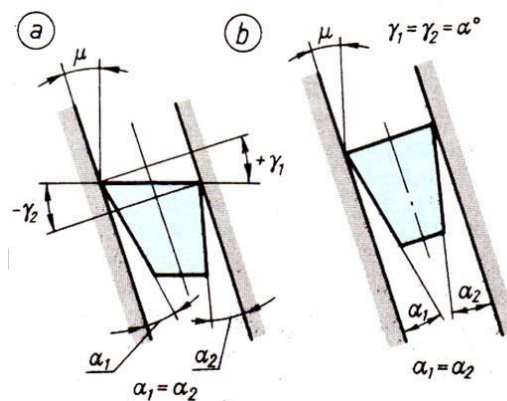
Kõrgete samatelgsusnõuete ja täpse sammuga keermes lõigatakse treipingis keermetreiteraga, mille ettenihe vastab lõigatava keermes sammule. Treiteraga võib lõigata välis- ja sisekeeret (joonis 3.1.15.1.a).



Joonis 3.1.15.1. Keermetreiterad; a) treiterad töös, b) kermisplaadiga puhastreimistera geomeetiline kuju; 1, 2 välis- ja sisetreitera

Keermetera valmistatakse kiirlõiketerasest või kõvasulamist ja ta profiil vastab lõigatava keermes profiilile. Meeterkeermes lõikamisel tera profiilnurk $\epsilon = 60^\circ$, tollkeermes korral $\epsilon = 55^\circ$. Teraga keermetamisel võib tekkida mõningane profiiliviga. Seepärast tera tegelik profiilnurk kitseneb pisut: kiirlõiketerasest teradel 10...20', kermisteradel 20...30' võrra.

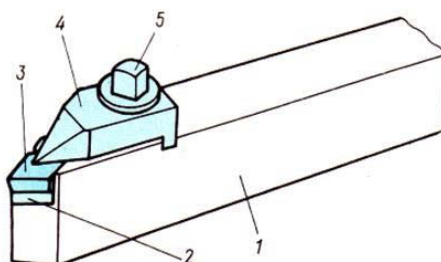
Puhaskeermetustera esinurk $\gamma = 0^\circ$, mustkeermetusteral 5...10°. Külgtahkude taganurgad (α_1 ja α_2) võetakse 3...5°, mille korral taganurk tera tipu juures $\alpha_t = 12...15^\circ$. Keermetera teritust kontrollitakse nurgamõõdiku või šablooniga [3].



Joonis 3.1.15.2. Keermetreitera paigaldamine: a) treitera pöörata, b) treitera pööramisega nurga μ võrra

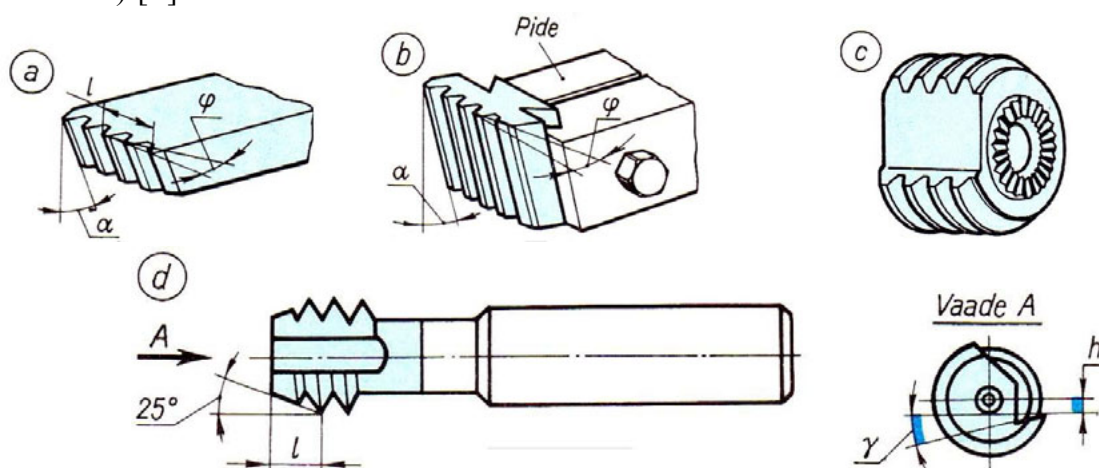
Et suure sammuga keermes lõikamisel tera külgpinnad ei hõõrduks vastu keermes seinu siis tera käigusuunalise külgpinna taganurk võetakse keermes tõusunurgast suurem. Paremkeermes $\alpha_{teritus} = \alpha_1 + \mu$, kus μ on keermes tõusunurk. Sellisel juhul hakkab aga parempoolne lõikeserv töötama negatiivse esinurgaga ($-\gamma_2$), mis suurendab keermes pinnakaredust.

Enamuses kasutatakse mehaaniliselt kinnitatud kermisplaadiga keermetreiteri. Üks sellistest teradest on joonisel 3.1.15.3. Kermisplaat 3 paigaldatakse terakehasse 1 freesitud soonde ja kinnitatakse klambriga 4. Plaadil on mitu lõikeserva ja seda saab kasutada palju kordi [3].



Joonis 3.1.15.3. Mehaaniliselt kinnitatud kermisplaadiga keermetreitera: 1 terakeha, 2 tugiplaad, 3 kermisplaat, 4 surveklamber, 5 polt

Läbiva keeme lõikamiseks kasutatakse sageli keermekammi, mis oma profiililt meenutab keermepuuri. Selle lõikeosa hammaste kõrgus kasvab järjest. Lõikeosale järgneb kalibreeriv osa. Sellise kammi abil saab ühe läbimiga töödelda keeme täieliku profiili. Konstruksioonilt võivad kammid olla varras, prisma- või ümarkammid (joonis 3.1.15.4) [3].

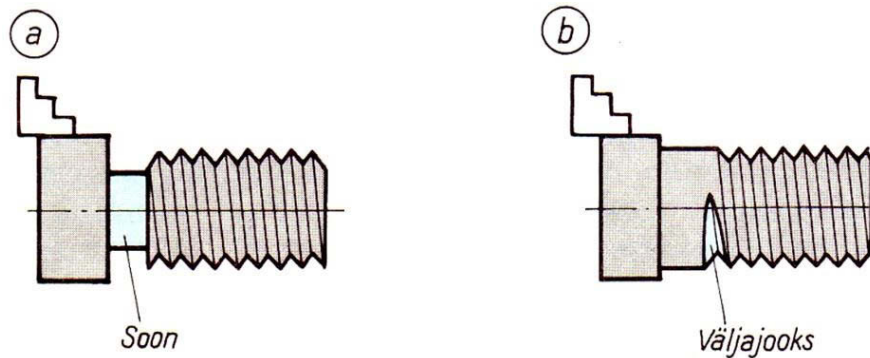


Joonis 3.1.15.4. Keermekammid: a) varraskamm, b) prismakamm, c) väliskeeme ümarkamm, d) sisekeeme ümarkamm; 1 kammi lõikeosa

Kolmnurkkeeme lõikamine

Tooriku ettevalmistamine. Tooriku musttreimisel arvestatakse seda, et keermetamisel surutakse teatav hulk metalli keeme põhjast välja. Seepärast peab varda läbimõõt olema keeme välisläbimõödust veidi väiksem, ava läbimõõt aga keeme siseläbimõödust suurem. Keermetamiseks määratud varda ja ava läbimõõdu valik sõltub töödeldavast materjalist ja keeme sammust. Varda ja ava läbimõõt leitakse käsiraamatuist. Keermetatava lõigu lõppu treitakse tera väljumiseks soon (joonis 3.1.15.6.a). See ei tohi olla keeme sammust kitsam (kermistega kiirtöötlemisel on see piir 2...3 sammu). Soon peab olema keermest 0,1...0,2

mm sügavam. Mõnikord ei kujutata detaili joonisel keeme lõpus mitte soont, vaid tera väljajooksukohta (joonis 3.1.15.6.b), st lõiku, kus keere pole täielik [3].

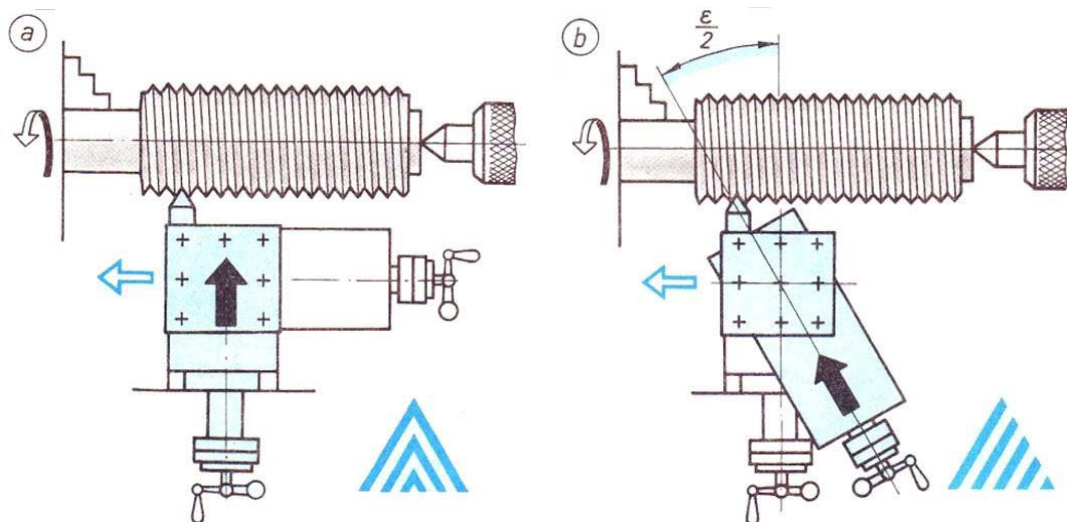


Joonis 3.1.15.6. Keeme lõpetamine: a) soonega keeme lõpus, b) keeme väljajooksuga

Treitera paigaldamine. Keemetera paigaldatakse täpselt tooriku telje kohale. Tooriku teljest allpool paiknev tera moonutab keeme profiili, üleval paiknev tera aga hakkab hõõrduma vastu detaili.

Treiteraga keermetamise võtted. Keere lõigatakse mitme läbimiga. Iga läbimi lõpus viiakse tera keermest välja, suport tagastatakse algasendisse ja alustatakse uut läbimit. Läbimite arv ja iga läbimi lõikesügavus sõltuvad keeme sammust ja treitera materjalist. Läbimite arv määratakse käsiraamatu või tootjakataloogi järgi. Kui käigukruvi samm jagub keeme sammuga jäägita (täisarvkeere), siis satub tera keermesse mutri sisselülitamisel igas asendis. Kui tegemist on murdarvkeermega, st käigukruvi samm ei jagu täpselt keeme sammuga, siis viiakse suport tagasi spindli kiirkäiguga ilma et seejuures lahutataks veomutrit. Sellisel juhul hakkab kruvipaari lõtk tööd häirima. Et seda vähendada, viiakse tera iga uue läbimi eel kahe-kolme sammu võrra keeme piirkonnast välja ja alles siis alustatakse uut läbimit. Keermetamise alghetkel surub telgjõud tera veidi eemale. Seetõttu tuleb esimene keermeniit mõnevõrra paksem kui järgmised. Ka viimane keermeniit kujuneb paksemaks, sest jõudude mõju lakkamisel treitera sirgestub. Et mutter läheks kruvi otsa, tuleb esimest ja viimast keermeniiti faasida.

Tera küljetine sisseviimine. Suure sammuga (üle 2 mm) keeme lõikamisel ei viida tera sisse mitte risti, vaid küljelt. Sel juhul töötab vaid üks lõikeserv. Nii kergendatakse lõikamist ja parendatakse keeme kvaliteeti (joonis 3.1.15.7). Selliselt töötamiseks pööratakse supordi ülemist kelku $\varepsilon/2$ (meeterkeeme korral $\varepsilon/2=30^\circ$) nurga võrra oma normaalasendist kõrvale. Treitera viiakse lõiketasandisse supordi ülemise kelgu käsiratta abil. Viimased 1...2 puhaslähimit sooritatakse ristettenihkega [3].



Joonis 3.1.15.7. Keermetera sisseviimine: a risti, b küljeti nurga $\varepsilon/2$ võrra pööratud supordikelguga

Vasakkeerme lõikamisel pannakse käigukruvi pöörlema vastu spindli pöörlemise suunda. Selleks lülitatakse sisse käigukruvi tagastusmehhanism (trensel). Vasakkeermetamisel viiakse tera sisse keerme taga olevast soonest, suport aga liigub vasakult paremale.

Treiteraga keermetamise lõikerežiimid.

Lõikesügavuse määrab läbimite arv. Ettenihe on ühekäigulise keerme lõikamisel võrdne keerme sammuga, mitmekäigulise keerme lõikamisel keerme käiguga ($H = k \cdot P$ [mm], kus k on käikude arv). Lõikekiirus sõltub tooriku ja treitera materjalist (valitakse käsiraamatust või kataloogist). Puhasläbimite tegemiseks suurendatakse lõikekiirust 1,5...2 korda. Sisekeermetamisel vähendatakse lõikekiirust 20...30 % [3].

Käigukeerme lõikamine

Jõuülekannetes kasutatakse trapets-, tugi-, täisnurk-, moodul- ja pitškeeret.

Trapetskeerme profiil vastab võrdkülgsele trapetsile külgedevahelise nurgaga 30° .

Tugikeerme profiil on mittevõrdkülgne trapets, mille külgede kaldenurgad on 30° ja 3° . Surve võtab vastu külg, mille kaldenurk on 3° .

Täisnurkkeerme profiil on ruut või ristkülik. Soone sügavus on harilikult pool keerme sammu. Täisnurkkeermed ei ole standardiseeritud ning tööstuses kasutatakse neid harva (asendatakse trapetskeermega).

Moodulkeerme profiil on võrdkülgne trapets külgedevahelise nurgaga 40° . Seda kasutatakse tiguülekannetes. Keerme samm on standardse mooduli kordne:

$$P = \pi \cdot m, \quad (3.1.12)$$

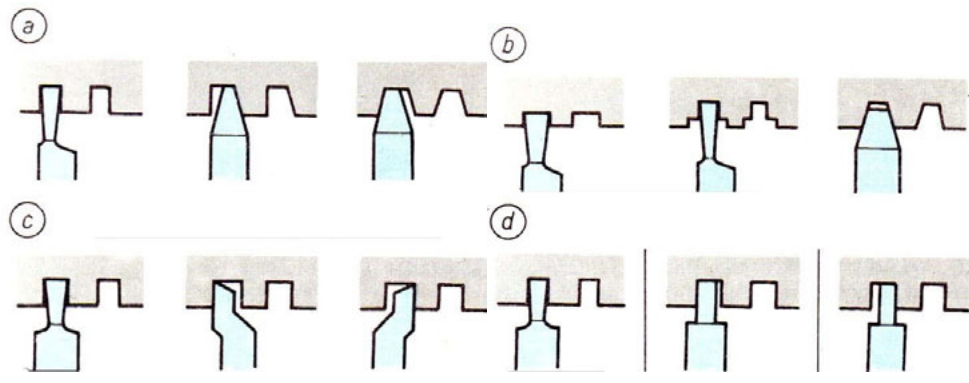
kus P on keerme samm,
 m on keerme moodul.

Pitškeeret kasutatakse samuti tigude valmistamisel. Tema sammu mõõdetakse tollides [3].

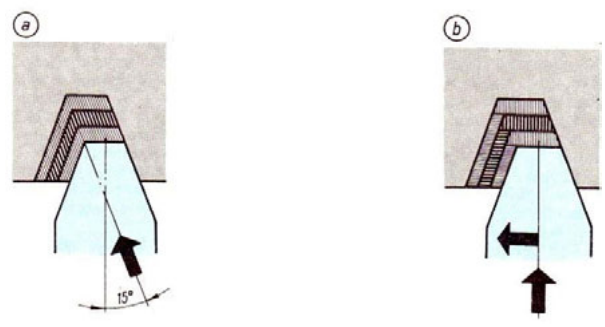
$$P = \pi \cdot 25,4 / P_p, \quad (3.1.13) \quad \text{kus } P_p \text{ on ette antud diametraalsamm.}$$

Käigukeermete lõikamise viise.

Kuni 3 mm sammuga trapets-, tugi- ja täisnurkkeeret lõigatakse teritatud teraga mitme läbimi jooksul nagu kolmnurkkeeretki. Suurema sammuga trapetskeerme korral lõigatakse esmalt täisnurkne keermesoon, millele seejärel antakse trapetsprofiiliga puhasteeretera abil lõplik kuju (joonis 3.1.15.8.a). Keermetera viiakse sisse nurga $\epsilon/2$ all või risti- ja külglõikumist ühitades (joonis 3.1.15.9). Kuni 8 mm sammuga trapetskeeret on otstarbekas enne lõigata laia sooneteraga $0,25h$ sügavuselt (h on keerme profiili kõrgus), seejärel kitsa sooneteraga profiili täieliku sügavuseni, lõplikult puhastada aga trapetsprofiiliga keermetera abil (joonis 3.1.15.8.b). Jämedat täisnurkkeeret lõigatakse kõigepealt kitsa sooneteraga (joonis 3.1.15.8.c), seejärel töödeldakse eraldi keermeniitide parem- ja vasakpoolsed küljed. Joonisel 3.1.15.8.d on kujutatud täisnurkkeerme lõikamine kahe, must- ja puhastöötlussooneteraga [3].



Joonis 3.1.15.8. Käigukeerme lõikamine: trapetskeerme lõikamine a) kahe ja b) kolme treiteraga; täisnurkkeerme lõikamine c) kolme ja d) nelja treiteraga



Joonis 3.1.15.9 Keermetera lõikesse viimine trapetskeerme lõikamisel: a) küljeti, b) kombineeritult

Trapets- ja täisnurkprofiiliga sisekeeret lõigatakse vastavat profiili omavate teradega, mis on kas terviklikud või koostatavad. Kui kruvipaari (kruvi ja mutter) valmistatakse üksiktootmises, siis kontrollitakse kruvi keeret muttriga (keeratavuse kontroll).

Suurseeria- ja masstootmises kontrollitakse trapetskeeret kaliibriga. Täisnurk-, trapets-, tugi- ja moodulkeerme sammu ning profiili kontrollitakse šablooniga. Täpsem (laboratoorne) kontroll tehakse instrumentaal- ja universaalmikroskoobiga [3].

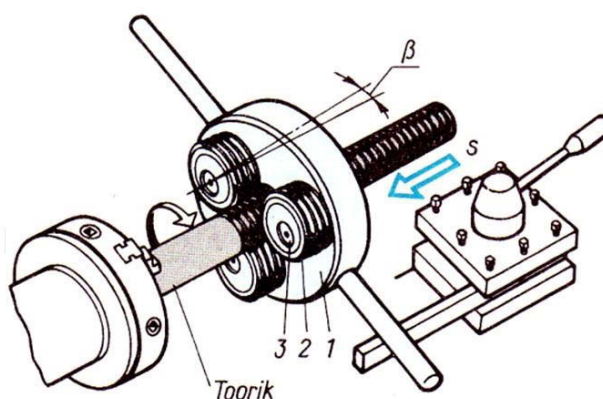
Mitmekäigulise keerme lõikamine

Et lõigata mitmekäigulist keeret, tuleb pink seadistada mitte keerme sammule P , vaid tema käigule H , st detaili ühe pöörde jooksul peab tera läbima tee, mis on võrdne käiguga $H = k \cdot P$, kus k on keerme käikude arv. Et näiteks lõigata keeret M20x6 (P2), st kolmekäigulist keeret sammuga 2 mm, tuleb pink seadistada sammule $2 \times 3 = 6$ mm. Pärast esimese keermesoonelõikamist tuleb soone külgede vaheline ala jaotada osadeks, st pöörata toorikut nurga $360^\circ/k$ võrra, kus k on keerme käikude arv. Selleks katkestatakse sidestus tooriku ja spindli vahel [3].

Et keerme kõikide käikude sooned oleksid ühesuguse sügavusega ja kõik keermeniidid võrdse paksusega, lõigatakse kõik sooned algul mustalt ning alles pärast seda, kui tera on asetatud lõpliku mõõtme asendisse, korratakse jaotusvõtteid ja töödeldakse keerme kõik käigud puhtalt. Mitmekäigulisi keermeid on lihtsam lõigata APJ pinkidel.

3.1.16. Keerme rullimine

Keerme rullimine seisneb tooriku materjali plastses deformeerimises, mille tulemusena kujuneb keere. Rullimisel on lõikamisega võrreldes järgmised eelised: 1) metalli kiude ei lõigata läbi, need painduvad ja tihenevad. Selle tulemusena saadakse tugev, kulumiskindel keere; 2) hoitakse kokku metalli, sest tooriku läbimõõt ei võeta siin mitte keerme välisläbimõõdu, vaid keskläbimõõdu järgi. Treipingil rullitakse väliskeeret reguleeritavate keermerullidega (keermetuspea). Keermetuspea kere 1 (joonis 3.1.16.1) uuretes asetsevatele vahetükkidele kinnitatakse telgedel 3 asetsevad keermerullid 2. Rullide keermesamm ja -profiil on samad mis lõigataval keermel. Keerme läbimõõtu reguleeritakse rullide ekstsentrisktelgede tappide pööramisega [3].



Joonis 3.1.16.1. Väliskeerme rullimine; 1 kere, 2 rull, 3 rulli telg

Keermetuspea võib kinnitada erilisse hoidikusse ja koos sellega tsentripukki. Sisselõikumise hetkel võib ka keermetuspead käes hoida ja seejärel toetada tema käepideme terahoidikusse kinnitatud plaadile (joonis 3.1.16.2). Rullimine tagab suure

tootlikkuse, keerme suure täpsusastme (kuni 6h), samuti väikese pinnakareduse ($Ra = 0,63...0,32 \mu\text{m}$) [3].

Kergmetallidesse võib töödelda sisekeeret siserullimisega. Tööriist meenutab keermepuuri. Sellel on sisselõike- ja kalibreeriv osa, kuid laastueraldussooned puuduvad.

Keermetatava ava läbimõõdu saab siin umbkaudu määrata valemiga

$$D_{ava} = d_1 - 0,4 \cdot P, \quad (3.1.14) \quad \text{kus } D_{ava} - \text{töödeldud ava läbimõõt,}$$

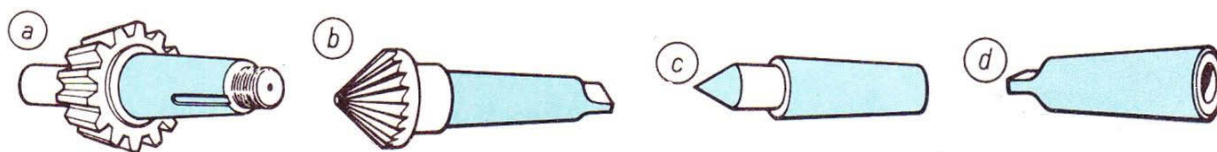
$$d_1 - \text{keerme keskläbimõõt,}$$

$$P - \text{keerme samm.}$$

Seda täpsustatakse esimese detaili järgi. Siserullimisega saadakse samuti üsna suur keerme täpsusaste (kuni 5H) ja väike pinnakaredus ($Ra = 0,63...0,32 \mu\text{m}$). Keerme rullimisel kasutatakse määrdeainena mineraalõli.

3.1.17. Koonuspindade töötlemine

Tehnikas kasutatakse sageli kooniliste välis- ja sisepindadega detaile, näiteks koonushammasrattad ja -puksid, koonusrull-laagrite rullid. Avatöötlusriistadel (puurid, avardid, hõõritsad) on koonilised sabaosad, metallilõikepinkide spindlites ja pinoolides aga samasuguse koonusega avad nimetatud lõikeriistade kinnitamiseks. Kaks koonilist pinda on ka treitsentril. Mõned tüüpilise koonuspinnaga detailid on joonisel 3.1.17.1 [3].



Joonis 3.1.17.1. Koonilise pinnaga tüüpdetaile: a) koonushammasratas, b) kooniline süvisti, c) treipingi tsender, d) siirdepuks

Koonuspinda iseloomustavad elemendid on toodud joonisel 3.1.17.2 [3]:

koonuse nurk 2α on kahe samal tasapinnal asuva moodustaja vaheline nurk;

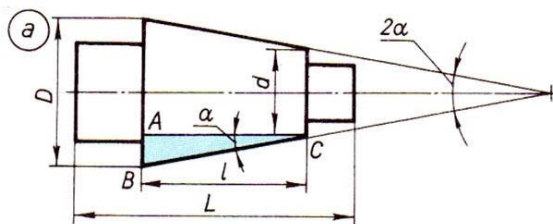
kaldenurk α on koonuse telje ja moodustaja vaheline nurk;

kalle y on kaldenurga tangens. Kui on teada tüvikoonuse põhjade läbimõõdud D ja d ning pikkus l , siis leitakse kalle valemiga

$$\tan \alpha = \frac{D-d}{2l}. \quad (3.1.15)$$

Koonilisus ehk kahekordne kalle K leitakse valemiga

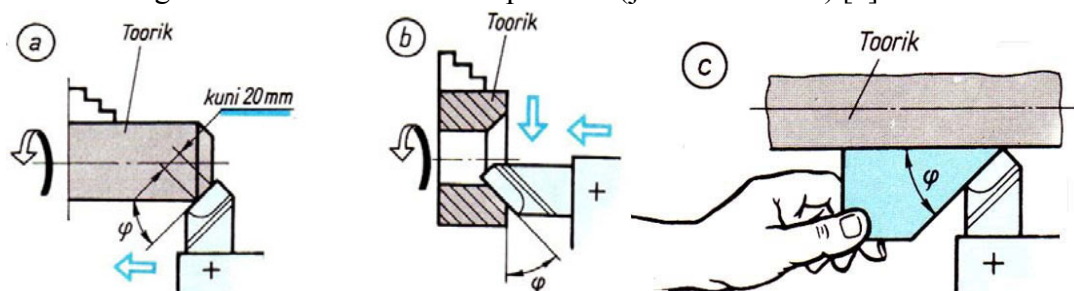
$$K = \frac{D-d}{l}. \quad (3.1.16)$$



Joonis 3.1.17.2. Koonuspinna elemendid

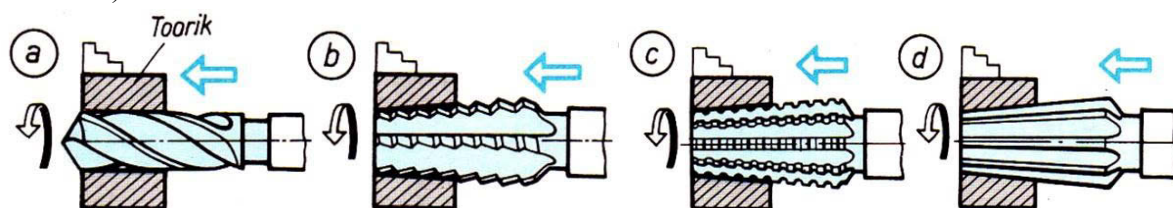
Lühikeste koonuspindade töötlemine

Kuni 20 mm pikkust välis- või sisekoonust treitakse laia treiteraga, mille lõikeservanurk on võrdne koonuse kaldenurgaga. Vajaliku nurga andmiseks kasutatakse paigaldusšablooni, mis asetatakse vastu tooriku pinda. Treitera nihutatakse šablooni kaldpinnale. Seejärel šabloon eemaldatakse ning treitera viiakse tooriku pinnale (joonis 3.1.17.3.) [3].



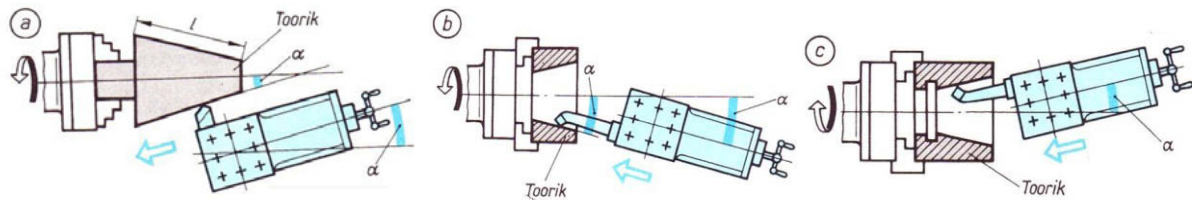
Joonis 3.1.17.3. Lühikese koonilise pinna töötlemine laia treiteraga; a) välispinna treimine, b) sisepinna treimine, c) treitera paigaldamine šablooni järgi

Standardseid koonilisi väikese kaldenurgaga avasid, näiteks Morse koonus, võib töödelda järgemööda mitme lõikeriistaga - puuri, kaheastmelise avardi ja koonilise hõõritsaga (joonis 3.1.17.4).



Joonis 3.1.17.4. Koonilise ava töötlemise lõikeriistu: a) puur, b), c) koonilised avardid, d) kooniline hõõrits

Kõige sagedamini treitakse koonilisi pindu supordi ülemise kelgu pööramisega (joonis 3.1.17.5). Selleks on tarvis lõdvestada kinnituskruvide mutreid. Pöördenurga suurust saab kontrollida pöördplaadil olevate jaotiste järgi tavaliselt täpsusega kuni 1°. Suporti saab täpsemalt nõutavale pöördenurgale seadistada varem valmistatud detaili (etaloni) järgi, mis paigutatakse treipingi spindlisse [3].

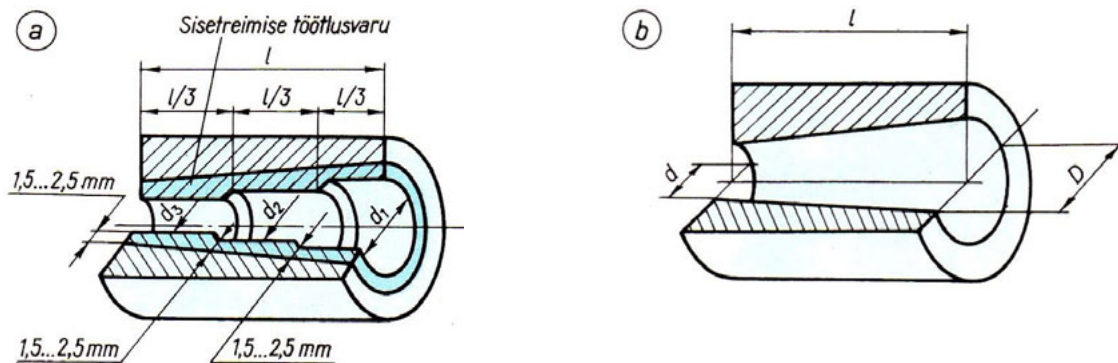


Joonis 3.1.17.5. Koonuspinna töötlemine supordi ülemise kelgu pööramisega: a) välispinna treimine, b) sisepinna treimine, c) sisepinna treimine paremale painutatud peaga sisetreiteraga; α - koonuse kaldenurk.

Suporti saab täpsemalt nõutavale pöördenurgale seadistada varem valmistatud detaili (etaloni) järgi, mis paigutatakse treipingi spindlisse.

Kui on vaja töödelda koonilist ava täismetalli, siis puuritakse esmalt ava, mille läbimõõt on väiksem koonuse väiksema põhja läbimõõdust. Pika ava sisetreimise kergendamiseks võib seda enne astmeliselt puurida (joonis 3.1.17.6). Astme mõõtmete vahe võetakse 1,5...2,5 mm raadiusele [3].

Kui istatakse võlli väliskoonus ja puksi sisekoonus, siis peavad nad olema ühesuguse koonilisusega. Selleks töödeldakse mõlemaid pindu supordi ülemist kelku ümber seadistamata. Kasutatakse paremale painutatud peaga sisetreitera ning spindel pannakse pöörlema vastupidi.



Joonis 3.1.17.6. Ava ettevalmistamine koonuspinna treimiseks; a) astmeline puurimine, b) valmisdetail

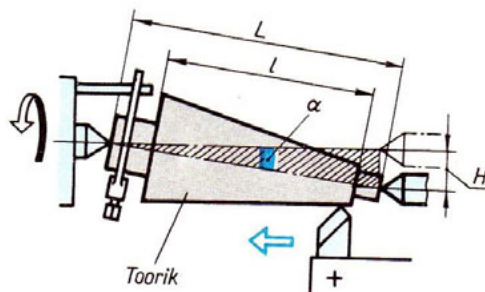
Koonuspindade töötlemine pööratud supordi ülemise kelgu abil.

- **Meetodi eelised:** 1) on võimalik saada igasuguse kaldenurgaga koonuspindu, 2) pinki on lihtne seadistada.
- **Meetodi puudused:** 1) ei võimalda töödelda pikki koonuspindu; seda piirab ülemise supordi käik, 2) töötada tuleb käsiettenihkega, mis vähendab tööviljakust ja halvendab pinnakvaliteeti.

Mõnedel treipinkidel on supordi ülemise kelgu mehaaniline ettenihkemehhanism.

Pikkade koonuspindade töötlemine

Koonuspinna töötlemine nihutatud tsentripuki abil. Sel viisil treitakse pikki väliskoonuseid (kaldenurgaga mitte üle 10°). Tsentripukki nihutatakse ristsuunas nii palju, et tooriku telg oleks tsentrite telje suhtes nõutava nurga all. Toorik paigaldatakse tsentritesse ja pannakse pöörlema kaasaveduki abil. Andes supordi kelgule pikiettenihke, liigub treitera paralleelselt spindli teljega ning treib koonuspinna (joonis 3.1.17.7) [3].



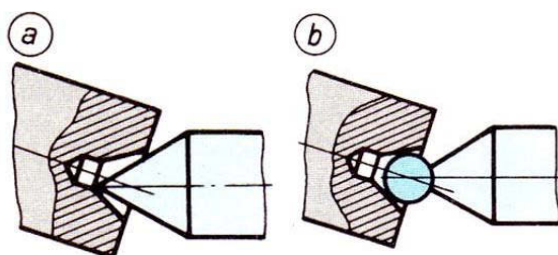
Joonis 3.1.17.7. Koonilise välispinna töötlemine tsentripuki nihutamise; H tsentripuki nihke suurus

Kui tsentripukki nihutada treiali poole, siis jääb koonuse väiksema läbimõõduga ots tsentripuki poole, vastupidisel nihutamisel aga spindlikasti poole. Tsentripuki nihke H suurus arvutatakse viirutatud kolmnurgast:

$$H = L \cdot \sin \alpha. \quad (3.1.17)$$

Trigonomeetriast on teada, et väikese, kuni 10-kraadise nurga siinus on praktiliselt võrdne tangensiga. Näiteks 7-kraadise nurga siinus on 0,120, tangens aga 0,123. Tavaliselt töödeldakse nihutatud tsentripukiga koonuseid, mille kaldenurk on väike, seepärast võetakse ka $\sin \alpha = \tan \alpha$.

Joonisel 3.1.17.8 on kujutatud tooriku tsentriava asend tsentri suhtes, kui tsentripukk on nihutatud. Vältimaks pöörlemisel tsentriava kahjustumist, kasutatakse kuultsentrit.



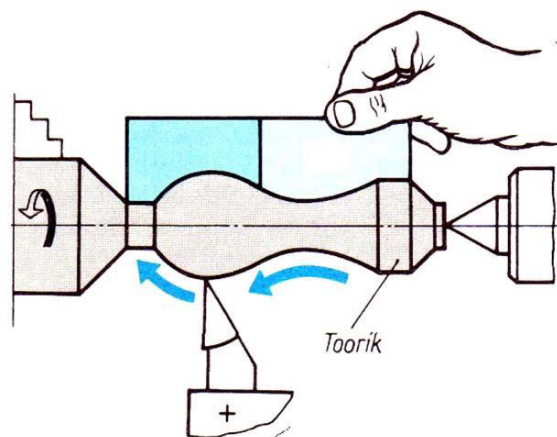
Joonis 3.1.17.8. Tooriku asend nihutatud tsentril: a tavalisel tsentril; b kuultsentril

Spindli pöörlemine tuleb toorikule edasi anda ainult kaasaveduki abil. Padrunisse toorikut kinnitada ei tohi. Selle võtte eelis on võimalus treida koonuseid automaatetthenihkega. Puuduseks on see, et ei saa treida sisekoonust, samuti suure, üle 8-kraadise nurgaga koonust. Pealegi kulub pingi ümberseadistamiseks rohkem aega [3].

3.1.18. Kujupindade töötlemine

Kujupind on pind, mis tekib kõverjoonelise moodustaja pöörlemisel ümber telje. Paljudel masinadetailidel on astmed kindlate siirderaadiustega, neil esineb sageli mitmesuguse

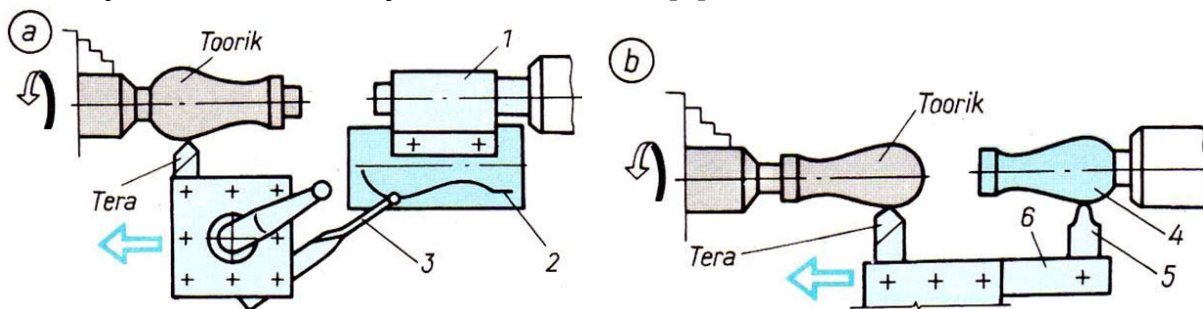
raadiusega sooni, nõgusaid ja kumerpindu (näiteks käepidemetel), sfäärilisi pindu (näiteks kuulide tugipinnad) jne. Kujupinda kontrollitakse šablooniga. Kontrollitav profiil peab ühtima šablooni mõõtepinnaga. Šabloon asetatakse detailile nii, et tema kesktasand läbiks detaili telge. Kujupinna vastavuse üle otsustatakse pilu järgi [3].



Joonis 3.1.18.1. Kujupinna kontrollimine šablooniga: kumera pinna kontrollimiseks, nõgusa pinna kontrollimiseks

Kujupinna töötlemine kahe ettenihke ühitamise teel

Mis tahes pöördkehapinda on võimalik saada piki- ja ristettenihke ühitamise teel. Vilunud treial võib toorikut šablooni järgi aeg-ajalt kontrollides üsna täpselt treida käepideme, kera või mõne muu kujuga detaili. Esmalt töödeldakse toorikut pealtpreimisteraga ja antakse talle detailile ligilähedane kuju. Kahe ettenihke käsitsi ühitamine ei ole kuigi tootlik ning see on otstarbekas vaid üksikdetailide valmistamisel. Kujupinna töötlemiseks on otstarbekas kasutada APJ pinki. Kujupinna töötlemist kiirendab mõningal määral joonisel 3.1.18.2 kujutatud lihtne rakis [3].

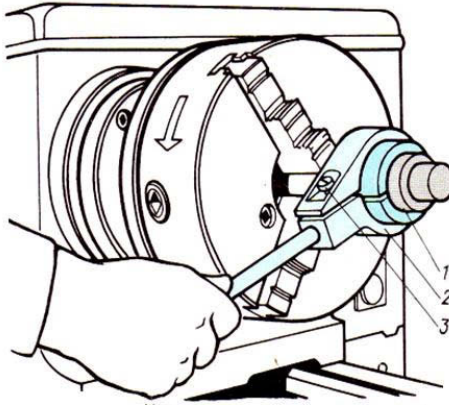


Joonis 3.1.18.2. Kujupinna töötlemine kahe ettenihke ühitamise teel; a) kontrollimine joonise järgi, b) kontrollimine etaloni järgi; 1 kopeerhoidik, 2 plaat koos detaili kõverjoonelise osa joonisega, 3 rismus, 4 etalon, 5 kombits, 6 kombitsa hoidik

Treial lülitab sisse mehaanilise pikiettenihke ning annab siis käsitsi ristettenihet, jälgides, et rismuse 3 ots liiguks hoidiku 1 külge kinnitatud plaadil oleva joonise 2 kõverjoont mööda. Hoidik on paigaldatud tsentripuki pinooli. Tsentripukki võib kinnitada ka etaloni 4 (joonis 3.1.18.2.b). Sellisel juhul kontrollitakse ristettenihet kombitsaga 5.

3.1.19. Pinna viimistlemine

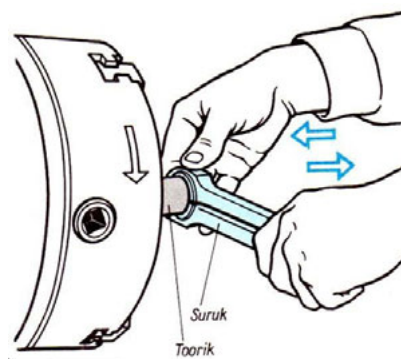
Plankimine on üks lõpliku puhastöötlemise viise. Sellega saavutatakse suur täpsus ja väike pinnakaredus (kuni $Ra = 0,05 \mu\text{m}$). Töötlusvaru võetakse 0,01...0,03 mm raadiusele. Tööriist on malmist või vasest plankur, mis kujutab enesest ühe või mitme piluga puksi. Välispinna töötlemisel on plankuri tööpinnaks tema sisepind, detaili sisepinda töödeldakse aga plankuri välispinnaga. Plankuri tööpind kaetakse õlist ja peeneteralisest abrasiivpulbrist koosneva pastaga. Joonisel 3.1.19.1 on kujutatud piluplankur koos rakisega silindrilise välispinna plankimiseks. Töö käigus rakise kruvi aeg-ajalt pingutatakse, et plankur tõmbuks tihedamalt vastu töödeldavat pinda [3].



Joonis 3.1.19.1. Välispinna plankimine treipingil; 1 piluplankur, 2 rakis, 3 reguleerkruvi

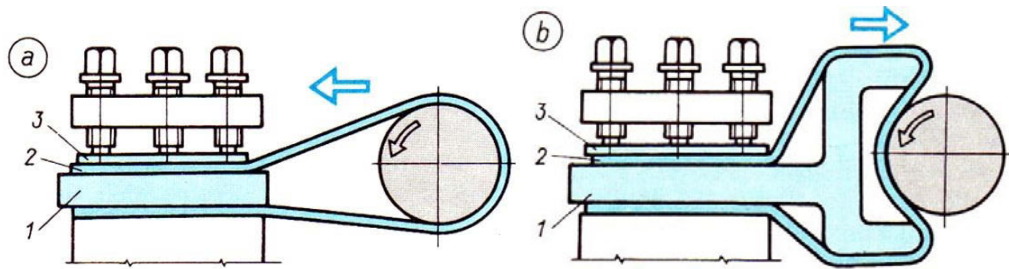
Poleerimine

Poleerimine võimaldab saada väga väikese karedusega ($Ra = 0,02...0,04 \mu\text{m}$) pinda. Detaili poleeritakse lihvpaberiga. See võib olla riidest või paberist alusel, rullide või lehtedena. Poleeritakse rakise abil. See kujutab endast kahte liigendiga ühendatud puitklotsi, mille vahele asetatakse abrasiivriie või -paber (joonis 3.1.19.2) [3].



Joonis 3.1.19.2. Välispinna poleerimine surukiga

Treial hoiab vasema käega kinni rakise pidemeid, surudes abrasiivriiet vajaliku jõuga vastu toorikut, parema käega aga toetab rakist ja annab vajalikku ettenihet. Abrasiivriide võib kinnitada puitklotsi abil terahoidikusse nii, et riie haarab toorikut (joonis 3.1.19.3.a) või surub vastu toorikut (joonis 3.1.19.3.b) [3].



Joonis 3.1.19.3. Abrasiivriidega poleerimine treipingil: a) abrasiivriie haarab toorikut, b) riie surutakse vastu toorikut; 1 pide, 2 abrasiivriie, 3 plaat

Abrasiivriiet ei tohi kätega vastu toorikut (detaili) suruda. Sisepoleerimiseks mähitakse abrasiivriie puittorni ümber ja selle üks ots kinnitatakse pilusse.

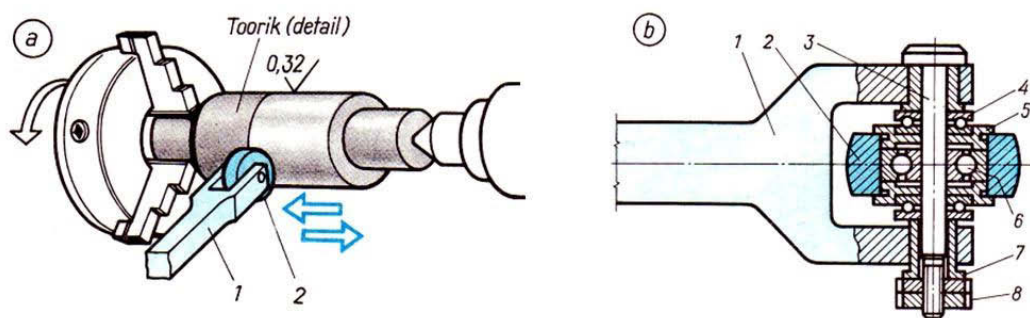
Ava ei tohi poleerida abrasiivriiet käe või sõrmega surudes.

Abrasiivriidega poleerimisel on ringkiirus 60...70 m/min. Et abrasiivtolm ei satuks padruni avasse, suletakse see vahtplastist korgiga, pingi juhikud aga kaetakse presendiga [3].

Rullimine

Üks treipingil sooritatavatest viimistlusoperatsioonidest on välispinna rullimine, st mikrokonaruste silumine rulliga, mis võimaldab saada pinnakareduse $Ra = 0,24 \mu\text{m}$. Rullitud pind kalestub, muutub kõvemaks ja kulumiskindlamaks. Tooriku pinnakaredus peab olema 2...4 korda suurem rullimisega saadava detaili omast.

Rullitakse pindu, mis lähevad pinguga liitese (võlli tapp), mida kulutab hõõrdumine (kolb), mis saavad vahelduvat koormust (väntvõlli kaelad). Rullimisvaru tavaliselt ei jäeta, sest rullimine ei avalda mõõtmetele märgatavat mõju (mikrokonarused muljutakse maha tolerantsi piires) [3].

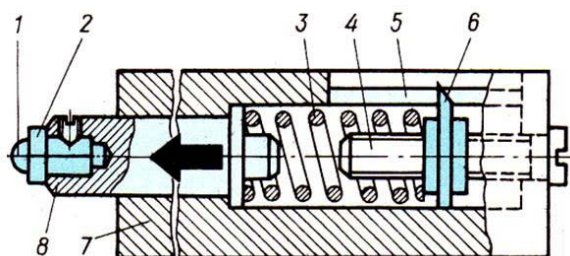


Joonis 3.1.19.4. Välispinna rullimine (a); b) silindriline ruller; 1 pide, 2 rull, 3 telg, 4 tugilaager 5 äärik, 6 kuullaager, 7 puks, 8 mutter

Välispinda rullitakse mitmesuguste rulleritega. Üks selliseid on silindriline ruller. Rull valmistatakse karastatud terasest; tema tööpind on väikese pinnakaredusega ($Ra = 0,020 \mu\text{m}$). Silindrilise rulleriga töötamine on kujutatud joonisel 3.1.19.4. Rull toetub hoidikus

kuullaagritele ja surutakse vastu toorikut ristettenihke kruviga. Samal ajal lülitatakse kaheks või kolmeks läbimiks sisse mehaaniline pikiettenihe.

Treipingil tehtava plastse deformeerimise üks eriviise on pinna silumine teemantsiluriga. Selle tööorgan on otsaku 2 külge joodetud hoolikalt poleeritud teemant 1 (joonis 3.1.19.5). See surutakse vastu pöörleva detaili pinda, mille tulemusena pinna mikrokonarused muljutakse tasaseks. Siluri kere 7 kinnitatakse pingi terahoidikusse. Survet reguleeritakse kruvist 4 vedru 3 kaudu ja survet näitab skaalal 5 osuti 6 [3].



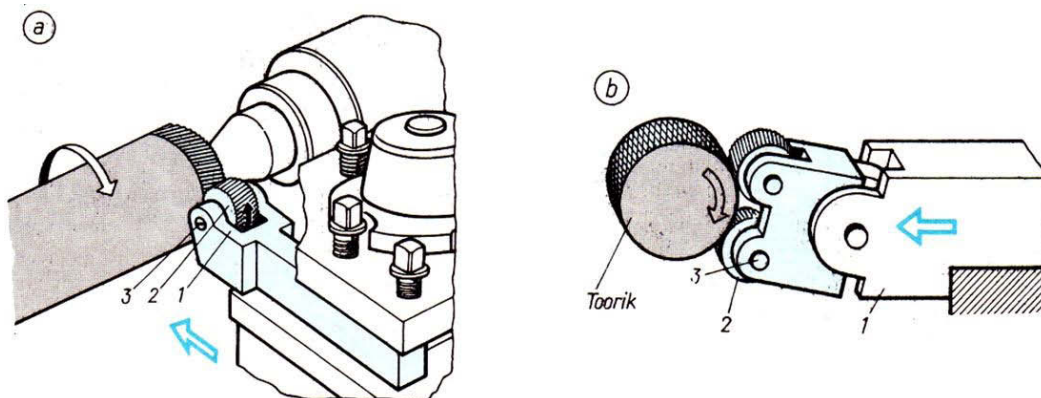
Joonis 3.1.19.5. Teemantsilur: 1 teemant, 2 otsak, 3 vedru, 4 reguleerkruvi, 5 skaala, 6 osuti, 7 kere, 8 liuguv torn

Musta ja värvilise metalli ning nende sulamite töötlemisel on teemandiga silumisel pinnakaredus $Ra = 0,020$ või isegi väiksem.

Töötlemisrežiim on järgmine: ringkiirus 40...20 m/min, pöördetenihe 0,02...0,1 mm, survejõud 50...200 N.

Karestamine

Mõned detailid (käepidemed, kruvipead, kaliibrite käepidemed jne.) on välispinnalt karestatud mitmesuguse mustriaga: joonik- (sirg- või kaldjooneline), kalasaba-, võrk- või punktmuster jne. Selline pind saadakse tööriistaterasest karastatud rulliga (joonis 3.1.19.6), millel on vastav muster. Rullerisse on kinnitatud üks rull, võrkkarestuse korral kaks rulli. Viimasel juhul istub rulleri pea liigendil (joonis 3.1.19.6.b). Rullid peavad asetsema rullitava pinnaga paralleelselt [3].



Joonis 3.1.19.6. Karestamine: a) ühe rulliga, b) kahe rulliga ruller; 1 kere, 2 rull, 3 telg

Karestatakse 2...3 läbimiga. Et väikese jäikusega detailid võivad suure radiaalsurve mõjul painduda, siis rullitakse neid sõltuvalt karestuse sammust 5...10 läbimiga. Ettenihet antakse kord ühes, kord teises suunas. Uus ristettenihe (rulliku pinnasse surumine) antakse iga läbimi lõpul, ilma et rulle viidaks tööpiirkonnast välja. Töötlemisrežiim on järgmine; pikiettenihe 1...2 mm, ringkiirus 10... 20 m/min terasel, 30...40 m/min malmil, 70...80 m/min alumiiniumil. Ristettenihe 0,05...0,1 mm ühe läbimi kohta. Karestatava tooriku mõõtme määramisel arvestatakse väljasurutavat metalli (karestatava pinna läbimõõt võetakse nimiläbimõõdust 0,6 karestussammu võrra väiksem). Et vältida rulli libisemist, peab tema läbimõõt olema karestatava pinna läbimõõdu kordne [3]. Karestusrulle tuleb aeg-ajalt puhastada terasharjaga.

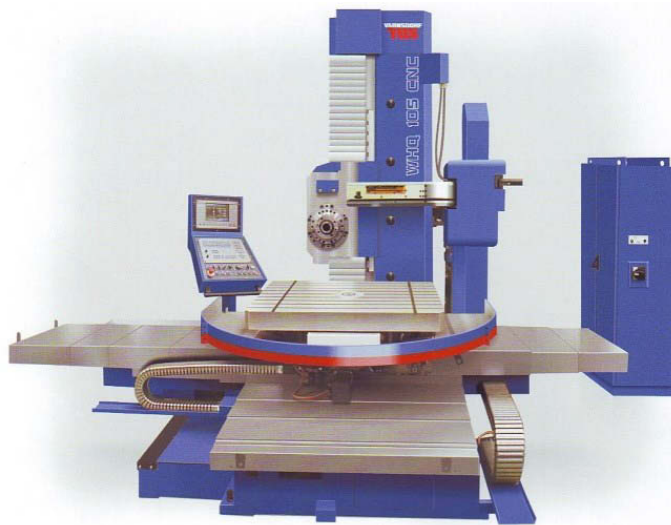
Enesekontrollküsimused

1. Nimeta treitera ehituse elemendid.
2. Kuidas määratakse treitera käelisus?
3. Millal ja milleks kasutatakse kaasavedukit?
4. Millisel juhul tuleb toorikut toetada tsentriga?
5. Mida nimetatakse löikekiiruseks?
6. Kirjeldage mahalõiketera.
7. Nimetage spiraalpuuri elemendid.
8. Mis vahe on avardamisel ja hõõritsemisel?
9. Millega on võimalik lõigata keeret?
10. Kuidas jagunevad keermed profiili järgi?
11. Mida kujutab endast keermekäik?
12. Milliseid keermepuure on olemas?
13. Mis on keermekäik?
14. Nimetage koonuspindade töötlemise mooduseid.
15. Kuidas saab töödelda kujupinda?
16. Mida kujutab endast plankimine?

3.2. Freesimine

3.2.1. Freespinkide kasutamine tööstuses

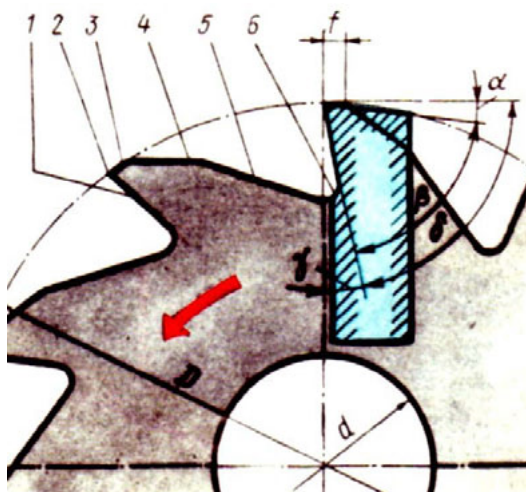
Freepinke kasutatakse tänapäeval valdavalt mitte-pöörkehade töötlemiseks. Uutel APJ freespinkidel on lisavõimalused töödelda ka keerukaid kaldpindu, kujupindu, taskuid, avasid sooni, mitte tsentris paiknevad avad jm. Olenevalt töödeldavate detailide keerukusest töödeldakse neid ka sobivatel pinkidel – lihtsamaid detaile lihtsamatel pinkidel ja keerukama kujuga detaile pinkidel, millel on juba lisavõimalused. Lähtutakse sellest, et detail tuleb valmistada võimalikult väheste paigaldustega, soovitatavalt ainult ühega.



Joonis 3.2.1.1. Väiksemat tüüpi freespink

3.2.2. Freesid, nende ehitus ja materjalid

Freesimine toimub paljuhambulise lõikeriistaga, mida nimetatakse freesiks. Lõikehambad võivad paikneda freesil kas silindrilisel külgpinnal, otspinnal või mõlemal pinnal korraga. Freesi iga hammas kujutab endast lihtsamat lõiketera kõigi oma lõiketerale omaste lõikeelementidega. Mõnikord kasutatakse ka ühehambalisi freese. Freesi lõikeosa valmistatakse süsiniktööriistaterasest, kiirlõiketerasest, kõvasulamist või kermisest. [1].



Joonis 3.2.2.1. Freesi geomeetria elemendid [1]

Analoogiliselt treiteraga kannavad freesi hammaste pinnad ja lõikeservad järgmisi nimetusi:

Hamba esipind 1 – pind, mida mööda libiseb eralduv laast;

Pealõikeserv 2 – serv, mis tekib hamba esi- ja peatagapinna lõikumisel;

Hamba peatagapind 3 – pind, mis tekib esi- ja abitagapinna vahele;

Hamba abitagapind 4 – pind, mis lõikeprotsessis on pööratud lõikepinna poole ja mis tekib peatagapinna ja hamba selja vahele;

Hamba selg 5 – pind, mis piirneb ühe hamba esipinnaga ja naaberhamba abitagapinnaga. Ta võib olla tasapinnaline, murtud või kõverjooneline;

Hammastevaheline soon 6 – süvend laastu eemaldamiseks. Sooned jaotatakse sirgeteks ja krüvijoonealisteks;

Otstasapind – freesi tasapind, mis on risti tema teljega;

Telgtaapind – tasapind, mis läbib freesi telge ja lõikeserva vaadeldavat punkti.

Silinderfreesidel võib pealõikeserv olla sirgjooneline (silindri moodustaja sihis), kallutatud silindri moodustaja suhtes või krüvijooneline. Abilõikeserva silinderfreesidel ei ole.

Otsfreesidel seevastu eristatakse pea-, abi- ja üleminekulõikeserva:

pealõikeserv - freesi teljega nurga all asetsev lõikeserv;

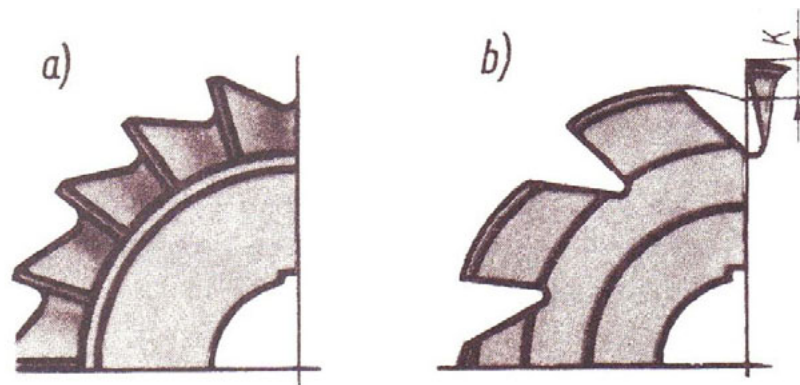
abilõikeserv - freesi otspinnal paiknev lõikeserv;

üleminekulõikeserv - pea- ja abilõikeserva ühendav serv.

Olenevalt pinnast, mida mööda teritatakse frees, eristatakse kahte hammaste konstruktsiooni:

Teravatipulised hambad – hambaid teritatakse tagapinnalt;

Kukaldatud hambad – hambaid teritatakse ainult esipinnalt.



Joonis 3.2.2.2. Freesi hammaste kujud: a) teravatipuliste hammastega frees, b) kukaldatud hammastega frees (K kukaldamisjoone langus kahe naaberhamba lõikeserva vahel) [1]

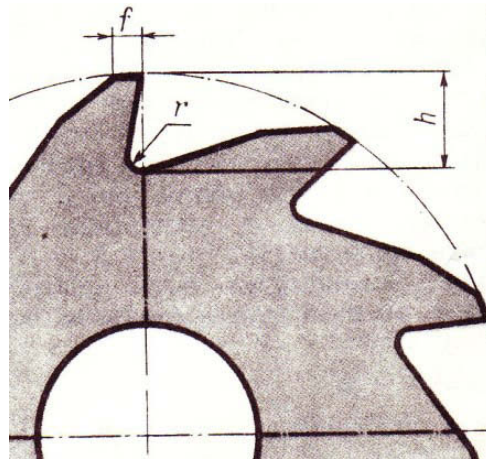
Freesidel eristatakse järgmisi hamba elemente (joonis 3.2.2.3):

Hamba kõrgus h – kaugus lõikeserva punkti ja soone põhja vahel. Mõõdetakse freesi radiaallõikes risti selle teljega;

Hamba peatagapinna laius f – kaugus lõikeservast hamba peatagapinna ja abitagapinna lõikejooneni. Mõõdetakse risti lõikeservaga;

Hammaste ringsamm – kaugus kahe naaberhamba lõikeserva ühenimeliste punktide vahel. Mõõdetakse freesi teljega ristioleval tasapinnal mööda ringjoone kaart, mille keskpunkt asub nimetatud teljel. Ringsamm võib olla ühtlane või mitteühtlane;

Hammastevaheline soon r – hammastevaheline soon raadiusega r [1].



Joonis 3.2.2.3. Hamba elemendid: h hamba kõrgus, f hamba peatagapinna laius, r hammastevaheline soon

Freeside soonte elemendid ja kuju.

Soon on süvend laastu eemaldamiseks. Seda piiravad ühe hamba esipind ja selle naaberhamba tagapind ja selg. Sooned jaotatakse sirgeteks ja kruvijoonealisteks. Sirge soon on freesi teljega paralleelne. Kruvijoonealine soon võib olla vasakukäeline või paremakäeline.

Vasakukäeline kruvisoon – mööda kruvijoont tõusuga paremalt vasakule kulgev soon (joonis 3.2.2.4.a).

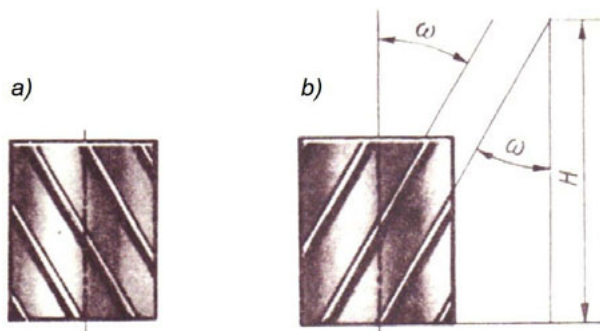
Paremakäeline kruvisoon – mööda kruvijoont tõusuga vasakult paremale kulgev soon (joonis 3.2.2.4.b).

Kruvisoone samm H – lõikeserva kahe järjestikulise punkti vaheline kaugus silindrilise pinna ühel moodustajal (joonis 3.2.2.4.b) [1].

Soone profiil normaallõikes – soone pinna ja lõikeserva normaaltasapinna lõikejoon.

Soone profiil ristlõikes – soone pinna ja freesi teljega ristioleval tasapinnal (otspinna) lõikejoon.

Soone raadius – soone põhja ümardusraadius.



Joonis 3.2.2.4. Kruvisoon: a) vasakukäeline kruvisoon, b) paremakäeline kruvisoon, H kruvisoone samm, ω kruvijoone kaldenurk [1]

Freesimise lõikerežiimi elemendid

Freesimise lõikerežiimi elemendid on analoogsed treimisrežiimi elementidega [1].

Lõikekiirus v – teekonna pikkus (meetrites), mille ühes minutis läbib freesi teljest kaugeim hamba pealõikeserva punkt. Kui frees läbimõõduga D [mm] teeb ühe pöörde, siis lõikeserva punkt läbib teekonna, mis on võrdne ringi ümbermõõduga $\pi \cdot D$. Et määrata teekonna pikkust, mille see punkt läbib ühes minutis, on tarvis ühe pöördega läbitud teepikkus korrutada freesi pöörete arvuga minutis – $\pi \cdot D \cdot n$, ehk sama mis treimisel (valem 3.1.6). Kui on vajalik määrata freesi pöörete arvu minutis (pöörlemissagedust), siis kasutatakse valemit (3.1.7).

Freesimise ettenihked on järgmised: ettenihe freesi hamba kohta, ettenihe freesi pöörde kohta, ettenihe minutis (minutiline ettenihe).

Suuna järgi eristatakse piki-, rist- ja püstettenihet.

Ettenihe hamba kohta (f_z , [mm]) - töölaua (koos töödeldava toorikuga) või freesi edasinihkumine mm-tes aja jooksul, mil frees pöörduv ühe hamba võrra.

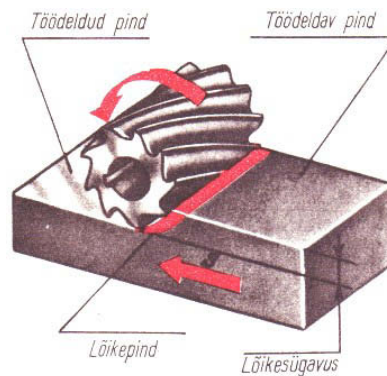
Ettenihe freesi pöörde kohta (f_n , [mm]) – töölaua (koos töödeldava toorikuga) või freesi edasinihkumine mm-tes freesi ühe täispöörde ajal. Ettenihe freesi pöörde kohta võrdub ühe hamba kohta tuleva ettenihke ja freesi hammaste arvu (z) korrutisega:

$$f_n = f_z \cdot z \text{ [mm]}. \quad (3.2.1)$$

Ettenihe minutis (f_m , [mm]) – töölaua (koos töödeldava detailiga) või freesi edasinihkumine ühe minuti jooksul. Ettenihe minutis võrdub ühe pöörde kohta tuleva ettenihke ja freesi pöörlemissageduse korrutisega:

$$f_m = f_n \cdot n = f_z \cdot z \cdot n \text{ [mm]}. \quad (3.2.2)$$

Freesi iga hammas lõikab toorikult komakujulise ristlõikega metallikihi. Freesitaval toorikul eristatakse töödeldavat pinda ja lõikepinda (joonis 3.2.2.5)



Joonis 3.2.2.5. Pinnad freesimisel

Kõigi freesimisviiside puhul eristatakse lõikesügavust ja freesimislaiust.

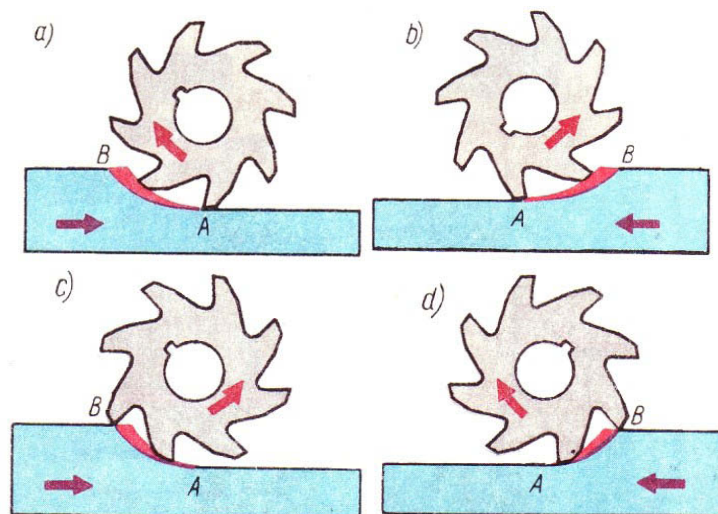
Lõikesügavus a_p – töödeldud ja töödeldava pinna vaheline kaugus (joonis 3.2.2.5).

Freesimislaius a_e – freesi ühe läbimiga töödeldud pinna laius.

Silinder- ja ketasfreesiga freesimisel eristatakse vastu- ja kaasafreesimist (joonis 3.2.2.6.).

Vastufreesimisel on freesi ja tooriku kontaktikohas freesi pöörlemine ja tooriku ettenihkeliikumine vastassuunalised (joonis 3.2.2.6.a, b).

Kaasafreesimisel ühtib tooriku ettenihkeliikumise suund freesi pöörlemissuunaga nende kontaktikohas (joonis 3.2.2.6.c, d) [1].



Joonis 3.2.2.6. Freesimise meetodid: a), b) vastufreesimine, c), d) kaasafreesimine [1]

Vastufreesimisel kulgeb lõikeprotsess rahulikult, sest lõigendi paksus ja pingi koormus kasvavad sujuvalt. Freesi hammas algul muljub materjali ja alles siis hakkab lõikama. Sellest tingitult on töödeldud pinna pinnakaredus suurem, kui kaasafreesimist kasutades. Kaasafreesimisel lõikub freesi hammas töödeldavasse toorikusse löögiga, sest just sel hetkel on lõigendi paksus maksimaalne. Seetõttu saab kaasafreesimist rakendada ainult piisavalt jäikadel ja vibratsioonikindlatel pinkidel, kui nende töölaua pikiettenihke mehhanismi käigukruvi ja veomotri vahel puudub lõtk. Pinnakaredusest lähtudes on kaasafreesimise meetod eelistatum.

Kaasafreesimisel surutakse toorik vastu töölauda, viimane omakorda vastu juhikuid, see tagab töödeldud pinna hea kvaliteedi. Muude võrdsete tingimuste korral on freesi püsivusaeg kaasafreesimisel suurem kui vastufreesimisel, ja kõva koorikuga toorikute töötlemine. Vastufreesimise puuduseks on ka see, et frees püüab toorikut töölaualt lahti rebida [1].

Freeside valmistamiseks kasutatavad materjalid

Freeside valmistamiseks kasutatavatel materjalidel peavad olema järgmised omadused: töödeldava materjali kõvadusest suurem kõvadus, kõrge kulumiskindlus ja soojuskindlus, suur mehaaniline tugevus. Freeside valmistamiseks kasutatakse süsinik- ja legeritud tööriistateraseid, kiirlõiketeraseid, kõvasulameid, kermiseid, sünteetilisi ja looduslikke teemante.

Legeeritud tööriistaterased erinevad süsiniktööriistaterastest keemiliselt koostiselt ainult ühe või mitme legeriva elemendi (kroom, volfram, molübdeen, vanaadium) sisalduse poolest. Legeeritud tööriistaterastel on paremad lõikeomadused kui süsiniktööriistaterastel (lõiketsooni temperatuur 300 ... 350 °C, lõikekiirus 20 ... 25 m/min).

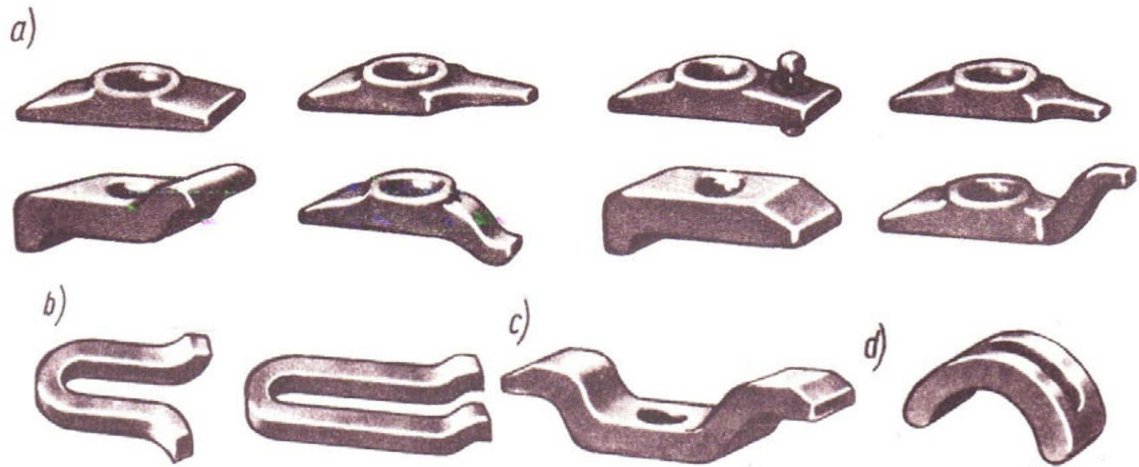
Kiirlõiketerased on võrreldes süsinik- ja legeeritud tööriistaterastega suurema kulumis- ja soojuskindlusega. Nad ei kaota oma omadusi temperatuuril 550 ... 600 °C. Kiirlõiketerased jaotatakse normaalse tootlikkusega terasteks ja suurendatud tootlikkusega terasteks, mida on legeeritud koobalti, vanaadiumi ja molübdeeniga. Suurendatud tootlikkusega kiirlõiketerastel on paremad lõikeomadused. Normaalse tootlikkusega kiirlõiketerased võivad töötada lõikekiirusega kuni 60 m/min ja üle selle, suurendatud tootlikkusega kiirlõiketerased aga lõikekiirusega 100 m/min ja üle selle [1].

Kõvasulamid võimaldavad rakendada 5...10 korda suuremat lõikekiirust kui kiirlõiketerased ja ei kaota lõikeomadusi temperatuuril kuni 850° ja üle selle. Paagutatud kõvasulamid koosnevad volfram-, titaan- või tantaalkarbiididest ja koobaltist, mis neid aineid omavahel seob. Eristatakse volframkoobalkõvasulameid ja titaanvolframkoobalkõvasulameid [1]. Volframkoobalkõvasulameid kasutatakse habraste materjalide töötlemisel: malmi, pronksi, karastatud terase, plastmassi, portselani jne. Titaanvolframkõvasulameid kasutatakse põhiliselt teraste töötlemisel. Kõvasulami margi valikul saab juhendada vastavates tabelites toodud andmetest.

Tänapäeval varustatakse freesid väga sageli kõvasulamplaatidega. Valmistatakse ka terviklikke kõvasulamfreese. Mineraalkeraamilised sulamid valmistatakse alumiiniumoksiidi (Al_2O_3) - korundi baasil. Koostisosad peenestatakse, pressitakse kokku ja paagutatakse. Nagu kõvasulameid, valmistatakse ka neid standardse kuju ja mõõtmetega plaatidena. Mineraalkeraamilised plaadid on suurema soojus- ja kulumiskindlusega kui mõned kõvasulamid. Kõvasulamitega võrreldes on nad siiski vähem tugevad ja hapramad. Mineraalkeraamilisi plaate kasutatakse otsfreesidel puhas- ja peenfreesimisel [1].

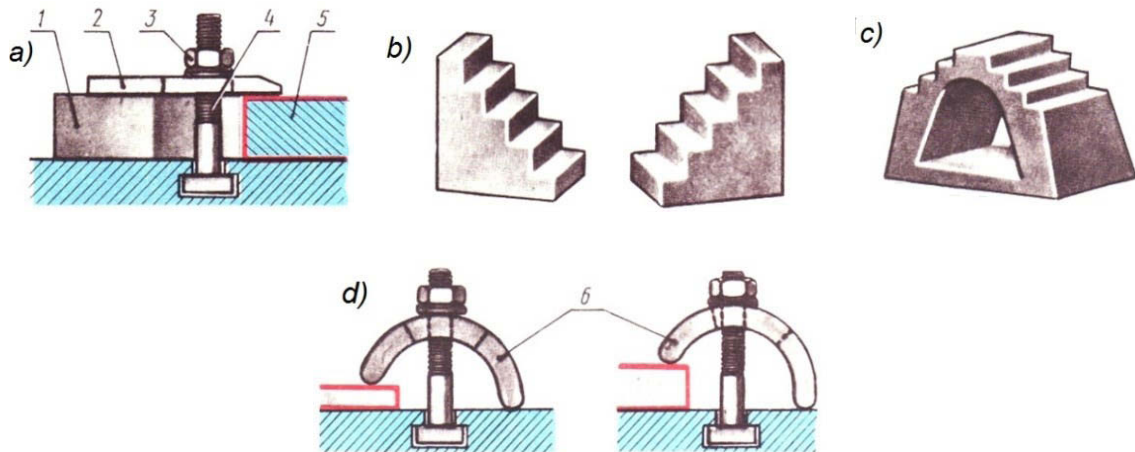
3.2.3. Toorikute ülesseadmine ja kinnitamine freespingil

Universaalsed rakised (klambrid, nurkplaadid, prismad, masinakruustangid jt) on ette nähtud mitmesuguste toorikute kinnitamiseks pingi töölauale ja neid kasutatakse põhiliselt üksik- ja väkeseeriatootmises.



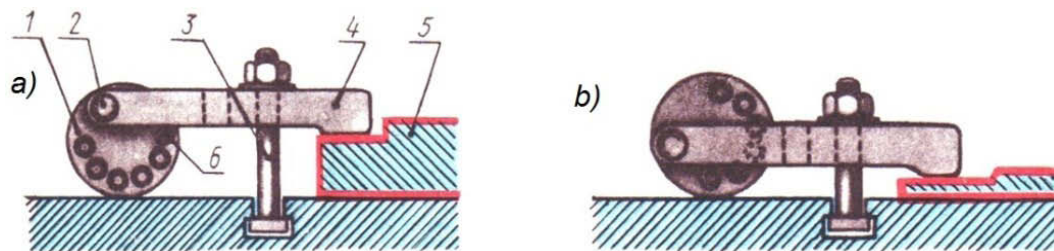
Joonis 3.2.3.1. Kinnitusrakised: a) plaadikujulised, b) kahvlikujulised, c) künakujulised, d) loogakujulised [1]

Kõigil klambritel on piklik kinnituspoldi ava, mis võimaldab neid nihutada töödeldava tooriku suhtes. Tugiklotsidena kasutatakse astmelisi klotse, mitmesuguseid sobiva kõrgusega plaate või eritugesid.



Joonis 3.2.3.2. Tooriku kinnitamine töölauale: a) tooriku klambrikinnitus töölauale (1-tugiklots, 2 – klamber, 3 – mutter, 4 – kinnituspolt, 5 – toorik), b) astmelised klotid, c) eritoad, d) reguleeritavad loogakujulised klambrid [1]

Toorikute kinnitamiseks freespinkide töölaudadele kasutatavad väga mitmesuguse kujuga ja kinnitusviisiga toed, klambrid, kruustangid ja spetsiaalrakised peavad garanteerima toorikute kindla ja tugeva kinnituse, mis töötlemise käigus ei nõrgene ega nihku. Toorikute kinnitamiseks kasutatakse ka ümberasetatava toega klambreid (joonis 3.2.3.3) [1].

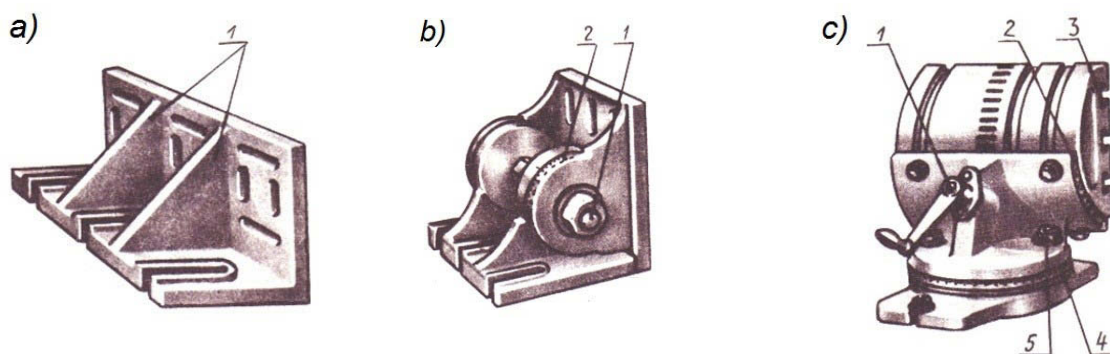


Joonis 3.2.3.3. Ümberpaigutatava kettaga tugi (1 – ketas, 2 – telg, 3 – kinnitus-polt, 4 – tugiklamber, 5 – toorik, 6 – tugitihvt); a) paks toorik, b) õhuke toorik

Toorikute kinnitamiseks töölauale tuleb meeles pidada järgmisi reegleid:

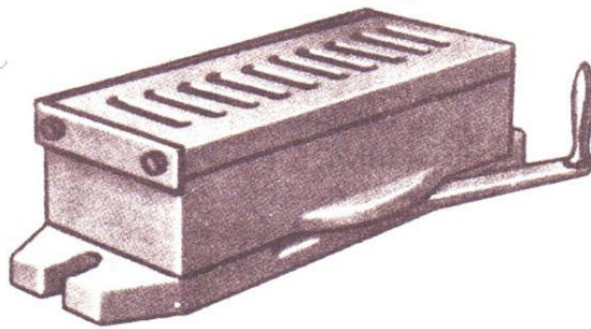
- klambri kinnituspolt tuleb seada võimalikult tooriku lähedale;
- klamber peab toetuma tugiklotsile toorikuga ühesugusel kõrgusel;
- toorikule toetuv klambri ots ei tohi asuda tooriku sellel kohal, mis ei ole tihedalt vastu töölauda;
- koorivfreesimisel tuleb poldid kõvasti kinni keerata, et vältida tooriku lahtirebimist kruustangidest või kinnitusrakistest;
- siluvfreesimisel ei tohi poltide kinnitõmbamisega töödeldavat toorikut deformeerida.

Nurgaplaate (nurgikuid) kasutatakse selliste toorikute ülesseadmiseks ja kinnitamiseks, mille kaks töödeldavat külge peavad moodustama omavahel teatud nurga (joonis 3.2.3.4).



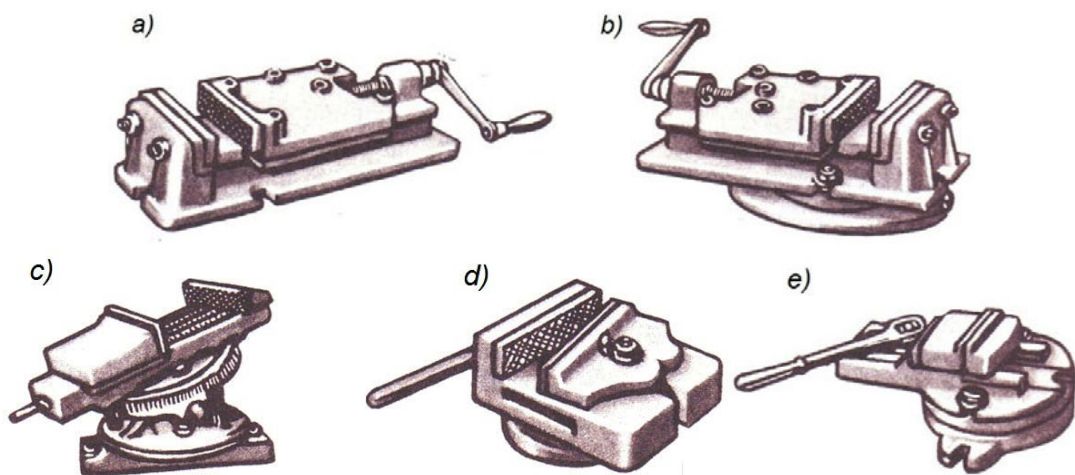
Joonis 3.2.3.4. Nurgaplaadid; a) täisnurkne kinnitusnurgik (1 – jäikusribid), b) pööratav nurgik (1 – kinnikeeratav telg, 2 – nurgaseade skaala), c) kahes tasapinnas pööratav universaalne kinnitusnurgik (1 – rõhtasendis pööramise käepide, 2 – kaldenurga skaala, 3 – pööratav kinnitustasapind, 4 – pööratav vaheklots, 5 – pööratava püsttasapinna kinnituspolt) [1]

Ka toorikute kinnitamiseks kasutatavad masinkruustangid jagunevad lihtsateks, pööratavateks ja universaalseteks, millised võimaldavad toorikuid kinnitada ettenähtud viisil ja nurga all. Masinkruustangid võivad olla kas mehaanilise-, pneumaatilise- või hüdraulilise ajamisega. Võimalikult mitmekesiste toorikute kinnitamiseks masinkruustangidesse kasutatakse vahetatavaid pakke ja alusklotse. Viimase ajal on hakatud kasutama tasase tugipinnaga teras- ja malmtoorikute kinnitamiseks baariumoksiidmagnetitega rakiseid. Baariumoksiidmagnetiga rakiste (joonis 3.2.3.5) eeliseks on jääkmagnetismi mittetekkimine toorikutes ja lõikeriistades [1].

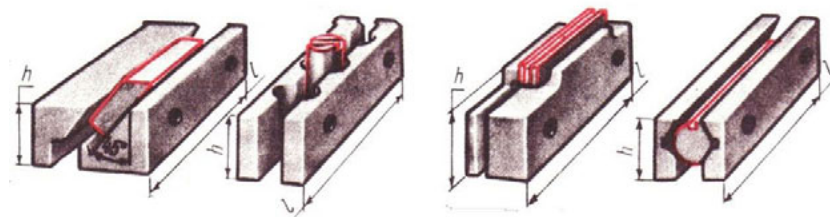


Joonis 3.2.3.5. Baariumoksiidmagnetiga toorikute (detailide) kinnitusrakis

Masinkruustangid jagunevad detailide kinnitusviiside järgi alljärgnevalt (vt. joon. 3.2.3.6).



Joonis 3.2.3.6. Masinkruustangid: a) lihtne; b), e) pööratavad; c) universaalne ekstsentriskinnitusega; d) püsttelje ümber pööratav [1]



Joonis 3.2.3.7. Masinkruustangide erikujuga pakid [1]

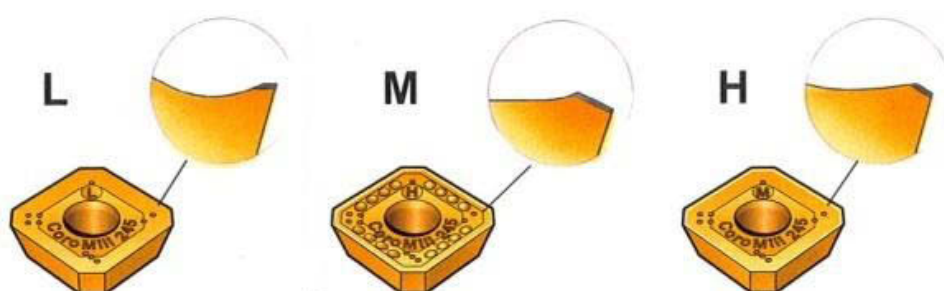
Selleks, et masinkruustangidesse kinnitada mitmesuguse kujuga detaile, kasutatakse vahetatavaid pakke (joonis 3.2.3.7)

3.2.4. Lõikerežiimide määramine freesimisel

Tööriista ja töötlemistingimuste õigel valikul on freesimisel nagu teistegi lõiketöötlemise mooduste korral oluline osa töötlemise kvaliteedi ja tootlikkuse tagamisel. Kaasaegse freesi konstruktsioon rajaneb suure täpsusega valmistatud ja karastatud korpusele mehaaniliselt kinnituvate terikute kasutamisel. Freesile uute lõikeomaduste andmiseks piisab terikute komplekti vahetamisest [5].

Freesi terikute põhigeomeetria

- **positiivne geometria**, tähistus **-L**
 - Terikul on terav, positiivse geometriaga lõikeserv, mis tagab ühtlase ja sujuva laastutekke protsessi. Sobib kergete koormuste (väike ettenihe, väikese võimsusega seadmed) korral.
- **universaalne geometria**, tähistus **-M**
 - Terikul on faasitud, positiivse geometriaga lõikeserv, mis on mõeldud kasutamiseks vahelduva toodangu korral (keskmine ettenihe).
- **tugevdatud geometria**, tähistus **-H**
 - Terikul on tugevalt faasitud lõikeserv. Kasutatakse, kui lõikeriistale esitatakse kõrged nõudmised lõikeserva tugevuse seisukohalt (suur ettenihe).

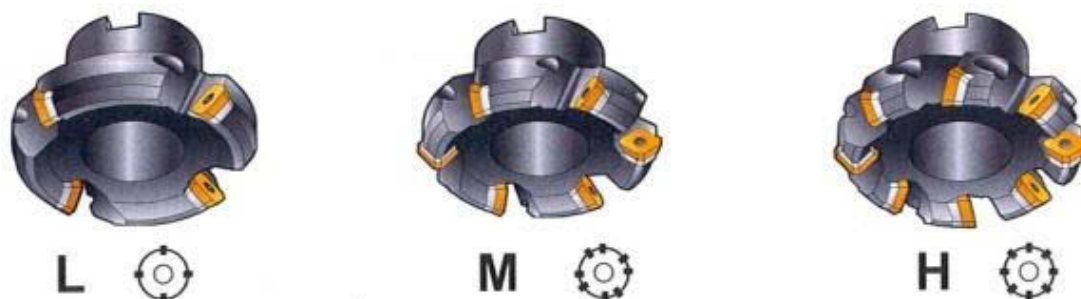


Joonis 3.2.4.1. Freesi terikute geometria: L – positiivne, M – universaalne. H – tugevdatud [14]

Freesi hammaste arv

Freesi hammaste arv mõjutab tema hammaste tugevust, lõikeprotsessi sujuvust, freesi jäikust. Hammaste arvu järgi jagatakse freesid [5]:

- **väikese tihedusega hambad**, tähistus **L**; parim valik, kui süsteemi või tööpingi jäikus on piiratud. Pika väljaulatusega (sabaga) tööriistad. Kasutamiseks väikestel freespinkidel.
- **keskmise tihedusega hambad**, tähistus **M**; universaalne variant vahelduva toodangu tarvis.
- **suure tihedusega hambad**, tähistus **H**; tagavad parima tootlikkuse töötlemisel jäigas süsteemis, ühtlane lõikeprotsess. Sobivad kasutada lühilaastuliste ja kuumpüüivate materjalide töötlemisel.



Joonis 3.2.4.2. Freesi hammaste tihedus: L – väike, M – keskmine, H – suur [14]

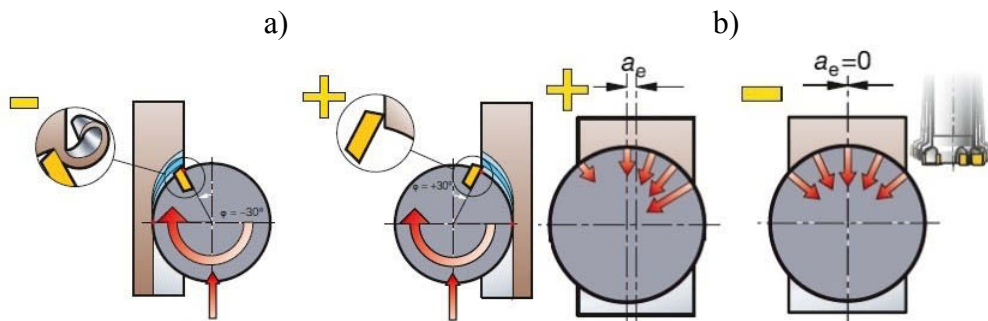
Freesi sobiva läbimõõdu valik

Tasapindade freesimisel on freesi hammaste normaalse töötingimuste tagamiseks soovitatav võtta freesi läbimõõt:

$$D = (1,2 \dots 1,5) a_e, \quad (3.2.3) \quad \text{kus } a_e - \text{freesitava pinna (freesimise) laius, [mm].}$$

Freesi asend tooriku suhtes

Väikese laiusega pindade freesimisel on soovitatav kasutada ebasümmeetrilist freesi asendit töödeldava pinna suhtes, mis tagab freesi hambale paremad tingimused nii sisselõikamisel kui ka materjalist väljumisel.



Joonis 3.2.4.3. Freesi asend tooriku suhtes: a) ettenihke suunas freesimine, b) ebasümmeetriline freesi asend [14]

Freesi püsivusaja suurendamiseks on soovitatav kasutada ettenihke suunas freesimist (vastufreesimist).

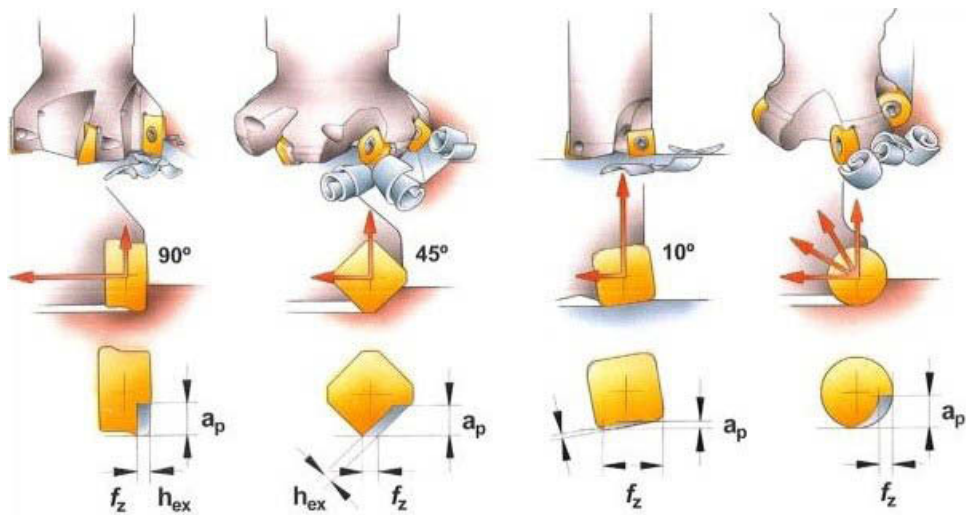
Freesi hamba peanurga valimine

Nurk φ kujuneb freesi hamba pealõikeserva ja freesi korpuse otspinna tasandi vahel. Selle nurga suurus mõjutab freesimisel kujuneva laastu paksust, freesile mõjuvate lõikejõudude suurust ja freesi püsivusaega. Hamba peanurga vähendamisel väheneb laastu maksimaalne paksus h_{ex} lõikeserva aktiivse osa pikkuse suurenemise arvel. Paranevad hamba materjali sisselõikumise ja materjalist väljumise tingimused, sest nimetatud protsessid toimuvad sujuvamalt. Väheneb freesi hammaste purunemise oht. Väiksema hamba peanurga korral suureneb freesi teljesuunaline jõud, mis võib põhjustada väiksema jäikusega tööpingi puhul vibratsiooni ja õhukeseseinaliste detailide töötlemisel töödeldava pinna läbipainet [5].

Järgnevas tabelis on toodud laastu maksimaalse paksuse h_{ex} väärtused sümmeetrilisel otsefreesimisel erinevate nurga φ väärtuste korral, kus f_z on ettenihke freesi hambale, [mm].

Tabel 3.2.1. Laastu maksimaalne paksus

φ°	h_{ex}
45	0,707 f_z
60	0,860 f_z
75	0,960 f_z
90	f_z



Joonis 3.2.4.4. Freesi hamba peanurga mõju freesimisel mõjuvatele jõududele [14]

$\varphi = 90^\circ$ freesile mõjuv jõud on peamiselt radiaalsuunaline. Taolised freesid sobivad õhukeseseinaliste vähejäikade toorikute töötlemiseks. Eelkõige kasutatakse, kui tooriku kinnitamise jäikus ei ole piisav, või töötlemisel peab kujunema aste 90° ;

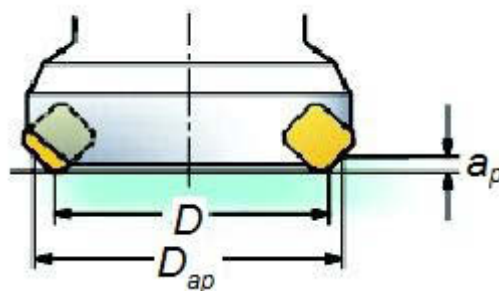
$\varphi = 45^\circ$ freesile mõjuvad telg- ja radiaal jõud on peaaegu võrdsed. Esimene valik tavatöodel, väike vibratsioonioht töötlemisel freesi pika väljaulatuse korral, õhuke laast soodustab optimaalsete režiimide ja hea tootlikkuse valikut töötlemisel;

ümarterik väga tugev lõikeserv ja teriku pikk kasutusaeg (saab mitu korda keerata uude asendisse), õhukese laastu tõttu sobiv kasutada kuumpüsivate materjalide töötlemiseks. Lõikejõudude toime freesi hambale on sarnane olukorraga, kui $\varphi = 45^\circ$.

Ettenihke määramine

Režiimide kataloogides lähtutakse ettenihke määramisel maksimaalselt lubatud laastu paksusest lõikeserva kohta, mis on sõltuv freesi tüübist, teriku geometriast ja teriku mõõtudest. Ettenihke hambale f_z määramisel tuleb lähtuda tegelikest töötlemistingimustest. Kui meil on sirge lõikeservaga freesi hammas ja tegemist on sümmeetrilise freesimisega, siis:

$$f_x = \frac{h_{ex}}{\sin \varphi} \text{ [mm]}. \quad (3.2.4)$$



Joonis 3.2.4.5. Ebasümmeetriline freesimine [13]

Ebasümmeetrilise freesimise korral on limiteeriv ettenihe hambale f_z arvutatav valemiga:

$$f_z = \frac{D_{ap} \cdot h_{ex}}{\sin \varphi \cdot \sqrt{D_{ap} - (D_{ap} - 2 \cdot a_e)^2}} \quad [\text{mm}], \quad (3.2.5)$$

kus D_{ap} on freesi arvutuslik töötlemise läbimõõt, [mm].

$$D_{ap} = \frac{2 \cdot a_p}{\sin \varphi}. \quad (3.2.6)$$

Olenevalt freesi hamba lõikeserva kujust ja kas sümmeetrilisest või ebasümmeetrilisest freesi asetusest tooriku suhtes on kasutusel erinevad ettenihke määramise meetodikad. Olenevalt teriku esinurga suurusest kasutatakse mitmete arvestuste puhul parandustegurit.

Lõikerežiimi parameetrite valiku järjekord freesimisel on järgmine [5]:

1. Määrata lähtudes töötlusvarust suurim lõikesügavus. Töötlusvaru on soovitatav eemaldada ühe läbimiga.
2. Leida vastavalt töötlemistingimustele suurim lubatav ettenihe hambale f_z . Koorivfreesimisel piiravad seda freesi hamba tugevus, freesi tugevus (sõrmfreesid, väikese läbimõõduga freesid jt), pingi mitteküllaldane võimsus, jäikus ja vibratsioonikindlus jne. Siluvfreesimisel peab ettenihke suurus vastama töödeldava pinna nõutud täpsusele ja pinnakaredusele.
3. Valitud lõikesügavuse ja ettenihke f_z (või antud freesimislaiuse) järgi määratakse freesimisrežiimi normatiivide tabelist lõikekiirus v .
4. Määratakse lõikevõimsus (efektiivvõimsus) N_e . Valitud režiimi võib kasutada, kui $N_e < N$. Kui osutub, et $N_e > N_p$, siis on tarvis eelkõige vähendada lõikekiirust võrdeliselt võimsuse puudujäägiga:

$$v_p = v_n \cdot \frac{N_e}{N_p}, \quad (3.2.7)$$

kus v_p - lõikekiirus vastavalt pingile [m/min],
 N_p - pingi efektiivvõimsus [kW],
 v_n - lõikerežiimi normatiividele vastav ,
lõikekiirus [m/min],
 N_e - lõikevõimsus [kW].

5. Vastavalt valitud lõikekiirusele v_n või v_p määratakse antud freespingi spindli lähim võimalik pöörlemissagedus. Selleks võib kasutada valemit (3.1.7)
6. Määratakse minutiline ettenihe valemi või graafiku järgi ja valitakse antud pingil olevatest ettenihetest arvutatule kõige lähem.
7. Määratakse masinaeg.

Masinaeg on aeg, mille jooksul laastu eemaldamine toimub töölise vahetu osavõtuta (näiteks tooriku pinna freesimise aeg mehaanilise pikiettenihke sisselülitamise hetkest kuni selle väljalülitamiseni). Kõigi freesimisviiside puhul määratakse masinaeg T_m valemiga:

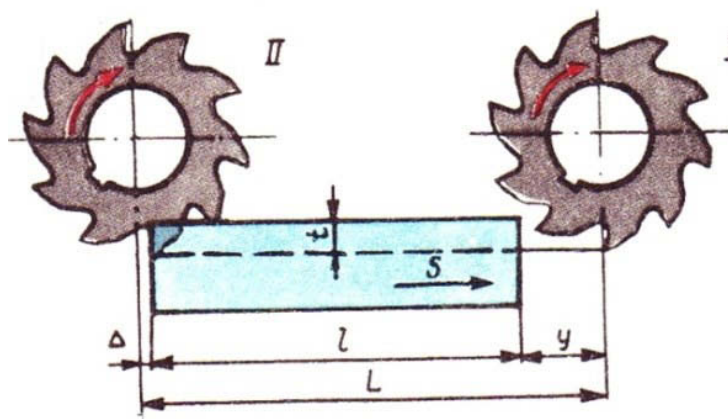
$$T_m = \frac{L}{f_m} \cdot i, \quad (3.2.8)$$

kus L - lõikeriista või tooriku töökäigu (nihutamise) pikkus (arvestades sisselõikumist ja ülejooksu) [mm], (joonis 3.2.4.6),
 i - läbimite arv,
 f_m - lõikeriista või tooriku minutiline ettenihke [mm].

Töökäigu pikkus L avaldub valemiga:

$$L = l + y + \Delta, \quad (3.2.9)$$

kus l - töödeldava tooriku pikkus [mm],
 y - freesi sisselõikamise pikkus [mm],
 Δ - freesi ülejooksu pikkus [mm].



Joonis 3.2.4.6. Sisselõikamine ja ülejook

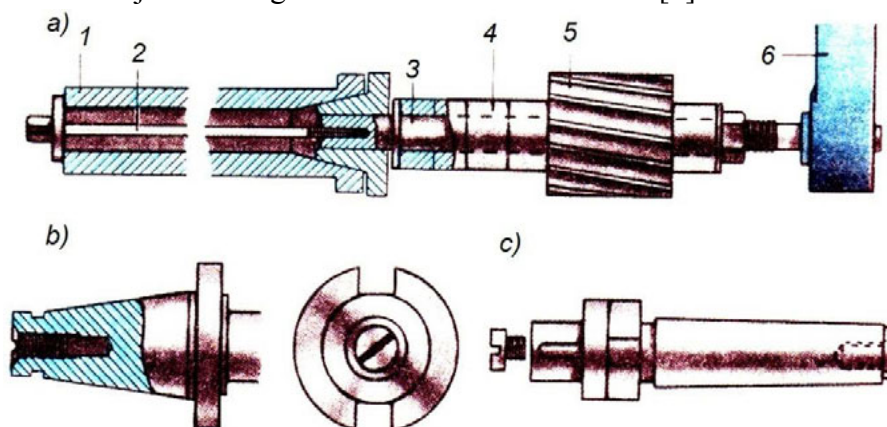
Freeside ülesseadmine ja kinnitamine

Seadistamine – toimingud, mis tagavad tööriista ja tooriku õige kinnitamise ning nende omavahelise õige asetuse.

Häälestamine – freespingi spindli vajaliku pöörlemissageduse, töölaua minutilise ettenihke ja freesi lõikesügavuse väljareguleerimine [1].

Pärast seda, kui antud töötingimuste jaoks on valitud optimaalsete tüüp mõõtmetega silinderfrees, tuleb ta freespinkile üles seada ja kinnitada. Vastavalt freesi ava läbimõõdule valitakse vajaliku läbimõõduga freestorn. Freeside kinnitustornide läbimõõdud vastavad silindriliste freeside siseläbimõõdudele ja on standardiseeritud: 16, 22, 27, 32, 40, 50 ja 60 mm. Freeside kinnitamiseks freestornile kasutatakse freesi ettenähtud paigutuse tagamiseks vaherõngaid ja pukse. Neid on kahte tüüpi – lühikesed ja pikad. Freespinkide freestorni vaherõngaste normaalkomplekt koosneb rõngastest laiusel 1 kuni 50 mm: 1,0; 1,1; 1,2; 1,2; 1,3; 1,4; 1,5; 1,6;

1,7; 1,8; 1,9; 2,0; 3,0; 5,0; 8,0; 10; 15; 20; 30; 40 ja 50 mm. Joonisel 3.2.4.6 on kujutatud silinder- või ketasfreesi ja vaherõngaste kinnitamine freestornile [1].



Joonis 3.2.4.7. Freestorn a) silinder- või ketasfreeside kinnitamine freestornile; 1 spindel, 2 varraskruvi, 3 freestorn, 4 vaherõngas, 5 silinderfrees; b) spindli otsa kaasaveonukid ja freestorni ääriku väljalõiked; c) lühike sõrmtorn

Lühikeste sõrmtornide üks ots kinnitatakse spindli avasse, teisele otsale aga kinnitatakse otsfrees liistu ja kruvide abil. Sellised tornid on ette nähtud kergetele töödele. Kui freestornile paigaldatakse üks frees, tuleb see asetada võimalikult pingi spindli lähedale torni läbipainde vähendamiseks töötamisel.

Kui freesi pole võimalik üles seada spindli lähedale, soovitatakse kasutada lisaripplaagrit. Kui freestornile on vaja asetada mitu freesi, mis ei puutu omavahel kokku, tuleb nendevaheline kaugus välja reguleerida nende vahele asetatavate vaherõngastega [1].



Joonis 3.2.4.8. Ülatala nihutamine ja ripplaagri lahtivõtmine; a) nihutamine, b) ripplaagri eemaldamine

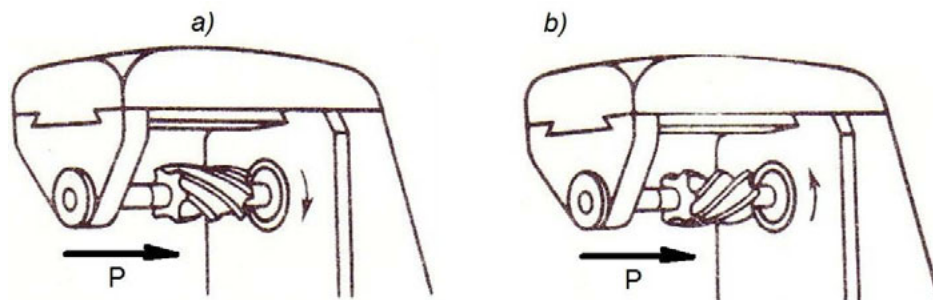
Freeside ülesseadmisel ja kinnitamisel freespinki tuleb kinni pidada järgmiste tegevuste järjekorrast:

1. Keerata lahti ülatala seadekruid ja nihutada ta otsvõtmega äärmisse eesmise asendisse (joonis 3.2.4.7.a).
2. Keerata lahti ripplaagri kinnituskruid ja võtta ripplaager maha (joonis 3.2.4.9.b).
3. Asetada freestorni kooniline ots spindli avasse, sobitada spindli otsal olevad kaasaveonukid freestorni ääriku väljalõigetesse ja kinnitada freestorn varraskruviga. Freestorni kooniline

otsak peab tihedalt minema spindli koonilisse avasse. Seepärast tuleb hoida freestorni koonilist otsa ja spindli ava lõökide eest ning hoolikalt puhastada enne kinnitamist.

4. Asetada freestornile väljavalitud vaherõngad ja frees. Freesi kohale asetamisel tuleb jälgida, et freesi kruvisoone suund oleks vastavuses spindli pöörlemissuunaga.

Tuleb meeles pidada, et tingimata on vaja valida niisugune freesimis skeem (joonis 3.2.4.9), kus freesi kruvisoone suund ja spindli pöörlemissuund on erinevad [1].

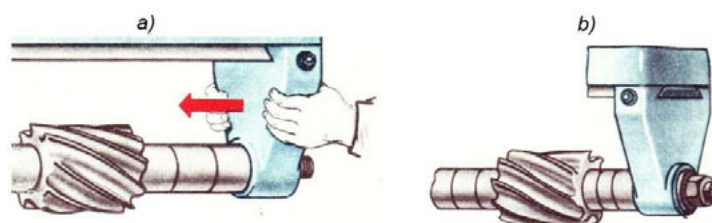


Joonis 3.2.4.9. Õige freesi kruvisoone suund ja spindli pöörlemissuund

Jooniselt 3.2.4.9 on näha, et horisontaalfreespinkidel töötamisel tuleb kasutada paremakäelise kruvisoonega silinderfreesi, kui spindli pöörlemissuund on vastupäeva (joonis 3.2.4.9.a), või vasakukäelise kruvisoonega silinderfreesi, kui spindli pöörlemissuund on päripäeva (joonis 3.2.4.9.b). See on seletatav asjaoluga, et juhtudel, kui freesi kruvisoone suund ja spindli pöörlemissuund on erinevad, on lõikejõu teljesihiline komponent P suunatud spindli poole, st jäigema toe suunas. Seega nimetatud jõud surub freestorni spindli avasse, mitte aga ei kisu torni koos freesiga spindli pesast välja ega suru vähem jäigema toe - ripplaagri poole [1].

Pärast freesi kohaleasetamist tuleb asetada freestornile ülejäänud vaherõngad ja keerata peale mutter. Seejuures tuleb jälgida, et mutter ei kataks freestorni tappi, mis läheb ripplaagrisse.

5. Asetada kohale ripplaagripukk nii, et freestorni ots (tapp) satuks ripplaagrisse (joonis 3.2.4.10).
6. Kinnitada frees freestornile, keerates mutrit mutrivõtmega ja kinnitada ripplaagripukk.



Joonis 3.2.4.10. Freesi kinnitamine tornile

7. Kinnitada ülatala ja õlitada ripplaager.
8. Kontrollida freesi ja torni viskumist, mis peab vastama kehtivatele normidele. Viskumise kontrollimiseks tuleb kasutada statiiviga indikaatorkella.

3.2.5. Tasapindade freesimine silinderfreesidega

Silinderfreesid on ettenähtud kasutamiseks tasapindade töötlemiseks. Nimetatud freesidel on harilikult kruvihambad, mille lõikeserv kulgeb piki kindlaksmääratud kaldenurgaga ω kruvihoont.

Silinderfreesi põhimõõtmel on freesi laius L , läbimõõt D , ava läbimõõt d ja hammaste arv z .

Freesid valmistatakse kiirlõiketerasest või varustatakse kõvasulamist plaadikestega. Vahetatavate hammastega silinderfreeside kasutuselevõtt võimaldab kokku hoida tööriistaterast.

Pöörlemisjuuna järgi jaotatakse freesid parem- ja vasakpoolse lõikesuunaga freesideks. **Parempoolse** lõikesuunaga freesideks nimetatakse selliseid freese, mis töötades peavad pöörlema päripäeva, kui vaadata freesile spindli tagumise otsa poolt (või vastupäeva, kui vaadata ripplaagri poolt).

Vasakpoolse lõikesuunaga freesideks nimetatakse niisuguseid freese, mis töötades peavad pöörlema vastupäeva, kui vaadata freesile spindli tagumise otsa poolt (või päripäeva, kui vaadata ripplaagri poolt).

Kui vaadata freesile ripplaagri poolt, siis parempoolse lõikesuunaga frees paiskab laastu paremale, vasakpoolse lõikesuunaga frees aga vasakule. Olenevalt sellest, kumba pidi silinderfrees on asetatud tornile, võib ta olla kas parem- või vasakpoolse lõikesuunaga. Silinderfreesi lõikesuunda saab muuta tema ümberpööramisega freestornil [1].

Silinderfreesi valik

Freesi tüübi ja põhimõõtmel valik sõltuvad töötlemistingimustest (töödeldava tooriku mõõtmel, töödeldava materjali mark, töötlusvaru suurus jne.). Suurte hammastega freese kasutatakse kooriv- või poolsiluvfreesimisel, väikeste hammastega freese - poolsiluv- ja siluvfreesimisel [1].

3.2.6. Tasapindade freesimine otsfreesiga

Otsfreesid on ette nähtud tasapindade töötlemiseks vertikaal- ja horisontaalfreespinkidel. Erinevalt silinderfreesidest on otsfreeside hambad nii silindrilisel külgpinnal kui ka otsal. Otsfreesid jagunevad väikeste hammastega (joonis 3.2.6.1.a) ja suurte hammastega (joonis 3.2.6.1.b) freesideks ning vahetatavate lõiketeradega freesideks [1]. Otsfreesi põhimõõtmel on läbimõõt D , kõrgus L , ava läbimõõt d ja hammaste arv z . Võrreldes silinderfreesidega on otsfreesidel mõningad eelised. Peamised neist on:

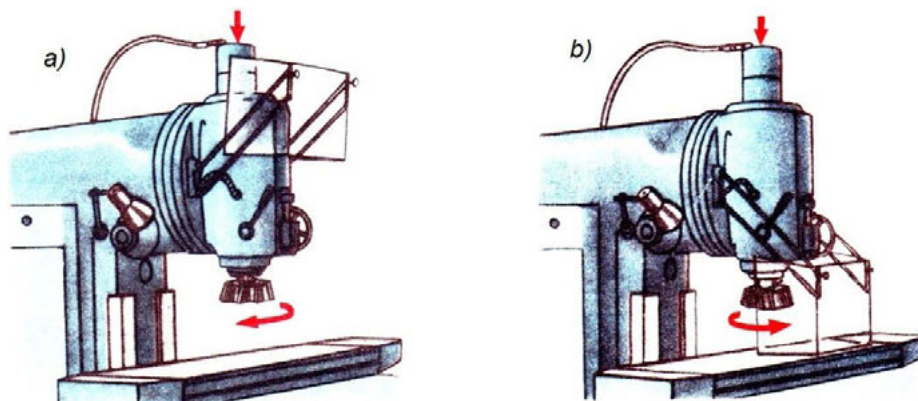
- palju jäigem kinnitus tornile või spindlile;
- sujuvam töötamine, sest üheaegselt võtab freesimisest osa suurem arv hambaid.

Seepärast on tasapindu enamikul juhtudel otstarbekas freesida otsfreesidega. Nagu silinderfreesid, jagunevad ka otsfreesid parem- ja vasakpoolse lõikesuunaga freesideks.



Joonis 3.2.6.1. Otsfreesid: a) väikeste hammastega frees, b) suurte hammastega frees

Parempoolse lõikesuunaga freesideks nimetatakse selliseid freese, mis töötades peavad pöörlema päripäeva (joonis 3.2.6.2.a), vasakpoolse lõikesuunaga frees - vastupäeva (joonis 3.2.6.2.b), kui vaadata freesile või freespeale ülalt (vertikaalfreespinkidel töötades). Tänapäeval on üha rohkem hakatud kasutama kõvasulamplaatidega otsfreesid. Tasapindade freesimine kõvasulamplaatidega otsfreesidega on tunduvalt tootlikum kui silinderfreesidega freesimise [1]. Viimasel ajal on hakanud levima ka iseterituvad kõvasulamplaatidega otsfreesid.



Joonis 3.2.6.2. Freesi pöörlemissuund; a) päripäeva, b) vastupäeva

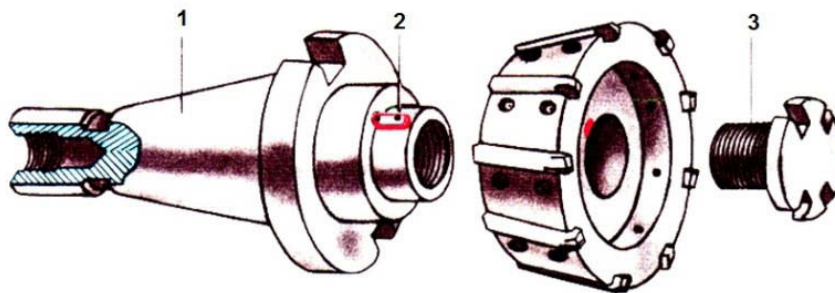
Freespingi seadistamine ja häälestamine mitmesuguste tööde tegemiseks.

Vertikaal- ja horisontaalfreespinkide seadistamine ja häälestamine otsfreesiga töötamisel ei erine põhimõtteliselt millegi poolest horisontaalfreespingi seadistamisest ja häälestamisest silinderfreesiga töötamisel. Seepärast vaatleme üksnes neid seadistamis- ja häälestamiserinevusi, mis on omased vaid otsfreesiga freesimisele [1].

Otsfreesi ülesseadmine ja kinnitamine vertikaal- või horisontaalfreespingile.

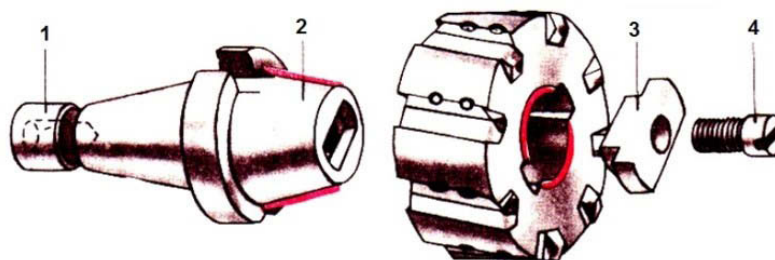
Otsfreesid kinnitatakse sõrmtornidele (joonis 3.2.6.3). Freespinkide sõrmtornide komplekt koosneb ühesuguste kooniliste sabadega, kuid erineva silindrilise osa läbimõõduga (16, 22, 27, 32, 40 ja 50 mm) tornidest. Suure läbimõõduga (125 mm ja rohkem) otsfreesid valmistatakse tornile asetatavaina. Neil on kas silindriline või kooniline istamisava [1]. Harilikult ühendatakse frees torniga 1 liistu 2 abil, mis läheb freesi vastavasse soonde, ja kinnitatakse kruviga 3. Torni valikul tuleb jälgida, et parempoolse

lõikesuunaga freeside kinnitamisel oleks torni ja kruvi 3 keere samuti parempoolne, vasakpoolse lõikesuunaga freesidel aga vasakpoolne (lahtikeerdumise vältimiseks).



Joonis 3.2.6.3. Silindrilise istamisavaga freesi kinnitus freestornile

Koonilise istamisavaga freesid kinnitatakse freestorni koonusele 2 vahetüki 3 ja kruvi 4 abil (joonis 3.2.6.4). Vahetükk 3 paigutub freesi kere soonde. Sõrmtorni kooniline saba asetatakse freespingi spindli koonilisse avasse ja kinnitatakse pingutusvardaga, mis võtme abil keeratakse sõrmtorni keermetatud avasse 1. Sellist freesi kinnitusmoodust kasutatakse harilikult vertikaal- ja horisontaalfreespinkide juures. See tagab freesi täpse tsentreerimise ja järelikult ka freesi hammaste väikseima viskumise pärast tema ülesseadmist ja kinnitamist [1].

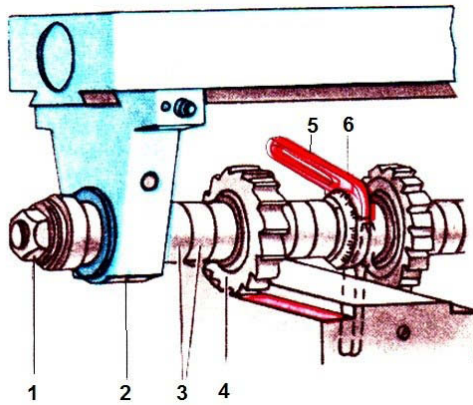


Joonis 3.2.6.3. Koonilise istamisavaga freesi kinnitus freestornile

Vertikaalfreespingi häälestamine vajalikule lõikerežiimile toimub niisamuti nagu horisontaalfreespingi häälestamine.

Freeside komplekti koostamiseks ja freeside vahe reguleerimiseks freestornil kasutatakse jäiku ja reguleeritavaid rõngaid. Freeside 4 vahelise kauguse reguleerimiseks (võimalik täpsus kuni 0,01 mm) tuleb võtmega 5 pöörata välimist seaderõngast 6, millel on limb nihutuse suuruse lugemiseks. Jäiku vaherõngaid 3 vajatakse freeside esialgsel kohaleasetamisel.

Freesidega freestorni üks ots asetatakse spindli koonilisse avasse ja kinnitatakse kruviga, teine ots aga paigaldatakse ripplaagrisse 2 ja kinnitatakse mutriga 1 [1].



Joonis 3.2.6.4. Freeside komplekti häälestamine reguleeritava seaderõngaga; 1 mutter, 2 ripplaager, 3 vaherõngas, 4 frees, 5 võti, 6 seaderõngas

Komplekti kuuluvate freeside mõõtmete valikul tuleb vältida erinevate läbimõõtudega freeside kasutamist. Suurema ja väiksema freesi läbimõõtude suhe ei tohi olla üle 1,5. Freeside komplektiga freesimisel tuleb kasutada suurema läbimõõduga torni kui ühe freesiga töötlemisel. Tuleb kasutada ka lisaripplaagreid [1].

Freesi tüübi ja mõõtmete valik.

Standardi kohaselt peavad otsfreeside parameetrid olema üheselt määratud, so igale freesi läbimõõdule vastab kindlaksmääratud freesi pikkus L , ava läbimõõt d ja hammaste arv z .

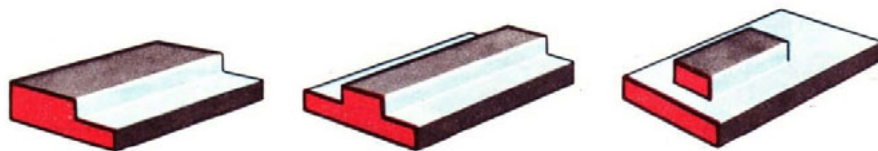
Otsfreesi läbimõõdu valikul lähtutakse freesimislaaiusest a_e ja lõikesügavusest a_p .

Koorivfreesimiseks valitakse vahetatavate lõiketeradega või suurehambalised otsfreesid.

Siluvfreesimisel tuleb kasutada peenehambalisi otsfreesid. Siiski tuleks kõigil juhtudel eelistada kõvasulamplaatidega otsfreesid, sest nende kasutamisel väheneb tunduvalt töötlemise masinaeg lõikekiiruse suurenemise tõttu [1].

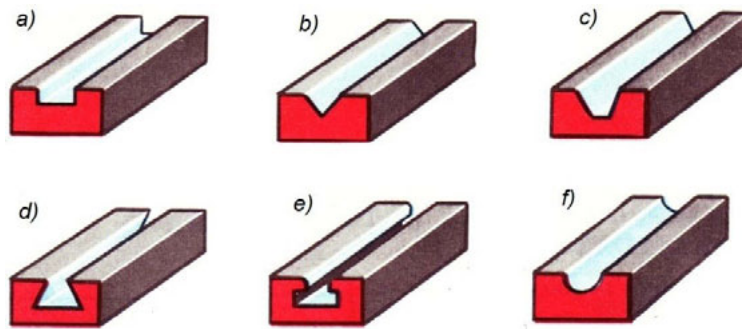
3.2.7. Astmete ja soonte freesimine

Astmeks nimetatakse kahe ristsापinnaga piiratud süvendit. Detailil võib olla üks, kaks, kolm või rohkem astet (joonis 3.2.7.1).



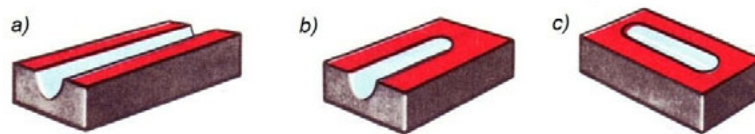
Joonis 3.2.7.1. Detaili võimalikud astmed

Sooneks nimetatakse tasa- või kujupindadega piiratud süvendit detailis. Olenevalt süvendi kujust jaotatakse sooned täisnurkseteks, kolmnurkseteks, trapetsi- ja T-kujulisteks ning kujusoonteks (joonis 3.2.7.2) [1].



Joonis 3.2.7.2. Detaili võimalikud sooned; a) täisnurkne ,b) kolmnurkne, c) ja d) trapetsikujuline, e) T-kujuline, f) kujusoon

Mistahes profiiliga sooned võivad olla läbivad (joonis 3.2.7.3.a), lahtised või väljuvad (joonis 3.2.7.3.b) ja kinnised (joonis 3.2.7.3.c) [1]



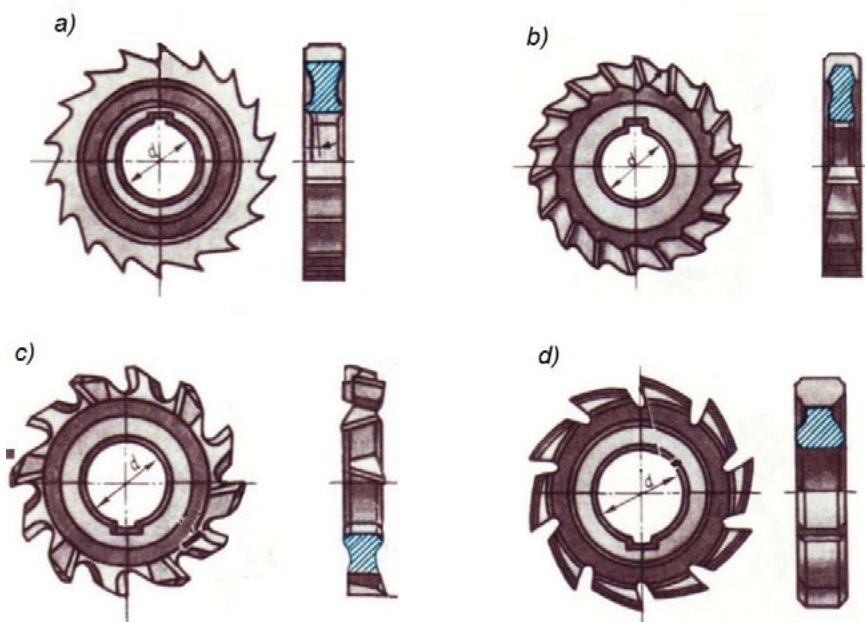
Joonis 3.2.7.3. Soone tüübid; a) läbivad, b) lahtised, c) väljuvad

Astmete ja soonte töötlemine on üks freespinkidel tehtavaid operatsioone. Freesitud astmetele ja soontele esitatakse mitmesuguseid tehnilisi nõudeid olenevalt ülesandest, tootmise seerialisusest, mõõtmete täpsusest, pindade asendi täpsusest ja pinnakaredusest. Kõik need nõuded mõjutavad töötlemismeetodi valikut.

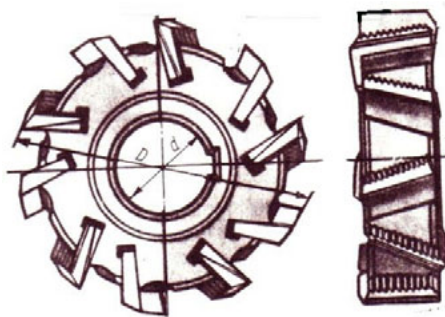
Astmeid ja sooni freesitakse ketas- ja sõrmfreesidega ning ketasfreeside komplektiga. Astmeid on võimalik freesida ka otsfreesidega.

Astmete ja soonte freesimine ketasfreesidega

Ketasfreesid on ette nähtud tasapindade, astmete ja soonte töötlemiseks. Ketasfreesid võivad olla kas terviklikud või vahetatavate hammastega. Tervikfreesid jagunevad soonefreesideks (joonis 3.2.7.4.a), kolmepoolseteks sirghammastega freesideks (joonis 3.2.7.4.b), kolmepoolseteks erisuunaliste peen- või normaalhammastega freesideks (joonis 3.2.7.4.c) ja kukaldatud soonefreesideks (joonis 3.2.7.4.d) [1]. Kolmepoolsed vahetatavate hammastega ketasfreesid (joonis 3.2.7.5) valmistatakse vastavalt ettenähtud standarditele.



Joonis 3.2.7.4. Ketasfreeside erikujud; a) soonefrees, b) kolmepoolsete sirghammastega frees , c) kolmepoolsete erisuunaliste hammastega frees, d) kukaldatud frees

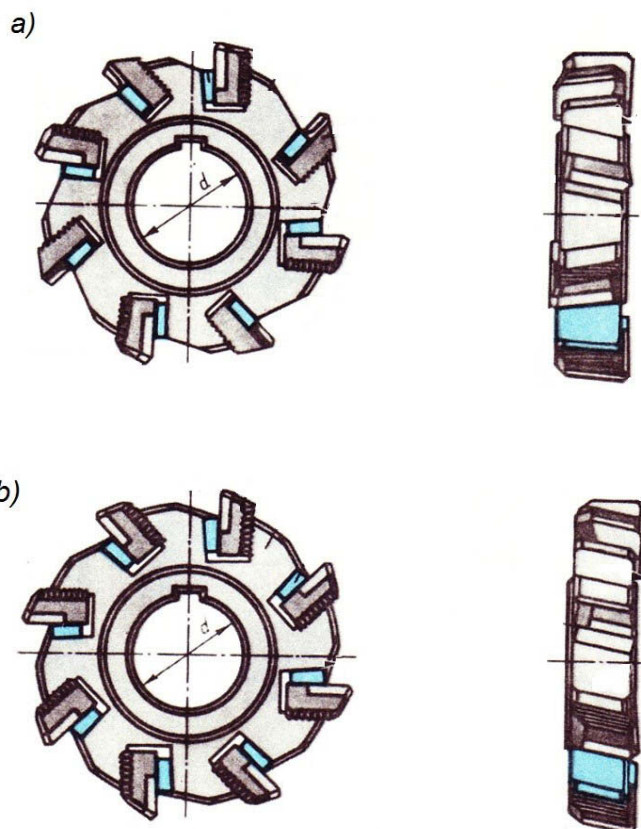


Joonis 3.2.7.5. Kolmepoolsed vahetatavate hammastega ketasfreesid

Soonefreesidel on hambad ainult silindrilisel osal ja neid kasutatakse madalate soonte freesimisel. Kolmepoolsetel ketasfreesidel on hambad silindrilisel pinnal ja mõlemal otspinnal. Neid kasutatakse astmete ja sügavate soonte töötlemisel. Selliste freesidega saadakse siledade külgpindadega sooned ja astmed. Lõiketingimuste parendamiseks tehakse kolmepoolsed ketasfreesid vahelduvalt erisuunaliste kaldhammastega, so üks hammas on kaldega paremale, aga teine, naaberhammas - kaldega vasakule. Sellepärast nimetataksegi neid erisuunalisteks. Tänu hammaste vahelduvale kaldele tasakaalustuvad vastastikku parem- ja vasakpoolsetele hammastele mõjuva lõikejõu telgsuunalised komponendid. Nendel freesidel on hambad ka mõlemal otspinnal. Kolmepoolsete ketasfreeside põhipuudus on see, et kohe pärast esimest teritamist otspinnalt muutub nende laius. Kui aga kasutada kahest ühesuguse paksusega poolst koosnevat reguleeritavat freesi, millel on ülekattega hambad,

siis saab pärast teritamist esialgset laiust taastada. Selleks tuleb freesipoolte vahele asetada vajaliku paksusega vask- või messinglehest seib [1].

Vahetatavate hammastega ketasfreesid, millel on kõvasulamplaadid, valmistatakse kolmepoolseina (joonis 3.2.7.6.a) ja kahepoolseina (joonis 3.2.7.6.b). Kolmepoolseid ketasfreesid kasutatakse soonte, kahepoolseid aga astmete ja tasapindade freesimiseks.



Joonis 3.2.7.6. Kõvasulamiplaatidega vahetatavate hammastega ketasfreesid; a) kolmepoolne, b) kahepoolne

Soonte ja astmete töötlemine kõvasulamiplaatidega kolmepoolsete ketasfreesidega tagab kõige suurema tootlikkuse. Ketasfreesid püsivad paremini mõõdus kui sõrmfreesid [1].

Ketasfreeside tüübi ja mõõtmete valik.

Ketasfreeside tüüp ja mõõtmed valitakse olenevalt töödeldavate pindade mõõtmetest ja tooriku materjalist. Antud töötlemistingimuste jaoks valitakse freesi tüüp, lõikeosa materjal ja põhimõõtmed - D , B , d ja z . Kergelttöödeldavate materjalide ja keskmise töödeldavusega materjalide suure lõikesügavusega freesimisel kasutatakse normaalsete või suurte hammastega freese. Raskelttöödeldavate materjalide ja väikese lõikesügavusega freesimisel soovitatakse kasutada normaalsete või väikeste hammastega freese. Freesi läbimõõt tuleb valida võimalikult väike, sest mida väiksem on läbimõõt, seda suurem on freesi jäikus ja vibratsioonikindlus. Lisaks sellele on suure läbimõõduga freesid ka hinna poolest kallid.

Ketasfreesi mõõtmete valik sõltub astme mõõtmetest, töödeldava materjali margist, pingi elektrimootori võimsusest jne. Vastavalt vajadusele ja etteantud tingimustele seadistatakse pink kas tööks üksikfreesiga, ketasfreeside komplektiga, sõrmfreesiga freesimiseks või otsfreesiga freesimiseks.

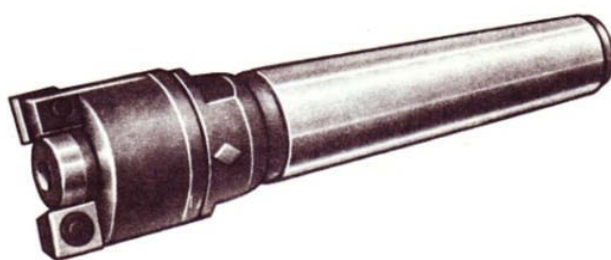
Astmete ja soonte freesimine sõrmfreesidega

Sõrmfreesid on ette nähtud tasapindade, astmete ja soonte freesimiseks. Neid valmistatakse silindrilise ja koonilise sabaga, normaalse ja suurte hammastega. Normaalammastega freese kasutatakse astmete ja soonte siluv- ja poolsiluvfreesimisel, suurte hammastega freese aga koorivfreesimisel. Joonisel 3.2.7.7 on toodud koorivtöötlemise sõrmfreeside uus konstruktsioon. Selle freesi hambad on teravatipulised, mitte aga kukaldatud, ja muutuva ringsammuga. Niisugustel freesidel on võrreldes standardfreesidega suurem vibratsioonikindlus, püsivusaeg ja tootlikkus (60...70% võrra) [1].



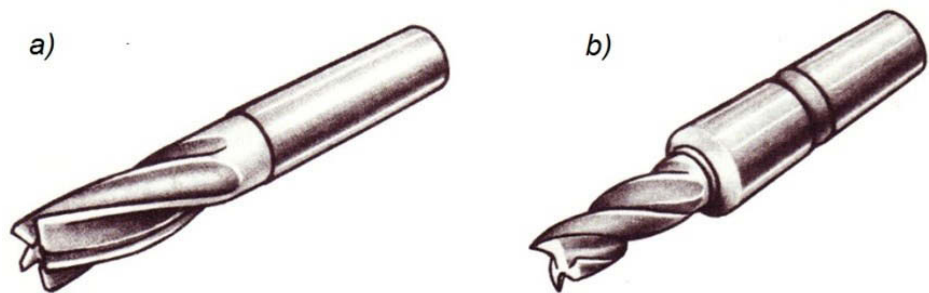
Joonis 3.2.7.7. Muutuva ringsammuga teravatipuliste hammastega sõrmfrees

Kõvasulamist sõrmfreese valmistatakse kahte tüüpi: kõvasulamist krooniga (läbimõõt 10... 20 mm) ja terikplaatidega (läbimõõduga 16...50 mm). Joonisel 3.2.7.8 on kujutatud vahetatavate kõvasulamiplaatidega sõrmfrees. Plaate saab vahetada freesi pingist maha võtmata.



Joonis 3.2.7.8. Vahetatavate kõvasulamiplaatidega sõrmfrees

Käesoleval ajal valmistavad tööriistehased terviklikke kõvasulamist sõrmfreese erineva läbimõõduga. Kõvasulamsõrmfreeside kasutamine on eriti tõhus soonte ja astmete töötlemisel karastatud ja raskelttöödeldavatesse toorikutesse. Soonte laiuse täpsus ketas- ja sõrmfreesidega töötlemisel sõltub kasutatava freesi täpsusest, freespingi täpsusest ja jäikusest ning freesi viskumisest pärast spindlisse kinnitamist. Niisuguste tööriistade puuduseks on nimimõõtme muutumine kulumise ja teritamise tagajärjel [1].



Joonis 3.2.7.9. Sõrmfrees; a) silindrilise sabaga, b) Morse koonusega

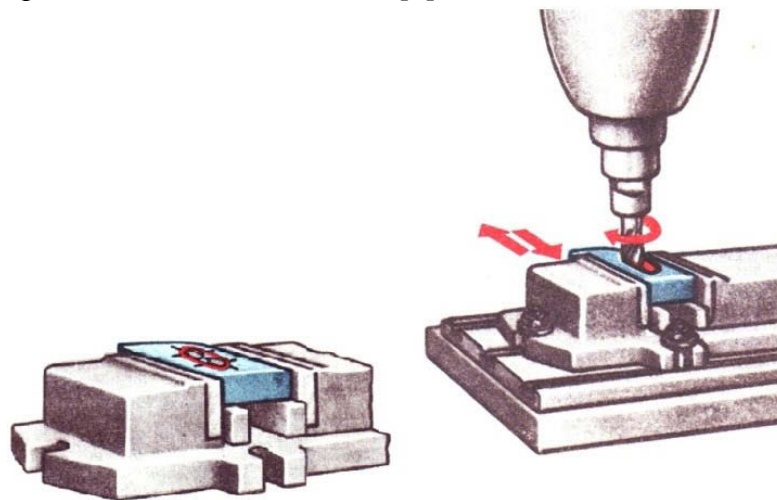
Sõrmfreesidel väheneb läbimõõt juba pärast esimest silindripinnalt teritamist ja nad osutuvad kõlbmatuks täpse laiusega soonte freesimisel. Täpse laiusega soone saamiseks tuleb sellisel juhul freesida kahe läbimiga. Puhastöötlemisel frees ainult kalibreerib soone, säilitades pikaks ajaks oma läbimõõdu.

Tabel 3.2.1. Freesi kruvisoone ja pöörlemissuund

Töötlemise iseloom	Eskiis	Freesi kruvisoone suund	Spindli pöörlemissuund	Töötlemise iseloom	Eskiis	Freesi kruvisoone suund	Spindli pöörlemissuund
Soone freesimine		Parempoolne	Parempoolne	Tasapinna freesimine		Parempoolne	Vasakpoolne
		Vasakpoolne	Vasakpoolne			Vasakpoolne	Parempoolne

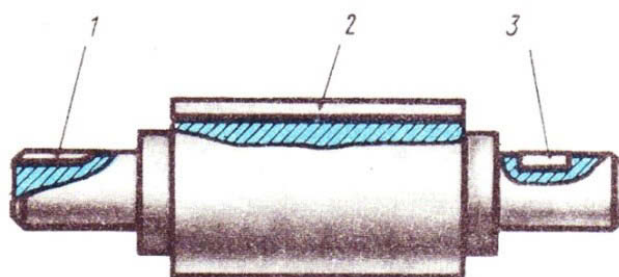
Sõrmfreesid võimaldavad freesida astmeid, läbiulatuvaid liistusooni, kinniseid sooni jne. Soonte töötlemisel sõrmfreesiga on tingimata vaja juhtida laast mööda freesi kruvisoont ülespoole, et ei kriimustuks töödeldud pind, ega murduks freesi hammas. See on võimalik ainult sel juhul, kui kruvisoone suund ühtib freesi pöörlemissuunaga, so nende ühenimelise suuna korral (tabel 3.2.1) [1]. Lõikejõu telgsihiline komponent P_z on säärase kinnituse puhul suunatud allapoole ja püüab freesi spindli pesast välja tõugata. Seepärast tuleb sõrmfrees soonte töötlemisel kinnitada palju tugevamini kui lahtiste pindade freesimisel. Tasapinna freesimisel peavad sõrmfreesi pöörlemissuund ja kruvisoone suund olema erinimelised, nagu ots- ja silindrfreesidega töötlemiselgi. Sellisel juhul on lõikejõu teljesihiline komponent suunatud spindli poole ja torni koos freesiga surutakse spindlisse (tabel 3.2.1). Tabelis 3.2.1 on toodud reeglid spindli pöörlemissuuna valikuks soonte ja lahtiste tasapindade freesimisel kruvihammastega sõrmfreesidega [1].

Kinniseid sooni freesitakse sõrmfreesiga vertikaalfreespingil või külgekinnitatava vertikaalpeaga horisontaalfreespingil. Freesi läbimõõdu määrab soone laius. Enne freesimisoperatsiooni alustamist peab olema toorikule märgitud soone kontuur, puuritud avad sõrmfreesi väljumiseks ja siirderaadiuste moodustamiseks. Toorik kinnitatakse kruustangidesse. Tooriku ülemine pind võib asuda kruustangide pakkidega samal kõrgusel. Tuleb jälgida, et paralleelsed alusliistud asetseksid õigesti: sõrmfrees peab vabalt mahtuma nende vahelt läbi. Joonisel 3.2.7.10 on kujutatud soone freesimine, kus pärast freesi sisseviimist eelnevalt puuritud avasse antakse töölauale käsitsi püstetenihe, et frees lõikuks plaati ettenähtud lõikesügavuse võrra. Seejärel teostatakse ettenihete vastavad ümberlülitused ja suurendatakse lõikesügavust kuni plaat on saanud läbiva soone [1].



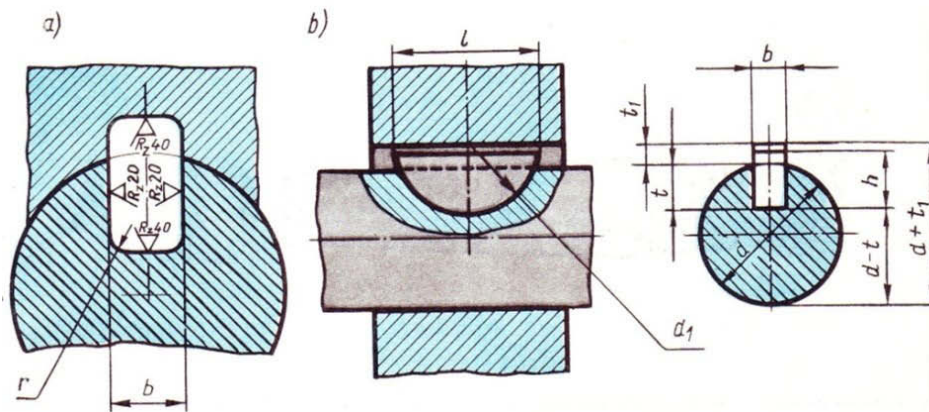
Joonis 3.2.7.10. Kinnise soone freesimine

Üks vastutusrikkamaid operatsioone on liistusoonte freesimine. Liistusooned (joonis 3.2.7.11) võivad olla lahtised 1, läbiulatuvad 2 ja kinnised 3.



Joonis 3.2.7.11. Liistusoonte erikujud: 1 lahtine, 2 läbiulatuv, 3 kinnine

Liistusoonte freesimine on väga vastutusrikas operatsioon. Liistusoone täpsusest oleneb liistliite iseloom. Freesitud liistusoonte esitatakse ranged tehnilised nõuded [1].



Joonis 3.2.7.12. Liistusoonte mõõtetähised ja täpsus

Kui liistusoonte freesimisel ülalootletud nõudeid ei täideta, tuleb koostamisel sageli teha töomahukaid sobitusoperatsioone - töödelda üle liiste või teisi liite detaile. Lisaks liistusoone mõõtmete täpsuse nõuetele esitatakse sama ranged nõuded ka liistusoone asendi täpsuse ja pinnakareduse suhtes. Liistusoone külgtahud peavad olema sümmeetrilised võlli telge läbiva tasapinna suhtes, külgseinte pinnakaredus peab olema Rz 20 piirides, mõnikord ka kõrgem.

Kõrvutades freesi tolerantse liistusoone tolerantsidega võib veenduda, kui raske on kindlamõõdulise freesiga töödelda freespingil nõutud täpsusega liistusoont. Kui frees on valmistatud alumise piirhälbe järgi, siis, et mahtuda ära liistusoone laiuse tolerantsi piiridesse, jääb süsteemi tööpink - frees - detail kõigi vigade jaoks ainult 0,016 mm, samal ajal on aga üksnes freesi lubatud viskumine 0,02 mm. Seejuures ei ole veel arvestatud freesi kinnitamise ebatäpsusega. Praktika näitab, et tolerantisiväljaga liistusoone freesimiseks tuleb frees väga hoolikalt valida ja teha prooviläbim. Seeria- ja masstootmises on soovitatav võimaluse korral liistliited asendada hammasliidetega [1].

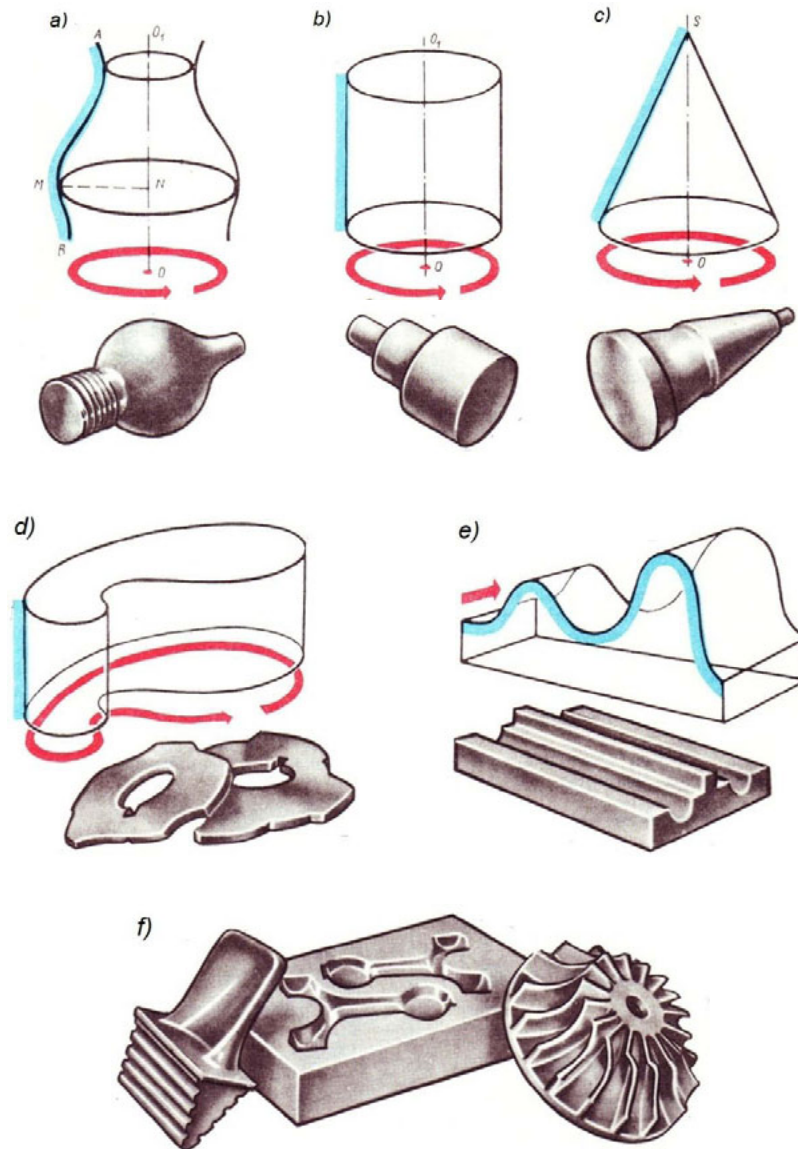
3.2.8. Kald- ja kujupindade freesimine

Pindade liigitus. Tehnikas kasutatakse laialdaselt kujupindadega detaile. Kõik kujupinnad võib liigitada järgmiselt:

1. **Pöördkujupinnad** (joonis 3.2.8.1.a, b, c).
2. **Suletud kontuuriga kujupinnad.** Selliste pindade moodustaja on sirgjoon, juhtjoon aga kinnine kõver (joonis 3.2.8.1.d), Need pinnad osutuvad silindrilisteks pindadeks, mida piiravad kaks tasapinda (alust). Pöördkehade silindrilisest pinnast (pöördsilindrist) erinevad nad selle poolest, et nende juhtjoon on kinnine kõver, mitte aga ringjoon. Sellise pinnaga on harilikult lamedad nukid.
3. **Lahtise kontuuriga kujupinnad.** Nende pindade moodustajaks on lahtine kõverjoon, juhtjooneks aga sirge või, vastupidi, moodustajaks sirgjoon, juhtjooneks aga kõverjoon (joonis 3.2.8.1.e). Sellise pinnaga on kujufreeside hambad, kujusooned jne.
4. **Ruumiliselt keerukad kujupinnad.** Sellesse rühma kuuluvad kõik ülejäänud kujupinnad. Näiteks turbiinilaba pind, auto veokasti pind, pressvormi pind jne. (joonis 3.2.8.1.f) [1].

Kujupindade hulka kuulub ka hammasrataste hammaste, hammasvõllide, kruvisoonde ja keermete pind. Et selliseid pindu kasutatakse masinaehituses väga laialdaselt, siis töödeldakse neid eripinkidel (harvem universaalpinkidel) ja erilõikeriistadega.

Kujupindade töötlemise meetod oleneb konfiguratsioonist, mõõtmetest, nõutud täpsusest, tooriku materjalist, töödeldavate detailide arvust ja teistest tingimustest. Kujupindadega detaile töödeldakse harilikult universaalfreespinkidel, kopeerfreespinkidel ja APJ freespinkidel. Eelistatud on APJ freespingid.



Joonis 3.2.8.1. Kujupindade liigitus; a), b) ja c) pöördekujupinnad, d) suletud kontuuriga kujupinnad, e) lahtise kontuuriga kujupinnad, f) ruumiliselt keerukad kujupinnad

Suletud kontuuriga kujupindu saab freesida vertikaalfreespinkidel:

- märkimise järgi käsiettenihkega,
- märkimise järgi ümmarguse pöördlaua abil,
- kopeeri järgi,
- kopeerfreesimise teel,
- APJ freespingis programmi järgi.

Käsiettenihkega freesimine

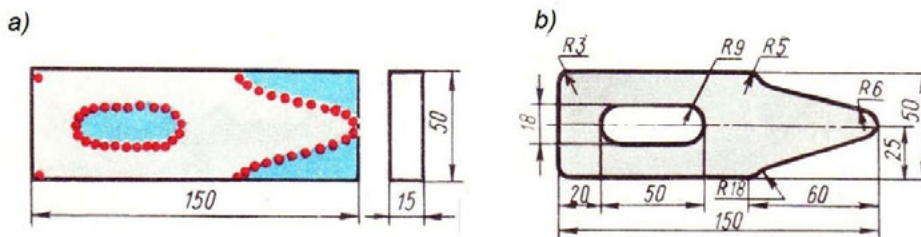
Suletud kõverjoonelise kontuuriga kujupinna freesimine märkimise järgi käsiettenihkega seisneb selles, et eelnevalt märgitud toorikut (joonis 3.2.8.2.a) töödeldakse sõrmfreesiga, nihutades töölauda üheaegselt piki- ja ristsihis nii, et frees eraldaks metallikihi märgitud kontuuri mööda. Tooriku võib kinnitada kas vahetult töölauale, kruustangidesse või rakisesse. Sellist freesimismeetodit kasutatakse ainult üksik- ja väikeseeriatootmises ning see nõuab freesijalt kõrget kvalifikatsiooni [1]. Suletud kõverjoonelise kontuuri freesimise selgituseks vaatleme näitena joonisel 3.2.8.2.b. kujutatud terasest detaili töötlemist.

Freesi valik. Valime kiirlõiketerasest valmistatud koonilise sabaga sõrmfreesi, mille läbimõõt $D=36$ mm ja hammaste arv $z=6$. Selline frees võimaldab freesida siirderaadiust $R=18$ mm.

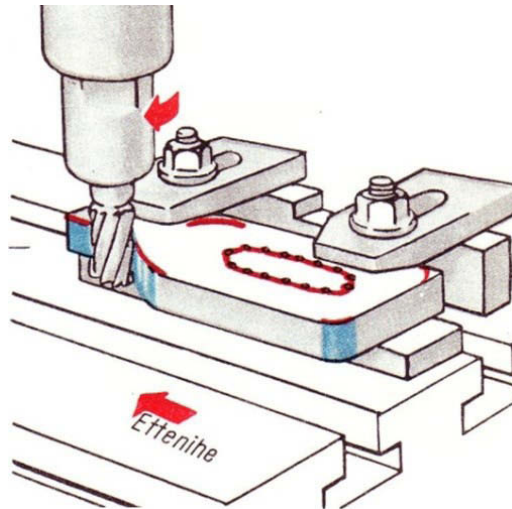
Ettevalmistus töötlemiseks. Et frees ei lõikuks töötlemisel pingi töölaua tööpinda, tuleb toorik üles seada mitte vahetult töölauale, vaid alusplaadile ja kinnitada klambrite ning poltidega (joonis 3.2.8.3). Tooriku ülesseadmisel tuleb jälgida, et töölaua ja alusplaadi, samuti alusplaadi ja tooriku vahele ei satuks laaste [1].

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Lõikesügavus $a_p=3$ mm, ettenihe hambale $f_z=0,015$ [mm] (töötamisel mehaanilise ettenihkega). Vastavalt lõikerežiimide normatiividele on antud töötlemistingimuste korral lõikekiirus $v=40$ [m/min]. Lähim väiksem freespingi spindli pöörlemissagedus $n=315$ [min⁻¹]. Asetame kiiruskasti limbi sellele astmele.

Kontuuri freesimine. Freesimine toimub vastavalt märkjoonele kombineeritud käsiettenihkega (üheaegse piki- ja ristettenihkega). Kontuuri lõpliku sileduse saamiseks ei piisa ühest läbimist. Seepärast tuleb algul teha koorivfreesimine ja pärast seda, kui on jäänud väike (1...2 mm) töötlusvaru, asuda siluvfreesimisele [1].



Joonis 3.2.8.2. Kõverjoonelise kontuuriga kujupinna freesimine märkimisega; a) toorik, b) detaili joonis



Joonis 3.2.8.3. Kõverjoonelise kujupinna kinnitamine ja freesimine

Enesekontrolliküsimused

1. Selgitage lahti freesi geometria elemendid.
2. Milline on erinevus kaasfreesimise ja vastufreesimise vahel?
3. Milliseid ettenihkeid võib freesimisel kasutada?
4. Mil viisil saame kinnitada toorikuid töölauale?
5. Millist terikplaadi geometriat tuleb kasutada kergete koormuste korral?
6. Millist freesi asendit on soovitatav kasutada töödeldava pinna suhtes?
7. Iseloomustage ketasfreeside kujusid.
8. Milline on parempoolse löikesuunaga frees?
9. Milleks on ette nähtud sõrmfreesid?

3.3. Lihvimine

3.3.1 Lihvimispinkide kasutamine tööstuses

Lihvipinke kasutatakse nii pöördkehade, tasapindade kui ka kujupindade töötlemiseks.

Olenevalt töötlemisviisist liigitatakse lihvpingid;

- ümarlihvpingid (välispindade lihvimiseks),
- tsentriteta lihvpingid (välispöördpindade ja avade lihvimiseks),
- siselihvpingid (avade lihvimiseks),
- tasalihvpingid (tasapindade lihvimiseks),
- profiillihvpingid (profiildetailide, keermete, hammasrataste, hammasvõllide jms lihvimiseks),
- erilihvpingid (väntvõllide, nukkvõllide, veerelaagrivõrude, valtside, turbiinilabade jms lihvimiseks).

Olenevalt töödeldavatest detailide pindadest töödeldakse neid ka vastavatel pinkidel.

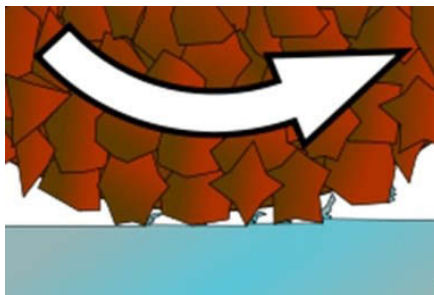


Joonis 3.3.1.1. Näited lihvpinkide kohta

3.3.2 Töövahendid lihvimisel

Lihvimiseks nimetatakse detaili pinnalt õhukese materjalikihi eemaldamist abrasiivtööriistade abil. Abrasiivtööriistadeks võivad olla lihvimiskettad, lihvimiskäiad, luisud, lihvimisriided ja lihvimispaberid. Lihvpinkidel kasutatakse tavaliselt lihvkäiasid. Kõikide abrasiivlõikeriistade lõikavateks elementideks on abrasiivmaterjalide terad (joonis 3.3.2.1). Teravate servadega terad

on suure kõvadusega ja soojuskindlusega. Terad on ühendatud sideainega kindlakujuliseks kehaks [7].



Joonis 3.3.2.1. Abrasiivlõikeriist

Abrasiiv on suure kõvadusega teraline kristalne aine, mille osakeste teravad servad kokkupuutes pehmema materjaliga kriimustavad ja kulutavad pinda. Abrasiivide tootmiseks kasutatavad peamised mineraalid on:

- alumiiniumoksiid (Al_2O_3) ehk korund (valget või roosat värvi),
- ränikarbiid (SiC) (rohekat või musta värvi),
- boornitriid (BN),
- kuubiline boornitriid (CBN).

Alumiiniumoksiidi tera on ümmargune, plokikujuline ja tal on vähem teravaid nurki. Materjal on kõva ja sitke. Alumiiniumoksiid puhtusega 99,9% on valkjas ja talub temperatuuri kuni 2000°C . Lihvimismaterjalide valmistamisel segatakse hulka tsirkooniumoksiidi või kroom(3)oksiidi. Niisugused segud on sitkemad, kuid madalama temperatuuritaluvusega.

Ränikarbiidi terad on nurgelised ja väga teravate nurkadega rabadad materjalid. Tera koosneb enamasti ühest või vähestest kristallidest. Nad on korundist kõvemad ja taluvad temperatuuri kuni 1600°C . Neid kasutatakse värviliste metallide ja roostevaba terase lihvimiseks

Abrasiivid erinevad oma kareduselt vastavalt otstarbele. Kareduse tähiseks on täht P ja sellele järgnev number, näiteks P320. Mida suurem on number, seda peenem on abrasiiv. Number näitab abrasiivosakeste arvu 1 cm^2 . Abrasiive kasutatakse laiemalt: puhastamiseks, sobimatu materjali eemaldamiseks, pindade karestamiseks, pinnale vajaliku sileduse andmiseks, lõikamiseks, teritamiseks jne [7].

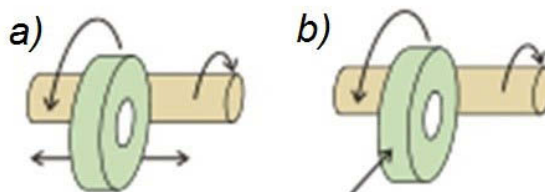


Joonis 3.3.2.1. Lihvkäi

3.3.3 Erinevate pindade lihvimine

Ümarlihvimine

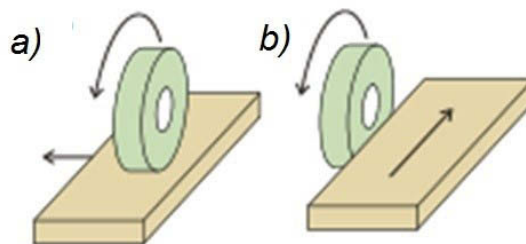
Ümarlihvpinkide (*Cylindrical Grinding Machine*) all mõeldakse enamasti tseenterpinke, mida kasutatakse pöördkehade välislihvimiseks. Lihvitav toorik kinnitatakse pingi esi- ja tagapuki tsentrite vahele, padrunisse või plaanseibile. Lihvpingi pealiikumine on lihvketta pöörlemine, ringettenihe – tooriku pöörlemine, pikiettenihe – laua sirgjooneline edasitagasi liikumine koos toorikuga, ristiettenihe – lihvpuki radiaalne ettenihe iga töölaua käigu lõpus. Abiliikumised on lihvpuki käsitsi või hüdroajamiga juurdetoomine, eemaleviimine [7].



Joonis 3.3.3.1. Ümarlihvimine; a) pikiettenihkega, b) ristiettenihkega

Tasalihvimine

Tasalihvpinkides (*Surface Grinder*) esinevad käia serva- (perifeeria) või otspinnaga töötlevad lahendused. Töölaud võib olla riskülik või pöördlaud. Erivõimaluseks on profiillihvimine, mida teostatakse tasalihvpingil profiilkäiaga. On mitmespindilisi pinke, näiteks tooriku töötlemiseks samaaegselt kahelt küljelt, kus toorik fikseeritakse pakkidega. Otspinnaga lihvimine on mõnevõrra tootlikum, kuna lõikeprotsessis osaleb rohkem abrasiivteri, kuid see on rakenduslikult vähem paindlik. Suuregabariidiliste toodete lihvimisel kasutatakse segmentkäiasid. Sagedamini kohtab tööstuses skeemi, kus toimub pikiettenihe riskülikukujulise laua edasi-tagasiliikumisega käia alt läbi ja käia või laua põikettenihega iga käigu lõpul spindli telje suunas [7].



Joonis 3.3.3.2. Tasalihvimine; a) pealt, b) küljelt

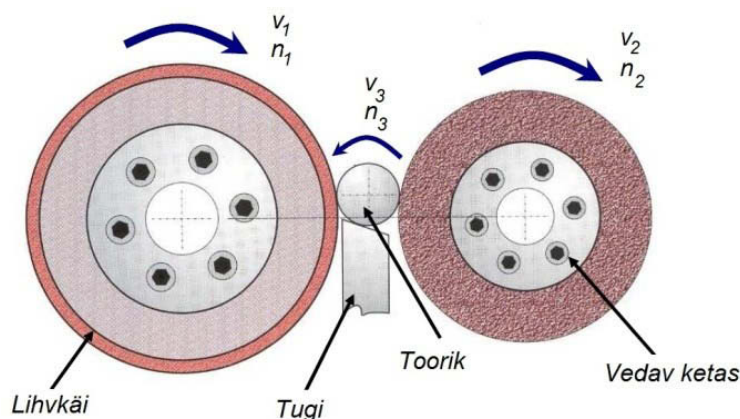
Siseliivimine

Siseliivpingid (*Internal Grinding Machine*) on ette nähtud avapindade lihvimiseks, näiteks sisselõiketsükliga a, profileeritud käiaga b ja koonusavasse c. Ettenihkeliikumised võivad olla pikisuunas, põiksuunas (sisselõikega), põiksuunas koos edasi-tagasi (ostsilleeriva) pikiettenihkega või käia planetaarliikumisega. Viimasel juhul liigub lisaks käia pöörlemisele ka lihvspindel töötükis ringjoont mööda eriajamilt aetuna. Tooriku otsa lihvimiseks sama ülesseadega võib esipukil olla eraldi kiikva liikumisega lihvpea, mis töötab käia otspinnaga [7].

Tsentriteta lihvimine

Tsentriteta lihvpink (*Centerless Grinder*) töötleb ümardetaile nagu võllid, kolvisõrmed, hülsid, varvad jms, kusjuures kindlustatakse enamasti pidev toorikute etteanne. Toorik asub lihvketta ja vedava ketta vahel ja toetub alt toele (joonis 3.3.3.3). Vedav ketas ja lihvketas pöörlevad ühes suunas, aga erineva ringkiirusega. Lihvimiskiirus v_1 (30...50 m/s) ületab vedava ketta kiirust v_2 75...80 korda. Tooriku ja vedava ketta vahel on hõõrdejõud suurem ja tooriku ringkiirus v_3 on lähedane vedava ketta omale. Vedavaks kettaks võib olla peeneteraline kõva abrasiivketas. Teine võimalus on töötlemine, kus toorik toetub otstoe vastu. Vedav käi eemaldub töötsükli lõpus ning toorik tõugatakse töötsoonist välja. Siis on etteanne tsükliline. Viimast kasutatakse astmeliste ja profiilsete detailide valmistamiseks.

Kasutatakse ka tsentriteta siseliivpinke, kus rõngakujuline toorik pöörleb kolme ketta vahel, millest üks on kaasavedajaketas, teised toeks ja surve avaldamiseks. Tsentriteta lihvpingi eelis on suur tootlikkus, puuduseks mõnevõrra väiksem täpsus ja tülkam häälestamine [7].



Joonis 3.3.3.3. Tsentriteta lihvimine

Enesekontrolliküsimused

1. Iseloomustage lihvimisprotsessi.
2. Kuidas liigitatakse lihvipinke?
3. Millistest materjalidest võib olla lihvkäi valmistatud?
4. Mida kujutab endast tsentriteta lihvimine?

4 Arvjuhtimisega tööpinkidel töötlemine

4.1 Arvjuhtimisega tööpinkide kasutamine tööstuses

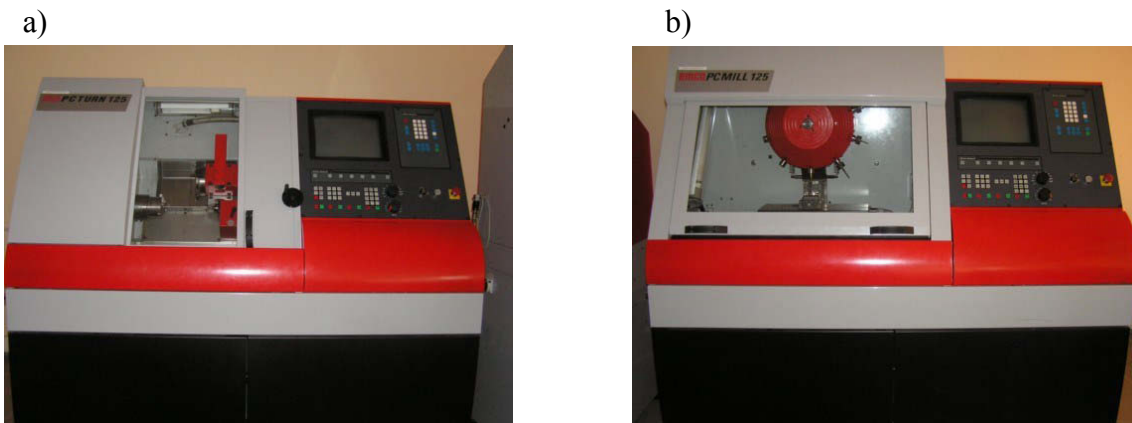
Üksik- ja väikeseeriatootmise automatiseerimine on olnud aeglasem kui masstootmise automatiseerimine. Numbrilise juhtimise kasutuselevõtuga 50ndate aastate alguses on ka see jõudsalt arenenud. Tänapäeval on automatiseeritud pea kõik pingid. Eesti keeles kasutatakse nii väljendit numbriline juhtimine kui ka arvjuhtimine. Laiemat kasutust on leidnud arvjuhtimine. Inglise keeles oleks see **Numerical Control** ja lühendiks **NC**. Tänapäeva pingid on arvprogrammjuhtimisega, kasutatakse ka väljendit **CNC** pingid

Info ja andmeedastuse automatiseerimine tööstuses aina suureneb. Seda arvestades võib kiirendada teostamist ja ühendada kõik etapid alates eskiisist kuni valmistamiseni kokku. Kogu selle protsessi võib liita ühtseks tervikuks. Esimene arvjuhtimisega pink pandi tehnikanäitusel välja 1952 a-l USA-s. Kujutas ta endast freespink, millega valmistati detaile lennukitööstusele. Selliste pinkide loomise vajaduse tingisid ühelt poolt tööstustoodangu suurenenud mahud, teisalt aga oli vaja muuta pingitöölise tööiseloomu, vabastada teda rutiinsest ja pingelisest juhtimistegevusest detaili töötlemisel. Nendel pinkidel oli suur osatähtsus keeruliste kujupindadega detailide tootmisel, kuna universaalpinkidel puudus võimalus nihutada lõikeinstrumenti korraka kolmes või ka rohkemas telgede suunas. Detailide mõõtmete kõikumine vähenes oluliselt [9].

Arvjuhtimisega seadmete arenguetapid [9]:

- 1950 – 1960 Esimesed arendused, puur- ja freespingid, programmid vahetu juhtimisega, mälu puudus, kohmakad, vajasis suuremahulist matemaatilist ettevalmistust. Juhtseadmetes pooljuhtelemendid. Kasutusala põhiliselt lennukitööstus.
- 1960 – 1970 Perfolintide kasutamise ajastu. Reeglina käsitsi ettevalmistatud juhtprogramm kodeeriti kodeerimisseadme abil perfolindile ja pingi juhtseade töötles seda. Arendatakse välja eriotstarbelisi arvjuhtimisega pinke. Puuduseks on aeglane programmi ettevalmistamine ja perfolindi kulumine. NC pingid
- 1970 – 1980 Esimesed CNC pingid. **CNC – Computerized Numerical Control**. Mikroprotsessoritehnika tegi revolutsiooni pinkide juhtsüsteemide kasutamise võimalust. Arvuti sai pingi lahutamatuks osaks. Tõsis pinkide automatiseeritustase: toorikute, detailide ja lõikeriistade automatiseeritud vahetus. Sai kasutada sisemist mälu programmide salvestamiseks. Eeliseks juba salvestatud programmide muutmise võimalus.
- 1980 – 1990 CNC pinkide kõrgeaeg. CNC pingid moodustavad raalintegreeritud tootmise aluse. Täiustatakse pidevalt pinke. Võib ühendada juba ka kohalikku võrku. **DNC - Direct Numerical Control**. DNC süsteemide korral juhib üks arvuti kogu pingiparki. Igal pingil on oma protsessor, mis juhib pinki, aga juhtprogrammid asuvad keskarvutis ja vahendatakse pinkidele selle kaudu.
- Alates 1990 hakatakse kasutama CAD/CAM süsteeme arvjuhtimisega seadmetele juhtprogrammide ettevalmistamisel.

Jätkub pidev täiustamine nii tarkvara kui ka riistvara vallas. Uued, kiiremad protsessorid võimaldavad infot kiiremini töödelda, pingi arvutimälus on võimalik salvestada palju erinevaid juhtprogramme, detailide jooniseid ja ka materjalide ning lõikeinstrumentide andmebaase. Kaasaegsed pingiga ühildatud toorikute ja detailide transportsüsteemid ja lõikeriistalaod ning toorikute, detailide ja lõikeriistade programmijärgne vahetus võimaldavad sellisel paindtootmismoodulil töötada pikaajaliselt autonoomrežiimis inimese vahelesegamiseta.

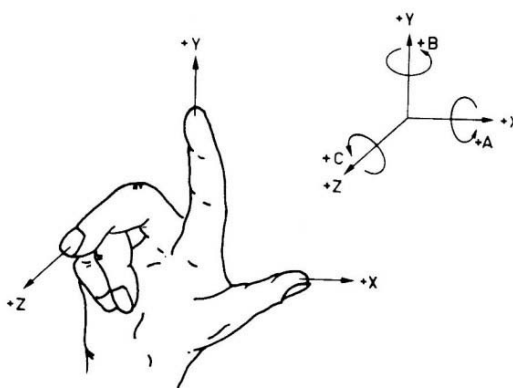


Joonis 4.1.1. Näited APJ pinkidest: a) väike treipink, b) väike freespink

4.2 Tehnoloogilised nullpunktid ja koordinaadisüsteemid

Koordinaadistik

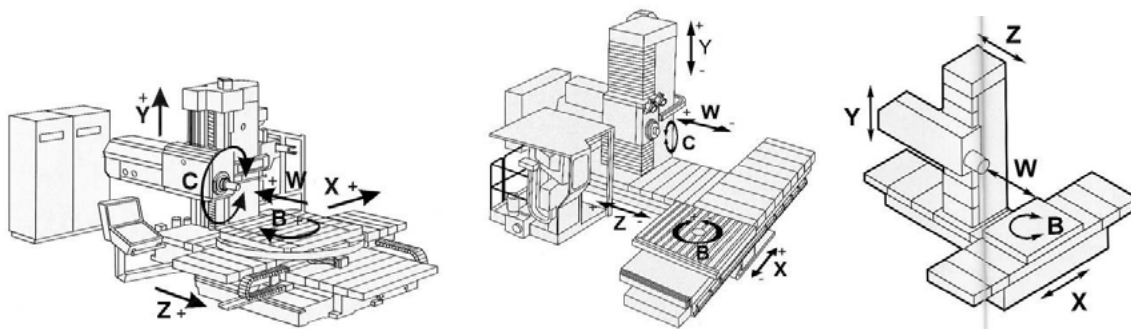
Koordinaadistik sõltub telgede arvust ja instrumendi liikumisvõimalustest. Kaks koordinaati määravad punkti asukoha tasapinnal, kolm aga ruumis. Koordinaattelgede alguspunkti nimetatakse tavaliselt nullpunktiks. Kõikide programmeeritavate punktide koordinaadid antakse nullpunkti suhtes [9].



Joonis 4.2.1. Koordinaatide määramine parema käe järgi [8]

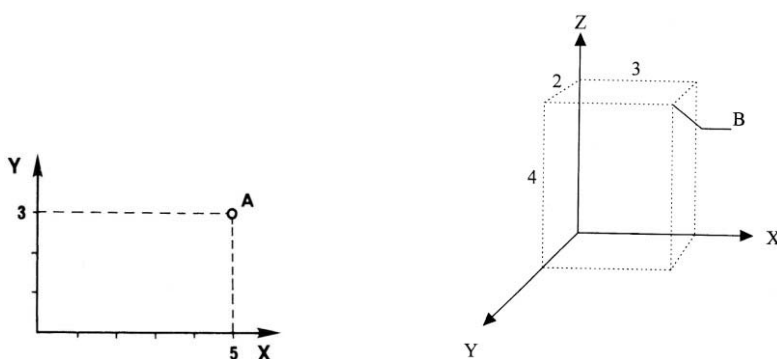
Koordinaadid pinkidel:

Pöial näitab x-telje positiivset suunda, nimetissõrm y-telje positiivset suunda ja keskmine sõrm z-telje suunda. Seda nimetatakse ka parema käe reegliks (joonis 4.2.1).



Joonis 4.2.2. Koordinaatteljed erinevatel pinkidel [15]

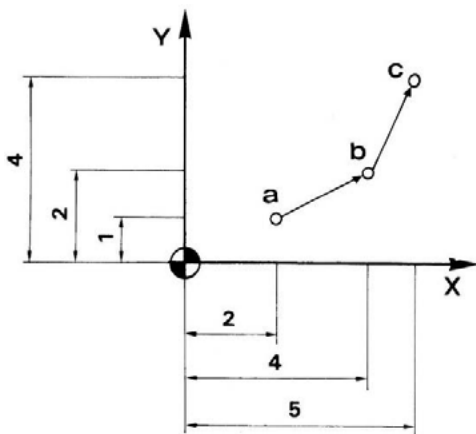
Erinevatel pinkidel on erinevad koordinaadistikud ja telgede paigutus (joonis 4.2.2)



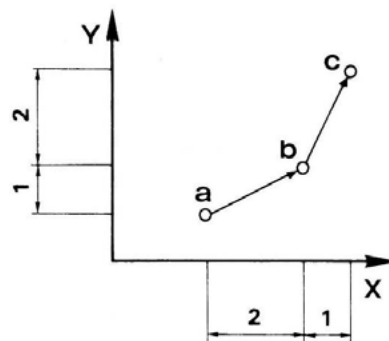
Joonis 4.2.3. Näited koordinaatidest: a) tasapinnal A(5;3), b) ruumis B(3;2;4) [8]

Programmeerimise seisukohalt eristatakse veel absoluutset (G90) ja suhtelist (G91) koordinaadistikku.

- **Absoluutse** koordinaadistiku korral arvestatakse koordinaate koordinaadistiku nullpunktist, mis on alati ka lähtepunktiks.
- **Suhtelise** koordinaatsüsteemi kasutamise korral on lähtepunktiks see punkt milles instrument asetseb. Suhtelist koordinaadistikku kasutatakse tavaliselt alamprogrammides, et neid saaks kasutada mitmete erinevate põhiprogrammide osana või kordustena.



Joonis 4.2.4. Absoluutne koordinaadistik



Joonis 4.2.5. Suhteline koordinaadistik










Absoluutse koordinaadistiku korral (joonis 4.2.4) toimub liikumine punkti b koordinaatidega $x_4; y_2$ ja sealt edasi punkti c koordinaatidega $x_5; y_4$.

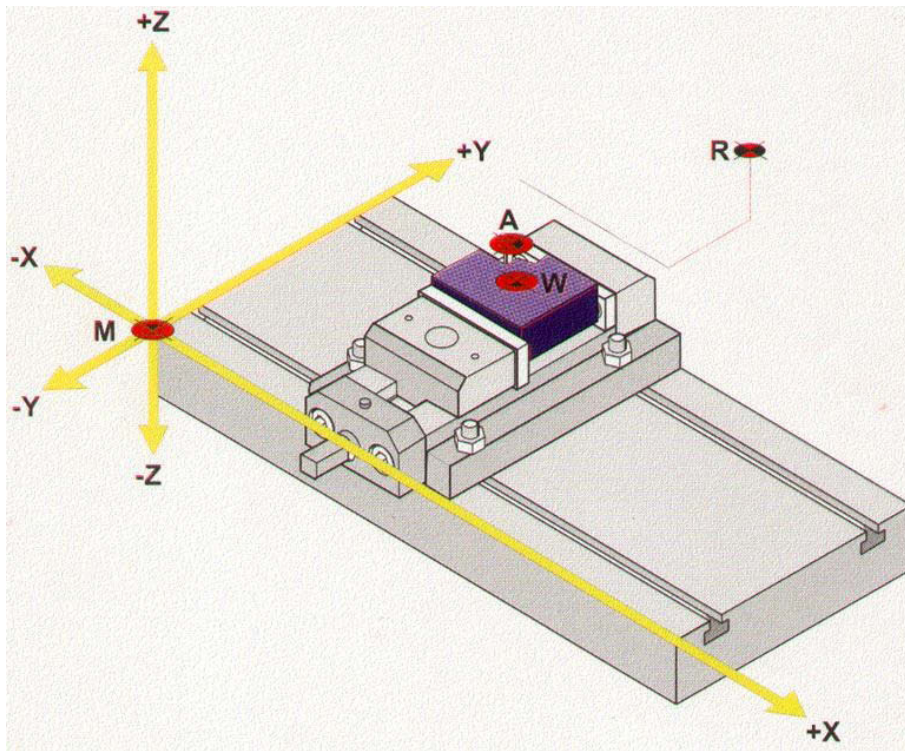
Suhtelise koordinaadistiku korral (joonis 4.2.5) toimub aga liikumine punkti b koordinaatidega $x_2; y_1$ ja sealt edasi punkti c koordinaatidega $x_1; y_2$ [9].

Tehnoloogilised nullpunktid

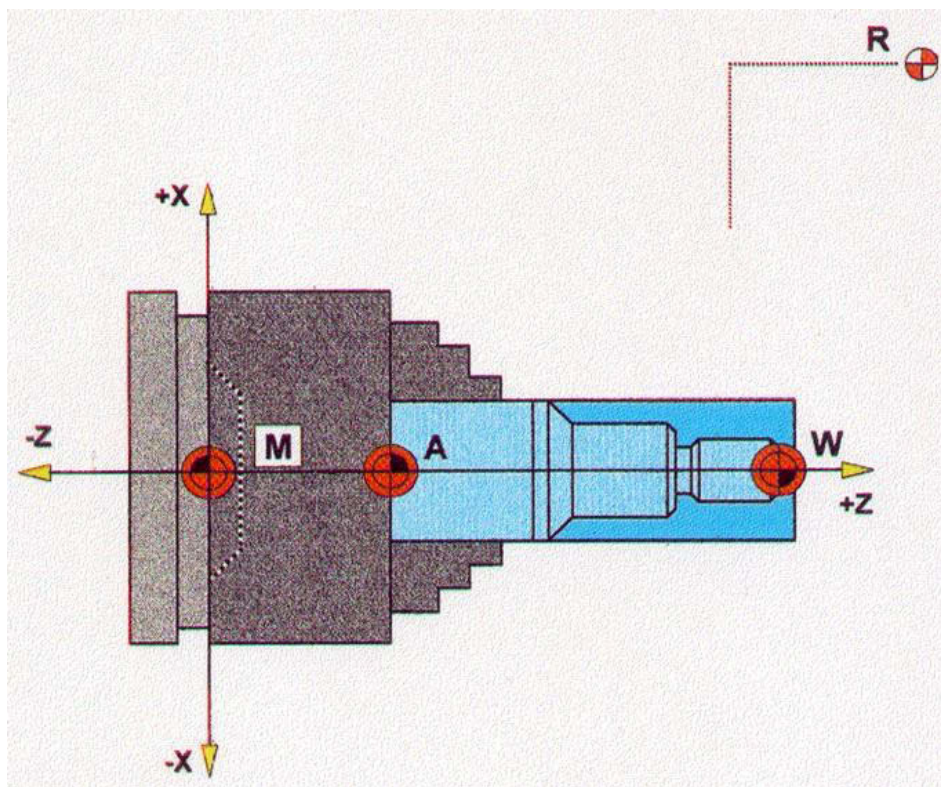
Programmeerimise ja pingi kasutamise hõlbustamiseks peab teadma pingi tehnoloogilisi nullpunkte ja nende asukohta pingil (tabel 4.1). Erinevatel pinkidel võivad need punktid asetseada erinevates kohtades (joonis 4.2.6 ja joonis 4.2.7). Alati tuleb jälgida pingi valmistajapoolseid juhiseid nende paiknemise kohta! [10]

Tabel 4.1. Pingi tehnoloogilised nullpunktid [9]

Sümbol	Tähis ja nimetus	Selgitus
	M - pingi null-punkt;	On jäigalt tootja poolt fikseeritud punkt, mis määrab ära pingi koordinaadistiku alguse.
	W - detaili null-punkt;	Punkt, mille suhtes antakse kõik töödeldavad mõõdud ja fikseeritakse üleminekud teistesse nullpunktidesse.
	MR - pingi "ujuv" null-punkt; R - pingi referentspunkt;	Võimaldab ümber määrata pingi nullpunkti koordinaadid, mis omakorda võimaldab efektiivsemalt kasutada mõõtmisüsteemi.
	A - spindlisõlme baaspunkt;	On seotud pingi null-punktiga ja võimaldab lihtsustada tooriku (detaili) ülesseadmist.
	WR - lõikeriista koordinaadistiku lähtepunkt;	Treipingi puhul ühtib suporti baaspunktiga.
	N - lõikeriista vahetuspunkt;	Sageli kasutatakse ka lõikeriista koordinaadistiku lähtepunktina.
	E - lõikeriista programmeeritav punkt;	Määrab lõikeriista liikumise trajektoori programmeerimisel.
	C - juhtprogrammi nullpunkt;	Selle suhtes antakse lõikeriista nihutused. On kasutatav juhtprogrammi genereerimisel.
	T - Lõikeriistahoidja baaspunkt	Selle suhtes määratakse lõikeriista korrektsioonid.



Joonis 4.2.6. APJ freespingi tehnoloogilised nullpunktid



Joonis 4.2.7. APJ treipingi tehnoloogilised nullpunktid

4.3 Lõikeriista liikumise trajektoorid

Detaili töötlemise programm kujutab endast lõikeriista (lõikeriistade) kindla fikseeritud punkti liikumist. Seda lõikeriista punkti, mille liikumist kirjeldatakse, nimetatakse lõikeriista programmeeritavaks punktiks (ka tsentriks). Treimisel on treitera tsentriks treitera tipp. Lõikeriista ja detaili omavahelise suhtelise liikumise tulemusena läbib lõikeriista tsester teekonna, mida nimetatakse **lõikeriista liikumise trajektooriks** [9].

Lõikeriista liikumise trajektoor koosneb:

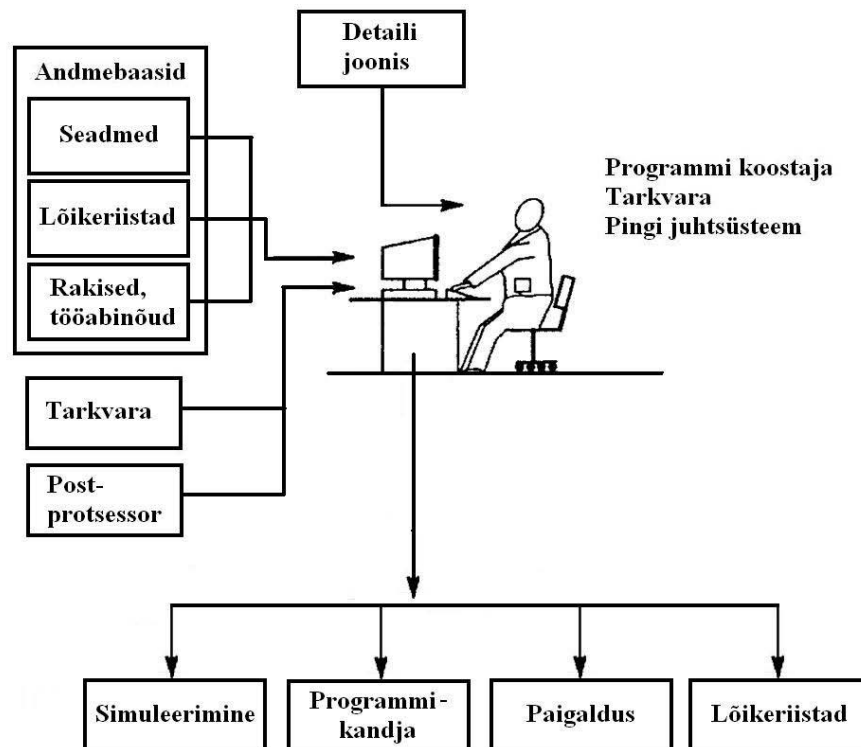
- tööliikumistest
- tühiliikumistest
- abiliikumistest.

Tööliikumised on seotud detaili pinna töötlemisega. Tühiliikumised on seotud lõikeriista positsioneerimisega. Abiliikumised on seotud lõikeriista manipuleerimisega, et detaili töötlemine saaks aset leida.

4.4 Juhtimisprogrammide koostamise põhimõtted

Arvjuhtimise programmeerimise alused

Detailide töötlemise automatiseerimiseks varustatakse metallilõikepingid seadmetega, mis juhivad lõikeriista liikumist. Seda kogumit, mis kindlustab tehnoloogilise protsessi kulgemise nimetatakse juhtsüsteemiks. Infoallikaks, mille alusel juhtplokki väljastab juhtsignaale on töötsükli juhtprogramm, süsteem pink-rakis-lõikeriist-detail, ümbritsev keskkond, adaptiivplokki, diagnostikasüsteem. Kusjuures osa infot – alginfot, antakse juhtplokki enne töötsükli algust ja teine osa vajaminevast infost saadakse töötlemise käigus mitmesugustelt anduritelt. See kindlustab töötlemisprotsessi pidevust, sujuvust ja kiirust. Alginfo koosneb geomeetrisest, tehnoloogilisest ja abiinformatsioonist. APJ-pingi juhtsüsteemi ülesandeks on töötsükli juhtimine (töö- ja abiliikumiste juhtimine ning mitmesuguste mehhanismide sisse- ja väljalülitamine), töödeldavate detailide ja lõikeriistade vahetamine, töödeldava detaili parameetrite kontrollimine, abioperatsioonide teostamine (blokeerimine, süsteemi töö kontroll) [9].



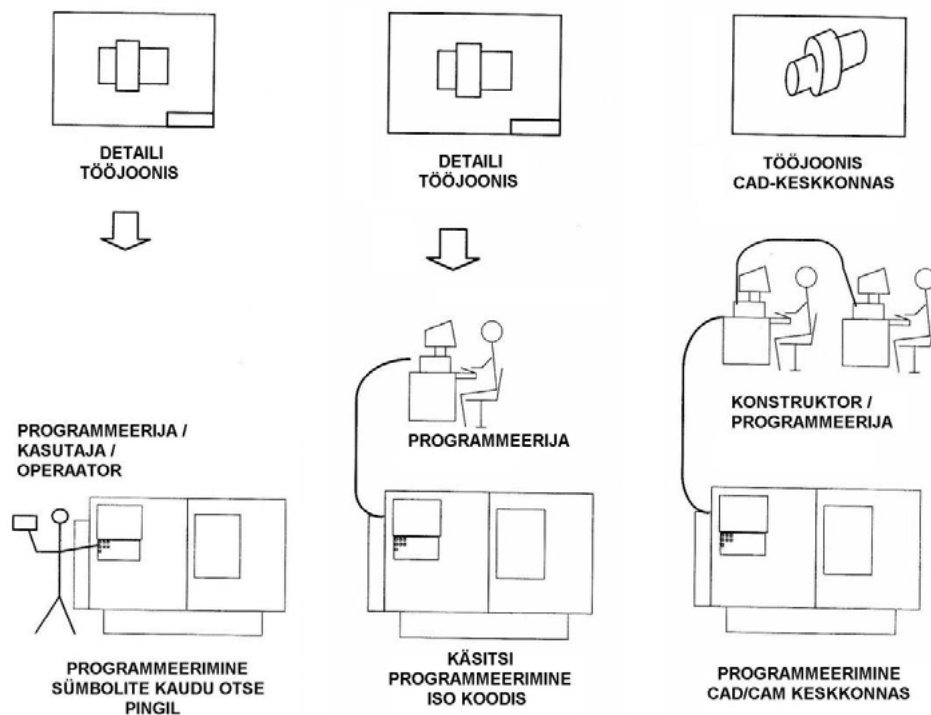
Joonis 4.4.1. APJ-pingi juhtprogrammide koostamiseks vajalik info

APJ-pingid kasutavad numbrilist programmi. Juhtprogramm kujutab endast programmeerimiskeeles antud käskude jada, mis vastab konkreetse detaili töötlemisele konkreetsetel pingil. Juhtprogramm koosneb standardsetest sümbolite kogumist – koodist. Koodi sümboliteks on numbrid, tähed, märgid.

Põhimõtteliselt on mitu erinevat juhtprogrammi koostamise meetodit, mis kõik teenivad sama eesmärki – koostada APJ-pingi juhtprogramm konkreetse detaili valmistamiseks. Sobiva valimine sõltub pingist ja eesmärgist [9].

- Käsitsi juhtprogrammi koostamine. Kõige vanem, kõige tömahukam ja programmeerija kõrget kvalifikatsiooni nõudev meetod. Juhtprogramm kirjutatakse käsitsi paberile ja perforaatori abil viiakse perfolindile. APJ-pink kasutab programmikandjana perfolinti. Programmi muudatused nõuavad uue perfolindi ettevalmistamist ja sisestamist.
- Programmeerimine *Editor*-režiimis arvutil. APJ-pingi juhtsüsteemi püsimällu viiakse juhtprogramm *Online*- režiimis. Lihtsustub korrigeerimine. Enamalt on võimalik simuleerida töötlemisprotsessi.
- Õpetav programmeerimismeetod. Programmeerija liigutab tööriista, seadme teekonnamõõtesüsteem mõõdab trajektoori ja koordinaadid salvestatakse juhtsüsteemi mällu. Detailide valmistamiseks ebatäpne. Leiab rakendust värvimisrobotite töö programmeerimisel.
- Kõrgema programmeerimiskeele kasutamine. APJ-pingi juhtsüsteemist mittesõltuv programmeerimismeetod. Vajab post-protssessorit, mis genereerib programmi konkreetsele APJ-pingi juhtsüsteemile.

- Graafiline interaktiivne programmeerimine. APJ-pingi operaatoripuldilt sisestatakse detaili geomeetriainfo, määratakse kindlaks tehnoloogiarežiim ja pingi juhtsüsteem ise genereerib juhtprogrammi. Keskmise keerukusega detailide töötlemise programmeerimiseks.
- CAD/CAM orienteeritud programmeerimine. Detaili geomeetriainfo on CAD-keskkonnast. CAM-keskkonnas lisatakse tehnoloogiainfo ja genereeritakse juhtprogramm. Võimaldab genereerida juhtprogramme keeruliste kujupindade töötlemiseks. Joonisel 4.4.2 on toodud enamlevinud programmeerimise võimalused.

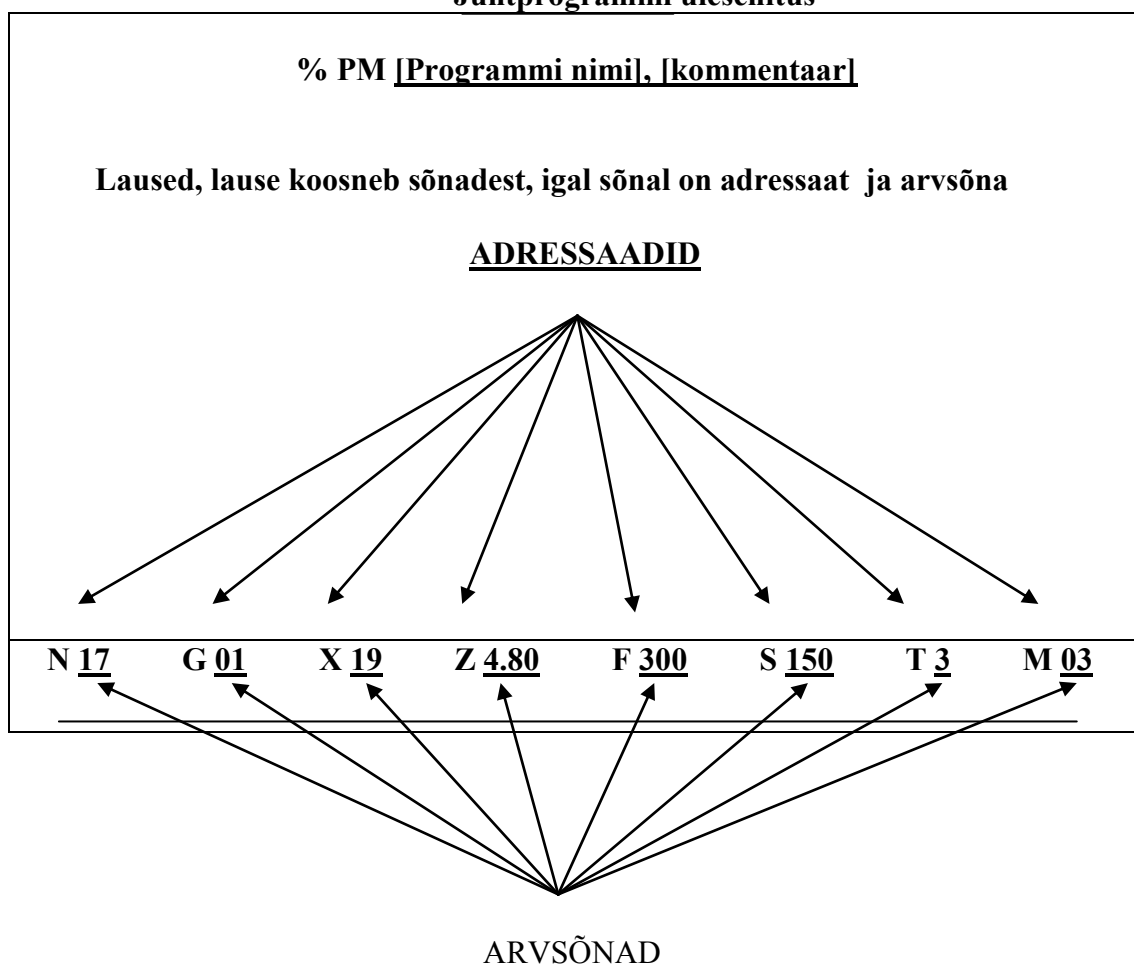


Joonis 4.4.2. APJ-pingi juhtprogrammi ettevalmistamise võimalusi

Arvjuhtimisprogramm

Arvjuhtimisprogramm koosneb lausetest, programmi algust ja lõppu tähistavatest sümbolitest. Laused koosnevad sõnadest. Sõna omakorda koosneb adressaadist (tabel 4.3) ja arvsõnast. Kui arvsõna ees puudub miinus märk – loetakse tema väärtus positiivseks. Lauses on kindel sõnade järjekord. Mõned sõnad võib lausest ära jätta, kui neid on programmis eelnevalt kasutatud. Juhtprogrammi lause koostis on reglementeeritud DIN-normidega. Tänapäeval on juhtprogrammi koostamisel kasutusele võetud spetsiaalne keel – *CLDATA (Cutter Location Data)*[9].

Juhtprogrammi ülesehitus



Joonis 4.4.3. Juhtprogrammi lause ülesehitus

Lause struktuur ja sõnade järjekord on ära toodud tabelis 4.2. Valdavas enamuses pingi juhtsüsteemidest ei pea kinni pidama lause struktuurist. Juhtprogramm loetakse sisse ja pingi kontrollid teevad vastavad toimingud. Kuna operaator peab juhtprogrammi lugema, siis on oluline lauses olevate sõnade paigutus. Ilma korrektse struktuurita on operaatoril ebamugav programmi lugeda ja sellest aru saada. APJ-pingi operaator ja juhtprogrammi koostaja peavad hästi valdama pingil kasutatavaid programmeerimismeetodeid ja oskama lugeda ja korrigeerida juhtprogrammi. Mitte vähem oluline on koordinaadistike, nende omavaheliste seoste tundmine ja ümbermääramised.

Tabel 4.2. Lause struktuur [9]

Lause number	Ettevalmistavad funktsioonid	Koordinaadid	Interpoleerimisparameeter	Ettenihe	Spindli pöörlemis-sagedus	Lõike-riista number ja korrigeerimine	Abifunktsioon
N	G	X,Y,Z U,V,W P,Q,R	I,J,K	F	S	T	M

		A,B,C				
--	--	-------	--	--	--	--

Tabel 4.3. Aadressi sümbolid [9]

Sümbol	Tähendus
A	Pöördenurk ümber X-telje
B	Pöördenurk ümber Y-telje
C	Pöördenurk ümber Z-telje
D	Lõikeriista funktsioon (teine, lõikeriista korrektsioon)
E	Ettenihke funktsioon (teine)
F	Ettenihke funktsioon (esimene)
G	Ettevalmistav funktsioon
H	Määramata (aga teatud juhtudel lõikeriista korrektsioon)
I	Interpoleerimise parameeter või X-telje suunaline samm
J	Interpoleerimise parameeter või Y-telje suunaline samm
K	Interpoleerimise parameeter või Z-telje suunaline samm
L	Määramata
M	Abifunktsioon
N	Lause number
O	Määramata
P	X-telje suunaline paigutus (kolmas)
Q	Y-telje suunaline paigutus (kolmas)
R	Kiirpaigutus või Z-telje suunaline paigutus (kolmas)
S	Spindli pöörlemisagedus (pealiikumise funktsioon)
T	Lõikeriista funktsioon (esimene)
U	X-telje suunaline paigutus (teine)
V	Y-telje suunaline paigutus (teine)
W	Z-telje suunaline paigutus (teine)
X	X-telje suunaline paigutus (esimene)
Y	Y-telje suunaline paigutus (esimene)
Z	Z-telje suunaline paigutus (esimene)

Juhtsümbolid tähistavad programmi alguse, lausete lõpu, võimaldavad programmi töötlemisel märgitud osade vahelejätmist ja programmi kommentaaride lisamist (tabel 4.4).

Tabel 4.4. Juhtsümbolid [9]

Sümbol	Nimetus	Tähendus
HT	Tabulatsioon	Liikumine juhtprogrammi vaatamisel sammu võrra
LF	Lause lõpp	Määrab juhtprogrammi lause lõpu
%	Programmi algus	Märgib juhtprogrammi algust (kasutatakse ka

		andmekandja peatamiseks tagurpidi lugemisel)
(Avanev sulg	Tähistab, et järgnevat informatsiooni arvjuhtimisseade ei töötle
)	Sulgev sulg	Tähistab, et järgnevat informatsiooni arvjuhtimisseade peab töötleva
+	Pluss	Matemaatiline märk
-	Miinus	Matemaatiline märk
.	Punkt	Eraldab arvu täis- ja murdosa
/	Vahele jätmine	Tähistab, et järgnevat informatsiooni kuni lause lõpuni töödeldakse või ei töödelda sõltuvalt juhtpuldil oleva lüliti asendist. Kui märk seisab sõne "Lause number" ees, kehtib ta kogu lause kohta.
;	Juhtlause	Tähistab programmi juhtlause, selle lõppu

Ettevalmistavad funktsioonid

Ettevalmistavad funktsioonid määravad arvjuhtimissüsteemi töörežiimi, liikumiste iseloomu ja töötlemistsükli oma parameetritega (tabel 4.5).

Tabel 4.5. Ettevalmistavad funktsioonid [9]

Funktsiooni tähis	Rühm	Nimetus ja kirjeldus
G00	a	Kiirpaigutus
G01	a	Lineaarne interpolatsioon
G02	a	Ringinterpolatsioon, liikumine päripäeva
G03	a	Ringinterpolatsioon, liikumine vastupäeva
G04		Paus
G06	a	Paraboolinterpolatsioon
G08		Kiirendus
G09		Pidurdus
G17	c	Käik XY-tasapinnal
G18	c	Käik ZX-tasapinnal
G19	c	Käik YZ-tasapinnal
G33	a	Keermelõikamine
G34	a	Suureneva sammuga keermelõikamine
G35	a	Väheneva sammuga keermelõikamine
G40	b	Korrektiooni tühistamine
G41	b	Lõikeriista asendi korrektioon (lõikeriista raadiuse korrektioon vasakule). Vaadates ettenihke suunas ekvidistant vasakul toorikust. Kasutamine ühes lauses kaare töötlemisel ringinterpolatsiooniga ei ole võimalik.
G42	b	Lõikeriista asendi korrektioon korrektioon (lõikeriista raadiuse korrektioon paremale). Vaadates ettenihke suunas ekvidistant paremal toorikust. Kasutamine ühes lauses kaare töötlemisel ringinterpolatsiooniga ei ole võimalik
G43	b	Lõikeriista asendi korrektioon, positiivne (lõikeriista pikkuse korrektioon). Programmeeritud koordinaatide väärtusele lisandub telgedesuunaline positiivse väärtusega korrektioon.

G44	b	Lõikeriista asendi korrektsioon, negatiivne (lõikeriista pikkuse korrektsioon). Programmeeritud koordinaatide väärtusele lisandub telgedesuunaline negatiivse väärtusega korrektsioon.
G53	f	Nihutuse tühistamine, pingi koordinaatsüsteemi kasutuselevõtt
G54	f	Nihutus.
G55	f	Nihutus 2
G56	f	Nihutus, on võimalik programmeerida uus lähtepunkt kõigi telgede suhtes. Mõningate juhtsüsteemides ainult Z-telje suunas
G57 ... G59	f	Nihutus
G70	d	Toll-mõõtesüsteem; kui juhtsüsteemis ei ole üheselt määratletud, on vabalt kasutatav
G71	d	Mõõtesüsteem [mm]; juhtsüsteemi sisselülitamisel võetakse vaikimisi. Kui juhtsüsteemis ei ole üheselt määratletud, on vabalt kasutatav.
G74		Pöördumine lähtepunkti; kehtib aktiivses lauses
G79		Tsükli G81 ... G89 aktiveerimine, kehtib koos aktiveeritud tsükliga
G80	e	Standardtsükli G81 ... G89 tühistamine
G81 ... G89	e	Standardtsükliid, on juhtsüsteemis üheselt määratletud
G90		Absoluutne koordinaadistik
G91		Suhteline koordinaadistik
G92		Mälu kasutamine või muutmine. Liikumist ei toimu (lähtepunkti suhteline nihutus või spindli pöörlemissageduse piiramine). Funktsioon kehtib ainult aktiivses lauses.
G94	k	Minutiline ettenihe, $f [mm]$
G95	k	Ettenihe pöördele, $f [mm]$
G96	l	Püsiv lõikekiirus, $v=const[m/min]$. Programmeeritakse koos spindli pöörlemissagedusega, arvestades abifunktsiooni M58. Tühistab funktsiooni G97
G97	l	Spindli pöörlemissagedus, $n [min^{-1}]$. Tühistab funktsiooni G96

Abifunktsioonid juhtprogrammi lauses annavad käsked pingi ajamitele, võimaldades automatiseerida operaatori käsitsitööd (tabelid 4.6, 4.7 ja 4.8) [9]. Vastavalt pingitüübile jaotatakse abifunktsioonid klassidesse:

Klass 0: Universaalsed abifunktsioonid

Klass 1: Frees-, puurpingid, töötlemiskeskused

Klass 2: Treipingid, treitöötlemiskeskused

Klass 3: Lihvpingid ja mõõtmismasinad (funktsioonid määramata)

Klass 4: Gaas-, plasma-, vesijoaga lõikeseadmed, traaterosioonpingid

Klass 5: Adaptiivjuhtimisega seadmed (funktsioonid määramata)

Klass 6: Seadmed mitmes koordinaadistikus töötlemisega ja detailide teisaldamise võimalustega

Klass 7: Stantsimis- ja augustamisseadmed

Tabel 4.6. Universaalsed abifunktsioonid

Sümbol	Tähendus
M00	Programmeeritav peatus. Kehtib ühes lauses
M01	Programmeeritav peatus kinnitusega. Kehtib ühes lauses
M02	Programmi lõpp. Kehtib ühes lauses
M06	Lõikeriista vahetus. Kehtib ühes lauses
M10	Kinnitus
M11	Vabastamine. Tühistab funktsiooni M10
M30	Informatsiooni lõpp, pöördumine programme algusesse
M48	Operaatoripuldilt sisestatav korrektsioon (spindli pöörlemissagedus, ettenihe). Programmi töötlemisel võtab juhtsüsteem operaatoripuldilt käsitsi sisestatud parameetri väärtuse
M49	Funktsiooni M48 tühistamine
M60	Tooriku (detaili) vahetus

Funktsioonid on modaalse toimega peale M00, M01, M02, M06, M30, M60. Funktsioonid M00, M01, M02, M48 ja M60 kehtivad ühes lauses.

Tabel 4.7. Abifunktsioonid freespinkidel

Sümbol	Tähendus
M03	Spindli pöörlemine päripäeva
M04	Spindli pöörlemine vastupäeva
M05	Spindli seiskamine
M07	Jahutuse nr 2 sisselülitamine (intensiivjahutus)
M08	Jahutuse nr 1 sisselülitamine
M09	Jahutuse väljalülitamine
M19	Spindli seiskamine fikseeritud asendis
M40	Ajami automaatne sisselülitamine
M71...M78	Pöördtöölaua indekseeritud positsiooni 1...8 valik

Funktsioonid on modaalse toimega ja kehtivad ühes lauses peale M05, M09, M19, M71 ...M78.

Tabel 4.8. Abifunktsioonid treipinkidel

Sümbol	Tähendus
Kuini M51	Vastavuses klassis 1 äratoodule (tabel 4.7)
M54	Tagapukipinool algasendisse
M55	Tagapukipinool detailini
M58	Püsiva pöörlemissageduse väljalülitamine, annulleerib käsu M59, täidab G96
M59	Püsiva pöörlemissageduse sisselülitamine
M68	Detail kinnitada
M69	Detail vabastada
M80	Lünett nr 1 avada (M82 kehtib lüneti nr 2 kohta)
M81	Lünett nr 1 sulgeda (M83 kehtib lüneti nr 2 kohta)
M84	Lüneti kaasavedu välja lülitada
M85	Lüneti kaasavedu sisse lülitada

Funktsioonid on modaalse toimega ja kehtivad ühes lauses.

Klasside 3 kuni 7 abifunktsioonid ei ole standardiga määratud ja vastavad konkreetse pingi juhtsüsteemile.

Üldiselt peaks lähtuma programmide koostamisel ja kirjutamisel järgmiselt:

1. Määrata ära detaili nullpunkti nihutus. Määrata vajalik koordinaatsüsteem ja mõõtesüsteem.
2. Määrata lõikeriist.
3. Määrata vajalikud lõikerežiimid antud lõikeriistale.
4. Teostada lõikeriista toomine tooriku juurde lähtepunkti.
5. Teostada töötlemine.
6. Teostada lõikeriista eemaldumine toorikust.
7. Programmi lõpetamine.

Juhul, kui on vaja töödelda mitme lõikeriistaga, siis teostada iga lõikeriista kohta programmis punktide 2...6 täitmine. Sellisel puhul võime olla kindlad, et me ei unusta olulist plokki arvesse võtmata.

Detaili töötlemise programmi koostamiseks tuleb kindlaks määrata:

- tööpingi koordinaatsüsteem – tööpingi nullpunkt;
- detaili koordinaatsüsteem – detaili nullpunkt;
- lõikeriista koordinaatsüsteem – lõikeriista nullpunkt.

4.5 Töötlemise tehnoloogia treimisel

Detaili valmistamiseks tehnoloogia valikul tuleb määrata tooriku materjal ja mõõtmed ning jagada töötlemisvaru kooriv- ja puhastöötluste vahel. Määrata lõikeriistad ja tehnoloogilised režiimid.

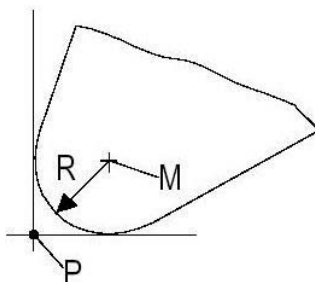
Järgmise sammuna tuleb kindlaks määrata puhastöötlemise tugipunktide koordinaadid detaili koordinaadistikus ja töötlemisrežiim. Tugipunktide koordinaadid on määratud detaili joonise alusel ja asuvad pinna sõlmpunktides. Kuna tugipunktide kaudu määratud detaili välispind moodustab ühe terviku, siis võime rääkida, et lõikeriist liikudes tugipunktist tugipunkti jäljendab detaili kontuuri ja moodustab lõikeriista liikumise trajektoori. Tugipunktides toimub töötlemisrežiimi muutus [9].

Juhtprogrammi koostamise sammud:

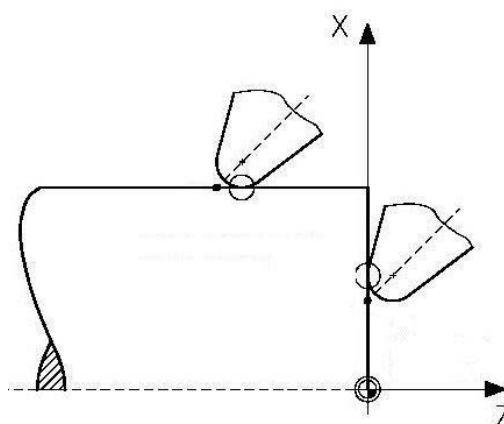
- määrata lähtepunkt ja lähtepunkti asukoht;
- määrata lõikeriista trajektoori lähtepunktist kuni detaili kontuuri esimese elemendini;
- määrata lõikeriista trajektoori kontuuri viimasest elemendist lähtepunkti – trajektoori peab olema minimaalse pikkusega, soovitatav on ühitada detaili nullpunkt lõikeriista lähtepunktiga;
- pärast ühe läbimise sooritamist on soovitatav lõikeriist viia lähtepunkti. Lõikeriist, olles lähtepunktis, ei tohi segada detaili vahetamist;

- määrata tugipunktide asukohad töödeldava detaili kontuuril; geomeetriselised tugipunktid iseloomustavad ühe geomeetriselise elemendi lõppu ja teise algust, tehnoloogilised tugipunktid iseloomustavad lõikerežiimide vahetust. Ka avade keskpunktid on tugipunktid.

Instrumendi, antud juhul tera, puhul ei tohiks unustada ka selle mõõtmeid, sealhulgas ka teriku tipuraadiust, muidu ei saavuta me soovitud detaili geometriat. Seda siis, kui on meil tegemist pindadega, mis ei ole saavutatavad tera ainult ühte telge pidi liigutades. Sellistel juhtudel tera tegelik punkt ja teoreetiline punkt ei lange kokku.

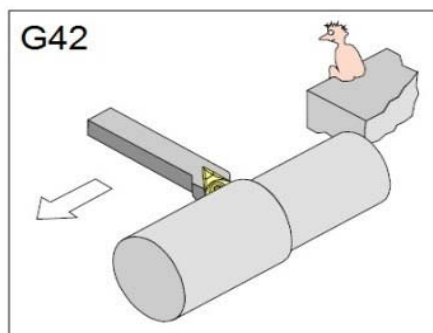
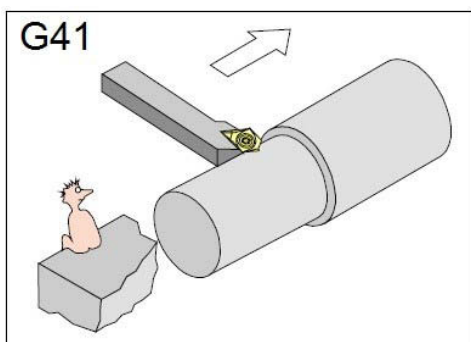


Joonis 4.5.1. Teriku tipp: R – teriku tipuraadius, P – tera programmeeritav punkt [8]



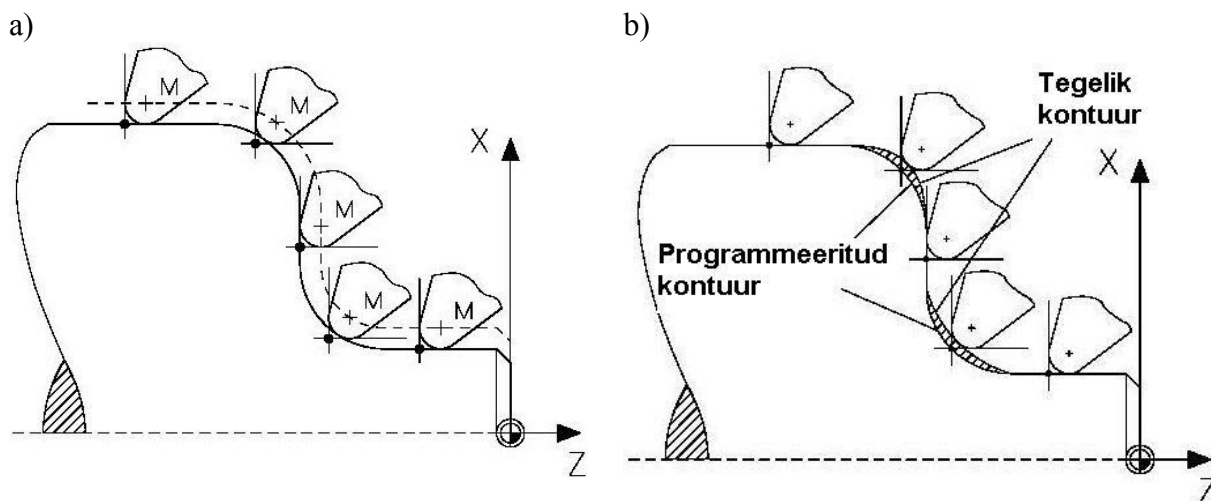
Joonis 4.5.2. Tera liikumine horisontaalselt ja vertikaalselt [8]

Tera mõõtmisel me tegelikult fikseerime ära punkti P koordinaadid (joonis 4.5.1). Liikudes teraga kas horisontaalselt, spindli telje suunas, või vertikaalselt, spindliteljega risti suunas (joonis 4.5.2), saame me soovitud mõõtmetega detaili. Kui aga liikumine on mõlemis suunas korruga (diagonaalselt), siis hakkavad detaili mõõtmed erinema sellest, mis on joonisega ette antud, kuna tera liikumine toimub punkti P järgi (joonis 4.5.4).



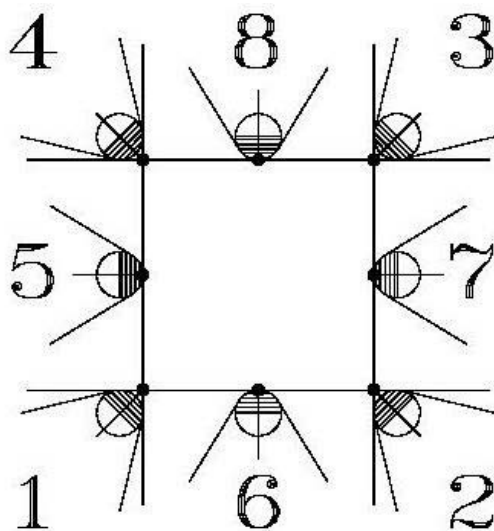
Joonis 4.5.3. Teriku tipuraadiuse korrektsioon [17]

Sellise olukorra vältimiseks tuleb kasutada teriku tipuraadiuse korrektsiooni (joonis 4.5.3). Programmiliselt võetakse arvesse, kui suur peab olema tera liikumise trajektoori erinevus, et detail valmistataks õigete mõõtmetega. Selleks tuleb meil teriku tipuraadius ka pingi *OFFSET* tabelis sisestada ja programmis vastava käsuga ka programmeerida. Joonisel 4.5.4 on näha, kuidas meie poolt arvesse võetud teriku tipuraadiuse korrektsiooni tulemusel reaalse detaili mõõtmed muutuvad.



Joonis 4.5.4. Teriku tipuraadiuse korrektsioon: a) teriku tipu liikumine, b) tegeliku ja programmeeritud kontuuri erinevus [8]

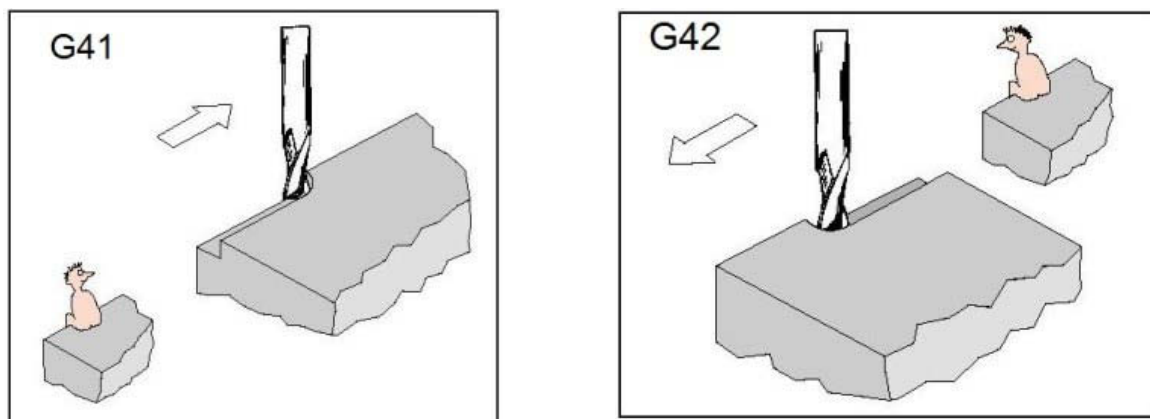
Lisaks teriku tipuraadiuse korrektsioonile peame ära määrama ka tera asetuse pingis (joonis 4.5.5). Nüüd saab alles pingi juhtsüsteem täpselt määrata, kuhu poole ta selle teriku tipuraadiuse korrektsiooni arvestab, sest ainult raadiuse suurus ei määra ära selle raadiuse suunda.



Joonis 4.5.5. Tera asendi määramine pingis

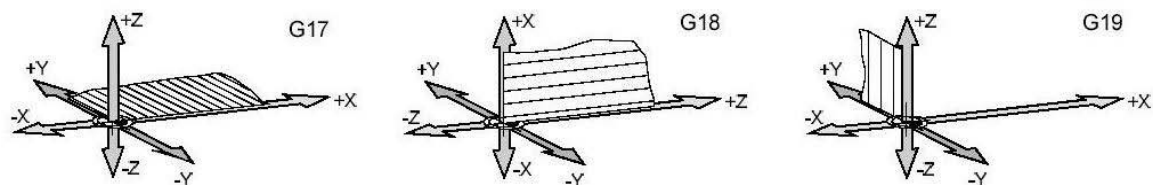
4.6 Töötlemise tehnoloogia freesimisel

Freesimine on komplitseeritud töötlemisviis ja ei piirdu ainult freesimise endaga, vaid siia kuuluvad lihtsamad töötlemisviisid nagu avade töötlemine (puurimine, avardamine, keermetamine, hõõritsemine jne) kuni korpusdetailide ja kujupindade töötlemiseni. Freesimisel ei ühti lõikeriista programmeeritava punkti trajektor üldjuhul töödeldava kontuuriga ja selle tõttu tuleb arvestada töötlemise programmeerimisel ekvidistanti või kasutada lõikeriista asukoha korrigeerimist (arvestada instrumendi raadiusega) (joonis 4.6.1). Samas langeb avade töötlemisel lõikeriista programmeeritav punkt reeglina kokku ava keskpunktiga [9].



Joonis 4.6.1. Ekvidistanti ehk freesi raadiuse korrigeerimise arvestamine [16]

Töötlemise programmeerimisel tuleb määrata, millisel tasapinnal töötlemine toimub. Põhitasapinnaks arvatakse X-Y-tasapind (pingi koordinaadistik) ja juhtprogrammis sellele vastab ettevalmistav funktsioon G 17 (joonis 4.6.2).



Joonis 4.6.2. Töötlemistasapinnad freesimisel ja neile vastavad ettevalmistavad funktsioonid [16]

Arvestada tuleb juhtsüsteemi võimalustega ja programmeerimisele esitatud nõuetega. Reeglina määratakse esimesena kindlaks koordinaadistik: kas suhteline või absoluutne. Selle kohta kindel reegel puudub. On aga soovitus – mida vähem arvutuslikult määratletud koordinaate, seda vähem vigu programmi koostamisel. Kontuuri töötlemisel lõikeriista raadius ei muutu ja tema programmeeritava punkti kaugus (telje ja otspinna lõikepunkt) ehk trajektoori kaugus kontuurist jääb konstantseks. Teiste sõnadega – lõikeriista liikumise trajektor on töödeldavast kontuurist võrdkauguse ehk töödeldava kontuuri ekvidistant [9].

Freesimise juhtprogrammi ettevalmistamisel tuleb kõigepealt määrata töötlemise tüüp. Eristatakse kontuuri-, tasku-, ava-, soone- ja kujupinna töötlemist. Igale tüübile on omased kindlad tunnused ja programmeerimisvõtted. Töötlemise parameetrite määramisel püütakse jälgida korduvaid tegevusi (tsüklilist tegevust). Samas tuleb arvestada rea spetsiifiliste ettevalmistavate funktsioonide ja korrektsioonidega, mis tulenevad pingi omadustest ja juhtsüsteemi võimalustest. Neid funktsioone tuleb vaadata koos pingi juhtsüsteemiga [9].

Konkreetsemate käskude ja funktsioonidega saab tutvuda Valdur Veski raamatus „Arvjuhtimisega seadmete programmeerimine“.

Enesekontrolliküsimused

1. Mida kujutab endast arvprogrammjuhtimine?
2. Milliseid programmeerimisviise te teate?
3. Mida määratakse ära ettevalmistavate funktsioonidega?
4. Mida iseloomustavad abifunktsioonid?
5. Milleks on vaja teada pingi tehnoloogilisi nullpunkte?
6. Mis erinevus on absoluutsel ja suhtelisel koordinaadistikul?
7. Mida tuleb arvesse võtta juhtprogrammi koostamisel?
8. Millal kasutatakse löikeriista raadiuse korrektsiooni?

5. Ajanormid ja omahinna arvutus

Tänapäeva tootmises on paljud tegevused ära määratud ajanormidega. Iga tegevusele on antud oma aeg. See võimaldab planeerida ja prognoosida tegevusi pikema aja jooksul ette.

Ajanorm – aeg, mida vajatakse tehnoloogilise operatsiooni teostamiseks kõige soodsamates organisatsioonilis-tehnilistes tingimustes.

Detaili ajanormi (tükiaja) struktuur :

$$t_{tk} = t_p + t_a + t_{org} + t_{teen} + t_v, \quad (5.1)$$

kus:

t_p – **põhiaeg**, mille kestel toimub tööpingis (seadmes) detaili kuju, mõõtmete ja omaduste muutmine. Määratakse iga operatsiooni (siirde) kohta eraldi. See võib olla:

- masinaeg, kui toorikut töödeldakse pingis mehaanilise ettenihkega,
- masina-käsiaeg, kui toorikut töödeldakse tööpingis käsiettenihkega (puurimine),
- käsiaeg, kui toorikut töödeldakse käsitsi (lukkseptatööd).

t_a – **abiaeg** haarab töid, mis kaasnevad põhiaja täitmisega. See sisaldab tooriku paigaldamiseks, kinnitamiseks ja mahavõtmiseks kuluvat aega, samuti operatsiooni ajal pingi juhtimisvõteteks ja ka detaili mõõtmiseks kuluvat aega. Abiaeg leitakse eelloetletud tegevusteks kuluvate ja abiaja normatiivides kindlaksmääratud ajaelementide liitmisel. Põhi- ja abiaja summat nimetatakse **operatiivajaks**:

$$t_{op} = t_p + t_a. \quad (5.2)$$

t_{org} – **organisatsioonilise teenindamise aeg** arvestab ajakulu töökoha ettevalmistamiseks tööpäeva algul, töökoha koristamiseks vahetuse lõpul, tööpingi õlitamiseks, puhastamiseks ja teisteks analoogilisteks töödeks vahetuse kestel. Antakse tavaliselt protsentides operatiivajast.

t_{teen} – **tehnilise teenindamise aeg** kulutatakse nürinenud lõikeriista vahetamiseks, seadme järelhäälestamiseks, lõikeriista paigaldamiseks ja reguleerimiseks. Antakse tavaliselt protsentides operatiivajast. Sageli kasutatakse ka lihtsustatud käsitlust, kus

$$t_{teen} = t_{org} + t_{org}. \quad (5.3)$$

t_v – **töö vaheajad** määratakse töölise puhkuseks ja vahepausideks (isiklikeks vajadusteks). Antakse tavaliselt protsentides operatiivajast. Lihtsustatult võib võtta 4 % operatiivajast.

Töönorm – detailide hulk, mida freesija peab täitma ajaühikus.

Tüki kalkulatsiooniaeg:

$$t_{\text{kalk}} = t_{\text{tk}} + \frac{t_{e-l}}{n}. \quad (5.4)$$

t_{e-l} - **ettevalmistus-lõpetusaeg**, mis on ette nähtud uue tööga (joonisega, tehnoloogiaga) tutvumiseks, rakiste ja muude töövahendite tööpinki paigaldamiseks (ka mahavõtmiseks) ja reguleerimiseks uue detailide partii töötlemise algul. Antakse iga uue partii kohta eraldi. Ei sõltu partii suurus.

n - töödeldavate detailide **partii suurus**.

Põhiaja t_p määramine:

Kõikidel erinevatel tehnoloogilistel seadmetel arvestatakse põhiaja t_p määramisel alati lõikeriista kogunihke pikkust antud siirdel (operatsioonil), mis toimub selles pingis masinettehnikkega.

Toote hinna lihtsustatud kalkulatsioon

Tooriku maksumus üldiselt:

$$C_{\text{toorik}} = C_{\text{mat}} \cdot m + C_{\text{tööt}}, \quad (5.5)$$

kus C_{mat} - materjali kilohind,
 m - tooriku mass kg,
 $C_{\text{tööt}}$ - tooriku töötlemise maksumus.

Valatud, sepistatud ja stantsitud toorikud:

$$C_{\text{toorik}} = C_{\text{mat}} \cdot m + K_{\text{meet}} \quad (5.6)$$

kus C_{mat} - materjali kilohind,
 m - tooriku mass kg,
 K_{meet} - tooriku maksumuskoeffitsient erinevatele meetoditele.

Tabel 5.1. Maksumuskoeffitsient

Meetod	Koeffitsient K_{meet}
Liiv-savi valuvormid (vormkastidega)	1,1
A-Z vormimine (vormkastideta)	1,2
Kokillvalu	1,4
Täppisvalu	1,6
Koorikvalu	1,7
Sepistatud	1,4
Stantsitud	1.8

Ümarmaterjalidest (profiilmaterjalidest) lõigatavad toorikud

Hind kujuneb tooriku materjali hinna ja koorivtöötlemise maksumuse järgi:

$$C_{\text{toorik}} = C_{\text{mat}} \cdot m - C_{\text{laast}} \cdot C_{\text{jääk}} + \sum t_{\text{kooriv}} \cdot (P_{\text{tööl}} + C_{\text{seade}}) \cdot (1 + S_{\text{tseh}}/100), \quad (5.7)$$

kus:

C_{mat} – materjali kulunorm (kg),

m – tooriku materjali 1 kg hulgihind,

C_{laast} - laastu (jääkide) mass,

$C_{\text{jääk}}$ - laastude (jäätmete) hind,

$\sum t_{\text{kooriv}}$ koorivtöötlemiseks kuluv summaarne aeg,

$P_{\text{tööl}}$ – tööliste palk koos sotsiaaleraldistega 1 tunnis,

C_{seade} – seadme tunnihind [EUR/tund],

S_{tseh} – tsehhi kaudsed kulud (tavaliselt 60-80 %).

Lehtmaterjalidest lõigatavad toorikud

Hind kujuneb järgnevalt:

$$C_{\text{tööt}} = t_{\text{tööt}} \cdot C_{\text{seade}} \quad (5.8)$$

Tooriku väljalõikamise aeg:

$$t_{\text{tööt}} = \frac{L_{\text{kontuur}} + \sum L_i}{v_{\text{toorik}}} + \sum t_i, \quad (5.9)$$

kus

L_{kontuur} - lõigatava tooriku väliskontuuri pikkus [mm],

$\sum L_i$ - lõigatava tooriku sisekontuuride (avade) kogupikkus [mm],

$\sum t_i$ - kõigi siseavade vajalik alustusaeg (sõltub paksusest ja lõikemeetodist),

v_{toorik} - lõikekiirus tooriku väljalõikamisel [m/min],

C_{seade} - seadme tunnihind [EUR/tund].

Tabel 5.2. Lõikekiirused erineva lehe paksuse korral

Meetod	Leht mm	5	10	15	20	25	40	60	80	C_{seade} EUR/tund
Gaasilõikus	v_{toorik}	0,5	0,45	0,4	0,35	0,3	0,25	0,2	0,1	20
Plasmalõikus		0,7	0,65	0,6	0,5	0,45	0,4	-	-	35
Laserlõikus		1,5	1,2	1,0	0,5	0,2	-	-	-	100
Vesilõikus		0,3	0,25	0,2	0,17	0,14	0,1	0,05	-	70

Aeg üheks alustuseks t_i võtta orienteeruvalt:

Gaasi- ja plasmalõikus [min]:	1,0	2,0	2,5	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0
Laser- ja vesilõikus [min]:	0,1	0,2	0,25	0,3	0,4	0,6	1,0	-

Kulutused tööjõule, seadmetele, lõikeriistadele, rakistusele:

Kulutused tööjõule arvutatakse välja operatsioonide kaupa ja lõpuks summeeritakse:

- a) Töötasu tööpinkidel: EUR/tund,
- b) Tööandja sotsiaal- ja töötuskindlustusmaks 34 % (brutopalgast).

Kulutused seadmetele arvutatakse välja operatsioonide (erinevate pinkide) kaupa ja lõpuks summeeritakse.

Kulutused seadmete amortisatsiooniks ja eksploatatsiooniks, universaalsetele mõõteriistadele, abivahenditele ja rakistusele on tinglikult pingi tunnihinna sees:

Töötlemisel kasutatavate lõikeriistade ja spetsiaalsete rakiste hinna lihtsustatud kalkulatsioon

Lõikeriistad

Kulutused lõikeriistadele arvutatakse välja operatsioonide ja siirete kaupa. Koostatakse tavaliselt tabeli kujul spetsifikatsioon (loetelu) kõikidest erinevatest lõikeriistadest, milliseid kasutatakse oma tehnoloogias. Ühesuguseid lõikeriistu pole vaja korduvalt tabelisse kanda, näidata tuleks vaid järgmisel real operatsiooni (siirde) number ja tüki-kalkulatsiooniaeg $T_{tk-kalk}$ ja lõpuks need summeerida antud lõikeriista kohta. Vajadusel võib lõikeriista andmed esitada mitmel real.

Spetsiaalrakised

Universaalsed pingirakised (padrunid, tsentrid, lünetid, freestornid, kruustangid, vahekoonused jne) kuuluvad tavaliselt pingi juurde ja nende maksumus arvestatakse pingi tunnihinna sisse. Rakistest kuuluvad omahinna arvestamisele vaid spetsiaalselt antud detaili töötlemiseks ostetud või projekteeritud ja valmistatud rakised (näiteks erirakis detaili kaldu kinnitamiseks, spetsiaalpakid kruustangidele, puurimiskondaktor avade puurimiseks jne).

Operatsioonide kaupa kirjeldatakse kõik kasutatavad rakised (ka universaalsed pingirakised), kuid kulud arvestatakse ainult uutele spetsiaalrakistele (nende ostu- või valmistushind). Tinglikult loeme, et need uued rakised mingil operatsioonil kasutamiseks on töökorras kogu tellimuse täitmise ajal. Kulutused seadmete amortisatsiooniks ja eksploatatsiooniks ja mõõteriistadele, abivahenditele on tinglikult pingi tunnihinna sees.

Tootmise konstruktiivse ettevalmistusega (TKE) seotud tegevused:

- a) Tellimuse joonise analüüs ja puuduste väljaselgitamine,
- b) Uue konstruktiivse tööjoonise projekteerimine CAD-is,
- c) Uue joonise vormistamise kulutused (vormistamine, kopeerimised jt),
- d) Jne.

Tootmise tehnoloogilise ettevalmistusega (TTE) seotud kulutused:

- a) Tehnoloogilise protsessi projekteerimine – aeg tundides,
- b) Tehnoloogilise protsessi vormistamise kulutused (vormistamine, kopeerimised jt),
- c) Vajalike rakiste projekteerimine,
- d) Rakiste valmistuskulud,

e) Jne.

5.1 Ajanormid treimisel

Siin on toodud näidete varal ajanormide arvutamine treimisel [6].

Kasutatavad tähistused:

L - lõikeriista (supordi) kogunihke pikkus [mm] masinettenihkega,

l - töödeldava pinna pikkus [mm],

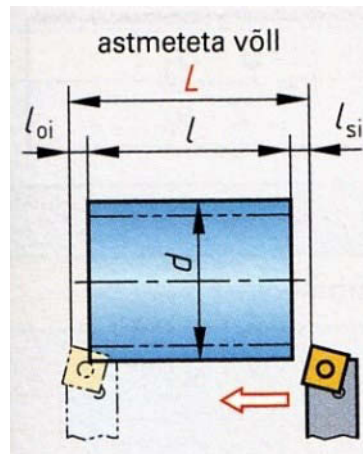
l_{si} - algasendi kaugus [mm], kuni täieliku lõikesügavuse saavutamiseni, $l_{si} = t \cot \varphi$, kus (t - lõikesügavus, φ – peanurk plaanis kraadides),

l_{oi} - ülejooksu pikkus mm, tavaliselt 1...2,5(4) [mm],

f - pöördetenihe [mm],

n - tööspindli pöörlemissagedus [min^{-1}].

Näide 1: Põhiaja leidmine silindrilise astmeteta võlli pikitreimisel [6].



Joonis 5.1.1. Astmeteta võlli treimine

Antud: $L=1240$ mm; $l_{si}=l_{oi}=2$ mm; $f=0,6$ mm; $v_c=120$ m/min; $i=2$; $d=160$ mm;

$$L=l+l_{si}+l_{oi}=1240 \text{ mm} + 2 \text{ mm} + 2 \text{ mm}=1244 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{120 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{\pi \cdot 0,16 \text{ m}} = 239 \text{ min}^{-1}$$

$$t_p = \frac{L \cdot i}{n \cdot f} = \frac{1244 \text{ mm} \cdot 2}{239 \text{ min}^{-1} \cdot 0,6 \text{ mm}} = 17,4 \text{ min}$$

Näide 2: Põhiaja leidmine keermelõikamisel [6].

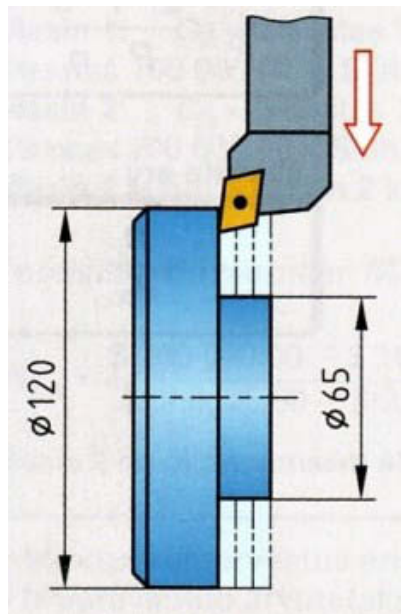
Antud: keere M24; $l=76$ mm; $l_{si}=l_{oi}=2$ mm; $f=0,6$ mm; $v_c=6$ m/min; $i=2$; $a_p=0,15$ mm; $h=1,84$ mm
 $P=3$ mm; $s=1$.

$$L = l + l_{si} + l_{oi} = 76 \text{ mm} + 2 \text{ mm} + 2 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$$

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{6 \frac{\text{m}}{\text{min}}}{\pi \cdot 0,024 \text{ m}} = 80 \text{ min}^{-1}$$

$$t_p = \frac{L \cdot i \cdot s}{n \cdot P} = \frac{80 \text{ mm} \cdot 13 \cdot 1}{80 \text{ min}^{-1} \cdot 3 \text{ mm}} = 4,3 \text{ min}$$

Näide 3: Põhijaja leidmine otspinna treimisel [6].



Joonis 5.1.2. Otspinna treimine

Antud: $l_{si}=1,5$ mm; $v_c=200$ m/min; $f=0,2$ mm; $i=2$; $n_{lim}=3000$ min⁻¹;

$$d_t = \frac{v_c}{\pi \cdot n_{lim}} = \frac{220000 \frac{\text{mm}}{\text{min}}}{\pi \cdot 3000 \text{ min}^{-1}} = 23,3 \text{ mm}$$

$$L = \frac{d - d_t}{2} + l_{si} = \frac{120 \text{ mm} - 65 \text{ mm}}{2} + 1,5 \text{ mm} = 29 \text{ mm}$$

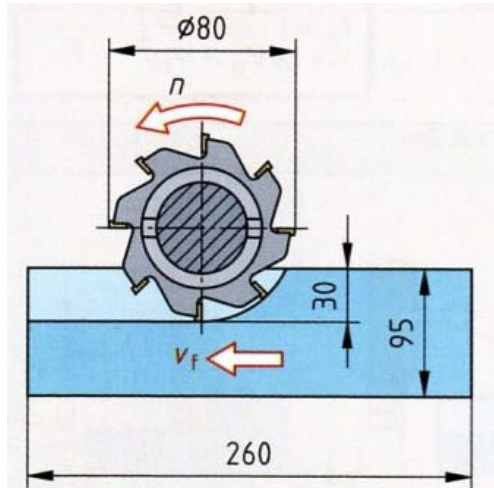
$$d_s = \frac{d + d_1}{2} + l_{si} = \frac{120 \text{ mm} + 65 \text{ mm}}{2} + 1,5 \text{ mm} = 94 \text{ mm}$$

$$t_p = \frac{\pi \cdot d_g \cdot L \cdot i}{v_c \cdot f} = \frac{\pi \cdot 94 \text{ mm} \cdot 29 \text{ mm} \cdot 2}{220000 \frac{\text{mm}}{\text{min}} \cdot 0,2 \text{ mm}} = 0,39 \text{ min}$$

5.2 Ajanormid freesimisel

Siin on toodud näidete varal ajanormide arvutamine freesimisel [6].

Näide 1: Põhiaja leidmine tasapinna freesimisel [6].



Joonis 5.2.1. Tasapinna freesimine laupfreesiga

Antud: $N=10$; $f_t=0,08$ mm; $v_c=30$ m/min; $l_a=l_{oi}=1,5$ mm; $i=1$

$$n = \frac{v_c}{\pi \cdot d} = \frac{30 \frac{m}{min}}{\pi \cdot 0,08 m} = 119 \text{ min}^{-1}$$

$$v_f = n \cdot f_t \cdot N = 119 \text{ min}^{-1} \cdot 0,08 \text{ mm} \cdot 10 = 95,2 \frac{mm}{min}$$

$$l_{st} = \sqrt{a_s \cdot d - a_s^2} = \sqrt{30 \text{ mm} \cdot 80 \text{ mm} - (30 \text{ mm})^2} = 38,7 \text{ mm}$$

$$L = 260 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} + 1,5 \text{ mm} + 38,7 \text{ mm} = 301,7 \text{ mm}$$

$$t_p = \frac{L \cdot i}{v_t} = \frac{301,7 \text{ mm} \cdot 1}{95,2 \frac{mm}{min}} = 3,2 \text{ min}$$

Enesekontrollküsimused

1. Milleks on vaja teada ajanorme?
2. Millist aega nimetatakse operatiivajaks?
3. Mida kujutab endast ettevalmistus-lõpetusaeg?
4. Kuidas kujuneb toote hind?

6. Ülesanded

Ülesanne 1

Pingi otstarbe määramine. Vastake allolevatele küsimustele.



1. Mis tüüpi tööpingiga on tegemist?
2. Milliseid detaile oleks sellel tööpingil otstarbekas töödelda?
3. Millistele tootmistingimustele antud tööpink sobib?

Ülesanne 2

Pingi otstarbe määramine. Vastake allolevatele küsimustele.



1. Mis tüüpi tööpingiga on tegemist?
2. Milliseid detaile oleks sellel tööpingil otstarbekas töödelda?
3. Millistele tootmistingimustele antud tööpink sobib?

Ülesanne 3

Pingi otstarbe määramine. Vastake allolevatele küsimustele.



1. Mis tüüpi tööpingiga on tegemist?
2. Milliseid detaile oleks sellel tööpingil otstarbekas töödelda?
3. Millistele tootmistingimustele antud tööpink sobib?

Ülesanne 4

Vastake allolevatele küsimustele pingi ehituse kohta.



1. Millised on tööpingi põhilised koostisosad?
2. Näidake need joonisel.
3. Selgitage nende otstarvet antud pingi juures.
4. Kuidas tekib tööpingi pealiikumine?
5. Kuidas tekib ettenihkeliikumine?
6. Kuidas need liikumised mõjutavad tootmisprotsessi?

Ülesanne 5

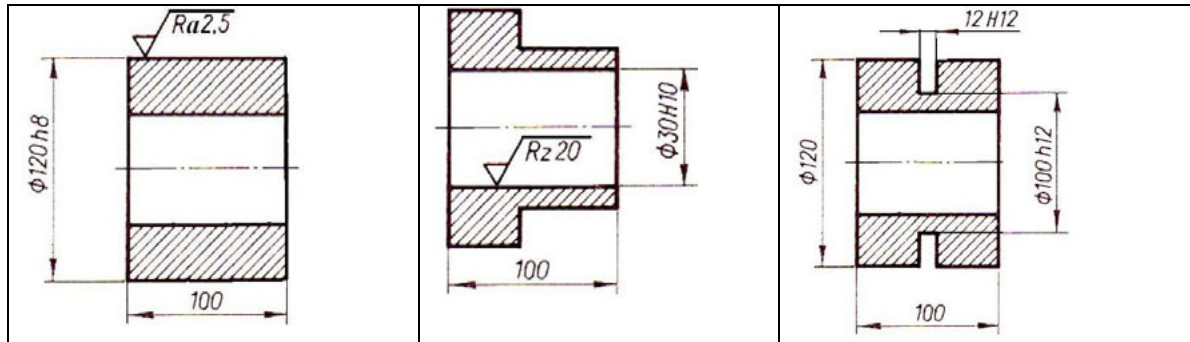
Vastake allolevatele küsimustele pingi ehituse kohta.



1. Millised on tööpingi põhilised koostisosad?
2. Näidake need joonisel.
3. Selgitage nende otstarvet antud pingi juures.
4. Kuidas tekib tööpingi pealiikumine?
5. Kuidas tekib ettenihkeliikumine?
6. Kuidas need liikumised mõjutavad tootmisprotsessi?

Ülesanne 6

Kirjeldage nende pindade (silinder, ava ja soon) töötlemise tehnoloogiaid:



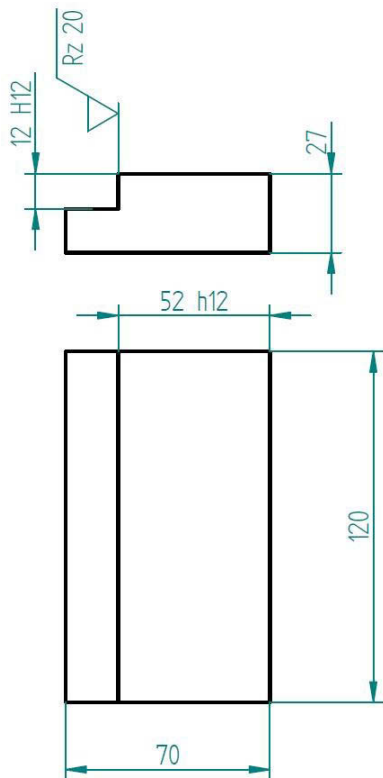
Silinder

Ava

Soon

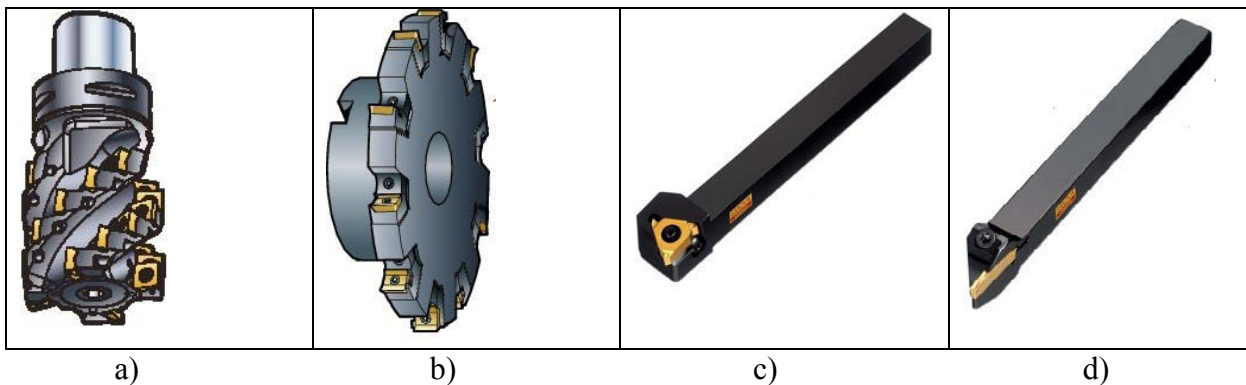
Ülesanne 7

Kirjeldage astme töötlemise tehnoloogiat.



Ülesanne 8


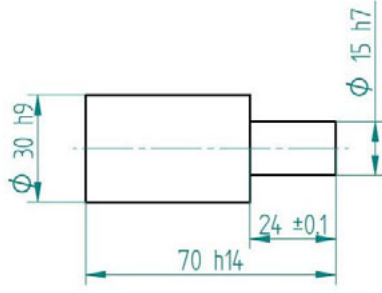
Tööriistade valimine.



Millise tööriistaga on tegemist ja kus ning millisteks töödeks on seda otstarbekas kasutada?

Ülesanne 9

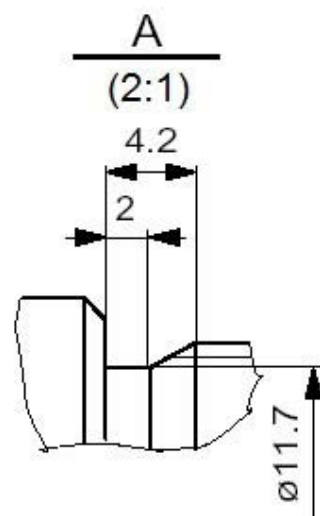
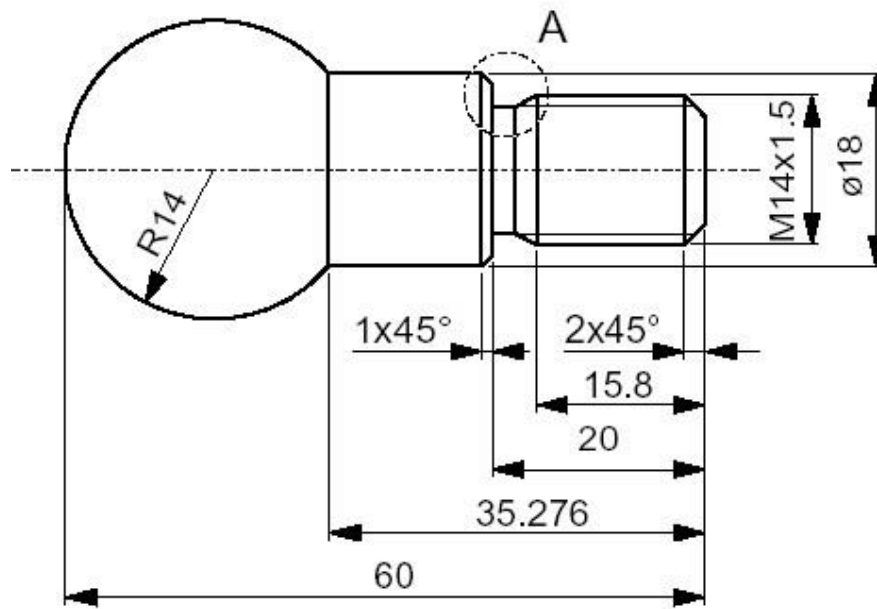
Detaili valmistamisaja arvutamine. Vastake allolevatele küsimustele.

 <p>Pink:</p>	<p>Joonis:</p> 	<p>Andmed:</p> <p>Tooriku läbimõõt on 35 mm</p> <p>$v_c=180$ m/min</p> <p>$a_p=2$ mm</p>
--	---	--

1. Arvutage selle detaili valmistamisaeg.
2. Mis on tootlik aeg ja millest see sõltub?
3. Millised on mittetootliku aja komponendid ja kuidas neid vähendada?

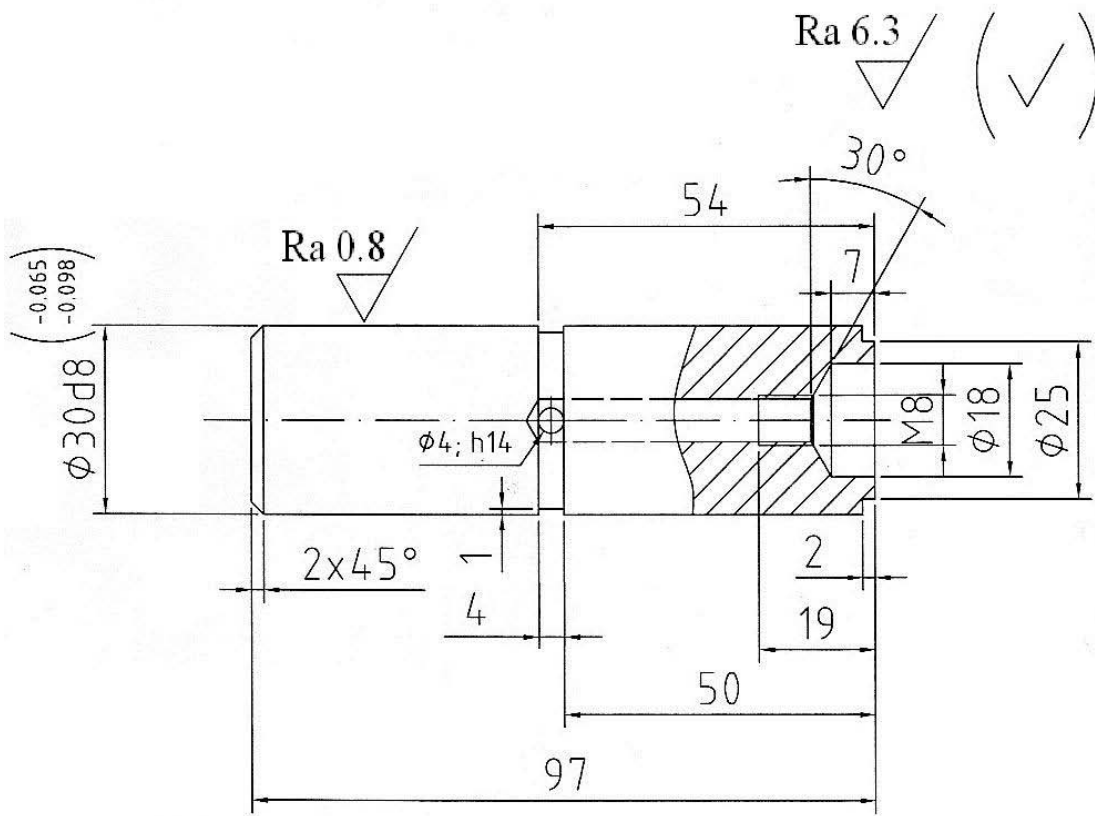
Ülesanne 10

Määrake selle detaili valmistamistehnoloogia.



Ülesanne 11

Kirjeldage selle detaili valmistamistehnoloogiat.



Kasutatud allikad

1. Barbašov, F. Freesimistööd. Tallinn Valgus 1979
2. Baturin, A. Masinaelemendid. Tallinn 1964
3. Deneznõi, P., Stiskin, G., Thor, I. Treimistööd. Tallinn 1990
4. Kimmel, A. Arvjuhtimisega metallilõikepinkide programmeerimine. Tallinn 2000
5. Soots, R. Lõikerežiimide määramine metallide lõiketöötlusel. Tallinn 2004
6. Mehaanikainseneri käsiraamat. Tallinn 2012
7. Tiidemann, T. Tööpingid II. Metallilõikepingid. Õppematerjal. Tallinn 2007
8. Vesamäki, H. Lastuavan työstön ohjelmointi. Met-Julkaisu 2000
9. Veski, V. Arvprogrammjuhtimisega seadmete programmeerimine. Tallinn 2001
10. <http://www.emco-world.com/en/products/industrial-training/softwarecontrols/cat/31/d/1/p/31.html>
11. <http://www.knuth.de>
12. <http://www.mitsubishicarbide.com/>
13. <http://www.sandvik.coromant.com/>
14. <http://www.secotools.com>
15. EMCO WinNC GE Series Fanuc21-MC Software description. EMCO Mayer GmbH. 2000
16. EMCO WinNC GE Series Fanuc21-TC Software description. EMCO Mayer GmbH. 2000

