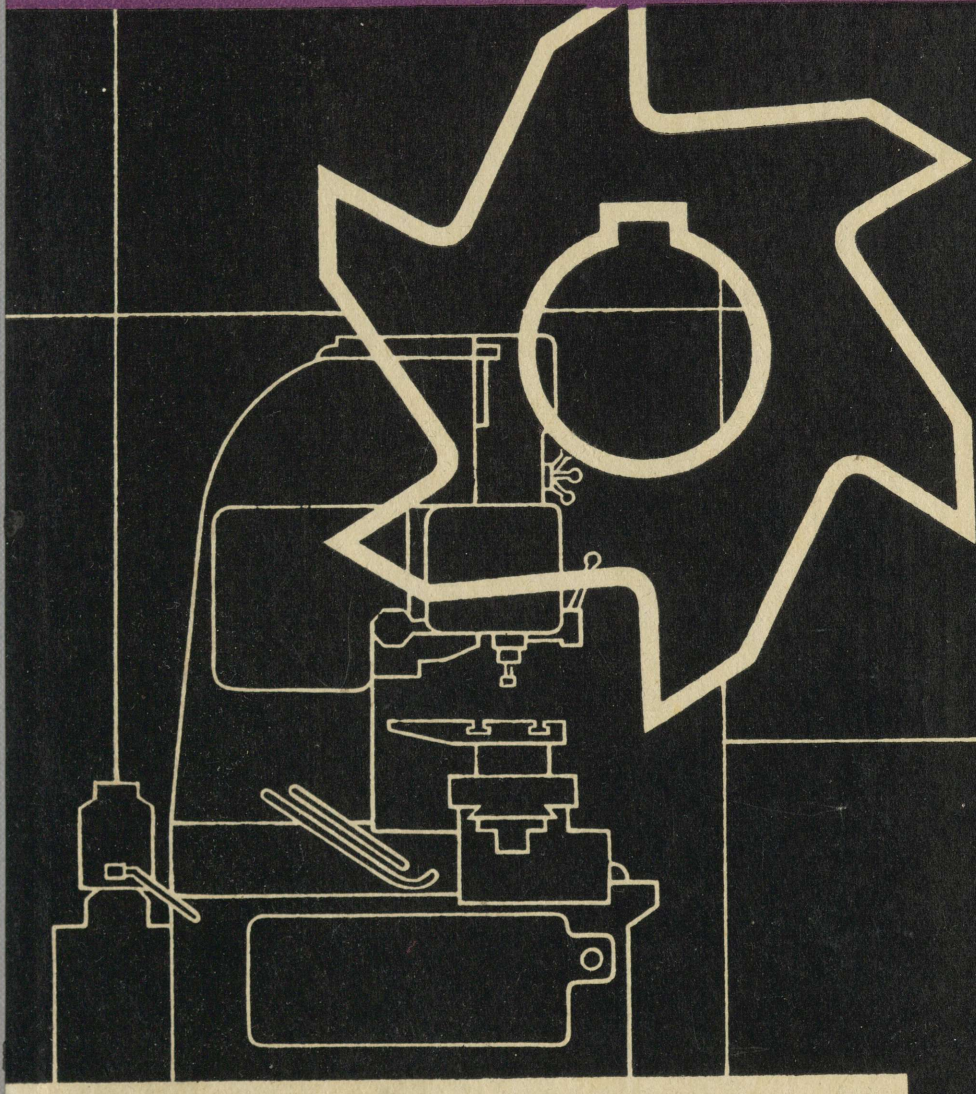
S. AVRUTIN

# FREESIMISTÖÖD



2/62693

A-27906 II

S. V. AVRUTIN

# FREESIMISTÖÖD

*Heaks kiidetud NSV Liidu Riikliku Plaanikomitee juures asuva Tehnilise Kutsehariduse Riikliku Komitee Teadusliku Nõukogu poolt kasutamiseks õpikuna tehnilistes kutsekoolides*

KIRJASTUS «VALGUS» · TALLINN 1966

6T4
A99

С. В. Аврутин
ФРЕЗЕРНОЕ ДЕЛО
Издание пятое, переработанное и дополненное
Издательство «Высшая школа»
Москва, 1964

Tõlkinud *V. Teinveld*
Kaane kujundanud *E. Tali*
Retsenseerinud *H. Aarelaid*

Raamatus on esitatud põhiteadmisi freesimistöödest, freespinkidest, freesimisel kasutatavaist lõikeriistadest ja rakistest; suurt tähelepanu on pööratud progressiivsele freesimistehnoloogiale; vaadeldakse töötlemisprotsesside mehhaniseerimist, tootmise organiseerimist ja ökonoomikat.

Raamat on kasutatav õpikuna tehnilistes kutsekoolides, kuid teda võib edukalt kasutada ka tööliste ettevalmistamiseks ja nende kvalifikatsiooni tõstmiseks ettevõtetes.

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
68693

## *AUTORILT*

*Raamatu viies väljaanne on ümber töötatud vastavalt freesijate ettevalmistamise õppeplaanidele tehnilistes kutsekoolides.*

*Käesolevat väljaannet on täiendatud seoses freespinkide moderniseerimisega ning uute freeside standardite ja üldmasinaehituse lõikerežiimide normatiivide kasutusele võtmisega freesimisel.*

*Raamatust on välja jäetud peatükk tolerantside ja istude ning mõõteriistade konstruktsioonide ja kasutamise kohta, mida uue õppeplaani järgi õpitakse erikursuses «Tolerantsid ja tehniline mõõtmine».*

*Raamatus on püütud õppematerjali esitada õpilastele võimalikult arusaadavalt ja jõukohaselt kaasaegse tehnika tasemel, sidudes freesimise teoreetilisi aluseid freesijate-novaatorite eesrindlike kogemustega; samuti on püütud anda elementaarseid teadmisi freesimistööde mehhaniseerimisest ja automatiseerimisest, et paremini omandada erikursust «Tootmise mehhaniseerimise ja automatiseerimise alused», mis on ette nähtud tehnilistes kutsekoolides freesijate ettevalmistamise õppeplaanis.*

*Suurt tähelepanu on pööratud töötlemisnäidetele, mis haaravad keerukuse kasvavas järjekorras kogu freesimisoperatsioonide kompleksi vastavalt tootmisõpetuse programmile.*

*Esimesed töötlemisnäited, kus tutvustatakse algajat pingi juhtimisvõtetega, häälestamisega ja seadistamisega, on esitatud põhjalikumalt, et tagada freesimise algoperatsioonide maksimaalset omandamist, mis on aluseks kõigile järgnevaile operatsioonidele.*

*Lõpuks esitatakse õppematerjal freesimisoperatsiooni tehnoloogilise protsessi iseseisvaks väljatöötamiseks ja maksimaalse tootlikkusega lõikerežiimide valikuks.*

*Käesoleva väljaande ettevalmistamisel arvestati kõiki tehniliste kutsekoolide töötajate ja lugejate väärtuslikke ettepanekuid.*

*Osaliselt on ümber töötatud XI peatükk «Elementaarseid teadmisi tehnoloogilisest protsessist ja XXX peatükk «Detailide töötlemise tehnoloogiline protsess freespinkidel», mis olid eelmises väljaandes koostatud tehnilise kutsekooli nr. 40 (Moskvas) õpetaja B. I. Obšadko poolt.*

*Kursuse «Freesimistööd» õpetamisel on soovitav kasutada alljärgnevaid Kiievi populaarteaduslike filmide stuudio poolt toodetud õppefilme:*

*«Põhiteadmisi metallide freesimisest» (1 ja 2 osa) 1958 ja 1959. a. väljalase; «Põhiteadmisi freespinkidest», «Esimese mõõtmegamma konsoolfreespingid», «Teise ja kolmanda mõõtmegamma konsoolfreespingid», «Pikifreespingid», «Laiendatud töötiirkonnaga universaalfreespingid», «Pideva toimega freespingid», 1961. a. väljalase; «Tasapinnaliste kontuuride ja keerukate pindade kopeerfreesimise meetodid», «Jälgivsüsteemiga freespingid», 1962. a. väljalase.*

*Mai 1963 a.*

# SISSEJUHATUS

NSV Liidu tehnilised kutsekoolid on loodud vastavalt seadusele kooli ja elu sidemete tugevdamise ning rahvaharidussüsteemi edasise arendamise kohta tehnilise kutsehariduse omandamiseks noortele, kes pärast kaheksaklassilise kooli lõpetamist siirduvad tootvale tööle. Nende koolide põhilisteks ülesanneteks on valmistada organiseeritult ja plaanipäraselt ette rahvamajanduse kõikidele tööstusharudele kultuurseid, tehnilise haridusega, kvalifitseeritud ning ideeliselt karastatud töölisi ja kujundada kommunistlikku töösse suhtumist.

Tehnilistes kutsekoolides põhineb õpetamine teoreetilise väljaõppe ühendamisel praktikaga kooli töökodades ja baasettevõtete tsehhides. Tehnilise kutsekooli õppeplaani kuuluvad: tootmisväljaõpe, vastavad spetsiaalsed üldtehnilised ja teised õppeained, mis on vajalikud erialaseks ettevalmistamiseks ja insenertehniliste elementaarteadmiste omandamiseks, poliitiline ja esteetiline kasvatus ning noorte füüsiline arendamine. Noormehed ja neiud omandavad siin eriala, võttes samal ajal aktiivselt osa tootvast tööst.

Meie riik eraldab tohutuid vahendeid kvalifitseeritud tööliskaadri väljaõpetamiseks: noormeestele ja neidudele, kes õpivad tehnilistes kutsekoolides, kindlustatakse tasuta ühiselamus elamine, toitlustamine, õpikud ja õppevahendid, riided ning jalatsid.

Nõukogude valitsus on loonud kõik tingimused selleks, et noormehed ja neiud, kes õpivad nendes koolides, saaksid täielikult omandada valitud elukutse ja hakata edukalt üles ehitama kommunistlikku ühiskonda. Tehniliste kutsekoolide õppetöökodades on kõik vajalikud seadmed. Eriala õppimine on koolides ühendatud kultuurse vaba aja veetmisega. Õpilaste käsutuses on raamatukogud, spordisaalid ja staadionid.

Töölised, kes on ette valmistatud tehniliste kutsekoolide süsteemis, suunatakse riigi poolt plaanipäraselt tööle vastavalt rahvamajandusplaanis ettenähtud ülesannetele.

Oma eksisteerimisaja vältel on riiklik tööliskaadri ettevalmistamise süsteem andnud kodumaa rahvamajanduse erinevatele tööstusharudele miljoneid kvalifitseeritud töölisi. Paljud tehniliste

kutsekoolide kasvandikud on saanud tööeesrindlasteks võitluses rahvamajandusplaani täitmise ja ületamise eest, tootmisnovaatoriteks, aktiivseiks võitlejaiks tehnilise progressi eest, kommunistliku töö brigaadide liikmeiks.

Kommunistliku Partei XXII kongressil vastu võetud NLKP uus programm määras suured ülesanded rahva haridustaseme ja tööliste kvalifikatsiooni tõstmiseks tööstuses.

Rahvamajanduse üha kasvavate vajaduste rahuldamiseks kvalifitseeritud kaadri osas, eriti seoses eesrindliku tehnika juurutamisega tulevikus, on ette nähtud parandada noorte kvalifitseeritud tööliste ettevalmistuse kvaliteeti tehniliste kutsekoolide süsteemis. Samuti on kavatsetud kasutusele võtta laialdasi abinõusid tööliste kvalifikatsiooni edasiseks tõstmiseks tööstuses individuaalse või brigaadiviisilise õpetamisega, ettevõtetes organiseeritavate kursuste süsteemi või koolide kaudu.

Tööliste kultuuri- ja tehnilise taseme tõstmisel on suur tähtsus rahvamajanduse kõikide tööstusharude edasiarendamisel, veelgi laialdasema võistluse organiseerimisel riiklike plaanide täitmiseks ja ületamiseks ning toodangu kvaliteedi tõstmiseks.

Suures kommunistliku ühiskonna ülesehitamise programmis, mis võeti vastu NLKP XXII kongressil, on nõukogude rahva ette püstitatud ülesanne — muuta kahe aastakümne jooksul NSV Liidu tööstus tehniliselt kõige täiuslikumaks ja võimsamaks maailmas, selleks et luua kommunistliku ühiskonna ülesehitamiseks vajalik materiaal-tehniline baas. Selleks on tarvis igakülgselt arendada rasketööstust, et selle alusel tehniliselt ümber kujundada kõik teised rahvamajandusharud.

NSV Liidus on loodud esmaklassiline rasketööstus — maa ökonoomilise võimsuse ja tehnilise progressi alus. Rasketööstuse ülesandeks on täielikult kindlustada meie maa kaitsevajadused, arendada rahvatarbekaupu tootvaid rahvamajandusharusid rahva vajaduste paremaks ja täielikumaks rahuldamiseks ja maa tootlike jõudude arengu tagamine.

Partei programmis on kavatsetud suurendada tööstustoodangu üldmahtu lähema kümne aasta jooksul umbes 2,5 korda ja jõuda tööstustoodangu hulga poolest Ameerika Ühendriikidega ühele tasemele, 20-ne aasta jooksul aga suurendada tööstustoodangu üldmahtu mitte vähem kui 6 korda ja mööduda Ameerika Ühendriikidest tööstustoodangu mahu poolest.

Niisugune tööstuse arenemine nõuab kogu rahvamajanduse ümberkorraldamist, kõigepealt aga masinaehituse ümberkorraldamist, mis peab rahuldama täielikult kõik kasvavad nõudmised kaasaegsete masinate, tööpinkide ja aparaatide, tööriistade ja tagavaraosade järele. Pidev tehnoloogia täiustamine kõikides tööstusharudes ja tootmisliikides on tarvilik tingimus nende edasiarendamisel. Tehniline progress võimaldab kergendada inimese tööd, märgatavalt kiirendada tootmisprotsesse ja saavutada nende

suuremat täpsust ning juurutada tööstusse maksimaalselt vooltootmist.

Masinaehituse arendamise alusel teostatakse esimesel aastakümnel tööstuse, põllumajanduse, ehitustööde, transpordi ning kommunaalmajanduse kompleksne mehhaniseerimine; 20-ne aasta vältel teostatakse massilises mastaabis tööstuse kompleksne automatiseerimine, millelt minnakse järk-järgult üle automatiseeritud tsehhide ja ettevõtete ehitamisele, mis kindlustavad kõrge tehnilis-ökonoomilise efektiivsuse.

NLKP uus programm näeb ette masinaehituse veelgi laiaulatuslikumat arendamist. Ainult sel tingimusel võib teostada kavandatud komplekssе mehhaniseerimise ja automatiseerimise plaani. Tuleb sisse seada massiline, suure tootlikkuse ja ökonoomsusega masinate, seadmete, aparaatide, automaatika ja raadioelektroonikaseadmete tootmine, luua täiuslik masinate süsteem tööstuse, põllumajanduse, ehituse ja transpordi jaoks. 20-ne aastaga ehitatakse 2800 uut masinaehitus- ja metallitöötlemisettevõtet, peamiselt idarajoonidesse; 1900 vana ettevõtet rekonstrueeritakse. See võimaldab suurendada masinaehitus- ja metallurgiatööstuse toodangu üldmahtu 10—11 korda, sealhulgas poolautomaat- ja automaatliinidel tootmist 60 korda.

Silmapaistev osa nende ülesannete täitmisel kuulub masinaehitusettevõtetele. Nõukogude masinaehitajate ees avanevad erakordsed perspektiivid peamise majandusliku ülesande lahendamisel — kommunismi materiaal-tehnilise baasi loomisel.

Tootmise kommunistliku taseme saavutamisel on otsustav tähtsus tööviljakusel. Vastavalt plaaniorganite näitajaile peab ajavahemikus 1961—1980. a. $^{9}/_{10}$ kogu natsionaaltulu kasvust kindlustama tööviljakuse tõstmine. NSV Liidu tööstuses kasvab tööviljakus lähema kümne aasta jooksul umbes 2 korda, 20-ne aastaga 4—4,5 korda. Silmas pidades tööpäeva lühendamist, muutub toodangu kasv ühe töötunni kohta veelgi kõrgemaks.

Sotsialistlikus ettevõttes kasvab tööviljakus uue tehnika juurutamise, eesrindliku tehnoloogia, töö õige organiseerimise, meisterlikkuse tõstmise ja tööliste leiutiste juurutamise arvel.

Tööviljakuse pidev tõstmine nõuab tehnika pidevat täiustamist. Vana tehnika tuleb asendada uuega, uus — uusimaga. Tuleb kiiresti ja laialdaselt juurutada tootmisse uusi leiutisi, täiuslikumaid ja tootlikumaid tööriistu ja rakiseid, otsustavamalt mehhaniseerida ja automatiseerida tehnoloogilisi protsesse.

Nõukogude tööline peab tundma eesrindlikku tehnikat ja oskama temast ammutada kõike, mida see on võimeline andma.

Kommunistliku töö brigaadide ja lööklaste liikumine on sotsialistliku võistluse uus etapp, mis vastab käesolevale kommunistliku ülesehitustöö etapile. Selle liikumise iseärasus seisneb selles, et temas on orgaaniliselt ühendatud uusima teaduse ja tehnika saavutustele ning kõrgeimale tööviljakusele rajanev võitlus uue ini-

mese — oma maa peremehe — kasvatamise eest, kes suhtub kommunistlikult töösse ja ühiskondlikesse kohustustesse.

Tootmisnovaatorid — eesrindlikud töölised ning insener-tehnilised töötajad — soodustavad oma kogemustega ja väsimatute loominguliste otsingutega tööviljakuse edasist kasvu. Partei- ja nõukogude organisatsioonid toetavad pidevalt nende algatusi.

Kõrgeim hinnang aktiivse tööalase tegevuse eest — Sotsialistliku Töö Kangelase aunimetus — on omistatud Leningradi Kirovinimelise tehase kiirfreesijale-novaatorile V. J. Karassevile, kes on suure tootlikkusega ebaühtlase sammuga otsfreesi autor, ja Leningradi Metallitoodete tehase freesijale A. V. Borodulinile.

Noored freesijad peavad järgnema tööeesrindlaste eeskujule. Selleks on vaja visalt õppida freesimistööde saladusi, kiiresti omandada kvalifikatsioon ja seda omades suurendada meisterlikkust.

ESIMENE OSA

# ALGTEADMISI FREESIMISTÖÖDEST

I PEATÜKK

## ÜLDTEADMISI FREESIMISEST

### § 1. METALLIDE LÕIKETÖÖTLEMISE PROTSESSI MÕISTE

#### Põhilised töötlemismeetodid

Masinaehituses kasutatakse palju mitmesuguseid materjale, nagu mustade ja värviliste metallide sulameid, plastmasse, puitu jne. Neist materjalidest valmistatavatele detailidele antakse vajalik kuju ja mõõtmed mingi töötlemismeetodiga. Kõiki töötlemismeetodeid võib jagada kahte põhiliiki:

a) töötlemine ilma laastu eraldamiseta, s. t. detailile antakse vajalik kuju ja mõõtmed valamise, sepistamise, külmstantsimise või pressimise teel;

b) töötlemine laastu eraldamisega, s. t. detailile antakse vajalik kuju, mõõtmed ja pinnasiledus lõikeriistaga lõikamise teel trei-, frees-, höövel- ja puur- või mõnel muul metallilõikepingil.

Toorikuid saadakse sageli töötlemisel ilma laastu eraldamiseta, kusjuures nende töötlemine valmisdetaili saamiseks jätkub metallilõikepinkidel laastu eraldamisega. Sel juhul peab olema jäetud toorikule *töötlusvaru*, s. t. materjali kiht, mis eemaldatakse lõiketöötlemisel.

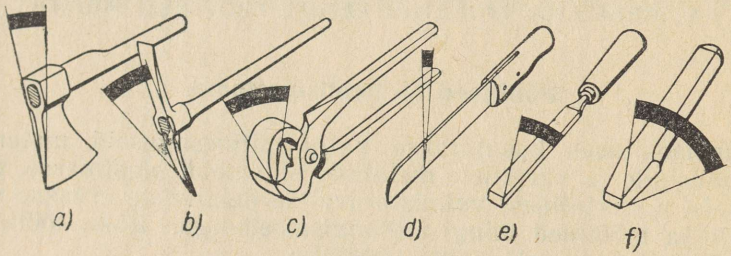
#### Mehaaniline lõiketöötlemine

Tooriku kuju ja mõõtmete muutmine mehaanilisel lõiketöötlemisel saavutatakse töötlusvaru eemaldamisega lõikeriista abil. Lõikeriistade erinevad konstruktsioonid olenevad töötlemismeetoditest. Paljude lõikeriistade prototüübiks (algkujuks) on tavaline trei- või hööveltera, lõikeriistade erinevad konstruktsioonid saadakse kas lõikepindade arvu suurendamisega või lõikeosa profiili ja lõikenurkade muutmisega. Tööpõhimõte on enamikul lõikeriistadel ühesugune.

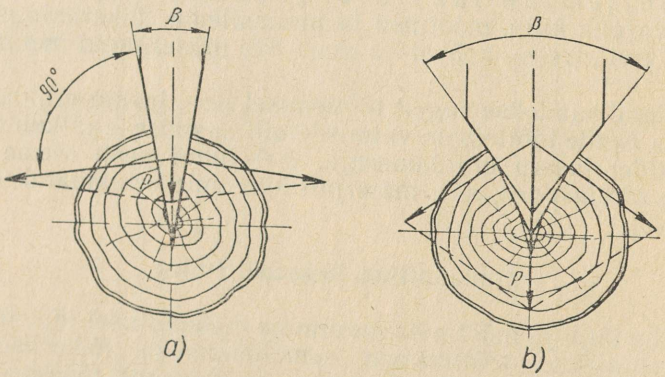
## Lihtsaim tera ja tema töötamise põhimõte

Kõikide lõikeriistade lõikeosa on kiilukujuline (joon. 1). Lõikeriistale rakendatud jõu toimel tungib kiilu teravik töödeldavasse materjali, lõhub materjali osakeste vahelise seose ja lükkab eralduva laastu kõrvale.

Mida väiksem on kiilu tipunurk, s. t. mida teravam on kiil, seda väiksemat jõudu on vaja kiilu sissetungimiseks materjalisse. See selgub ka jooniselt 2, *a*, kust on näha, et väiksema tipunurgaga kiilu sissetungimiseks vajatakse väiksemat jõudu *P* kui suurema tipunurgaga kiilu puhul (joon. 2, *b*). Nurka, mille moodustavad kiilu külgtahud, nimetatakse *teritusnurgaks* ja tähistatakse kreeka tähega β*.

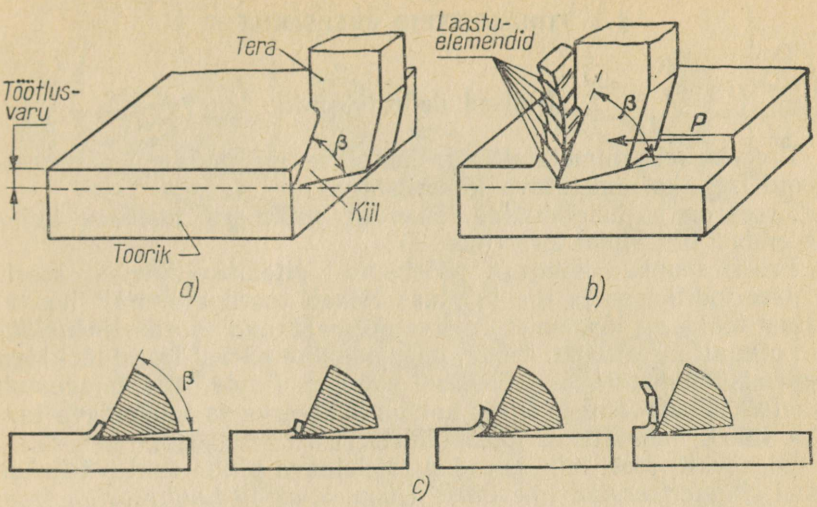



Joon. 1. Kiil lõiketerana:
*a* — kirves; *b* — kirka; *c* — lõiketangid; *d* — nuga; *e* — kaabits; *f* — meisel




Joon. 2. Kiilu toime:
*a* — väikese teritusnurga β puhul; *b* — suure teritusnurga β puhul

* Lõikeriistade lõikenurkade tähistamist kreeka tähtedega kasutatakse enamikes tööstusmaades maailmas. NSVL-s on see kehtestatud riikliku standardiga.




Joon. 3. Lõikeprotsessi skeem:
*a* — tera sisselõikumise alghetk; *b* ja *c* — laastu moodustumine

Samuti selgub jooniselt 2, et normaaljõud (s. o. kiilu tööpinnaga risti suunatud jõud) on väiksema teritusnurgaga kiilu puhul suurem kui suurema teritusnurgaga kiilu puhul. Eeltoodust järeldub, et kui lõigata kõva materjali lõikeriistaga, millel on väike teritusnurk β, võib õhuke tera osutuda nõrgaks ja nürineda või murduda. Sellepärast valitakse kiilu teritamisel vastav teritusnurk lõigatava materjali kõvaduse järgi.

Rakendatud jõu toimel kiilu teravik tungib materjali sisse. Joonisel 3, *a* on kujutatud kõige lihtsam tera töötlusvaru (paksusega *t*) mahalõikamiseks.

Tera lõikeosa on tehtud kiilukujuline, teritusnurgaga β.

Joonisel 3, *b* on kujutatud laastumoodustumisprotsess lõikamisel. Tera, liikudes edasi jõu *P* toimel, surub esitahuga mahalõigatava materjalikihi kokku ja tungides materjali sisse, painutab teda veidi ülespoole; ületanud materjaliosakeste vahelise sisejõu, eraldab tera materjalikihist osakese ja juhib ta ülespoole. Moodustunud osakest nimetatakse *laastuelemendiks*. Edasi liikudes surub tera uuesti materjalikihile, eraldab järgmise laastuelemendi ja juhib ta samuti ülespoole, lõigates selliselt maha kogu materjalikihi paksusega *t*.

Joonisel 3, *c* on kujutatud laastumoodustumise erinevad järgud teraga lõikamisel.

## Üldised definitsioonid

Freesimiseks nimetatakse mehaanilise lõiketöötlemise operatsiooni freesiks nimetatava lõikeriistaga.

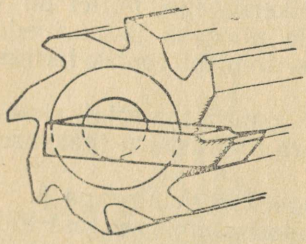
Frees on paljuhambaline lõikeriist, mille iga hammas kujutab endast lihtsaimat tera (joon. 4).

Freesi hambad lõikuvad pöörlemisel ettenihkeliikumist sooritavasse toorikusse ja iga hammas lõikab tooriku pinnalt laastu. Pärast töökäigu lõppemist on frees eemaldanud tooriku *töödeldavalt* pinnalt metallikihi. Pinda, mis saadakse pärast freesi töökäigu lõppemist, nimetatakse *töödeldud pinnaks*. Pinda, mis moodustub vahetult lõikeprotsessis freesi hamba lõikeserva ja töödeldava tooriku vahel, nimetatakse *lõikepinnaks*.

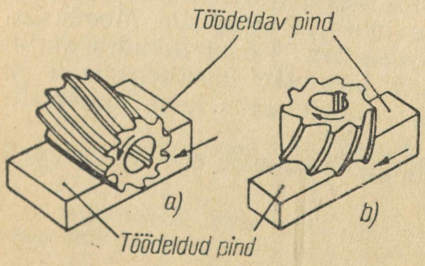
Olenevalt freesi telje asendist töödeldava pinna suhtes tehakse vahet *silinderfreesiga* freesimise (joon. 5, *a*) ja *laupfreesiga* freesimise (joon. 5, *b*) vahel.

Jooniselt 5 on näha, et frees pöörleb oma telje ümber, toorikut aga nihutatakse edasi kas risti freesi horisontaalteljega (joon. 5, *a*) või risti freesi vertikaalteljega (joon. 5, *b*).

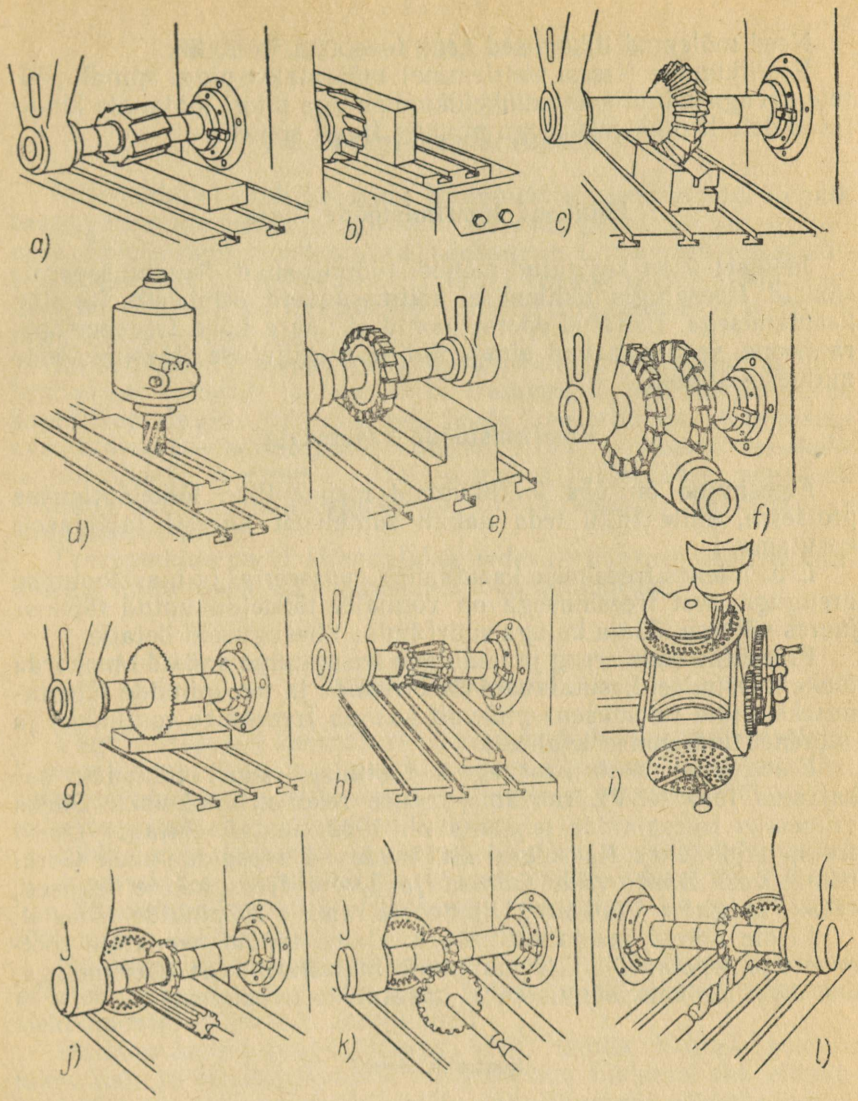
Freesi pöörlevat liikumist nimetatakse *pealiikumiseks*, tooriku edasinihkumist *ettenihkeliikumiseks*.



Joon. 4. Tera kõrvutamine freesi hambaga




Joon. 5. Freesimise liigid:
*a* — silinderfreesiga; *b* — laupfreesiga




Joon. 6. Konsoolfreespingil tehtavate tööde näited:

*a* — tasapinna freesimine silinderfreesiga; *b* — tasapinna freesimine laupfreesiga; *c* — kaldpindade freesimine nurkfreesiga; *d* — soone freesimine otsfreesiga; *e* — astme freesimine kolmepoolse ketasfreesiga; *f* — freesimine kahest kolmepoolsest ketasfreesist koosneva freeside komplektiga; *g* — tükeldamine mahalõikefreesiga; *h* — freesimine profiilfreesiga; *i* — kõverjoonelise kontuuri freesimine otsfreesiga; *j* — soonte freesimine võllile; *k* — hammasratta freesimine; *l* — kruvisoonte freesimine

Need mõlemad liikumised peab teostama freespink.

Pealiikumine (freesi pöörlemine) määratakse pingi spindli pöörete arvuga minutis, ettenihkeliikumine aga pingi töölauale kinnitatud detaili nihkepikkusega minutis freesi suhtes.

## Põhilised freesimistööde liigid

Joonisel 6 on kujutatud mõned tüüpilisemad freesimisoperatsioonid freespingis töötlemisel mitmesuguste erinevate freeside kasutamisega. Esitatud operatsioonid ei haara kõiki freesimisoperatsioone, vaid annavad ainult üldise ettekujutuse freesimistööde mitmekesisusest.

## Freesimistööde kasutusala

Freesimine on üks tootlikumaid mehaanilise lõiketöötlemise protsesse, mille tõttu teda hakati suhteliselt kiiresti laialdaselt kasutama.

Eriti laienes freesimise kasutamine suurseeria- ja masstootmise arenguga, sest freesimisega on võimalik töödelda antud täpsuse juures väikese tööaja kuluga suurt hulka ühesuguseid detaile.

Freesimistööde areng ja laialdane kasutamine andsid omakorda tõuke freesimisel kasutatavate lõikeriistade ja freespinkide täiustamiseks, mille tulemusena pidevalt kasvab freesimise tootlikkus ja suureneb töötlemise kvaliteet.

Freesimine omab kaasaegses tootmises suurt tähtsust; see kajastus juba NSVL rahvamajanduse rekonstrueerimisel. Üheks esimeseks freespinkide tehaseks oli 1932. aastal ehitatud Gorki freespinkide tehas. Käesoleval ajal toodavad freespinke peale Gorki tehase veel Dmitrovski, Odessa ja Lvovi freespinkide tehased, tehas «Žalgiris» Vilniuses, Uljanovski raskete tööpinkide tehas jt.

Ei ole ühtegi masinaehitusharu, alates täppisaparaatide tootmisest ja lõpetades kõige suuremate hüdroturbiinide ehitamisega, kus detailide valmistamiseks ei kasutataks freesimist.

### Kontrollküsimusi

1. Millised on metallide põhilised töötlemismeetodid?
2. Mida nimetatakse metallide töötlemiseks ilma laastu eraldamiseta? Nimetage teile tuntud ilma laastu eraldamiseta metallide töötlemise viise.
3. Mida nimetatakse metallide töötlemiseks laastu eraldamisega?
4. Milliseid laastu eraldamisega metallide töötlemise viise te teate?
5. Milles seisneb metallide lõiketöötlemine?
6. Kuidas toimub laastu eraldumine metallide lõiketöötlemisel?
7. Milles seisneb freesimisprotsess?
8. Millist liikumist nimetatakse pealiikumiseks?
9. Millist liikumist nimetatakse ettenihkeliikumiseks?
10. Milliseid freesimise viise te teate?

# FREESPINK JA TEMA PÕHISÕLMED

## § 3. FREESPINKIDE TÜÜBID

Freespinkidel saab töödelda tasapindu ja profiilpindu, lõigata keeret, freesida nuute ja hambaid, teostada puurimist ja sisetreimist. Freespingid moodustavad Nõukogude Liidu kogu metallilõikepinkide pargist ligikaudu 10% (kuni 180 000 pinki). 1965. aastaks on ette nähtud freespinkide arvu suurendamine kuni 12,7% metallilõikepinkide koguarvust.

Enamlevinud freespinkideks tasapindade ja profiilpindade töötlemisel on konsool- ja konsoolita freespingid, pikifreespingid ja kopeerfreespingid. Mitmesuguste teiste freesimistööde tegemiseks kasutatakse hambafreespinke, keermefreespinke, nuutide freespinke ja kiilusoonte freespinke. Masstootmises kasutatakse peamiselt mitmespindlilisi pikifreespinke ja pideva toimega karussell- ja trummelfreespinke.

Freespinkide parki täiendatakse pidevalt kaasaegsete freespinkidega, mida toodavad kodumaised tööpingitehased.

### Konsoolfreespingid

Väga laialdaselt kasutatakse freesimistöödel konsoolfreespinke. Konsoolfreespink on oma nimetuse saanud konsoolilt, mis on nihutatav mööda pingi vertikaalseid juhtpindu ja on toeks töölauale selle horisontaalsel ettenihkeliikumisel.

Lihtsaim ja levinuim freespingi tüüp on *horisontaalfreespink*. Joonisel 7 on kujutatud Gorki freespinkide tehase poolt toodetud horisontaalfreespink. Horisontaalfreespingid on ette nähtud töötamiseks silinder-, ketas- ja laupfreesidega.

Horisontaalfreespingi *spindel,* millesse kinnitatakse lõikeriist, pöörleb ümber horisontaalse telje. Spindel saab pöörleva liikumise elektrimootorilt kiiruste kasti kaudu.

Horisontaalfreespingi *töölaud* võib liikuda kolmes suunas: piki-, rist- ja vertikaalsuunas. Neid töölaua liikumisi ehk ettenihkeid võib teostada käsitsi käsiratta abil või mehaaniliselt pingi ettenihete ajami kaudu.

Mõnede horisontaalfreespinkide töölaud on spindli suhtes pööratav. Sellist pööratava töölauaga horisontaalfreespinki nimetatakse *universaalseks horisontaalfreespingiks* ehk lühendatult *universaalfreespingiks*. Universaalfreespink on kujutatud joonisel 8. Pingi töölaud on pööratav mööda ristkelgu ringjuhtpinda mõlemale poole 45° ulatuses ja kruviga kinnitatav pärast skaala *1* järgi

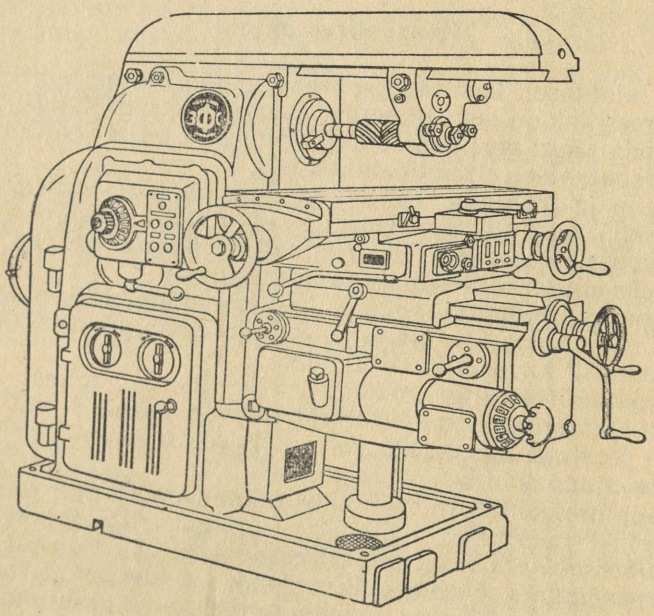
antud nurga alla seadmist. Peale töölaua pööramise võimaluse ei erine universaalfreespink millegagi horisontaalfreespingist.

Joonisel 9 kujutatud freespink erineb vaadeldud horisontaalfreespingist ainult kere ülemise osa ehituse poolest, kõik teised sõlmed on mõlemal pingil ühesugused (võrrelge jooniseid 9 ja 7). Joonisel 9 kujutatud pingi spindel pöörleb ümber vertikaalse telje. Seda tüüpi freespinki nimetatakse *vertikaalfreespingiks.*

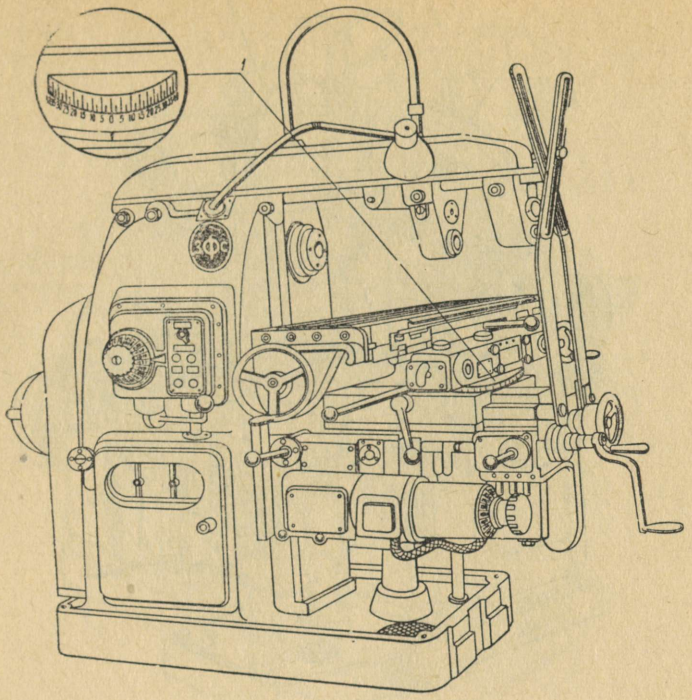
Vertikaalfreespinkide kasutamisvõimaluste laiendamise eesmärgil valmistatakse uued mudelid pööratava spindelpeaga *3.* Spindelpead võib seada töölaua tööpinna (kinnituspinna) suhtes vertikaalselt või nurga alla kaldpindade töötlemiseks. Spindelpea *3* pööratakse vajalikku asendisse skaala *2* järgi.

Vertikaalfreespingid on ette nähtud töötamiseks laupfreesidega, freespeadega, ots- ja soonfreesidega.

Konsoolfreespinkide tüüpmõõtmete aluseks on võetud töölaua tööpinna (kinnituspinna) mõõtmed. Konsoolfreespingid valmistatakse ühesuguste töölaua mõõtmete juures horisontaal-, vertikaal- või universaalpinkidena. Erituubiliste, kuid ühesuguste töölaua põhimõõtmete karakteristikaga ühte gruppi ühendatud pinke nimetatakse pinkide mõõtmegammaks.



Joon. 7. Horisontaalfreespink 6M82Г

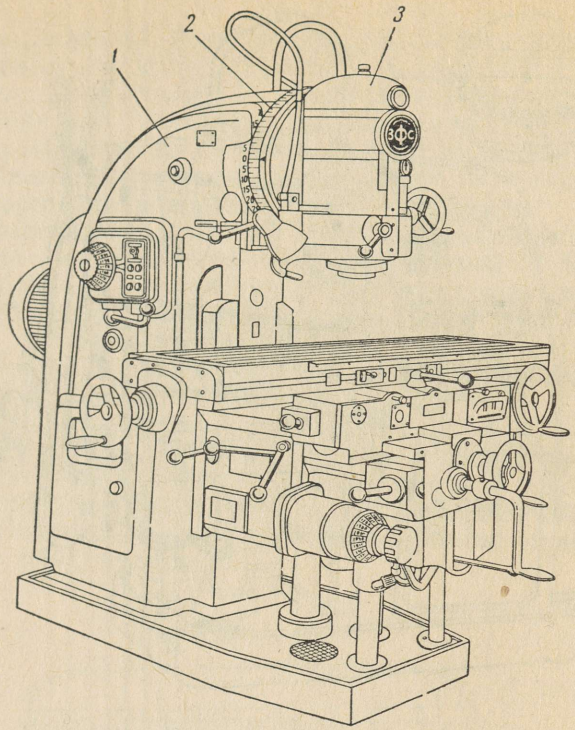


Joon. 8. Universaalfreespink 6M82

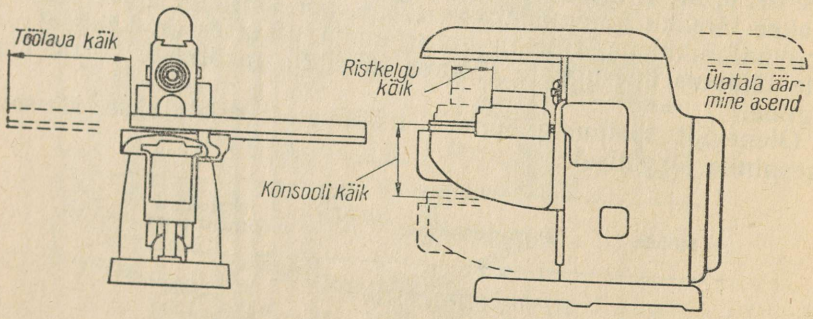
Nõukogude Liidus toodetakse konsoolfreespinke viies erimõõdus: nr. 0, nr. 1, nr. 2, nr. 3 ja nr. 4, kusjuures iga mõõdet valmistatakse täieliku gamma ulatuses, s. o. horisontaal-, universaal- ja vertikaalpinkidena. Ühe mõõtmegamma ulatuses on kõikide pinkide tähistus ühesuguste töölaua tööpinna mõõtmete korral ühesugune.

Olenevalt töölaua tööpinna mõõtmetest eristatakse konsoolfreespinke järgmiselt:

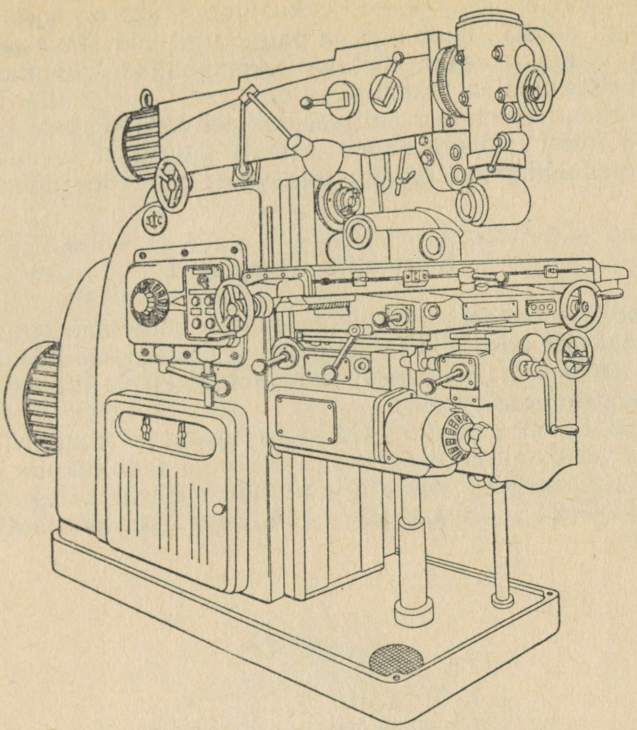
| Mõõde | Pinkide gamma | Töölaua mõõtmed (*mm*) |
|---|---|---|
| 0 | 6П80Г, 6П80, 6П10 | 200×800 |
| 1 | 6Н81Г, 6Н81, 6Н11 | 250×1000 |
| 2 | 6М82Г, 6М82, 6М12П | 320×1250 |
| 3 | 6М83Г, 6М83, 6М13П | 400×1600 |
| 4 | 6М84Г, 6М84, 6М14П | 500×2000 |




Joon. 9. Vertikaalfreespink 6M13П




Joon. 10. Töölaua, ristkelgu ja konsooli maksimaalne käigupikkus



Joon. 11. Laiendatud tööpiirkonnaga freespink 6M82Ш

Vastavalt töölaua mõõtmetele muutuvad ka pingi enda ja ta põhisõlmede (kere, töölaud, ristkelk, konsool, ülatala) gabariitmõõtmed, elektrimootori võimsus ja töölaua käigupikkus pikisuunas, ristkelgu käigupikkus ristsuunas ja konsooli käigupikkus vertikaalsuunas.

Joonisel 10 on kujutatud graafiliselt töölaua, ristkelgu ja konsooli maksimaalne käigupikkus.

Konsoolfreespinkide põhimudelite baasil toodetakse modifikatsioone, mis võimaldavad laiendada antud mõõtmegamma pinkide kasutusala. Näiteks vertikaalfreespinkide 6M12П ja 6M13П baasil toodetakse kiirekäigulisi pinke 6M12ПБ ja 6M13ПБ (kiirekäigu-line modifikatsioon), milliseid kasutatakse kergete sulamite töötlemisel.

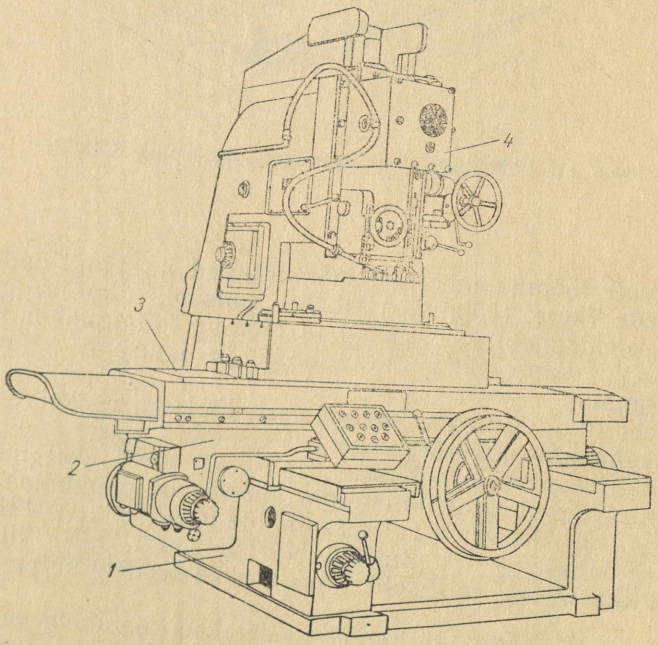
Universaalfreespinkide baasil toodetakse täiendava vertikaalse freespeaga modifikatsioone. Laiendatud tööpiirkonnaga universaalfreespink 6M82Ш (joon. 11) on horisontaalfreespingi 6M82Г modi-

fikatsioon. Tal on kaks spindlit, kusjuures üks on horisontaalne nagu pingil 6M82Г, teine aga on paigutatud pööratavasse peasse, mida on võimalik seada töölaua pikisuunalise liikumise suhtes ± 90° ja ristsuunalise liikumise suhtes ± 45° nurga alla. Laiendatud tööpiirkonnaga universaalfreespinkidel võib teostada kõige erinevamaid freesimisoperatsioone, samuti puurimist, avade töötlemist ja mahalõikamist tooriku erinevates pindades ühe ülesseadega.

## Konsoolita freespingid

Konsool on freespingil jäikuse suhtes kõige nõrgemaks sõlmeks, seepärast kasutatakse suurte ja raskete detailide kiirtöötlemiseks *konsoolita freespinke*; need pingid ei ole nii universaalsed kui konsoolfreespingid.

Joonisel 12 on kujutatud Gorki freespinkide tehases toodetud konsoolita vertikaalfreespink. Pingi töölaud *3* saab liikuda pikisuunas mööda ristkelgul *2* asuvaid juhtpindu, ristkelk ise aga ristsuunas mööda kerel *1* asuvaid juhtpindu. Seega konsoolita freespin-




Joon. 12. Konsoolita vertikaalfreespink ГФ301

kide töölaual on ainult kaks liikumist — piki- ja ristliikumine horisontaaltasapinnas (risttöölaud). Vertikaalliikumine on antud spindelpeale *4*, mis liigub mööda samba vertikaalseid juhtpindu.

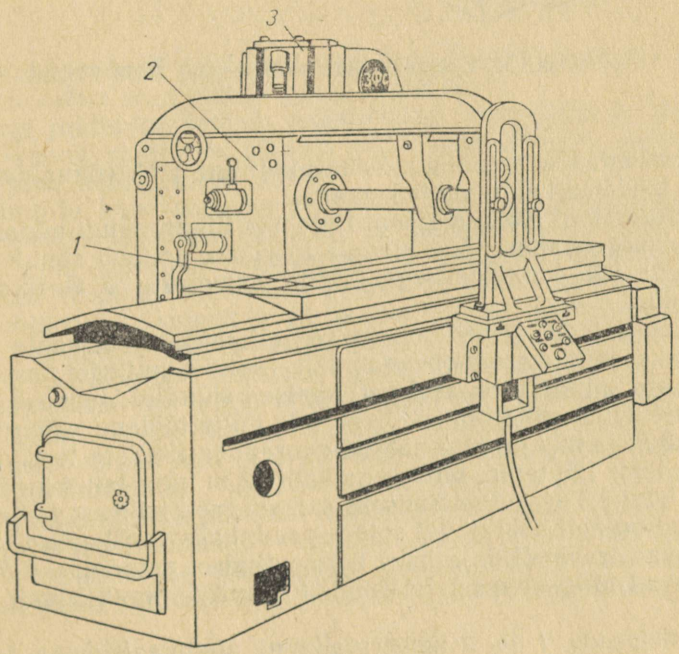
## Pikifreespingid

Horisontaalfreespinke valmistatakse mitmes erinevas mõõdus, mis võimaldab vastavalt töödeldava tooriku suurusele valida sobivate mõõtmetega töölauaga pingi.

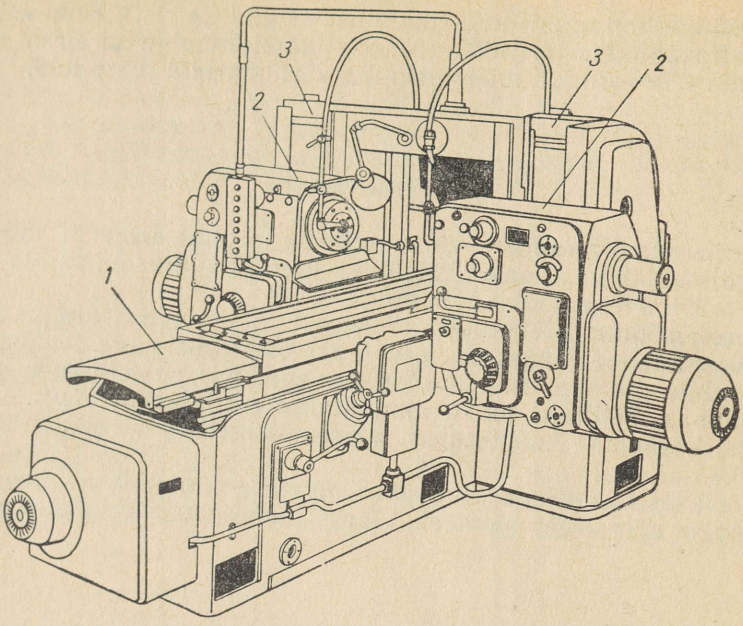
Suuremõõtmeliste pinkide konsooli ja töölaua tõstmine ning allalaskmine on ebamugav, seepärast on nendel pinkidel tõstetav konsooliga töölaud asendatud töölauaga, mis saab liikuda ainult pikisuunas. Selliseid pinke nimetatakse *pikifreespinkideks*.

Pikifreespinke kasutatakse suuremõõtmeliste toorikute töötlemiseks.

Joonisel 13 on kujutatud *ühesambaline* pikifreespink ühe horisontaalse spindliga, joonisel 14 aga *kahesambaline* pikifreespink




Joon. 13. Ühesambaline pikifreespink A662B




Joon. 14. Kahesambaline pikifreespink A662

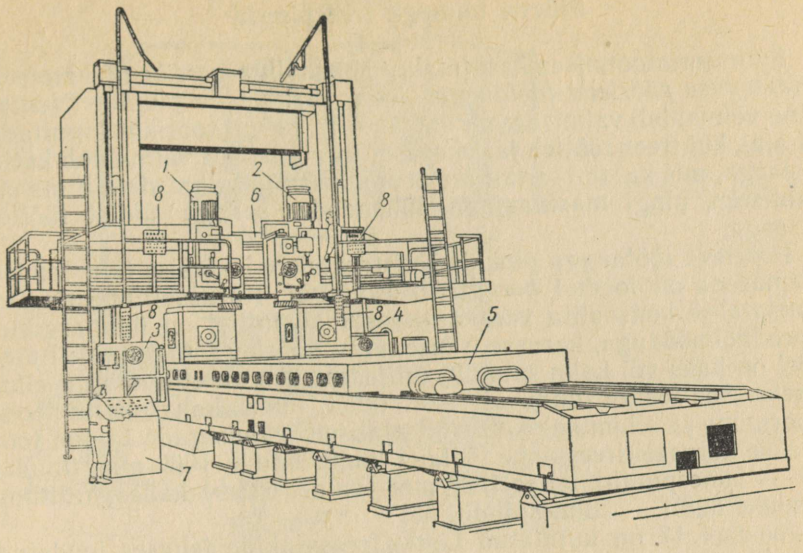
kahe horisontaalse spindliga. Kahespindliline pink võimaldab üheaegselt töödelda kahte pinda korraga.

Pikifreespingi töölaud (joon. 13 ja 14) liigub ainult pikisuunas. Freesi juurdetoomine töödeldavale toorikule toimub spindelpea *2* tõstmisega või langetamisega mööda sammaste *3* vertikaalseid juhtpindu.

Kui on vajadus töödelda samaaegselt rohkem kui kahte pinda, kasutatakse *mitme spindelpeaga* pikifreespinke, milledel peale horisontaalsete spindlite on veel vertikaalsed spindlid. Joonisel 15 on kujutatud nelja spindliga pikifreespink, mille töölaua mõõtmed on 3,6 × 1,2 *m* ja mis on ette nähtud suuregabariidiliste toorikute — kaaluga kuni 120 tonni, pikkusega kuni 12 m ning laiusega ja kõrgusega kuni 3,6 m — töötlemiseks samaaegselt kolmest küljest.

Pingil on neli pööratavat spindelpead, kaks vertikaalset *1* ja *2*, mis asuvad traversil *6*, ja kaks horisontaalset spindelpead *3* ja *4*, mis asuvad külgsammastel. Pingi töölaud *5* liigub ainult pikisuunas.

Spindelpeade *1* ja *2* ümberseadmine vertikaalsuunas toimub traversi *6* nihutamisega mööda pingi sambaid, ristsuunas (külgsuunas) spindelpeade nihutamisega piki traversit *6*.




Joon. 15. Neljaspindliline pikifreespink 6682

Spindelpeade *3* ja *4* ümberseadmine vertikaalsuunas toimub nende nihutamisega mööda pingi sambaid.

Pingi juhtimine toimub tsentraalsest juhtpuldist *7*. Spindlite häälestamine vajalikule pöörete arvule toimub igale spindelpeale paigutatud käepidemete abil.

Spindlite käivitamiseks ja seiskamiseks, töölaua, traversi ja spindelpeade töökäigu ettenihke ja kiirendatud ettenihke (kiirkäigu) ning jahutussüsteemi sisse- ja väljalülitamiseks vahetult töökohalt on pingil kaks nupp-paneeli ja kaks rippuvat paneeli *8*. mis dubleerivad üksteist ja on paigutatud iga spindelpea juurde.

Pikifreespinke valmistatakse Nõukogude Liidus mitmes suuruses, alates väikestest pinkidest (joon. 13 ja 14) töölaua mõõtmetega 450×1600 *mm* ja lõpetades gigantsete pinkidega (joonis 15). Spindelpead võivad olla asetatud horisontaalselt või vertikaalselt, peale selle võivad nad olla pööratavad, võimaldades töödelda ka toorikute kaldpindu. Selliseid pinke valmistatakse eritellimuste järgi spindlite arvuga, mis vastab töödeldavate pindade arvule. Moskva tehases «Krasnõi Proletari» kasutatakse treipingi sängi kõikide juhtpindade üheaegseks töötlemiseks üheksa spindliga pikifreespinki, millesse võib üles seada kuni 17 erinevat freesi.

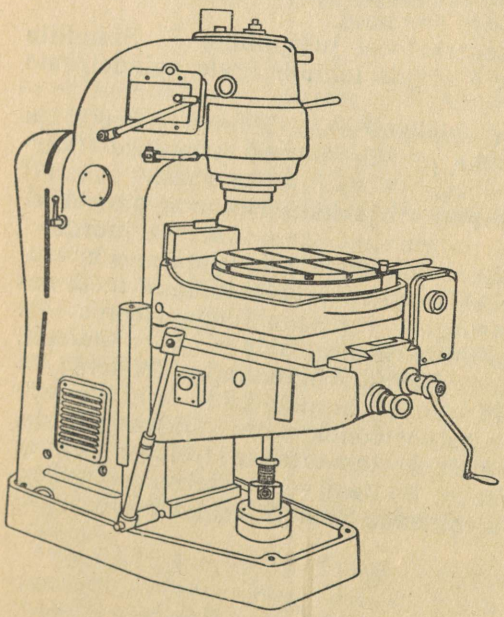
## Pideva toimega freespingid

Suurseeriatootmises kasutatakse konsooliga *vertikaalfreespinke ümmarguse pöörleva töölauaga* (joon. 16). Nende pinkide kasutamine võimaldab valmisdetaili maha võtta ja uut toorikut kinnitada sel ajal, kui frees töötleb järjekordset toorikut. See võimaldab katta käsiaega, mis kulub tooriku ülesseadmiseks ja valmisdetaili mahavõtmiseks, pingi masinaajaga, lühendades sellega üldist töötlemisaega.

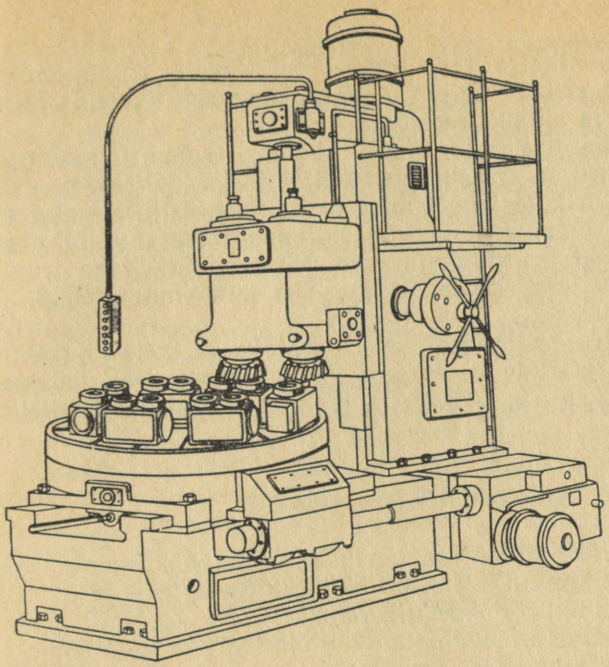
Pöörleva töölauaga pinkide konstruktsiooni edasise täiustamise tulemusena on loodud *karussellfreespingid*. Karussellfreespingiks nimetatakse konsoolita vertikaalfreespinki, millel on ümmargune, suure läbimõõduga, karusselli meenutav pöörlev töölaud. Neil pinkidel on kaks või kolm spindlit, milledest üks on ette nähtud silumiseks. See tõstab tunduvalt tootlikkust, kuna kaks operatsiooni (koorimine ja silumine) kattuvad ajaliselt. Nõukogude Liidus toodetakse karussellfreespinke töölaua läbimõõduga 1000 mm (mudel 621 — kahespindliline) ja 1500 mm (mudel 623 — kahespindliline ja mudel 623B — kolmespindliline).

Joonisel 17 on kujutatud Gorki freespinkide tehases toodetud kahespindliline karussellfreespink mudel 621.

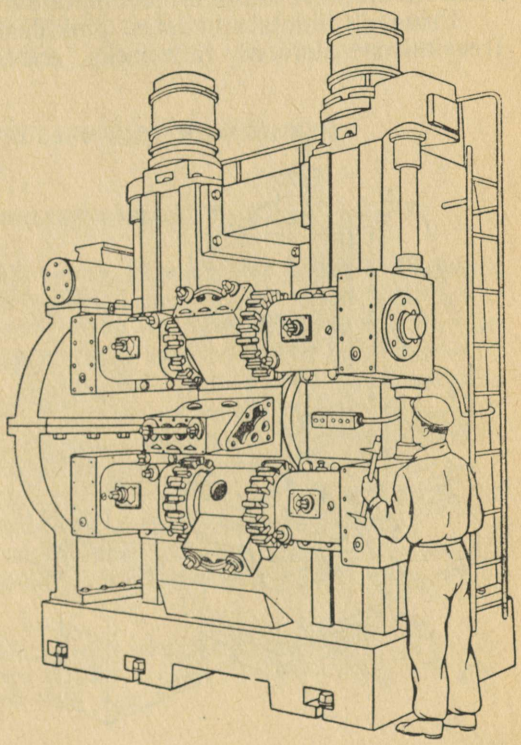
Tooriku mõlema otsa üheaegseks pidevaks töötlemiseks kasutatakse trummelfreespinke. Trummelfreespingis (joon. 18) kinnita-



Joon. 16. Ümmarguse töölauaga vertikaalfreespink



Joon. 17. Kahespindliline karussellfreespink 621



Joon. 18. Trummelfreespink 6021

takse toorik horisontaalse telje ümber pöörlevale trummeltüüpi töölauale selliselt, et mõlemaid otsi võib üheaegselt töödelda järjekorras koorimis- ja silumisfreesiga.

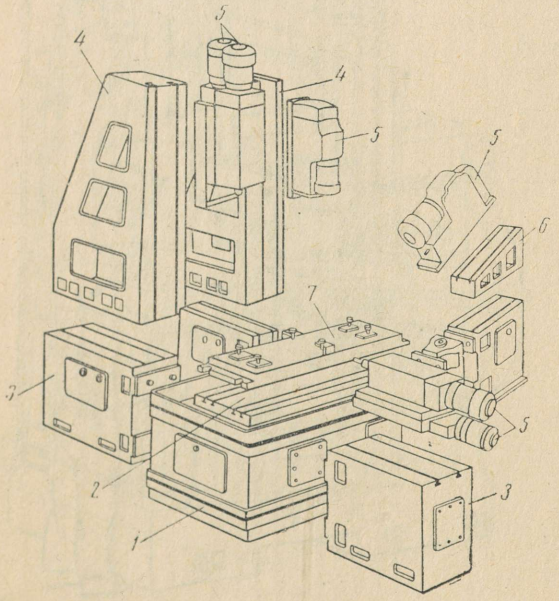
Tooriku mõlema otsa üheaegsel töötlemisel trummelfreespingis on tootlikkus karussellfreespingis töötlemisega võrreldes kaks korda suurem. Toorikute kinnitamist ja valmisdetailide mahavõtmist teostatakse trummelfreespingis töötlemisprotsessi vältel pidevalt. Trummelfreespinke valmistatakse Nõukogude Liidus trumli läbimõõduga 1000 mm (mudel 6021), 650 mm (mudel 6022) ja 900 mm (mudel 6023).

Karussell- ja trummelfreespinke kasutatakse autode ja traktorite korpustüüpi detailide suurseeria- ja masstootmisel tehastes ЗИЛ, МЗМА, ГАЗ, МАЗ, ХТЗ, ЛТЗ, ВТЗ, Zavolžski mootoritehases jm.

## Spetsiaalsed freespingid

Freespinkidel võib küllaldase täpsusega töödelda igasuguseid pindu. Konsool- ja konsoolita freespinke, pikifreespinke ja pideva toimega freespinke nimetatakse *üldotstarbelisteks* freespinkideks. Neid kasutatakse kõige erinevamate detailide toorikute töötlemisel.

Erinevalt üldotstarbelistest pinkidest kasutatakse teatud kindla freesimisoperatsiooni täitmiseks *eriotstarbelisi* freespinke. Siia




Joon. 19. Agregaatfreespink:
*1* — kere; *2* — töölaud; *3* — alus; *4* — sammas; *5* — jõupea; *6* — kaldvaheplaat; *7* — kinnitusrakis

hulka kuuluvad hambafreespingid, keermefreespingid, kiilusoone töötlemise freespingid jt.

Käesoleval ajal juurutatakse käsikäes suurseeria- ja masstootmise arenguga tootmisse laialdaselt freespinke, mis on määratud ainult kindla konfiguratsiooniga detailide töötlemiseks. Need pingid on suure tootlikkusega ja tihti automaatjuhtimisega. Erinevalt eriotstarbelistest pinkidest nimetatakse neid *spetsiaalseteks* freespinkideks. Spetsiaalsete freespinkide hulka kuuluvad ka freespingid, mida kasutatakse kellatööstuses; puuride, keermepuuride, freeside ja hõõritsate freesimisel; auto-, traktori- ja pingiehitustööstuses automaat- ja vooluliinides; kopeerfreespingid jt.

Koos tehnika kiire arenguga muutub pidevalt toodete konfiguratsioon, mille tõttu spetsiaalseid freespinke, mida erinevalt üldotstarbelistest freespinkidest ei saa ümber häälestada meelevaldse tooriku töötlemiseks, ei ole alati otstarbekas kasutada.

Viimastel aastatel hakatakse üha laialdasemalt kasutama nn. *agregaatfreespinke*. Agregaatpingid koosnevad vahetatavaist unifitseeritud sõlmedest (agregaatidest), milliseid saab kohandada vastavalt valmistatava detaili konfiguratsioonile ja töödeldavate pindade asetusele. Üleminekuks üht tüüpi tooriku töötlemiselt teist tüüpi toorikule on tarvis ainult vahetada või ümber kohandada agregaatpingi üksikud sõlmed. Agregaatfreespink on kujutatud joonisel 19.

## § 4. KONSOOLFREESPINKIDE PÕHISÕLMED

### Horisontaalfreespingid

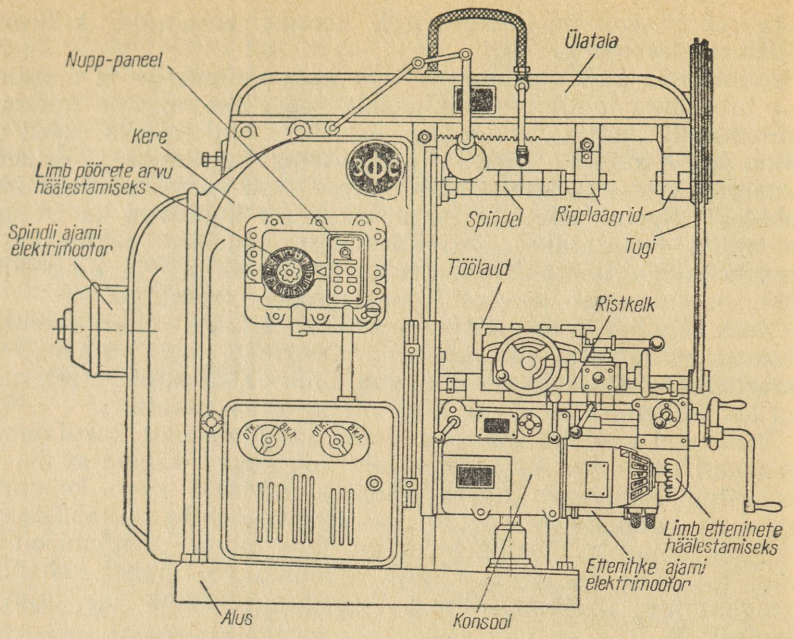
Joonisel 20 on kujutatud Gorki freespinkide tehases toodetud horisontaalfreespingi 6M82Г* põhisõlmed. Pink kuulub teise mõõtmegammasse, konstruktiivselt on ta sarnane horisontaalfreespingiga 6M83Г, mis kuulub kolmandasse mõõtmegammasse. Seeria M pinke hakati tootma 1960. aastal. Neid pinke võib meie tehastes sageli kohata. Pingi 6M82Г põhjalik tundmine võimaldab kiiresti omandada vilumust töötamiseks ka teistel sama tüüpi horisontaalfreespinkidel, sest nende põhisõlmed erinevad omavahel vähe.

Kõik pingi sõlmed ja detailid on vahetatavad, välja arvatud kiilud ja mõned juhtpinnad, mis sobitatakse kaabitsemisega.

Pingi alus on valatud hallmalmist ning tema pealmine ja alumine pool on täpselt hööveldatud. Aluse peale on poltidega kin-

---

* Pink 6M82Г erineb väliselt varem toodetud mudelist 6H82Г, millel puudub pikiettenihke käsiratas töölaua esiküljel; tal on pisut erinevad spindli pöörlemiskiiruste ja töölaua ettenihete read.




Joon. 20. Horisontaalfreespingi 6M82Г põhisõlmed

nitatud pingi kere; alumise poolega toetub alus põrandale. Aluses on küna jahutusvedelikule, mis valgub sinna töölaualt mööda torusid. Alusele on monteeritud veel jahutusvedeliku pump jahutusvedeliku pumpamiseks künast lõikeriista juurde.

Kere külge on kinnitatud kõik pingi sõlmed ja mehhanismid. Mõned pingi sõlmed (kiiruste kast, spindel, elektrimootor rihmülekandega, mehhanism liikumise ülekandeks ettenihete kastile) on paigutatud kere sisse ega ole nähtavad. Teised pingi sõlmed (konsool, ettenihete kast, ülatala, töölaud, jahutusvedeliku pump) asuvad kere väliskülgedel.

Kere on karbikujuline ja seestpoolt ribidega tugevdatud. Kere esiseinas asetsevad vertikaalsed kalasabakujulised juhtpinnad konsoolile ja peal horisontaalsed juhtpinnad ülatalale.

Ülatala on nii horisontaal- kui ka universaalfreespingil ja ta ülesandeks on tagada freestorni õige asend ülesseadmisel ja teda toetada. Ülatala on paigutatud kere ülemises osas asuvatele juhtpindadele ja teda võib kinnitada meelevaldsele kaugusele, s. t. võib saada meelevaldset *väljaulatust* (vt. joon. 10). Raskete detailide töötlemisel ja suure ristlõikega laastu võtmisel kasutatakse pingi jäikuse tõstmiseks tuge, mis seob ülatala konsooliga.

Konsool kujutab endast jäika malmist valatud detaili, mis liigub piki freespingi kere vertikaalseid juhtpindu. Konsooli ülemises osas on juhtpinnad ristkelgule. Konsool toetub jalale, milles asub teleskoopiline käigukruvi konsooli tõstmiseks ja langetamiseks. Konsooli jäikus ja juhtpindade täpsus omavad pingi töös esmajärgulist tähtsust. Konsoolil on kaks polti tugede kinnitamiseks, mis seovad konsooli ülatalaga. Tugede ülesandeks on pingi stabiilsuse tõstmine suure koormusega töötamisel.

Ristkelk on vahelüliks konsooli ja pingi töölaua vahel. Ristkelgu ülemisel osal on juhtpinnad, milledel töölaud liigub pikisuunas. Ristkelgu alumisel osal on juhtpinnad, milledega ta toetub konsooli ülemisel osal olevaile juhtpindadele, mida mööda ristkelk liigub ristsuunas.

Töölaud toetub ristkelgu ülemisel osal asuvaile juhtpindadele, milledel ta liigub pikisuunas. Töölaua ülemisele pinnale kinnitatakse toorikud ning kinnitus- ja muud rakised. Selleks on töölaua ülemine pind (tööpind) varustatud T-kujuliste soontega.

Töölaua, ristkelgu ja konsooli liikumiste tulemusena võib toorik liikuda freesi suhtes kolmes suunas: piki-, rist- ja vertikaalsuunas.

Konsoolfreespinkidel on töölaua, ristkelgu ja konsooli nihutamist võimalik teostada kas käsitsi või mehaaniliselt.

Pingi seadistamisel ja töölaua tühikäigul kasutatakse kas käsi- või mehaanilist ettenihet, töökäigul mehaanilist ettenihet.

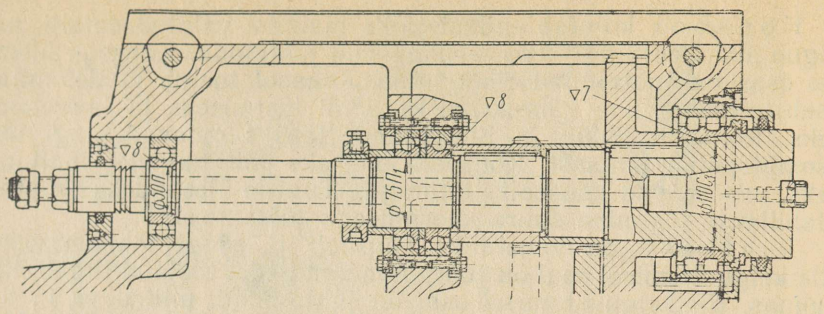
Peale tööettenihke on töölaual tavaliselt veel *kiirkäik* (kiirendatud ettenihe) kõigis kolmes suunas — piki-, rist- ja vertikaalsuunas tooriku freesi juurde toomiseks ja eemaldamiseks.

Kiirkäigul on ainult üks kiirus, tööettenihkel aga mitu kiirusastet, mis valitakse ettenihete kasti kaudu olenevalt töötlemise iseloomust ning freesi ja tooriku materjalist.

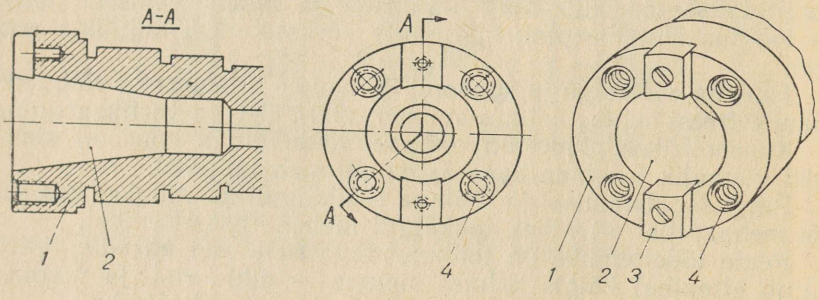
Spindel. Spindli kaudu kantakse pöörlev liikumine üle lõikeriistale. Spindel saab pöörleva liikumise kiiruste kastist. Spindli valmistamise täpsusest ja tema jäikusest oleneb spindlisse kinnitatud freestorni pöörlemise täpsus. Freespinkide spindlid valmistatakse legeeritud terasest 40X ja töödeldakse termiliselt.

Joonisel 21 on kujutatud freespingi 6M82Г spindel. Tal on kolm tugipinda rull- ja kuullaagritele. Eriti täpselt on töödeldud spindli esiots ja kooniline pesa, s. o. koht lõikeriista ja freestorni spindlisse paigutamiseks ja kinnitamiseks.

Freespingi 6M82Г spindli esiots on kujutatud joonisel 22. Sisemine koonus *2*, millesse paigutatakse freestorni saba, on valmistatud järsu koonusega. Freestorn saab pöörlemise kaasaveonukkide *3* kaudu, mis on kruvidega kinnitatud spindli otspinna väljalõigetesse. Freespea kinnitatakse spindli otsa kruvidega, mis keeratakse keermestatud avadesse *4* ja tsentreeritakse spindli esiosaga *1*. Tsentreerimiseks kasutatakse spetsiaalset torni, mille üks ots asetatakse spindli pessa *2*, teisele otsale aga pannakse freespea.




Joon. 21. Pingi 6M82Г spindel




Joon. 22. Kodumaiste freespinkide spindli esiots

Kodumaiste freespinkide spindlite otsad (joon. 22) on standardiseeritud.

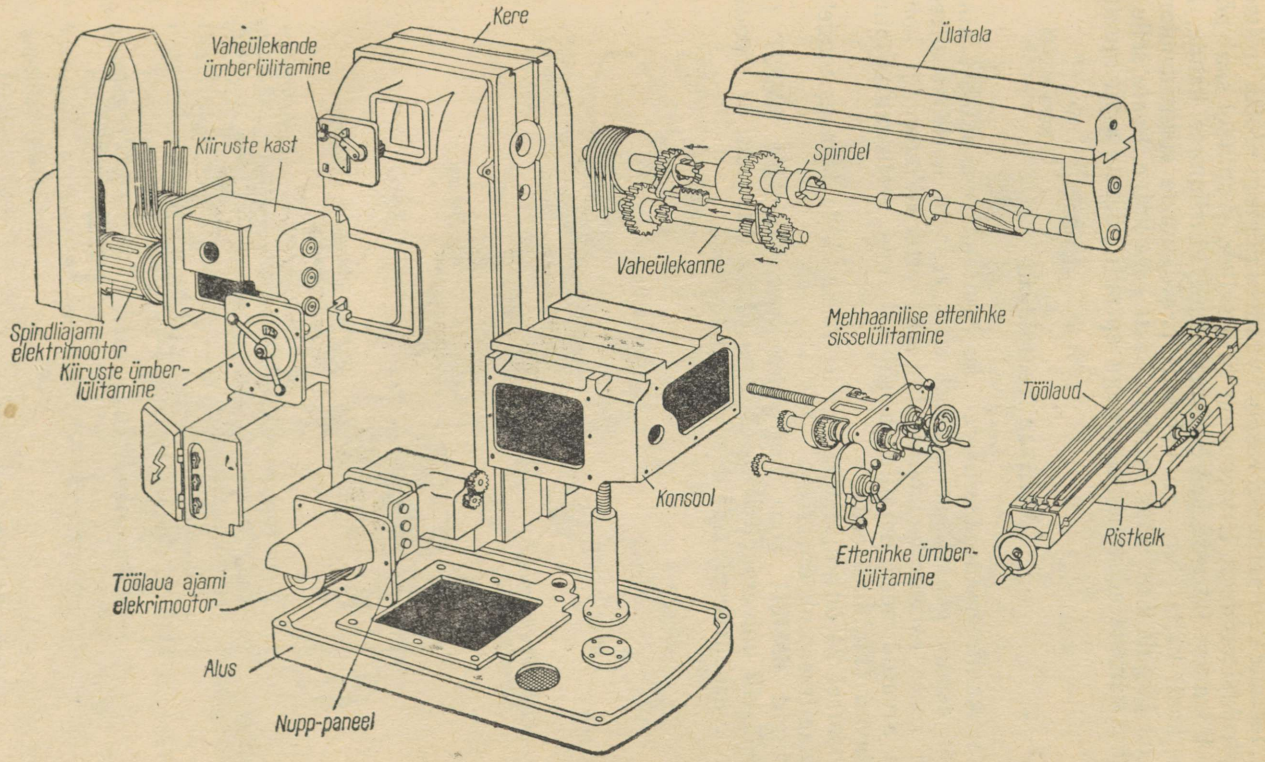
Spindel saab pöörleva liikumise pingi keres asuvalt elektrimootorilt rihmajami ja kiiruste kasti kaudu. Tänu sellele, et elektrimootor asub pingi keres, on tagatud ohutud töötingimused ja kokku hoitud põrandapinda.

Kiiruste kasti ülesandeks on rihmarattalt spindlile pöörleva liikumise ülekandmine ja ümberlülimise teel spindli pöörete arvu muutmine.

Töölaud saab ettenihkeliikumise konsoolisse paigutatud elektrimootorilt ettenihete kasti kaudu.

Ettenihete kasti ülesandeks on töölauale ettenihke andmine ja selle muutmine vertikaal-, piki- ja ristsuunas. Kaasaegsed konsoolfreespingid omavad sarnaselt pingile 6M82Г eraldi elektrimootoreid kiiruste kasti ja ettenihete kasti käitamiseks.

Joonisel 23 on kujutatud Dmitrovi tehases toodetud horisontaalfreespink 6H81Г. Ta kuulub esimesse mõõtmegammasse. Selle




Joon. 23. Horisontaalfreespingi 6H81Г põhisõlmed

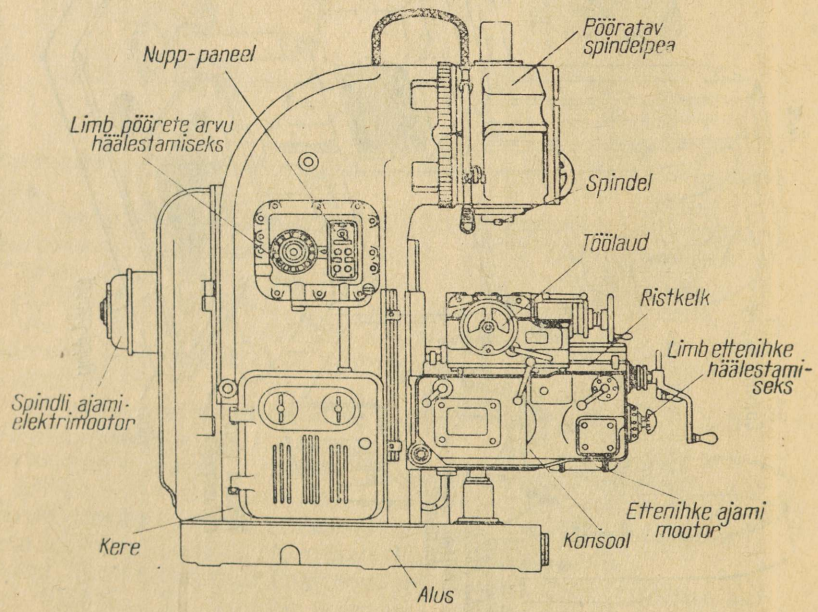
pingi kõik põhisõlmed ja mehhanismid (alus, kere, ülatala, konsool, töölaud) on sarnased eespool vaadeldud pingi 6M82Г sõlmede konstruktsioonidega. Erinevus on vaid selles, et spindel saab pöörleva liikumise kiiruste kasti rihmarattalt kiilrihmade kaudu, kiiruste kasti käitatakse aga vahetult pealiikumise elektrimootorilt, mis on jäigalt kinnitatud kiiruste kasti kere külge. Peale selle on spindel varustatud vaheülekandega spindli pöörete arvu muutmiseks.

## Vertikaalfreespingid

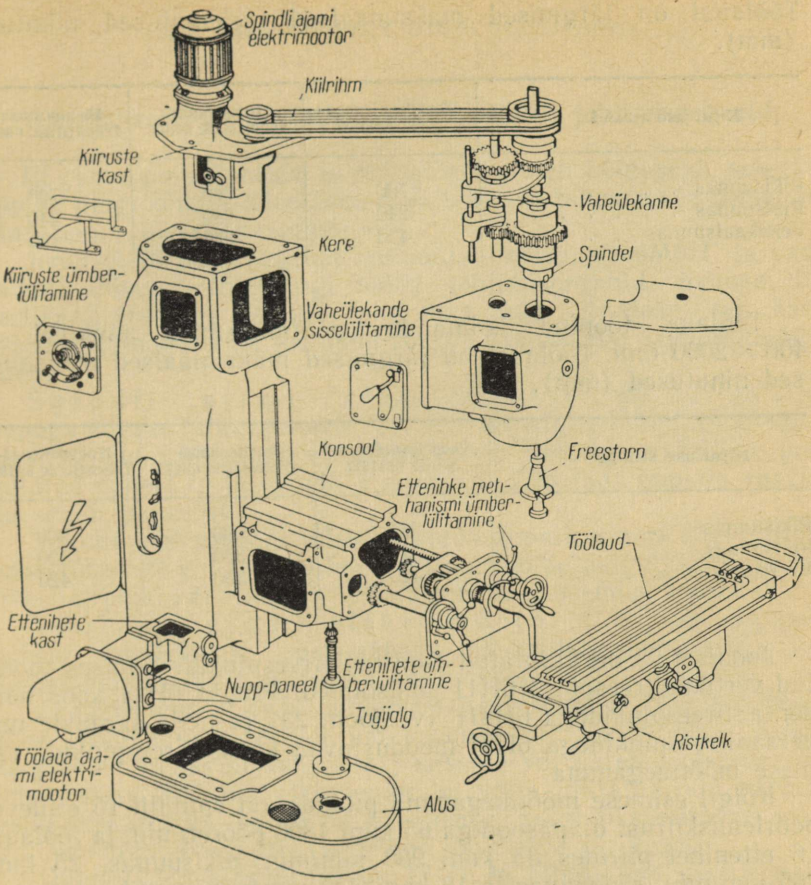
Vertikaalfreespingid erinevad horisontaalfreespinkidest ainult spindli asendi poolest, sellepärast kõik eespool horisontaalfreespingi kohta esitatu on kohaldatav ka vertikaalfreespingi kohta, välja arvatud need detailid ja sõlmed, mis vertikaalfreespingil puuduvad (ülatala, toed).

Joonisel 24 on kujutatud Gorki freespinkide tehases toodetud vertikaalfreespink 6M12П.

Pingid 6M12П koos horisontaalfreespinkidega 6M82Г (vt. joon. 7) või universaalfreespinkidega 6M82 (vt. joon. 8) moodustavad konsoolfreespinkide teise mõõtmegamma.




Joon. 24. Vertikaalfreespingi 6M12П põhisõlmed




Joon. 25. Vertikaalfreespingi 6H11 põhisõlmed

Kõigil teise mõõtmegamma pinkidel on spindlil 18 erinevat pöörlemiskiirust diapasooniga 31,5 kuni 1600 pööret/min. ja töölaual 18 ettenihet piirides 25 kuni 1250 mm/min. piki- ja ristsuunas ning 8,3 kuni 400 mm/min. vertikaalsuunas.

Töölaua kiirendatud ettenihe on 3000 mm/min. piki- ja ristsuunas ning 1000 mm/min. vertikaalsuunas.

Kolmanda mõõtmegamma pinkidel on samad spindli pöörlemiskiirused, ettenihked ja kiirendatud ettenihe, mis teise mõõtmegamma pinkidel.

Töölaua tööpind teise mõõtmegamma pinkidel on 320×1500 mm.

Töölaual on järgmised maksimaalsed mehaanilised nihutused (mm).

| Nihutuse suund | Vertikaalfreespink 6M12П | Universaalfreespink 6M82 | Horisontaalfreespink 6M82Г |
|---|---|---|---|
| Pikisuunas | 700 | 700 | 700 |
| Ristsuunas | 240 | 240 | 240 |
| Vertikaalsuunas | 420 | 380 | 420 |

Töölaua tööpind kolmanda mõõtmegamma pinkidel on 400 × 2000 mm. Töölaual on järgmised maksimaalsed mehaanilised nihutused (mm).

| Nihutuse suund | Vertikaalfreespink 6M13П | Universaalfreespink 6M83 | Horisontaalfreespink 6M83Г |
|---|---|---|---|
| Pikisuunas | 900 | 900 | 900 |
| Ristsuunas | 320 | 320 | 320 |
| Vertikaalsuunas | 420 | 350 | 420 |

Joonisel 25 on kujutatud Dmitrovi freespinkide tehases toodetud vertikaalfreespingi 6H11 põhisõlmed. Pingid 6H11 koos horisontaalfreespinkidega 6H81Г (vt. joon. 23) ja neile sarnaste universaalfreespinkidega 6H81 moodustavad konsoolfreespinkide esimese mõõtmegamma.

Kõigil esimese mõõtmegamma pinkidel on spindlil 16 erinevat pöörlemiskiirust diapasooniga 65 kuni 1800 pööret/min. ja töölaual 16 ettenihet piirides 35 kuni 980 mm/min. pikisuunas, 25 kuni 765 mm/min. ristsuunas ja 12 kuni 830 mm/min. vertikaalsuunas. Kiirendatud ettenihked on vastavalt 2900, 2300 ja 1150 mm/min.

Töölaua tööpind esimese mõõtmegamma pinkidel on 250 × × 1100 mm. Töölaual on järgmised maksimaalsed mehaanilised nihutused:

| Nihutuse suund | Vertikaalfreespink 6H11 | Universaalfreespink 6H81 | Horisontaalfreespink 6H81Г |
|---|---|---|---|
| Pikisuunas | 560 | 560 | 560 |
| Ristsuunas | 190 | 190 | 190 |
| Vertikaalsuunas | 350 | 340 | 350 |

## Konsoolfreespinkide 6M82Г, 6M82, 6M12П juhtimisorganid

Et osata pinki juhtida ja häälestada, tuleb kõigepealt selgeks õppida pingi kõikide käepidemete ja hoobade tähendus ja ülesanne ning nende õigesti kasutamine.

Joonisel 26 on kujutatud horisontaalfreespingi 6M82Г ja vastavalt universaalfreespingi 6M82 juhtimisorganid, joonisel 27 vertikaalfreespingi 6M12П juhtimisorganid. Analoogilised käepidemed ja hoovad on joonistel 26 ja 27 tähistatud samade numbritega.

Spindli ajami elektrimootor *10* käivitatakse nupuga «пуск» lülituspaneelilt *22*, mis on paigutatud pingi kiiruste kasti küljele. Lülituspaneeli *22* dubleerib ristkelgu esiküljele paigutatud paneel *15* ja spindli ajamit võib käivitada nupuga «пуск» ka sellelt paneelilt.

Spindli seiskamiseks tuleb vajutada nupule «стоп» ühel lülituspaneelidest *22* või *15*. Selline lülituspaneelide paigutus võimaldab freesijal pinki käivitada ja seisata mistahes asendist töökohal.

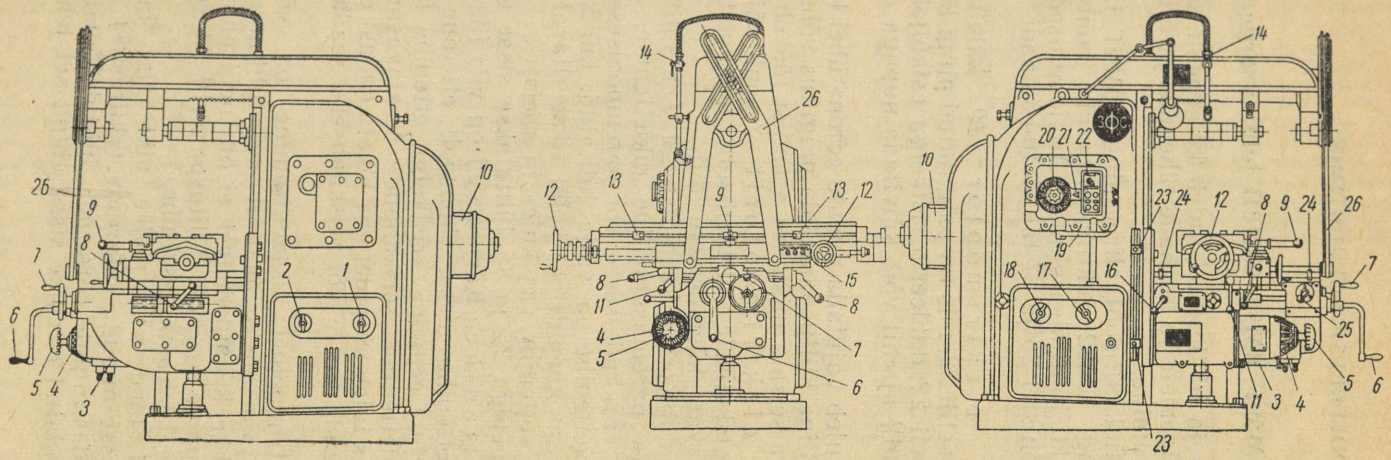
Töölaua ajami elektrimootorit *3* saab käivitada kahelt dubleerivalt spetsiaalselt elektriliselt seadmelt, nn. komandoaparaadilt, vastavate käepidemete abil.

Käepidemega *9* (või dubleeriva käepidemega *11*) lülitatakse sisse töölaua vasaku- või paremasuunaline pikiettenihe, seades käepideme vastavalt kas vasakpoolsesse või parempoolsesse äärmisse seisu. Töölaua pikiettenihe on välja lülitatud, kui käepide asub keskasendis. Seega on käepidemel kolm fikseeritavat asendit: «ettenihe paremale», «ettenihe vasakule» ja «seis».

Dubleerivate käepidemetega *25* ja *16* lülitatakse sisse töölaua rist- ja vertikaalettenihe. Käepidemel on viis fikseeritavat asendit: «konsooli ettenihe üles», «konsooli ettenihe alla», «ristkelgu ettenihe freesijast eemale», «ristkelgu ettenihe freesija poole», «rist- ja vertikaalettenihke seiskamine». Vastavasuunalise ettenihke sisselülitamiseks tuleb käepidet kas lükata endast eemale, üles või alla, tõmmata enda poole või seiskamiseks seada keskseisu.

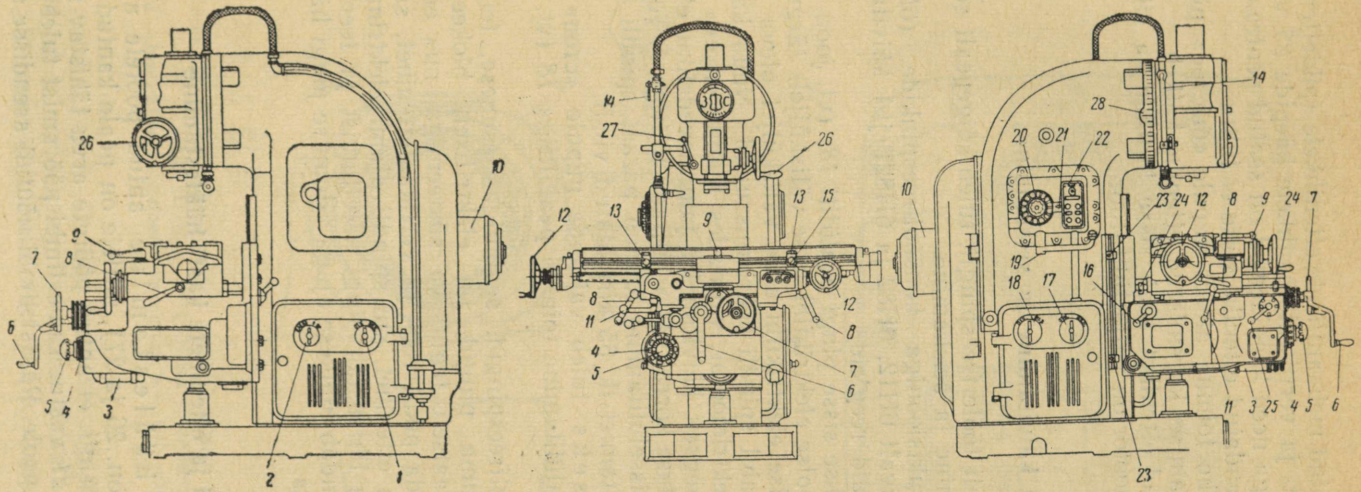
Töölaua ajami elektrimootori sisselülitamine on võimalik ainult pärast spindli ajami elektrimootori sisselülitamist. Kui mõni mehaanilise ettenihke käepidemetest ei ole neutraalasendis «стоп», siis, vajutades nupule «пуск» (lülituspaneelil *22* või *15*), lülitub samaaegselt sisse ka vastav ettenihe.

Töölaua kiirendatud ettenihe piki-, rist- ja vertikaalsuunas lülitatakse sisse nupuga «быстро» («kiiresti») lülituspaneelilt *22* või *15*. Surudes nupule «быстро», lülitub töölaua ristkelgu või konsooli kiirendatud ettenihe sisse ainult sel juhul, kui




Joon. 26. Horisontaalfreespingi 6M82Г juhtimisorganid:

*1* — jahutusvedeliku pumba lüliti; *2* — lüliti spindli pöörlemise reverseerimiseks; *3* — töölaua ajami elektrimootor; *4* — ettenihete limb; *5* — ettenihete ümberlülitamise käepide; *6* — käepide töölaua käsitsi nihutamiseks vertikaalsuunas; *7* — käsiratas töölaua käsitsi nihutamiseks ristsuunas; *8* — käepide ristkelgu kinnisurumiseks; *9* — töölaua pikiettenihke käepide; *10* — spindli ajami elektrimootor; *11* — töölaua pikiettenihke dubleeriv käepide; *12* — käsiratas töölaua käsitsi nihutamiseks pikisuunas; *13* — käigupiirajad töölaua pikiettenihke automaatseks väljalülitamiseks; *14* — jahutusvedeliku kraan; *15* — nupp-paneel ristkelgu esiküljel; *16* — dubleeriv käepide rist- ja vertikaalettenihke sisselülitamiseks; *17* — pingi valgustuslüliti; *18* — pingi pealüliti; *19* — spindli kiiruste ümberlülitamise käepide; *20* — pöörete arvu limb; *21* — kiiruste kasti osuti; *22* — nupp-paneel spindli kiiruste ümberlülituskastil; *23* — käigupiirajad töölaua vertikaalettenihke automaatseks väljalülitamiseks; *24* — käigupiirajad töölaua ristettenihke automaatseks väljalülitamiseks; *25* — töölaua rist- ja vertikaalettenihke käepide; *26* — konsooli tugi




Joon. 27. Vertikaalfreespingi 6M1211 juhtimisorganid:

*1* — jahutusvedeliku pumba lüliti; *2* — lüliti spindli pöörlemise reverseerimiseks; *3* — töölaua ajami elektrimootor; *4* — ettenihete limb; *5* — ettenihete ümberlülitamise käepide; *6* — käepide töölaua käsitsi nihutamiseks vertikaalsuunas; *7* — käsiratas töölaua käsitsi nihutamiseks ristsuunas; *8* — käepide ristkelgu kinnisurumiseks; *9* — töölaua pikiettenihke käepide; *10* — spindli ajami elektrimootor; *11* — töölaua pikiettenihke dubleeriv käepide; *12* — käsiratas töölaua käsitsi nihutamiseks pikisuunas; *13* — käigupiirajad töölaua pikiettenihke automaatseks väljalülitamiseks; *14* — jahutusvedeliku kraan; *15* — nupp-paneel ristkelgu esiküljel; *16* — dubleeriv käepide rist- ja vertikaalettenihke sisselülitamiseks; *17* — pingi valgustuslüliti; *18* — pingi pealüliti; *19* — spindli kiiruste ümberlülitamise käepide; *20* — pöörete arvu limb; *21* — kiiruste kasti osuti; *22* — nupp-paneel spindli kiiruste ümberlülitamiskastil: *23* — käigupiirajad töölaua vertikaalettenihke automaatseks väljalülitamiseks; *24* — käigupiirajad töölaua ristettenihke automaatseks väljalülitamiseks; *25* — töölaua rist- ja vertikaalettenihke käepide; *26* — käsiratas spindli hülsi nihutamiseks; *27* — käepide spindli hülsi kinnipigistamiseks; *28* — pööratava spindelpea pöördenurga limb

vastav käepide on seatud mehaanilisele ettenihkele (pikiettenihkele käepide *9* või *11*; rist- ja vertikaalettenihkele käepide *25* või *16*) nõutud suunas. Kui aga need käepidemed on seatud neutraalasendisse «стоп», siis kiirendatud ettenihe sisse ei lülitu.

Kiirendatud ettenihe toimub ainult nupule «быстро» pidevalt surudes; nupu vabastamisel kiirendatud ettenihe katkeb.

Töölaua kiirendatud ettenihet saab sisse lülitada ka siis, kui spindli ajami elektrimootor on välja lülitatud.

## Pingi käivitamine ja seiskamine

Asudes esmakordselt tööle freespingil, tuleb kõigepealt selgeks õppida pingi käivitamine ja seiskamine.

Kaasaegse konstruktsiooniga konsoolfreespinkide (6M12П, 6M82, 6M82Г ja vastavalt 6H12, 6H82 ja 6H82Г jt.) käivitamisel tuleb täita alljärgnevaid reegleid.

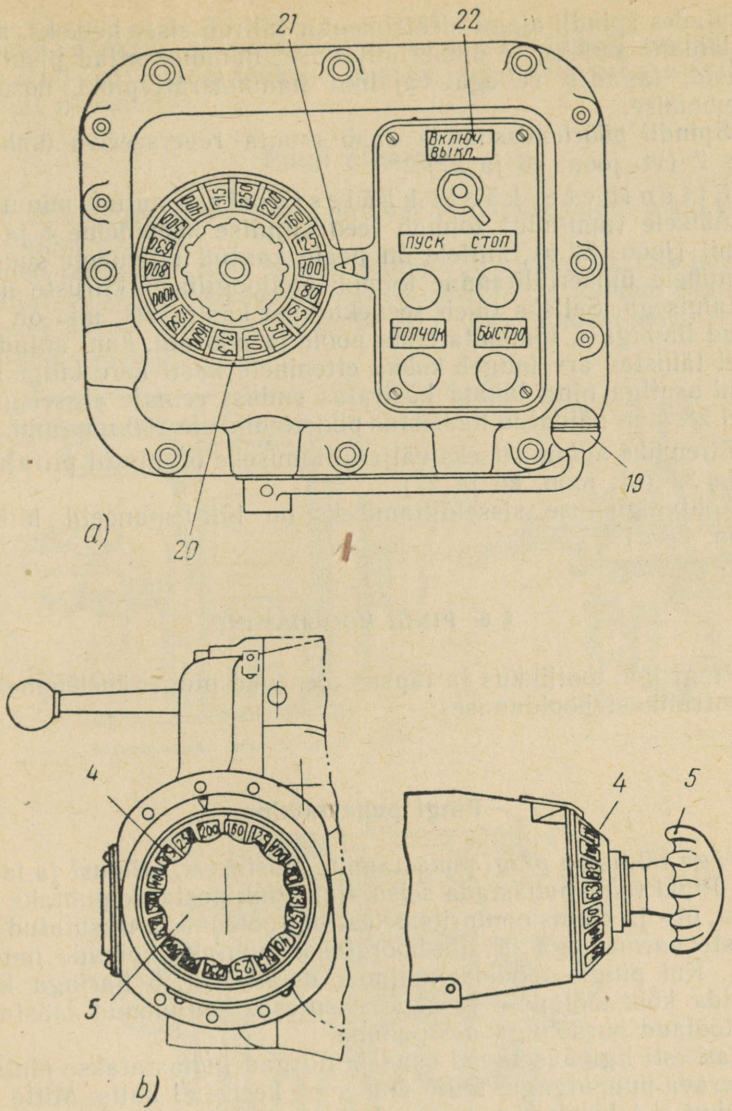
Kõigepealt lülitatakse sisse pingi pealüliti *18*, (vt. joon. 26 ja 27), mis asub vasakpoolse elektrikilbi ukse välisküljel. Järgnevalt määratakse parempoolse elektrikilbi ukse välisküljel oleva reverseeriva ümberlüliti *2* abil spindli pöörlemissuund. Nüüd käivitatakse spindli ajami elektrimootor, vajutades nupule «пуск» pingi lülituspaneelil. Samaaegselt käivitub ka jahutusvedeliku elektripump, mille võib vajaduse korral välja lülitada lülitiga *1*. Töölaua ajami elektrimootori sisselülitamine toimub pärast spindli ajami elektrimootori sisselülitamist lk. 35 kirjeldatud viisil.

Pingi seiskamiseks tuleb vajutada nupule «стоп» lülituspaneelil. Pingi väljalülitamine toimub pealülitiga *18* (vt. joon. 26 ja 27).

Kaasaegsed konsoolfreespingid, sealhulgas esimese, teise ja kolmanda mõõtmegamma pingid, on elektriliselt blokeeritud, s. t. varustatud automaatselt tegutseva süsteemiga, mis ei lase üheaegselt sisse lülitada piki-, rist- ja vertikaalettenihet, samuti sisse lülitada töökäigu ettenihet, kui spindli ajami elektrimootor on välja lülitatud. See lihtsustab pingi käivitamist ja teeninda-mist ning freesija omandab lühikese ajaga vilumuse pingi hääles-tamiseks ja juhtimiseks.

## Kiiruste kasti ja ettenihete kasti häälestamine

Kiiruste kasti häälestamine antud pöörete arvule toimub limbi *20* (vt. joon. 26 ja 27), millele on peale kantud pöörete arvud, pööramisega nii, et antud pöörete arvu tähistav number limbil satuks osuti *21* vastu. Enne limbi pööramist tuleb käepidet *19* tõmmata enda poole. Pärast limbi nõutud asendisse sead-




Joon. 28. Konsoolfreespinkide 6M82Г, 6M82 ja 6M12П pöörete arvu häälestamine ja töölaua ettenihete suurused:
*a* — limb kiiruste ümberlülitamiseks; *b* — limb ettenihete ümberlülitamiseks

mist tuleb käepide *19* algasendisse tagasi viia. Joonisel 28, *a* on näidatud kiiruste kasti häälestus pöörete arvule 100 pööret/min. Lülituspaneelil asub veel nupp «толчок» («tõuge»), millele

vajutades spindli ajami elektrimootor lülitub sisse hetkeks, mis on küllaldane selleks, et ümberlülitamisel hammasrattad pisut pöörduksid, tagades sellega vajaliku hammasrattaploki normaalse hambumise.

Spindli pöörlemissuunda saab muuta reverseeriva ümberlülitiga *2* (vt. joon. 26 ja 27).

Ettenihete kasti häälestamine antud minutilisele ettenihkele (mm/min) toimub seenekujulise käepideme *5* ja limbi *4* abil (joon. 28, *b*), millele on peale kantud ettenihete suurused. Ettenihete ümberlülitamine toimub analoogiliselt kiiruste ümberlülitamisega. Selleks tuleb seenekujulist käsiratast, mis on ühendatud limbiga *4*, tõmmata enda poole ja pöörata, kuni antud ettenihet tähistav arv langeb kokku ettenihete kasti kere külge kinnitatud osutiga ning lükata käsiratas endast eemale algseisu. Joonisel 28, *b* on näidatud häälestus pikiettenihkele 200 mm/min.

Ettenihke automaatseks väljalülitamiseks on pingil piirajad *13*, *23* ja *24* (vt. joon. 26 ja 27).

Kohtvalgustuse sisselülitamiseks on lülituspaneelil lüliti *22* (joon. 28, *a*).

## § 6. PINGI HOOLDAMINE

Pingi iga, tootlikkus ja täpsus olenevad pingi tähelepanelikust ja korralikust hooldamisest.

### Pingi puhastamine

Väga tähtis on pingi puhastamine mustusest, tolmust ja laastudest. Pinki tuleb puhastada seisu ajal. Pink pestakse puhtaks mustusest, õli- ja emulsioonipritsmetest petrooleumiga niisutatud puuvillaste narmastega ja siis hõõrutakse puhtaks kuivade narmastega. Kui pingis töödeldi malmist detaile, tuleb harjaga kokku pühkida kõik töölauale ja selle soontesse kogunenud laastud ja siis töölaud suruõhuga üle puhuda.

Raskesti ligipääsetavad osad ja nurgad puhastatakse pintsliga või terava puupulgaga, mille ümber on keeratud kalts. Mitte mingil juhul ei tohi pingi puhastamiseks kasutada metallesemeid ega smirgelpaberit.

Puhkepäeva eel tuleb kogu pink, sealhulgas ka pingi töötlemata osad, puhtaks hõõruda petrooleumiga niisutatud kaltsuga ja siis roostetamise kaitseks korralikult õlitada.

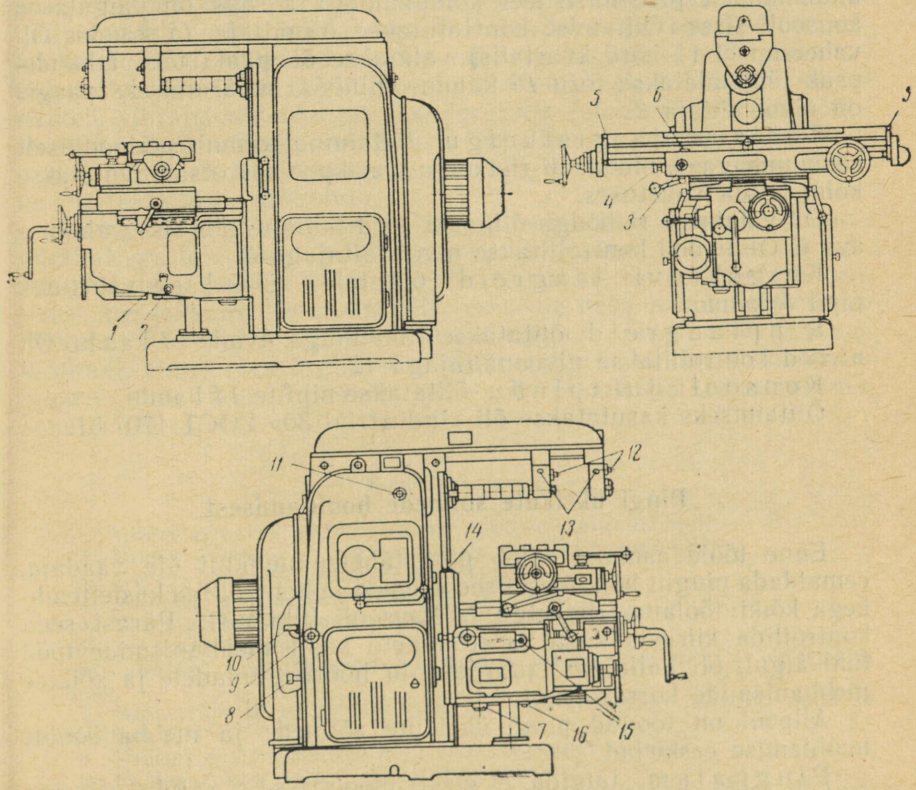
Pärast pingi puhastamist tuleb kõik kasutatud narmad ja kaltsud koguda erikasti. Eriti tuleb jälgida, et kaltsud ja narmad ei jääks pingi liikuvatele osadele.

Enne vahetuse üleandmist, s. t. enne töö lõppu, on tööline kohustatud korrastama töökoha ja selle järgmisele vahetusele korrastatult üle andma.

## Pingi õlitamine

Järjekindel pingi töötavate pindade õlitamine tagab pingi täpse töö ja pika ea.

Tuleb jälgida, et kõik niplid, õliavad ja torukesed, mis juhivad õli õlitatavaisse punktidesse, oleksid puhtad ja kaetud kaanega, mis tuleb pärast õlitamist sulgeda. Kui kaas puudub, tuleb sellest teatada meistrile.




Joon. 29. Universaalfreespingi 6M82 ja horisontaalfreespingi 6M82Г õlitusskeem: *1* — konsooli õlipaagi õli sissevalamise ava; *2* — konsooli õlipaagi õlinivoo näitaja; *3* — ristkelgu õlipaagi õlinivoo näitaja; *4* — käsiõlipump; *5* — õlinippel; *6* — ristkelgu õlipaagi õli sissevalamise ava; *7* — konsooli õlipump; *8* — kere õlipaagi tühjendustoru; *9* — kere õlipaagi õlinivoo näitaja; *10* — kere õlipaagi õli sissevalamise ava; *11* — kiiruste kasti jugaõlinäitaja; *13* — ripplaagrite õlinivoo näitaja; *13* — ripplaagrite õlitusavad; *14* — õlinippel; *15* — konsooli õlipumba töötamise kontrollnäitaja; *16* — konsooli õlipaagi tühjendustoru

Joonisel 29 on esitatud universaalfreespingi 6M82 ja horisontaalfreespingi 6M82Г õlitusskeem.

Kiiruste kasti hammasrataste (paiskõlitus) ja laagrite (surveõlitus) õlitamine toimub automaatselt kolbpumbaga, mis asub pingi keres ja saab oma liikumise kiiruste kasti võllile kinnitatud ekstsentrikult. Õli valatakse pingi keresse paigutatud õlipaaki sissevalamise ava *10* kaudu kuni nivoonäitaja *9* keskjooneni. Kahevahetuselise töö korral tuleb õli aastas vahetada vähemalt neli korda. Õli väljalaskmiseks on paagil väljalasketoru *8*. Kiiruste kasti õlipumba tööd kontrollitakse juga-õlinäitaja *11* kaudu.

Ettenihete kasti mehhanismide õlitamine toimub automaatselt pritsimise teel kolbpumbaga *7*, mis on paigutatud konsooli sisse. Õlitamist kontrollitakse õlinäitaja *15* kaudu. Õli vahetamisel (1 kord kvartalis) valatakse õli paaki toru *1* kaudu, paak tühjendatakse toru *16* kaudu. Õlinivoo määramiseks paagis on nivoonäitaja *2*.

Töölaua ja ristkelgu õlitamine toimub perioodiliselt käsipumbaga *4*, mis asub ristkelgu vasakpoolses otsas. Õlitatakse kolm korda vahetuses.

Õli valatakse ristkelgu õlipaaki kord nädalas läbi sissevalamise ava *6*. Õlinivood kontrollitakse nivoonäitajaga *3*.

Käigukruvi laagreid õlitatakse üks kord vahetuses nipli *5* kaudu.

Ripplaagreid õlitatakse õlikannuga avade *13* kaudu. Õli nivood kontrollitakse nivoonäitajaga *12*.

Konsooli juhtpindu õlitatakse niplite *14* kaudu.

Õlitamiseks kasutatakse õli «Industrial 30» ГОСТ 1707-51.

## Pingi üksikute sõlmede hooldamisest

Enne tööle asumist tuleb pink tähelepanelikult üle vaadata, eemaldada pingilt kõik üleliigsed esemed ja kontrollida käsiettenihkega kõiki töölaua, ristkelgu ja konsooli liikumisi. Pärast seda kontrollida kiiruste kasti ja ettenihete kasti mehhanismide tööd tühikäigul, õli küllaldast juurdevoolu hõõrdepindadele ja kõikide mehhanismide korrasolekut.

Allpool on toodud pingi üksikute sõlmede ja mehhanismide hooldamise eeskirjad.

Pingi ajam. Jälgida, et elektrimootorisse ei satuks vett ega õli, et elektrimootorit ja pingi rihmaratast ühendavad rihmad oleksid õigesti pingutatud. Määrida elektrimootorit regulaarselt vastavalt instruktsioonile.

Kiiruste kast ja ettenihete kast. Varematel aastatel toodetud pinkide juures tuleb jälgida, et kiiruste ja ettenihete ümberlülitamisel käepidemed satuksid õigesse asendisse. Kaasaeg-

setel pinkidel tuleb kiiruste ja ettenihete ümberlülitamisel lülitavate hammasrataste hambumise kergendamiseks kasutada nuppu «толчок». Kiirusi ja ettenihkeid tohib ümber lülitada ainult siis, kui pink on välja lülitatud. Vahetushammasrataste vahetamisel peab tagama normaalse lõtku hammaste vahel: on lõtk suur, tekib töötamisel müra, väikese lõtku puhul on aga hammasrattad üle koormatud. Keelatud on pingi käivitamine koormuse all, kuna see võib põhjustada hammasrataste hammaste murdumist ja freesi hammaste nürinemist.

P i n g i t ö ö l a u d. Enne kruustangide, kinnitusrakise või tooriku ülesseadmist töölauale tuleb töölaud hoolega puhastada. Freesija peab alati meeles pidama, et töölaua korrasolekust oleneb freesimise täpsus Sellepärast on keelatud asetada töölauale ja tema juhtpindadele mitte mingisuguseid tööriistu ja esemeid, et ei tekiks murdeid, kriimustusi või teisi pinnavigastusi neil vastutusrikastel pingi osadel. Töötamisel pikiettenihkega tuleb konsool ja ristkelk vibratsiooni vältimiseks kinnitada (stoperdada). Kui töötlemisel esineb vibratsioon, saame lainelise ja kareda töödeldud pinna, juhtpinnad aga kuluvad kiiresti. Konsool tuleb stoperdada ka ristettenihkega töötamisel.

P i n g i s p i n d e l. Pingi spindel peab olema normaalselt pingutatud ega tohi pöörlemisel viskuda. Kui spindli kinnitus on lõdvenenud, tuleb sellest kohe teatada meistrile. Enne freestorni või freesi ülesseadmist tuleb spindli kooniline pesa hoolikalt puhtaks pühkida. Freestorni või freesi eemaldamisel spindlist on lubatud kasutada ainult messingist või vasest torni, kuna terastorni kasutamisel võib rikkuda spindli pesa või purustada freestorni või sabaga freesi otsa.

### Kontrollküsimusi

1. Milline erinevus on horisontaal- ja universaalfreespingil?
2. Milline erinevus on horisontaal- ja vertikaalfreespingil?
3. Mis on konsoolfreespinkide puuduseks?
4. Milliseid spetsiaalseid freespinke te teate?
5. Nimetage konsoolfreespinkide põhidetailid ja -sõlmed. Mis on nende ülesanne?
6. Jutustage selle freespingi käivitamise järjekorrast, millel te õpite pingi juhtimist.
7. Mitu erinevat pöörlemiskiirust on selle freespingi spindlil, mida te tundma õpite?
8. Millises suunas pöörleb horisontaalfreespingi spindel?
9. Kuidas muuta spindli pöörlemissuunda?
10. Millises suunas liigub töölaud pingil, mida te tundma õpite? Mitu erinevat ettenihet on sel pingil?
11. Asetage seenekujuline käepide ettenihete kastil kõige aeglasemale ettenihkekiirusele ja lülitage sisse mehaaniline pikiettenihe. Kui palju töölaud nihkub edasi ühes minutis? Sooritage sama vertikaal- ja ristsuunas.
12. Kuidas toimub töölaua liikumissuuna muutmine (vasakule, paremale: endast eemale ja enda poole)?

13. Milleks on käsiettenihke käepideme limbil jaotused?
14. Määrake limbi ühe jaotuse väärtus töölaua käsitsi pikiettenihkel. Sama vertikaal- ja ristettenihkel.
15. Mitme limbi jaotuse võrra tuleb pöörata töölaua vertikaaletteninke käepidet töölaua tõstmiseks 3, 4 ja 6 mm võrra?
16. Miks on vaja stoperdada ristkelk pikiettenihkega töötamisel?
17. Miks peab enne töö algust spindli koonilise pesa puhtaks pühkima? Kas võib pühkida õlise kaltsuga?
18. Millist õli kasutatakse freespingi õlitamiseks?
19. Kui tihti tuleb vahetada õli kiiruste kastis?
20. Mis juhtub pingi spindliga ja laagritega, kui neid ei õlitata regulaarselt? Mis juhtub, kui pinki õlitatakse küll regulaarselt, kuid niplite avad jäävad sulgemata?

III PEATÜKK

# ÜLDTEADMISI FREESIDEST

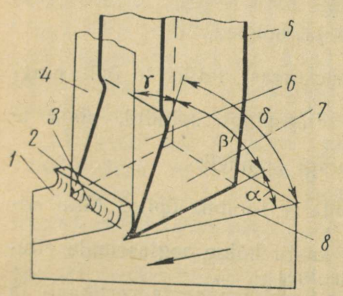
## § 7. FREESI ELEMENDID

### Lõiketera ja tema elemendid

Kõige lihtsamaks lõikeriistaks on tavaline lõiketera (joon. 30). Vaatleme tera elemente ja määrame nende nimetused.

Tera *5*, liikudes noole suunas, lõikub toorikusse *1* ja eraldab ta pinnalt laastu *2*. Tera pinda *6*, mida mööda libiseb eralduv laast *2*, nimetatakse *esipinnaks*.* Tera pinda *7*, mis on pööratud tooriku töödeldud pinna poole, nimetatakse *tagapinnaks*. Esipinna ja tagapinna lõikumisel moodustub *lõikeserv 3* (tera). Esitahu ja tagatahu vahelist nurka (kiilunurka) β (*beeta*) nimetatakse tera *teritusnurgaks*.

Töödeldud pinnaga ristioleva tasapinna *4* ja esitahu vahelist nurka nimetatakse *esinurgaks* ja tähistatakse tähega γ (*gamma*).




Joon. 30. Tera elemendid

* Kui vaadeldavad pinnad on tasapinnalised, võib neid nimetada ka *tahkudeks*. *Toim.*

Tera tagatahu *7* ja tooriku töödeldud pinna *8* vahelist nurka nimetatakse *taganurgaks* ja tähistatakse tähega α (*alfa*).

Nurkade α ja β summat (α + β) nimetatakse *lõikenurgaks* ja tähistatakse tähega δ (*delta*).

Nurki (esinurk γ, taganurk α, teritusnurk β ja lõikenurk δ) mõõdetakse kraadides.

## Freesi elemendid

Frees on paljuhambaline (paljuteraline) lõikeriist, kusjuures iga hammas kujutab endast joonisel 30 kujutatud lihtsaimat tera. Joonisel 4 on kõrvutatud freesi hamba elemendid lihtsaima tera elementidega. Joonisel 31 on kujutatud freesi hamba elemendid.

Freesi *3* hamba esitahk *4* moodustab vertikaaltasapinnaga *2* *esinurga* γ, hamba tagatahk *5* tooriku töödeldud pinnaga *7* *taganurga* α, esitahu *4* ja tagatahu *5* vahel moodustub *teritusnurk* β. *Lõikenurk* δ moodustub hamba esitahu *4* ja tooriku töödeldud pinna *7* vahel.

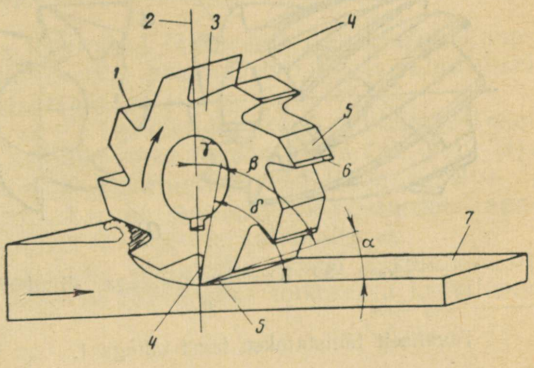
Esitahu ja tagatahu lõikumisel tekib *lõikeserv 1*. Vahetult freesi hamba lõikeservaga külgneb kitsas riba, nn. *faas*, laiusega ca 0,1 mm.

Faas *6* tagab freesi õige terituse.

Freesi elementide hulka kuuluvad veel freesi välisläbimõõt, hammaste vahelise süvendi kuju ja mõõtmed, hamba profiil, hamba kõrgus, hammaste arv ja hamba samm.

Freesi elementide õigete suuruste valik on otsustavaks teguriks parimate tulemuste saavutamisel freesimisel. Freesi hamba nurkade, kuju ja mõõtmete kompleksi nimetatakse *freesi geomeetriaks*.

Teoreetiliselt ja praktiliselt on kindlaks määratud rida tingimusi, mis tagavad õige freesi geomeetria valiku, eriti lõikenurkade osas.




Joon. 31. Freesi elemendid

## Silinderfreesi geomeetria

Joonisel 32 on kujutatud kruvihammastega silinderfreesi geomeetria: esitahk *1*, tagatahk *4*, faas* laiusega 0,05—0,1 mm, kukaldatud pind (hamba selg) *5* ja lõikeserv *2*. Lõikeserv kulgeb piki kruvijoont. Nurka, mis moodustub lõikeserva ja freesi telje vahel, nimetatakse *kruvijoone kaldenurgaks* ja tähistatakse tähega $\omega$ (*oomega*).

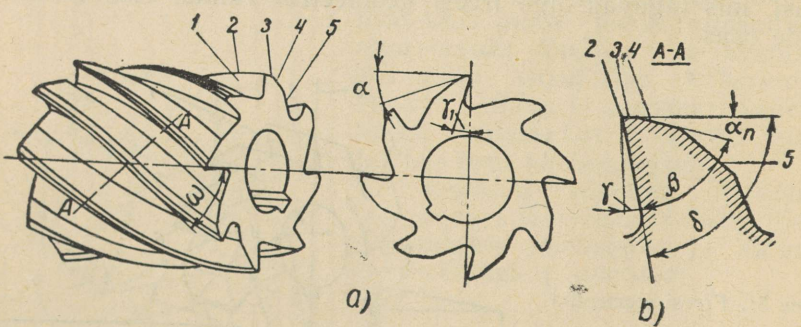
Taganurka $\alpha_u$ mõõdetakse freesi teljega risti asetsevas tasapinnas, s. t. freesi otspinnal.

Normaaltaganurka $\alpha_n$ mõõdetakse lõikeservaga risti asetsevas tasapinnas.

Õigesti valitud taganurga suurusest oleneb freesi hamba tagatahu hõõrdumine vastu töödeldud pinda, järelikult ka töödeldud pinna siledus. Taganurga suurendamisega väheneb hõõrdumine, järelikult ka hamba kulumine tagatahul, s. t. freesi nürinemine, mis suurendab freesi püsivusaega ja tõstab töödeldud pinna kvaliteeti. Kuid taganurga suurendamisel väheneb teritusnurk $\beta$, mille tulemusena hammas nõrgeneb ja võib murduda. Olenevalt freesi tüübist võetakse taganurk $\alpha$ tavaliselt piirides 12°—30°.

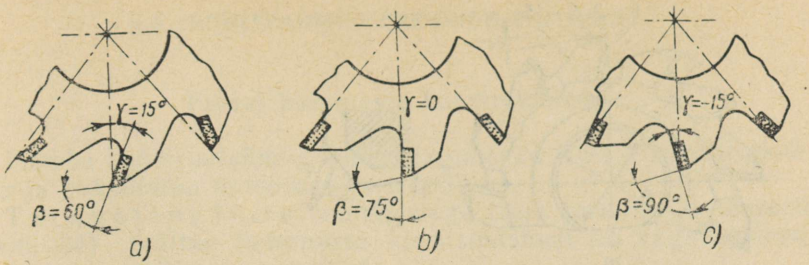
Esinurka $\gamma$ mõõdetakse lõikeservaga risti asetsevas tasapinnas. *Normaalesinurka* $\gamma_1$ mõõdetakse freesi teljega risti olevas tasapinnas, s. t. freesi otspinnal. Esinurk võib olla kas positiivne või negatiivne. Õigesti valitud esinurk soodustab laastu eraldumist; seejuures hamba esipinna kulumine väheneb ja suureneb freesi püsivusaeg, frees võib ilma teritamiseta kauem töötada. Tavaliselt valitakse silinderfreeside esinurk —10° kuni +20°, olenevalt töödeldava materjali ja freesi lõikeosa kõvadusest.

Teritusnurk $\beta$ moodustub esipinna ja tagapinna vahel ja




Joon. 32. Kruvihammastega silinderfreesi elemendid

* Tavaliselt tähistatakse faasi tähega f.




Joon. 33. Esinurga suuruse muutus olenevalt teritusnurga suurusest $a - \gamma = 15°$; $b - \gamma = 0°$; $c - \gamma = -15°$

ta suurus oleneb esinurga ja taganurga suurusest. Freesi hammas on seda tugevam, mida suurem on teritusnurk. Ent teritusnurga $\beta$ suurendamisega raskeneb hamba lõikumine töödeldavasse materjali, suureneb freesimiseks vajalik võimsus ja tõuseb lõiketemperatuur.

Kõva terase ja malmi freesimisel kõvasulamist plaadikestega varustatud freesiga kasutatakse freesi hamba lõikeserva nürinemise ärahoidmiseks suurendatud teritusnurka $\beta$. Teritusnurga $\beta$ suurendamine tingib esinurga $\gamma$ vähendamise; mõnel juhul on $\gamma$ isegi negatiivne. Kui $\beta = 60°$, siis $\gamma = 15°$ (joon. 33, *a*); kui $\beta = 75°$, siis $\gamma = 0°$ (joon. 33, *b*); kui $\beta = 90°$, siis $\gamma = -15°$ (joon. 33, *c*).*

Lõikeserva kruvijoone kaldenurk $\omega$ tagab freesi sujuva ja ühtlase töötamise ning annab suuna eralduvaile laastudele. Tavaliselt valitakse lõikeserva kruvijoone kaldenurk, olenevalt freesi tüübist, piirides 10°—55°.

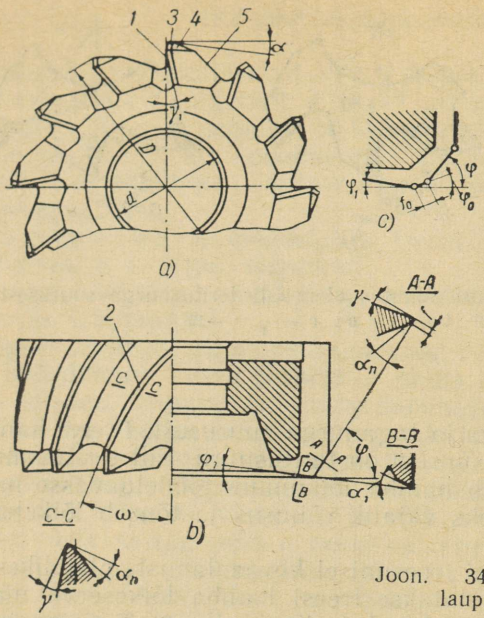
## Laupfreesi geomeetria

Joonisel 34, *a* ja *b* on kujutatud laupfreesi geomeetria. Laupfreesi lõikeosal on kaks lõikeserva: *pealõikeserv* freesi silindrilisel osal ja *abilõikeserv* freesi otspinnal.

Hamba pealõikeserva elemendid freesi silindrilisel osal (joon. 34, *a*) on sarnased silinderfreesi elementidega (vt. joon. 32): esipind *1*, tagapind *4*, faas *3*, kukaldatud pind (hamba selg) *5*, spiraalne lõikeserv *2*, taganurk $\alpha$, normaalesinurk $\gamma_1$, normaaltaganurk $\alpha_n$, esinurk $\gamma$, lõikeserva kruvijoone kaldenurk $\omega$.

Hamba abilõikeserva elemendid freesi otspinnal on kujutatud joonisel 34, *b*. Siin on esinurgaks lõikeserva kruvijoone

* Taganurk $\alpha$ on võetud 15°.




Joon. 34. Kruvihammastega laupfreesi elemendid

kaldenurk ω, mida laupfreeside juures nimetatakse pikiesinurgaks. Abilõikeserva taganurk $\alpha_1$ on kujutatud lõikes *BB*.

Nurka $\alpha_1$ nimetatakse tavaliselt otstaganurgaks.

Laupfreesidel tavaliselt pealõikeserv ei moodusta abilõikeservaga täisnurka. Enamasti on pealõikeserv teritatud nurga φ (fii) võrra kaldu; nurka φ nimetatakse *peanurgaks plaanis*. Peanurk plaanis võetakse tavaliselt piirides 45°—60°.

Hamba hõõrdumise vähendamiseks vastu töödeldud pinda teritatakse abilõikeserv nurga $\varphi_1$ all, mida nimetatakse *abinurgaks plaanis*.

Abinurgast plaanis $\varphi_1$ oleneb töödeldud pinna siledus. Nurga $\varphi_1$ vähendamisega töödeldud pinna siledus suureneb.

Laupfreesi hammas on kujutatud joonisel 34, *c*. Jooniselt on näha, et peale nurkade φ ja $\varphi_1$ esineb veel nurk $\varphi_0$, mida nimetatakse *üleminekulõikeserva nurgaks plaanis*. *Üleminekulõikeserv* $f_0$ tehakse pea- ja abilõikeserva lõikumisel tekkiva terava serva tasandamiseks; ta suurendab freesi püsivusaega.

Nurkade γ, α, ω, φ, $\varphi_1$ ja $\varphi_0$ suurused on antud freesija käsiraamatuis.*

---

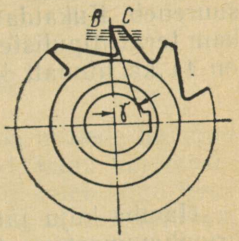
* С. Ш. Френкель. Справочник молодого фрезеровщика. Изд. 2. Профтехиздат, 1962; А. Н. Оглоблин. Справочник фрезеровщика. Машгиз, 1962.

## Freesi hammaste konstruktsioon

Hamba konstruktsiooni poolest jagunevad freesid *teravatipulisteks* ja *kukaldatud hammastega* freesideks.

Teravatipuliste hammastega frees sarnaneb ketassaele (joon. 35). Selline hammaste konstruktsioon on väga levinud, kuna neid on lihtne valmistada.

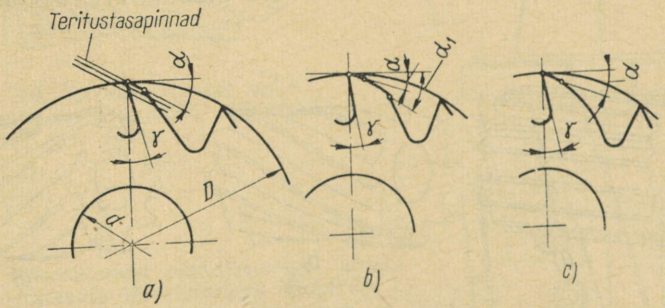
Teravatipuliste hammastega freese teritatakse tagapinnalt *BC*. Nende freeside puuduseks on asjaolu, et iga teritusega väheneb hamba kõrgus ja sellega koos laasturuum hammaste vahel.



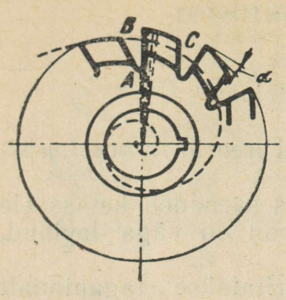

Joon. 35. Teravatipuliste hammastega frees

Joonisel 36 on kujutatud enamkasutatavamate teravatipuliste hammastega freeside hammaste profiilid. Tavalist hambaprofiili (joon. 36, *a*) kasutatakse freesidel, mis töötavad väikese lõikejõuga, näiteks silumisel. Murtud seljaga hambaprofiili (joon. 36, *b*) kasutatakse suurehambalistel freesidel suure töötlusvaru mahalõikamiseks, s. t. koorimisel. Kõverjoonelise hambaseljaga freese on keerukam valmistada, kuid selline hamba kuju tagab hamba suurema tugevuse ja teda soovitatakse riikliku standardi järgi kasutada silinder- ja otsfreeside korral.

Kukaldatud hammastega freesidel (joon. 37) ei ole hamba tagapind *BC* vastandina teravatipulistele freesidele sirge, vaid töödeldud Archimedese spiraali järgi (tähistatud joon. 37




Joon. 36. Teravatipuliste hammaste profiilid:
*a* — tavaline; *b* — murtud seljaga; *c* — kõverjoonelise seljaga




Joon. 37. Kukaldatud hammastega frees

kriipsjoonega). Kukaldatud hammastega freeside tagapind töödeldakse spetsiaalsel trei-kukalduspingil. Kukaldatud hammastega freesi teritatakse mööda hamba esitahku *AB*, seega esitahk jääb alati radiaalseks (vt. joon. 37 kriipsjoon) ja profiil muutumatuks.

Taganurk moodustub kukaldatud hammastega freesil hamba tippu läbiva ringjoone puutuja ja tagapinna puutuja vahel.

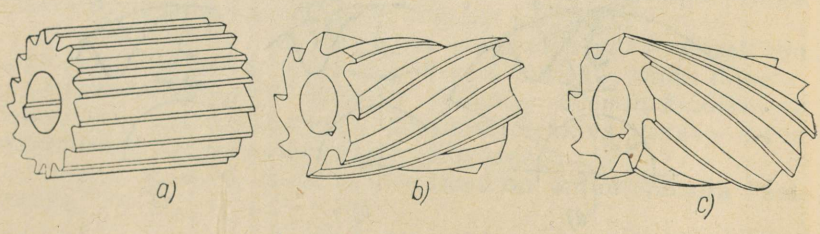
Iga teritusega hammastevaheline ruum laieneb ja laasturuum suureneb. Kukaldatud hammastega freesi valmistamine on keerukam teravatipuliste hammastega freesi valmistamisest, sellepärast on ta ka hinnalt kallim.

## Freesi hammaste kuju

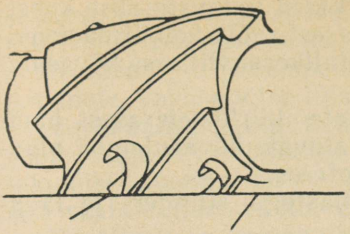
Hamba kuju järgi liigitatakse freesid *sirgete* (joon. 38, *a*) ja kruvihammastega (joon. 38, *b* ja *c*) freesideks.

Sirgete hammastega freese kasutatakse tasapindade töötlemisel viimasel ajal harva; neid kasutatakse peamiselt profiilpindade töötlemisel. Sirgete hammastega freeside peamiseks puuduseks on nende rahutu töötamine, sest iga hammas lõikub töödeldavasse materjali ja väljub sealt kogu hamba laiuses; sellega kaasnevad löögid, mis võivad põhjustada vibratsiooni.

Kruvihammastega frees töötab tunduvalt sujuvamalt, kuna lõikamisest võtab osa vähemalt kaks hammast korraga (joon. 39). Peale selle kergendavad kruvihambad laastude eemalejuhtimist: laastud juhitakse lõiketsoonist eemale mööda kruvisooni.




Joon. 38. Silinderfreesid:
*a* — sirgete hammastega; *b* — vasakukäeliste kruvihammastega; *c* — paremakäeliste kruvihammastega



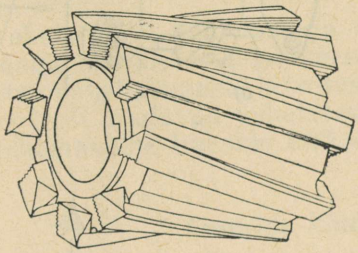
Joon. 39. Freesi kruvihambad töös

Freesid jagatakse vasakukäeliste (joon. 38, *b*) või paremakäeliste (joon. 38, *c*) kruvisoontega freesideks ehk lühendatult *vasakukäelisteks* ja *paremakäelisteks* freesideks. Tavaliste tööde jaoks valmistatakse freesid paremakäeliste kruvisoontega.

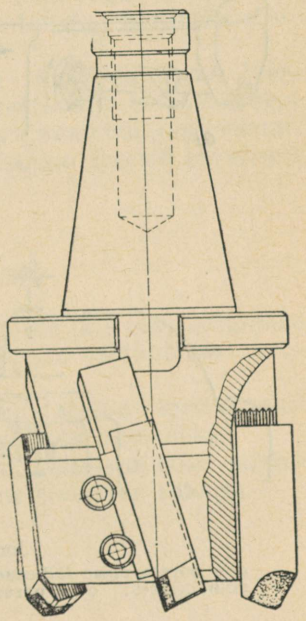
Vasaku- või paremakäelise freesi eraldamiseks on lihtne võte. Frees asetatakse otsaga alusele ja vaadatakse, mis suunas on soonte tõus: kui see on vasakult paremale, on frees paremakäeline, kui paremalt vasakule, on frees vasakukäeline.

## Vahetatavate hammastega freesid

Suurte mõõtmetega tervikfreesid, s. o. freesid, millede hambad on freesi kerega ühest tükist, ei ole ökonoomsed, kuna hammaste mitmekordse erituse või hamba murdumise puhul tuleb kogu frees välja vahetada. Sellepärast on ökonoomsem kasutada vahetatavate hammastega freese, nn. *koostatavaid* freese.



Joon. 40. Kiirlõiketerasest vahetatavate hammastega silinderfrees



Joon. 41. Kõvasulamist plaadikestega varustatud vahetatavate lõiketeradega laupfrees

TRÜ Raamatukogu

Vahetatavate hammastega freeside kered valmistatakse konstruktsiooniterasest, hambad kiirlõiketerasest või konstruktsiooniterasest, millele on peale joodetud metallkeraamilisest kõvasulamist plaadikesed.

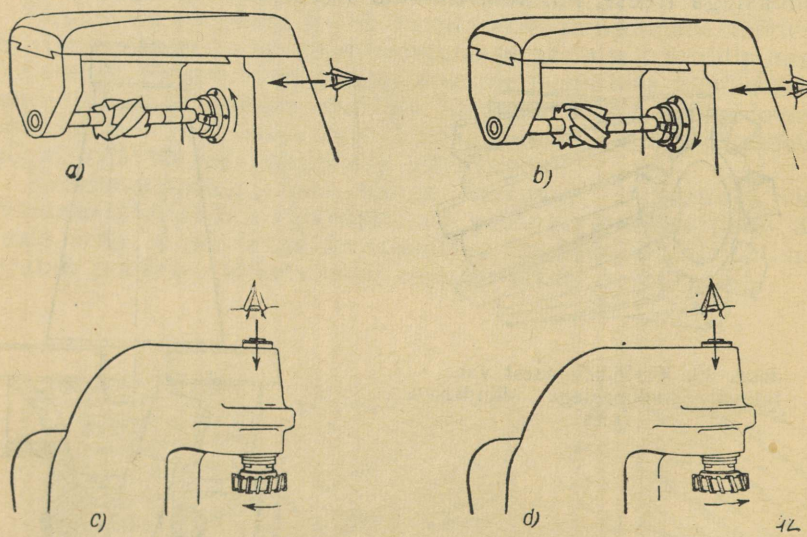
Joonisel 40 on kujutatud vahetatavate kiirlõiketerasest hammastega silinderfrees, joonisel 41 vahetatavate kõvasulamist plaadikestega varustatud lõiketeradega laupfrees.

Suuremõõtmelisi vahetatavate hammastega silinder- ja laupfreese nimetatakse *freespeadeks*.

## Lõikesuund

Freesimisel peab freesi hammaste lõikesuund olema vastavuses freesi pöörlemissuunaga. Pöörlemissuuna järgi jagatakse freesid *parem- ja vasakpoolse lõikesuunaga* freesideks. Freesi lõikesuuna määramisel on soovitatav juhinduda järgmistest reeglitest:

Horisontaalfreespingil töötades seista pingi taga ja vaadata pingi spindli tagumise otsa poolt freesi või freespea poole. Kui frees pöörleb kellaosuti liikumise suunas (joon. 42, *a*), nimetatakse spindli pöörlemist *parempoolseks*. Kui aga frees pöörleb vastu




Joon. 42. Freesi lõikesuund:
*a* — parempoolse lõikesuunaga silinderfrees; *b* — vasakpoolse lõikesuunaga silinderfrees; *c* — parempoolse lõikesuunaga freespea; *d* — vasakpoolse lõikesuunaga freespea

kellaosuti liikumise suunda (joon. 42, *b*), nimetatakse spindli pöörlemist *vasakpoolseks*. Vaadates pingi spindli suunas töölaua poolt näeme, et parempoolse lõikesuunaga frees paiskab laastud paremale, vasakpoolse lõikesuunaga frees aga vasakule.

Vertikaalfreespingi puhul tuleb pilk suunata freesi või freespea poole ülalt. Parempoolse lõikesuunaga frees pöörleb kellaosuti liikumise suunas (joon. 42, *c*), vasakpoolse lõikesuunaga frees aga vastu kellaosuti liikumise suunda (joon. 42, *d*).

Tavaliselt on horisontaalfreespinkidel töötlemisel spindli pöörlemissuund vasakpoolne, vertikaalfreespinkidel parempoolne.

Silinderfreesi lõikesuunda võib muuta tema ümberpööramisega freestornil; laupfreesi lõikesuund on alati ühesugune.

## Freesi hammaste arv

Freesi hammaste arv määrab freesi etteantud läbimõõdu korral hamba *sammu* suuruse, s. t. hammastevahelise kauguse. Mida suurem on antud läbimõõduga freesi hammaste arv, seda väiksem on samm ja vastupidi, mida väiksem hammaste arv, seda suurem on samm. Väikese hammaste arvuga (suure sammuga) freesidel on hammastevaheline laasturuum suur ja hamba tüvi küllalt tugev, võimaldades lõigata suurema ristlõikega laastu. Suure sammuga nn. *suurehambalisi* freese kasutatakse koorimisel.

Suure hammaste arvuga, s. t. väikese sammuga freese, nn. *peenehambalisi* freese, kasutatakse õhukese laastu võtmiseks silumisel.

Vahetatavate hammastega freesidel on tavaliselt sama läbimõõduga tervikfreesidega võrreldes hammaste arv väiksem, sest vahetatavate hammaste kinnituselemendid vajavad omajagu ruumi. Sellepärast kuuluvad vahetatavate hammastega freesid tavaliselt suurehambaliste freeside hulka.

## Freeside kinnitamise viisid

Enamikul freesidel on silindriline ava, millega frees asetatakse freestornile. Selliseid freese nimetatakse *tornile asetatavaiks* freesideks.

Väikese läbimõõduga laupfreesid valmistatakse tervikfreesidena. Neid nimetatakse *otsfreesideks* ehk *sabaga* freesideks.

Otsfreesid läbimõõduga 3 kuni 20 mm valmistatakse silindrilise sabaga, läbimõõduga 16 kuni 50 mm koonilise sabaga.

## Freeside materjal

Olenevalt lõikeosa materjalist jagatakse freesid:

a) *süsinikterasest* (tavaliselt У12А) ja *legeeritud terasest* (tavaliselt 9ХС ja ХВГ) freesideks;

b) *kiirlõiketerasest* (Р18 ja Р9) freesideks;

c) *metallkeraamilisest kõvasulamist* plaadikestega varustatud freesideks;

d) *mineraalkeraamilisest kõvasulamist* plaadikestega varustatud freesideks.

Freesimisel eralduv soojus kiirendab freesi hamba lõikeserva kulumist ja nürinemist. Mida suurem on lõikekiirus, seda enam eraldub soojust ja seda tugevamini kuumeneb freesi hammas. Teatud temperatuuripiiri ületamisel freesi hammas kaotab kõvaduse ja koos sellega lõikevõime.

Temperatuur, mille juures freesi lõikeserv kaotab kõvaduse, on erinev süsinikterasest, kiirlõiketerasest ja kõvasulamist valmistatud hammastel. Süsinikteras kaotab lõikeomadused ca 250° C juures, kiirlõiketeras 550° C juures; kõvasulam aga säilitab lõikeomadused 800° kuni 1000° C juures.

Süsinikterast У12А kasutatakse tavaliselt väikese läbimõõduga lihvimata profiiliga kujufreeside valmistamiseks, mis töötavad mõõduka lõikekiirusega.

Legeeritud terast 9ХС ja ХВГ kasutatakse kukaldatud hammastega kujufreeside valmistamiseks, mis töötavad keskmise lõikekiirusega väikese laastu ristlõike juures.

Süsinik- ja legeeritud terasest valmistatud freesidega võrreldes lubatakse kiirlõiketerastest Р18 ja Р9 valmistatud freesidele suuremat lõikekiirust ja ettenihet, s. t. kõrgemat lõikerežiimi. Viimasel ajal kasutatakse kuumuskindlate teraste freesimisel koobaltiga (mark Р9К5 ja Р9К10) või vanaadiumiga (mark Р9Ф5 või Р18Ф2) legeeritud kiirlõiketerasest freese.

Kõvasulamite suur kõvadus ja kulumiskindlus, samuti nende omadus säilitada lõikevõimet ka kõrgetel temperatuuridel, võimaldab kiirlõiketerasega võrreldes töötada veelgi tootlikumalt.

Nõukogude Liidus toodetakse metallide lõiketöötlemiseks *titaanvolfram-* (ТК) ja *volframtüüpi* (ВК) kõvasulameid.

Metallkeraamilisi kõvasulameid toodetakse plaadikeste kujul. Viimased joodetakse kas konstruktsiooniterasest terakehale (vahetatavad hambad) või vahetult freesi kehale.

Teraste töötlemiseks kasutatakse ТК tüüpi kõvasulameid; malmi, värviliste metallide, kergete sulamite ja mittemetalsete materjalide töötlemiseks ВК tüüpi kõvasulameid.

Malmi, värviliste metallide ning nende sulamite ja mittemetalsete materjalide (klaas, fiiber, kummi, plastmassid) siluv- ja poolsiluvfreesimisel suure lõikekiirusega ja väikese ettenihkega kasutatakse kõvasulameid ВК2 ja ВК3М.

Malmi, värviliste metallide ning nende sulamite ja mittemetalsete materjalide koorivfreesimisel kasutatakse kõvasulameid BK4B, BK6 ja BK8.

Terase siluvfreesimisel suure lõikekiirusega ja väikese ettenihkega kasutatakse kõvasulamit T30K4.

Koorikuta süsinik- ja legeeritud teraste pideval siluv- ja poolsiluvfreesimisel kasutatakse kõvasulamit T15K6.

Süsinik- ja legeeritud teraste koorivfreesimisel kasutatakse kõvasulamit T14K8.

Süsinik- ja legeeritud teraste koorivfreesimisel eriti rasketel lõiketingimustel (suur ja ebaühtlase ristlõikega laast, katkendlik lõikamine) kasutatakse kõvasulamit T5K10.

Viimasel ajal on Nõukogude Liidus loodud ja juurutatakse tootmisse uut mittemetalset mineraalkeraamilist lõikematerjali, mille lõikeomadused ei ole sugugi halvemad kaasaegsete kõvasulamite omadustest, võimaldades töödelda malmist, pronksist ja kergetest sulamitest valudetaile 1,5 kuni 2 korda suurema lõikekiirusega.

Erinevalt kõvasulamitest ei sisalda mineraalkeraamilised materjalid kalleid elemente, nagu volframit, titaani, koobaltit. Mineraalkeraamilised materjalid koosnevad põhiliselt paagutatud alumiiniumoksiidist.

Mineraalkeraamilised materjalid säilitavad oma kõvaduse ja lõikeomadused isegi 1200° C temperatuuri juures, mis võimaldab kasutada suuri lõikekiirusi. Puuduseks on mineraalkeraamiliste materjalide suhteliselt suur haprus, mis piirab nende kasutamist ebaühtlase töötlusvaru, katkendliku lõikamise ja koorimise puhul.

Parimad lõikeomadused on mineraalkeraamilisel materjalil ЦМ-332, mida kasutatakse peale treimise ka malmi ja värviliste metallide freesimisel laupfreesiga. Mineraalkeraamilisest materjalist ЦМ-332 plaadikestega varustatud freese kasutatakse juba paljudes tehastes.

## § 9. FREESIDE KINNITAMINE PINKI

### Freeside kinnitamise üldised juhendid

Tooriku töödeldud pinna siledus ja pingi tootlikkus olenevad oluliselt freesi õigest pinki kinnitamisest.

Ebaõigesti kinnitatud frees viskub, mille tulemusena koormus freesi üksikutele hammastele suureneb ja hambad võivad murduda. Kui frees on kinnitatud spindli otspinnast kaugele, võib freestorn läbi painduda.

Freestorne, milledele kinnitatakse freesid, tuleb hoida puhtaks-pühitult; neid ei tohi taguda, iga löögi tagajärjel võib frees hakata viskuma.

Freesi kinnitamise viis oleneb freesi konstruktsioonist ja mõõtmetest, samuti töö iseloomust.

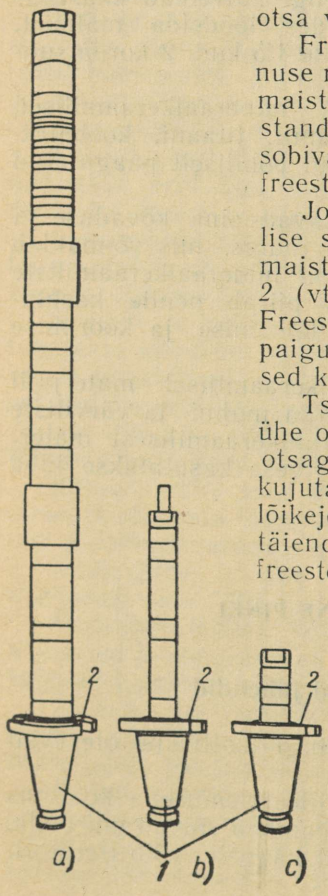
Põhilised freesi kinnitamise viisid on järgmised:

1. Frees kinnitatakse *tsentertornile*, mille üks ots toetub spindli koonilisse pessa, teine ülatala ripplaagrisse.
2. Frees kinnitatakse *sõrmtornile*, mis koonilise sabaga asetatakse spindli koonilisse pessa.
3. Koonilise sabaga freesid kinnitatakse vahetult spindli koonilisse pessa.
4. Silindrilise sabaga freesid kinnitatakse spindli koonilisse pessa spetsiaalpadruni abil.
5. Frees kinnitatakse vahetult spindli esiotsa väljaulatuvale esiosale.

Freesija peab teadma oma pingi spindli koonuse numbrit ja spindli esiotsa mõõtmeid. Kodumaiste freespinkide esiotsa koonuse mõõtmed on standardiseeritud (vt. joon. 22), sellepärast sobivad sinna standardse sabaga valmistatud freestornid.

Joonisel 43 on kujutatud freestornid koonilise sabaga *1*, millede koonus vastab kodumaiste freespinkide spindli esiotsa koonuspesale *2* (vt. joon. 22), mis tsentreerib freestorni. Freestorni ääriku väljalõigetesse *2* (joon. 43) paigutuvad spindli otspinnal asuvad täisnurksed kaasaveonukid *3* (vt. joon. 22).

Tsentertornid (joon. 43, *a* ja *b*) kinnitatakse ühe otsaga pingi spindli koonilisse pessa, teise otsaga ülatala ripplaagrisse. Joonisel 43, *a* kujutatud freestorn on suhteliselt pikk ja suure lõikejõuga töötades võib torni keskel kasutada täiendavat ripplaagrit. Joonisel 43, *b* kujutatud freestorn on ette nähtud kergetele töödele.




Joon. 43. Freestornid:
*a* — pikk tsentertorn; *b* — lühike tsentertorn; *c* — sõrmtorn

Sõrmtornid (joon. 43, *c*) kinnitatakse ühe otsaga pingi spindli koonilisse pessa, teise otsa kinnitatakse frees.

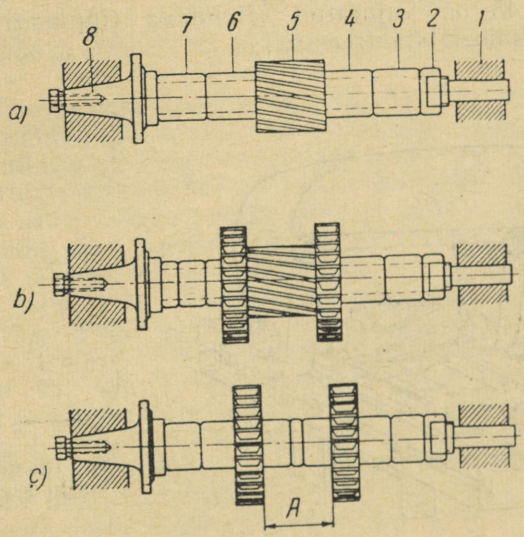
### Freesi kinnitamine tsentertornile

Joonisel 44 on toodud freeside tsentertornidele kinnitamise erijuhud. Tsentertorni kooniline saba paigutub spindli koonilisse pessa *8*, teine ots aga ripplaagrisse *1*.

Joonisel 44, *a* on kujutatud kruvihammastega silinderfreesi kinnitus freestornil. Frees asetatakse freestorni keskmisele (töötavale) osale ja teda võib seaderõngaste *3*, *4*, *6* ja *7* abil kinnitada meelevaldsesse kohta freestornil. Vasakpoolne äärmine seaderõngas *7* toetub otsaga vastu freestorni äärikut, äärmine parempoolne rõngas *3* aga freestorni parempoolsele otsale keeratud mutrile *2*. Joonisel 44, *b* on kujutatud kokkupandud freesi (freeside komplekti) kinnitus; seaderõngaste laius on siin erinev.

Freespingi juurde kuuluv seaderõngaste normaalkomplekt koosneb seaderõngastest laiusega 1 kuni 50 mm: 1,0; 1,1; 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.

Seaderõngaste abil võib freese kinnitada üksteisest kindlale kaugusele. Joonisel 44, *c* on kujutatud kahe freesi kinnitus kaugu-




Joon. 44. Freeside kinnitamine tornidele

sele *A* teineteisest. Vahekaugus *A* saavutatakse vastava laiusega seaderõngaste valikuga.

Alati ei saavutata vajalikku freeside vahelist kaugust ainult seaderõngaste normaalkomplektiga. Sel juhul kasutatakse vahekauguse reguleerimiseks õhukesest alumiinium- või vaskplekist ja isegi kirjutus- või suitsupaberist vaheseibe.

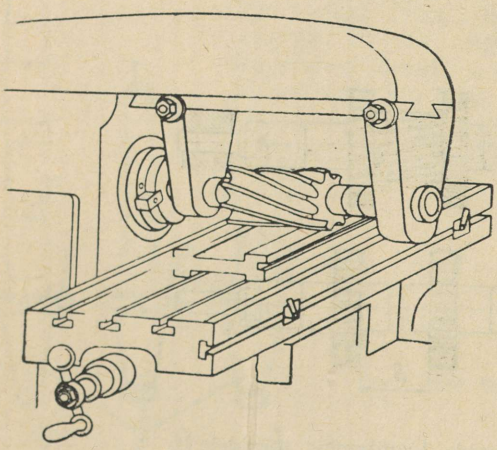
Väikese läbimõõduga freesid, mis töötavad suhteliselt väikese lõikejõuga, hoitakse freestornil kinni mutri pingutamisel freesi ja seaderõnga külgede vahel tekkinud hõõrdejõu abil. Rasketes töötlemistingimustes ei ole hõõrdejõud küllaldane freesi kinnihoidmiseks ja sel juhul kasutatakse freesile pöördemomendi ülekandmiseks liistu. Selleks on freestornile kogu töötava osa ulatuses freesitud liistusoon, kuhu on kinnitatud liist, millele asetatakse frees. Samuti asetatakse liistule ka seaderõngad.

Seaderõngaste avad ja freestornide töötava osa läbimõõdud valmistatakse kindlate läbimõõtudega. Kodumaistes tehastes kasutatakse freestorne läbimõõduga 16, 22, 27, 32, 40, 50 ja 60 mm. Samuti valmistatakse kindlate mõõtmetega liistud ja liistusooned, nii et tööriistalaos olevad sama nimimõõtmega freesid, seaderõngad ja liistud omavahel tingimata sobivad.

Freestornid peavad olema sirged, ilma pragudeta ja mõlkideta, seaderõngastel ei tohi olla külgedel pragusid ega kraate.

Et vähendada koormust freestornile, on soovitatav kinnitada frees võimalikult spindli esiotsa lähedale. Kui see alati ei ole võimalik, tuleb kasutada toeks täiendavat ripplaagrit, mis on freestornile täiendavaks toeks ja vähendab ta koormust.

Joonisel 45 on kujutatud täiendava ripplaagri kasutamine detaili freesimisel laia freesiga.



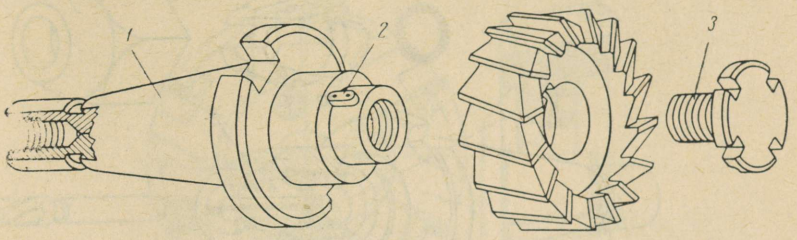
Joon. 45. Täiendava ripplaagri asetus

Freesi ülesseadmise ja kinnitamise järjekorda freestornile ja freestorni kinnitamist spindli koonilisse pessa käsitletakse lähemalt pingi häälestamise juures.

### Freesi kinnitamine sõrmtornile

Freesid, mis töötavad freesi otspinnal olevate hammastega, kinnitatakse sõrmtornile.

Sõrmtorn on kujutatud joonisel 46. Kooniline saba *1* asetatakse pingi spindli koonilisse pessa. Frees asetatakse torni silindrilisele osale ja kinnitatakse kruviga *3*. Et frees ei pöörleks tornil, on silindrilisel osal liist *2*.




Joon. 46. Sõrmtorn

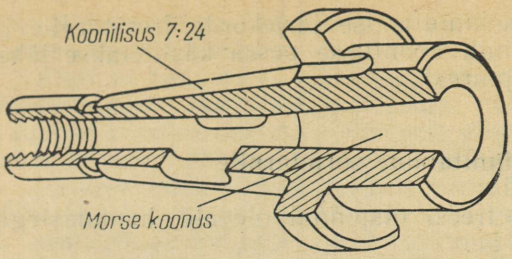
### Koonilise ja silindrilise sabaga freeside kinnitamine

Kui koonilise sabaga freesi saba mõõtmed ühtivad spindli koonilise pesa mõõtmetega, asetatakse ta vahetult spindli koonilisse pessa ja kinnitatakse pingutusvardaga. See on kõige lihtsam freeside kinnitusviis horisontaal- ja vertikaalfreespingil.

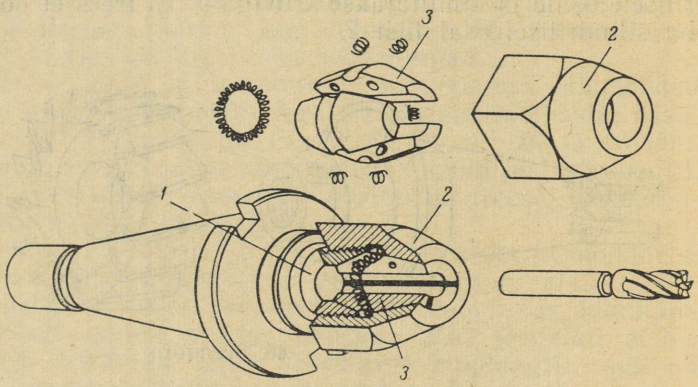
Kui freesi saba koonuse mõõtmed on spindli koonilise pesa mõõtmetest väiksemad, kasutatakse vahekoonust (joon. 47), mille väline koonus vastab pingi spindli pesa koonusele ja sisemine freesi saba koonusele. Vahekoonus koos freesiga asetatakse spindli koonilisse pessa ja kinnitatakse pingutusvardaga.

Silindrilise sabaga freesid kinnitatakse pinki kolmepakilise padruni (joon. 48) abil. Frees asetatakse silindrilise sabaga padruni *1* avasse ja kinnitatakse padruni esiotsale keeratud seest koonilise mutriga *2*. Freesi saba haaratakse pakkidega *3*. Padrun koos freesiga asetatakse horisontaal- või vertikaalfreespingi spindlisse ja kinnitatakse pingutusvardaga.

Freesi äravõtmiseks tuleb vabastada mutter *2*.




Joon. 47. Vahekoonus



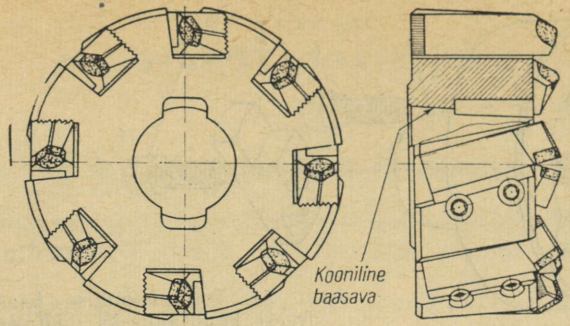

Joon. 48. Padrun silindrilise sabaga freeside kinnitamiseks

## Suure läbimõõduga freeside kinnitamine

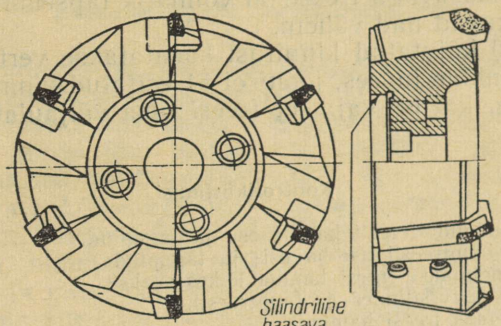
Laupfreesid läbimõõduga 125 mm ja rohkem valmistatakse tornile asetatavaina. Neil on kas *kooniline* (joon. 49, *a*) või *silindriline* (joon. 49, *b*) baasava.

Koonilise baasavaga freesid kinnitatakse freestorni koonusele *2* (joon. 50 ja 51) vahetüki *3* ja kruvi *4* abil. Vahetükk *3* paigutub freesi kere väljalõigetesse. Freestorn (joon. 50) koos freesiga kinnitatakse freespingi spindlisse pingutusvarda abil, mis on freestorniga ühendatud keermega. Joonisel 51 kujutatud freestorn asetatakse koos freesiga freespingi spindli otsa, tsentreeritakse silindrilise vöö *5* abil ja kinnitatakse nelja kruviga *1* (vt. ka joon. 22). Et torn ei saaks pöörelda, on tal kaks sisselõiget, milledesse paigutuvad pingi spindli otspinnal asuvad täisnurksed kaasaveonukid.

Silindrilise baasavaga freesid (vt. joon. 49, *b*) kinnitatakse nelja kruviga vahetult pingi spindli otspinnale.

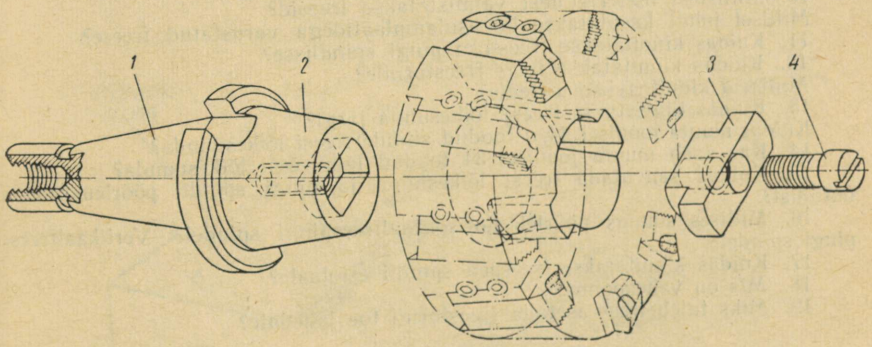



a)

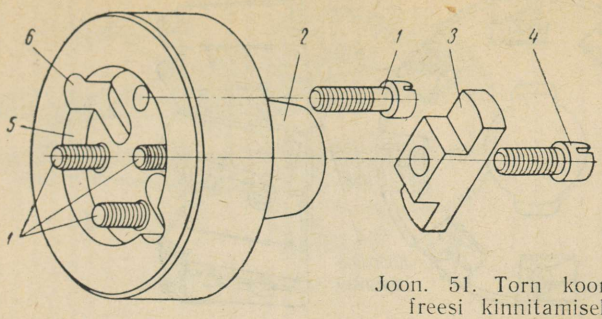



b)

Joon. 49. Vahetatavate lõiketeradega laupfrees:
*a* — koonilise baasavaga; *b* — silindrilise baasavaga




Joon. 50. Koonilise baasavaga laupfreesi kinnitamine konsoolfreespinkidesse




Joon. 51. Torn koonilise baasavaga laupfreesi kinnitamiseks pikifreespinkidesse

Koonilise baasavaga freese on võimalik täpsemini tsentreerida, järelikult viskuvad nad vähem.

Joonisel 50 kujutatud kinnitust kasutatakse vertikaal- ja horisontaalfreespinkide juures, joonisel 51 esitatud kinnitust pikifreespinkide juures, kui on vaja, et freesi otsa väljaulatus oleks suurem.

**Kontrollküsimusi**

1. Näidake silinderfreesil hamba esi- ja tagapind.
2. Näidake laupfreesil hamba esi- ja tagapind.
3. Mida nimetatakse freesi hamba lõikeservaks? Näidake lõikeserv silinder- ja laupfreesil.
4. Näidake faas freesi hambal.
5. Milline vahe on teravatipuliste ja kukaldatud hammastega freeside vahel?
6. Millised paremused on kukaldatud hammastega freesidel?
7. Mille poolest on kruvihammastega silinderfreesid paremad kui sirgete hammastega silinderfreesid?
8. Milline paremus on vahetatavate hammastega freesidel, võrreldes tervikfreesidega?
9. Kuidas liigitatakse freese kruvisoone suuna järgi?
10. Millistest materjalidest valmistatakse freesid? Millisel juhul kasutatakse kõvasulamplaatidega varustatud freese?
11. Kuidas kinnitatakse freestorn pingi spindlisse?
12. Kuidas kinnitatakse frees freestornile? Milliseid kinnitusviise te teate?
13. Kuidas liigitatakse freese lõikesuuna järgi? Kuidas muuta joonisel 44, *a* toodud silinderfreesi lõikesuunda?
14. Kas saab muuta joonisel 34 toodud laupfreesi lõikesuunda?
15. Kuidas saavutada freesi lõikesuuna ja pingi spindli pöörlemissuuna ühtimist?
16. Millises suunas pöörleb horisontaalfreespingi spindel? Vertikaalfreespingi spindel?
17. Kuidas kinnitatakse freespea spindli esiotsale?
18. Mis on vahekoonus?
19. Miks tuleb frees asetada freestornil toe lähedale?

# ALGTEADMISI LÕIKETEOORIAST

## § 10. LÕIKEELEMENDID FREESIMISEL

Freesimisprotsessis freesi pöörlemisel ta hambad järk-järgult lõikuvad ettenihkeliikumist sooritavasse toorikusse, eraldades laastu.

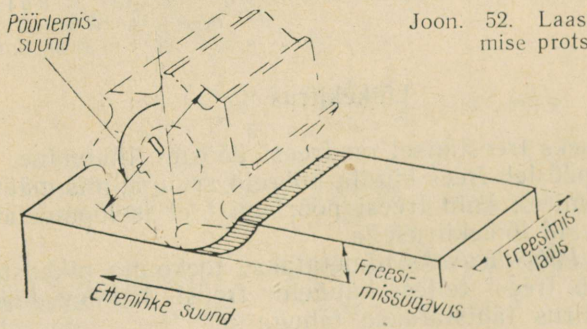
Lõikeelementideks freesimisel on freesimislaius, lõikesügavus, lõikekiirus ja ettenihe.

### Freesimislaius ja lõikesügavus

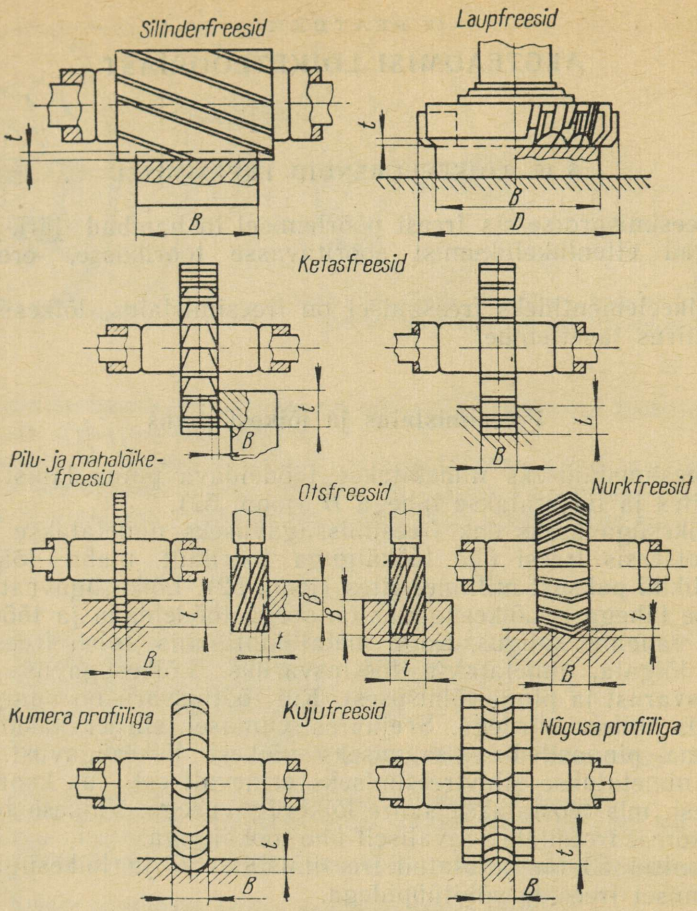
Freesimislaiuseks nimetatakse töödeldava pinna laiust millimeetrites ja tähistatakse tähega $B$ (joon. 52).

Lõikesügavuseks ehk freesimissügavuseks nimetatakse freesimisprotsessis freesi ühe töökäiguga toorikult maha lõigatava metallikihi paksust millimeetrites (joon. 52). Lõikesügavust tähistatakse tähega $t$. Lõikesügavus on seega töödeldava ja töödeldud pinna vaheline kaugus. Kogu metallikihti, mis tuleb freesimisel maha lõigata, nimetatakse töötlusvaruks. Lõikesügavus oleneb töötlusvarust ja pingi võimsusest. Kui töötlusvaru on suur, tuleb freesida mitme siirdega. Seejuures viimasel siirdel kasutatakse suurema pinnasileduse saamiseks väikest lõikesügavust. Seda siiret nimetatakse siluvfreesimiseks erinevalt eel- ehk koorivfreesimisest, mis teostatakse suure lõikesügavusega. Väikese töötlusvaru korral freesitakse tavaliselt ühe töökäiguga.

Joonisel 53 on kujutatud freesimislaius $B$ ja lõikesügavus $t$ töötlemisel freeside põhitüüpidega.




Joon. 52. Laastu tekkimise protsess




Joon. 53. Freesimislaius ja lõikesügavus töötlemisel freeside põhitüüpidega

## Lõikekiirus

Pealiikumiseks freesimisel on freesi pöörlev liikumine. Freesimisprotsessis pöörleb frees kindla pöörete arvuga, mis määratakse pingi häälestamisel; kuid freesi pöörlemist ei iseloomustata pöörete arvuga, vaid lõikekiirusega.

*Freesimise lõikekiiruseks* nimetatakse teekonna pikkust minutis, mille läbib freesi teljest kaugeim freesi hamba lõikeserva punkt. Lõikekiirus tähistatakse tähega *v*.

Tähistame freesi läbimõõdu tähega $D$ ja oletame, et frees teeb minutis ühe pöörde. Sel juhul freesi hamba lõikeserv läbib minutis teekonna, mis on võrdne ringi ümbermõõduga, mille läbimõõt on $D$ mm, s. o. $\pi D$ millimeetrit. Tavaliselt teeb frees rohkem kui ühe pöörde minutis. Oletame, et frees teeb $n$ pööret minutis, siis freesi iga hamba lõikeserv läbib minutis $\pi \cdot Dn$ mm. Järelikult freesimise lõikekiirus on $\pi Dn$ mm/min.

Tavaliselt avaldatakse freesimise lõikekiirus meetrites minutis ja seepärast saadud lõikekiiruse avaldis mm/min tuleb jagada 1000. Seega on freesimise lõikekiirus avaldatav valemiga

$$v = \frac{\pi \cdot Dn}{1000} \text{ m/min.} \qquad (1)$$

Valemist (1) järeldub, et mida suurem on freesi läbimõõt $D$, seda suurem on lõikekiirus antud pöörete arvu juures, või mida suurem on spindli pöörete arv $n$, seda suurem on lõikekiirus antud freesi läbimõõdu juures.

Näide 1. Frees läbimõõduga 100 mm teeb 140 pööret/min. Määrata lõikekiirus.

Antud juhul $D = 100$ mm; $n = 140$ p/min. Valemi (1) järgi

$$\text{lõikekiirus } v = \frac{\pi \cdot Dn}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 100 \cdot 140}{1000} = 44 \text{ m/min.}$$

Praktikas tuleb tihti lahendada vastupidist ülesannet: määrata antud lõikekiiruse $v$ juures freesi pöörete arv $n$ või freesi läbimõõt $D$.

Selleks kasutatakse valemeid:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot v}{3{,}14 \cdot D} = \frac{318 \cdot v}{D}; \qquad (2a)$$

$$D = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot n} = \frac{1000 \cdot v}{3{,}14 \cdot n} = \frac{318 \cdot v}{n}. \qquad (2b)$$

Näide 2. On vaja freesida lõikekiirusega 33 m/min. Freesi läbimõõt on 100 mm. Leida freesi pöörete arv.

Antud juhul $v = 30$ m/min; $D = 100$ mm

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 33}{3{,}14 \cdot 100} = 105 \text{ p/min}$$

või

$$n = \frac{318 \cdot v}{\pi \cdot D} = \frac{318 \cdot 33}{100} = 105 \text{ p/min.}$$

Näide 3. Lõikekiirus on 33 m/min. Freesi pöörete arv 105 p/min. Leida freesi läbimõõt.

Antud juhul $v = 33$ m/min; $n = 105$ p/min

$$D = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot n} = \frac{1000 \cdot 33}{3{,}14 \cdot 105} = 100 \text{ mm}$$

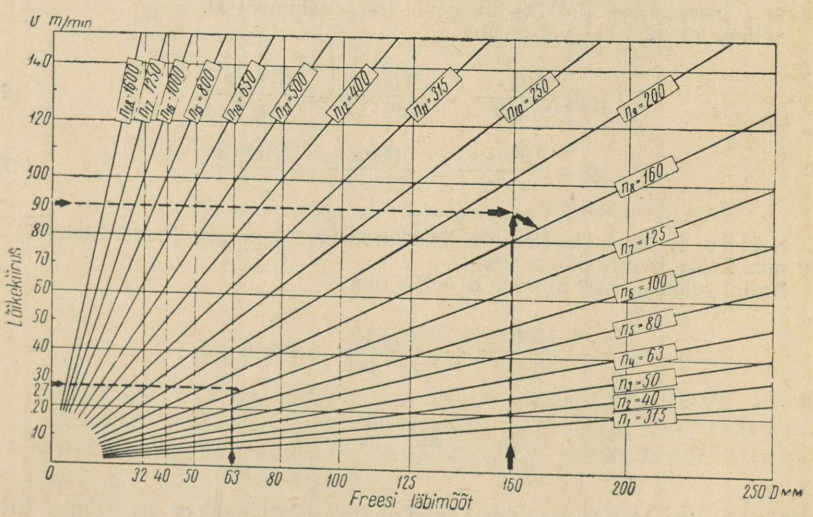
või

$$D = \frac{318 \cdot v}{n} = \frac{318 \cdot 33}{105} = 100 \text{ mm.}$$

Alati ei ole võimalik valida spindli pöörete arvu minutis, mis täpselt vastaks valemi (2a) järgi arvutatud pöörete arvule. Samuti ei ole alati võimalik valida freesi läbimõõduga, mis täpselt vastaks valemi (2b) järgi arvutatud läbimõõdule. Nendel juhtudel valitakse kõige lähem väiksem spindli pöörete arv, mida pink võimaldab, ja tööriistalaos leiduv kõige lähema väiksema läbimõõduga frees.

Spindli pöörete arvu antud lõikekiiruse ja valitud freesi läbimõõdu juures võib määrata ka graafikute järgi. Joonisel 54 toodud graafikul on teise ja kolmanda mõõtmegamma konsoolfreespinkide (6M82, 6M82Г ja 6M12П, 6M83, 6M83Г ja 6M13П) spindli pöörete arvud kantud kaldjoontele (kujutatud kiirtena) ja sellepärast selliseid graafikuid nimetatakse *kiirte diagrammideks*. Horisontaalteljele on kantud freesi läbimõõdud mm, vertikaalteljele lõikekiirus m/min. Diagrammi kasutamist selgitame alljärgnevate näidetega.

Näide 4. Määrata konsoolfreespingi 6M82Г spindli pöörete arv terase töötlemisel kiirlõiketerasest 63 mm läbimõõduga silinderfreesiga, kui lõikekiirus $v = 27$ m/min.




Joon. 54. 2. ja 3. mõõtmegamma freespinkide (6M82, 6M82Г, 6M12П, 6M83, 6M83Г, 6M13П) kiirte diagramm

Joonisel 54 toodud diagrammi vertikaaltelje punktist, millele vastab lõikekiirus 27 m/min, tõmbame horisontaaljoone kuni lõikumiseni vertikaaljoonega, mis on tõmmatud horisontaaltelje punktist, millele vastab freesi läbimõõt 63 mm. Otsitav pöörete arv asub pöörete arvude $n = 125$ ja $n = 160$ vahel. Valime väiksema pöörete arvu $n = 125$ p/min.

Näide 5. Määrata konsoolfreespingi 6M13П spindli pöörete arv malmi töötlemisel kõvasulamist plaadikestega varustatud 160 mm läbimõõduga laupfreesiga, kui lõikekiirus $v = 90$ m/min.

Joonisel 54 toodud diagrammi vertikaaltelje punktist, millele vastab lõikekiirus 90 m/min, tõmbame horisontaaljoone kuni lõikumiseni vertikaaljoonega, mis on tõmmatud horisontaaltelje punktist, millele vastab freesi läbimõõt 160 mm. Otsitav pöörete arv asub pöörete arvude $n = 160$ ja $n = 200$ vahel. Valime väiksema pöörete arvu $n = 160$ p/min.

Taolist kiirte diagrammi on lihtne ka endal koostada mõne teise pingitüübi kohta.

Kiirte diagrammi kasutamine lihtsustab pingi spindli pöörete arvu valikut, sest pole vaja kasutada valemit (2a).

## Ettenihe

Ettenihkeliikumine freesimisel antakse kas käsitsi või mehaaniliselt. Pingi töölauale antakse ettenihkeliikumine piki-, ristkelgule rist- ja konsoolile vertikaalsuunas. Konsoolita vertikaalfreespinkide töölaual on piki- ja ristsuunaline ettenihkeliikumine, vertikaalettenihe antakse aga spindelpeale. Pikifreespinkide töölauale antakse ettenihe ainult pikisuunas, kuna rist- ja vertikaalettenihe antakse spindelpeale. Ümmarguse pöörduva töölauaga vertikaalfreespingi, karussell- ja trummelfreespingi töölaud omab pöörlevat ettenihkeliikumist.

Freesimisel eristatakse ettenihkeid:

*ettenihe minutis,* s. o. töölaua edasinihkumine millimeetrites ühe minuti jooksul; tähistatakse tähega $s$ ja dimensiooniks on mm/min;

*ettenihe freesi ühele pöördele,* s. o. töölaua edasinihkumine millimeetrites freesi ühe täispöörde jooksul; tähistatakse $s_0$ ja dimensiooniks on mm/p;

*ettenihe freesi ühele hambale,* s. o. töölaua edasinihkumine millimeetrites aja jooksul, kui frees teeb osa täispöördest, mis vastab kahe hamba vahelisele kaugusele (hambasammule); tähistatakse $s_z$ ja dimensiooniks on mm/hambale.

Praktikas kasutatakse kõiki kolme ettenihke tähendust. Nende omavaheline seos on avaldatav alljärgnevalt:

$$s_0 = s_z \cdot z \text{ mm/p}$$

$$s = s_0 \cdot n = s_z \cdot z \cdot n \text{ mm/min}$$

$$s_z = \frac{s_0}{z} = \frac{s}{n \cdot z} \text{ mm/hambale,}$$

kus $z$ on freesi hammaste arv.

Näide 6. 10 hambaga frees teeb 200 p/min ja ettenihe on 300 mm/min. Määrata ettenihe freesi ühele pöördele ja ühele hambale.
Antud juhul $s = 300$ mm/min; $n = 200$ p/min ja $z = 10$.

$$s = s_0 \cdot n = s_z \cdot z \cdot n .$$

Asendades tuntud suurused nende arvuliste väärtustega, saame:
$300 = s_0 \cdot 200$; $s_0 = 300 : 200 = 1{,}5$ mm/p

$$s_z = \frac{s}{n \cdot z} \; ; \; s_z = 300 : (200 \cdot 10) = 0{,}15 \text{ mm/hambale.}$$

Pealiikumine, s. t. freesi pöörlemine ja ettenihkeliikumine võivad olla suunatud teineteisele vastu; sel juhul nimetatakse freesimist *ettenihkele vastu* freesimiseks. Kui aga pealiikumise suund ühtib ettenihkeliikumise suunaga, nimetatakse freesimist *ettenihke suunas* freesimiseks.

## Freesimise lõikerežiimi mõiste

Lõikekiirust, ettenihet, lõikesügavust ja freesimislaiust ei tohi freesija valida meelevaldselt, kuna ebaõigesti valitud lõikeelemendid võivad põhjustada freesi enneaegse nürinemise, pingi üksikute sõlmede ülekoormuse või isegi purunemise, kareda pinna jne.

Lõikeelemendid on omavahel tihedas seoses. Näiteks lõikekiiruse suurendamisel tuleb vähendada ettenihet ühele hambale ja lõikesügavust; kui suurendada freesimislaiust, tuleb vähendada lõikekiirust ja ettenihet; freesimisel suure lõikesügavusega (koorivfreesimine) tuleb kasutada väiksemat lõikekiirust kui siluvfreesimisel.

Peale selle oleneb lõikekiirus veel freesi ja tooriku materjalist. Kiirlõiketerasest freesi kasutamisel võib rakendada suuremat lõikekiirust kui süsinikterasest freesi puhul. Kasutades aga kõvasulamist plaadikestega varustatud freese, võib lõikekiirus olla 4 kuni 5 korda suurem kui kiirlõiketerasest freesi puhul. Kergeid sulameid võib freesida tunduvalt suurema lõikekiirusega kui malmi. Mida kõvem on terasest toorik, seda väiksem peab olema lõikekiirus.

Lõikeelemendid (lõikekiirus, ettenihe, lõikesügavus, freesimislaius) tervikuna õiges vastastikuses vahekorras moodustavad *freesimise lõikerežiimi* või lühidalt *freesimisrežiimi.*

Metallide lõiketeooria on kindlaks määranud ratsionaalsed lõikekiirused ja ettenihked mitmesuguste lõikesügavuste ja freesimislaiuste juures erinevate metallide ja nende sulamite töötlemisel

süsinik- ja kiirlõiketerasest või kõvasulamist plaadikestega varustatud freesidega. Selle alusel toimub freesimisrežiimi valik teaduslikult põhjendatult, vastavate tabelite (lõikerežiimide normatiivide) järgi.

## § 11. LAASTU TEKKIMISE PROTSESS

### Metallide lõikeprotsessi olemus

Töötlusvaru mahalõikamisel tekib laast. Seejuures mahalõigatav metallikiht muudab oma mõõtmeid ja kuju. Metallikihi eraldamine toorikult ja laastu tekkimine toimub freesi hambale rakendatud jõu mõjul, järelikult mahalõigatava metallikihi kuju muutus on samuti rakendatud välisjõu resultaat.

Keha kuju muutust temale mõjuva jõu toimel nimetatakse *deformatsiooniks*. Kui pärast jõu eemaldamist keha taastab oma esialgse kuju, nimetatakse deformatsiooni *elastseks* deformatsiooniks.

Kui pärast jõu eemaldamist keha ei taasta oma esialgset kuju, nimetatakse deformatsiooni *plastseks* deformatsiooniks.

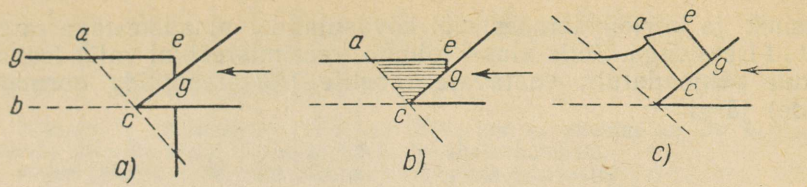
Metallide lõikamisel esinevad peamiselt plastsed deformatsioonid. Lõiketera, tungides rakendatava jõu toimel metalli, muudab töödeldava tooriku pindkihi kuju, nihutab ta osakesi ja muudab need laastuks.

Seega laastu tekkimise protsess seisneb freesi hamba lõikumises töödeldavasse toorikusse, metalliosakeste nihutamises üksteise suhtes, laastuelementide moodustumises ja tekkinud laastu eemaldamises.

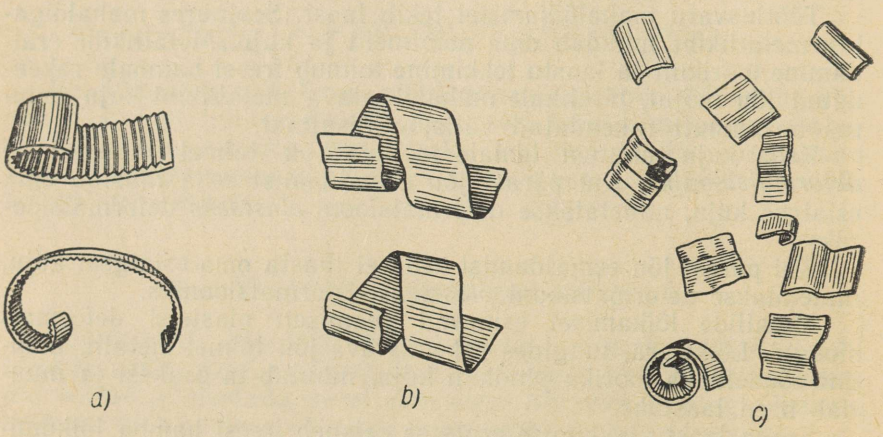
### Laastu tekkimine

Laastu tekkimine sitkete ja habraste metallide töötlemisel on erinev.

Vaatleme laastu tekkimist sitkete metallide (pehme teras, vask, alumiinium) töötlemisel. Noole suunas liikuv lõiketera (joon. 55, *a*) surutakse sisselõikumise algmomendil toorikusse ja ta surub esitahuga metalli kokku. Nagu vene teadlane professor I. A. Time aastail 1865—1870 esimesena teadusljkult põhjendatud lõikeseadustega tõestas, ei jagune survejõud kokkusurumisel kogu mahalõigatavale kihile *bcdeg*, vaid ainult ta osale. Survejõud kutsub algul esile metalli elastse deformatsiooni, aga niipea, kui surve pinnale *ce* (joon. 55, *b*) ületab pinna *ac* lõiketugevuse, muutub deformatsioon plastseks ja laastuelement nihutatakse *acge* suunas, lõiketera aga alustab järgmise kihi kokkusurumist (joon. 55, *c*).




Joon. 55. Laastu moodustumine sitkete metallide töötlemisel



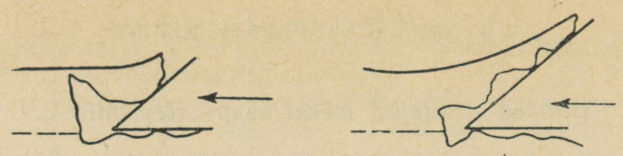

Joon. 56. Laastu liigid:
*a* — lõhestumislaast; *b* — voolavlaast; *c* — murdelaast

Surve toimel tekkinud laastuelement pöördub pisut punkti *c* lähedal ja nii tekib kõverdunud laast, mille terapoolne külg on täiesti sile, teine aga hambuline nagu saag (joon. 56, *a*).

Sellist laastu, mis tekib mahalõigatava kihi elementide järkjärgulisel lõhestumisel, nimetas prof. I. A. Time *lõhestumislaastuks*.

Habraste metallide (malm, pronks, karastatud teras) töötlemisel tungib lõiketera algul toorikusse samuti nagu sitkete materjalide puhul, kuid pärast teatud sügavuse saavutamist laastuelement ei lõhestu, vaid murdub, kusjuures lõiketera lõikeserva ees tekkinud laastuelemendi (joon. 57, *a*) kuju erineb lõhestumislaastu elemendi kujust. Tavaliselt rebitakse sealjuures lahti osa lõikeserva all olevast materjalist (joon. 57, *b*), mille tulemusena ei saavutata küllaldase siledusega töödeldud pinda.

Habraste metallide töötlemisel tekkiv laast koosneb korrapäratu kujuga elementidest, mis ei ole omavahel seotud, sarnane-




Joon. 57. Laastuelementide moodustumine habraste metallide töötlemisel

des soomustele (vt. joon. 56, *c*). Laastu küljel, mis on kokkupuutes teraga, on pind ebatasane, teisel küljel aga nõgus sile pind. Prof. I. A. Time nimetas sellist laastu *murdelaastuks*.

Metallide töötlemisel väikese ettenihkega ja lõikesügavusega, kuid suure lõikekiirusega üksikud laastuelemendid nagu sulaksid kokku, kujundades *voolavlaastu* (vt. joon. 56, *b*).

## Laastu liigid

Freesimisel esineb katkendlik lõikamine, kuna iga hammas lõikab toorikuga kokku puutudes järjekorras maha kindla hulga materjali. Sellepärast on freesimisel tekkinud laast palju lühem kui näiteks treimisel, kuid laastu tekkimise seaduspärasused on samad ka freesimisel, kus esinevad kõik eespool kirjeldatud laastu liigid. Sitkete metallide freesimisel suure ettenihkega ja lõikesügavusega, samuti vähem sitkete ja keskmise kõvadusega metallide, nagu kroomnikkelterase ja keskmise süsinikusisaldusega mangaanterase freesimisel tekib lõhestumislaast. Habraste ja kõvade metallide freesimisel tekib murdelaast.

Sitkete metallide freesimisel väikese ettenihkega ja lõikesügavusega, kuid suure lõikekiirusega (siluvfreesimine), samuti kõvade teraste kiirfreesimisel tekib voolavlaast.

Lõhestumislaastu või voolavlaastu tekkimisel on töödeldud pinna siledus suurem kui murdelaastu puhul. Kiirfreesimisel tekib voolavlaast ja pinnasiledus saadakse $\nabla 5 - \nabla 8$, mille tulemusena langeb sageli ära vajadus pinna lihvimiseks.

## Üldised eeskirjad freesi ekspluateerimiseks

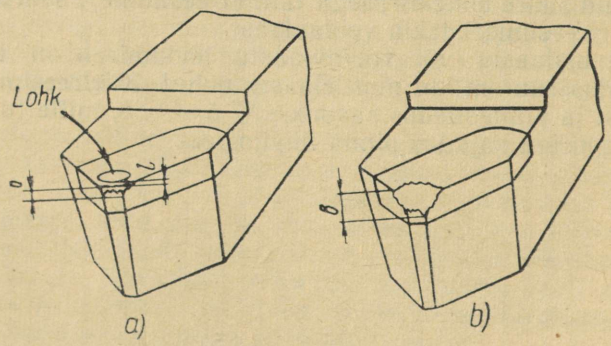
Frees töötab tootlikult ainult õigel ekspluateerimisel. Kui freesimine toimub õigesti määratud lõikerežiimil, võib freesiga töödelda ettenähtud koguse detaile, ilma et teda oleks vaja vahepeal teritamisele anda.

## Freesi püsivusaja mõiste

Tööprotsessis nürineb frees kulumise tõttu, mida põhjustab freesi hamba tagapinna hõõrdumine vastu töödeldavat pinda ja eralduva laastu hõõrdumine vastu hamba esipinda. Joonisel 58 on kujutatud kõvasulamist plaadikesega varustatud laupfreesi hammas erinevais kulumisstaadiumides. Freesimisel tekib hamba tagatahul *kulumisväli*, mille laius *b* pidevalt suureneb. Samal ajal tekib esitahul eralduva laastu hõõrdumise tulemusena vaevaltmärgatav *kulumissüvend*, mis asub lõikeservast kaugusel *l*.

Töö käigus ennetab tagatahu kulumine esitahu kulumist niikaua, kui tagatahu kulumisväli ei ole ühinenud kulumissüvendiga esitahul. Sellest hetkest kasvab kulumine järsult, sest lõhutud tera ei saa normaalselt lõigata. Jõuab kätte lõikeriista *katastroofilise* kulumise moment, mille järel tuleb freesi hamba õige geomeetria taastamiseks hamba esi- ja tagatahult maha võtta suur metallikiht.

Sellepärast ei tohi freesija kunagi lasta freesil kuluda katastroofilise kulumiseni, vaid peab andma ta teritamisele otsekohe pärast normaalset kulumist. Freesi nürinemise tunnusteks on vibratsiooni




Joon. 58. Laupfreesi hamba kulumine:
*a* — normaalne; *b* — katastroofiline

ilmumine, ebatasane töödeldud pind ja freesi ülemäärane kuumenemine suure hõõrdumise tagajärjel.

Hõõrdumine põhjustab alati lõikeriista temperatuuri tõusu, mis omakorda vähendab ta lõikeserva kõvadust ja soodustab kiiret nürinemist. Seega põhjustab freesi nürinemist nii freesi kulumine kui ka üleliigne kuumenemine lõikeprotsessis.

*Freesi püsivusaeg* määratakse freesi pideva töötamise ajaga kahe terituse vahel, kusjuures arvestatakse ainult freesi lõikesoleku aega.

## Freesi jahutamine

Jahutamist kasutatakse lõikamisel freesi kuumenemise ja lõikeserva kulumise vähendamiseks ning freesi püsivuse suurendamiseks.

Freeside jahutamiseks on mitu viisi: vedelikuga, mis suunatakse pumbast torustiku kaudu freesile; peene vedelikujoaga, mis suunatakse otse lõiketsooni; vedelikuga, mis on pihustatud uduks; süsihappegaasiga ja teiste gaasiliste jahutusainetega.

Mõned vedelikud, mida kasutatakse freesimisel, mitte ainult ei jahuta lõikeriista ja töödeldavat detaili, vaid ka vähendavad hõõrdumist hamba lõikeelementide ja töödeldava pinna vahel. Selliseid vedelikke nimetatakse *määrde-jahutusvedelikeks.*

Määrde-jahutusvedelike kasutamine kergendab laastu eraldamist ja tõstab töödeldud pinna kvaliteeti. Vedelikud, mis suunatakse lõiketsooni surve all, pesevad hammastevahelise laasturuumi laastudest puhtaks, kergendades lõikeriista töötingimusi.

Jahutus- ja määrde-jahutusvedelike kasutamine oleneb töödeldavast materjalist ja töötlemisviisist. Tabelis 1 on toodud nende vedelike põhiliigid.

Lõikeriista ja töödeldava detaili jahutamiseks kasutatakse 5—10%-list sooda vesilahust. Soodat lisatakse selleks, et kaitsta pinki, rakist ja töödeldavat detaili korrosiooni eest.

Enamkasutatavamaks määrde-jahutusvedelikuks on emulsioon, s. o. hoolikalt segatud seebilahuse, mineraalõli ja vee segu, millel on head jahutavad ja rahuldavad määrivad omadused. Kergete freesimistööde puhul kasutatakse *vesiemulsiooni*, mis kujutab endast 6%-list emulsooli* vesilahust. Poolpuhastel ja koorimistöödel kasutatakse *õliemulsiooni*, oleiinhappe kaltsiumisoola lisandiga, mis moodustab töödeldaval pinnal õhukese kile, tagades lõikeserva määrimist.

Töötlemisel suure laastu ristlõikega kasutatakse tugevat õlikilet moodustavaid määrde-jahutusvedelikke, mis taluvad kõrget

---

* Emulsool koosneb 75—80% mineraalõlist; 18—20% seebist; 3—5% piiritusest ja 4—5% veest.

temperatuuri ja suurt lõikejõudu. Nende hulka kuuluvad *sulfofresoolid* (väävlistatud mineraalõlid) ja *segaõlid* (mineraalõli ja rasvhappeid sisaldavate produktide segu).

Jahutus- ja määrde-jahutusvedelikke tuleb juhtida lõiketerale tingimata pideva joana alates lõikamise algmomendist. Vedeliku kulu ulatub koorimisel kuni 30 l/min ja silumisel kuni 6 l/min.

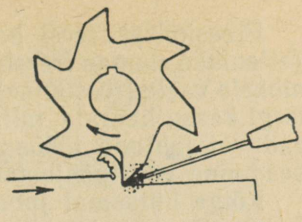
Tabel 1

**Jahutus- ja määrde-jahutusvedelikud**

| Töödeldav materjal | Kasutatav vedelik | |
|---|---|---|
| | Koorivfreesimisel | Siluvfreesimisel |
| Süsinik, konstruktsiooni-, tööriista- ja kuumuskindlad terased | Õliemulsioon<br>Sulfofresool | Vesi- ja õliemulsioon<br>Sulfofresool<br>Segaõli |
| Parendatud ja tsementiiditud terased | Õliemulsioon<br>Sulfofresool | Õliemulsioon. Sulfofresool. 5%-lise rasvasisaldusega mineraalõli. |
| Terasvalu | Sooda vesilahus<br>Vesi- ja õliemulsioon | Vesi- ja õliemulsioon. Sulfofresool. Segaõli |
| Malmvalu | Tavaliselt ilma jahutuseta. Sooda vesilahus. Emulsioon | Tavaliselt ilma jahutuseta. Sooda vesilahus. Emulsioon |
| Tempermalm | Tavaliselt ilma jahutuseta. Emulsioon | Tavaliselt ilma jahutuseta. Sulfofresool |
| Pronksvalu | Ilma jahutuseta. Vesiemulsioon | Vesi- ja õliemulsioon. Segaõlid. Sulfofresool |
| Vask, messing, vaskvalu | Ilma jahutuseta. Vesi- ja õliemulsioon | Ilma jahutuseta. Vesi- ja õliemulsioon. Segaõli. Sulfofresool |
| Alumiinium ja tema sulamid | Õliemulsioon. Segaõlid. Petrooleum. Tärpentin | Väävlistatud õli. Puhastamata rapsi- ja puhastatud mineraalõli segu. Petrooleum. Tärpentin |
| Magneesiumi sulamid | Kuivalt. Kõrge plahvatustemperatuuriga mineraalõli | |
| Niklisulamid | Õliemulsioon. Sulfofresool. 5%-lise rasvasisaldusega mineraalõli | |

Kui juhtida jahutus- ja määrde-jahutusvedelikku peene joana hamba tagapinna poolt otse lõiketsooni (joon. 59), on jahutus kõige efektiivsem ja freesi püsivus tõuseb 3 kuni 5 korda. Selleks juhitakse vedelik freesi juurde kõrgsurvepumba abil survega 15—20 kG/cm² või spetsiaalse toruotsiku kaudu, mille ava läbimõõt on 0,2—0,3 mm.

Kui jahutus- ja määrde-jahutusvedelik juhtida otse lõiketsooni



Joon. 59. Freesi hamba jahutamise skeem jahutusvede liku peene joa abil

uduks pihustatud joana, tõuseb freesi püsivusaeg 2 kuni 4 korda. See jahutusviis on eriti efektiivne siluvfreesimisel, kui lõigatakse maha õhuke metallikiht. Selleks otstarbeks varustatakse pink emulsioonisegistiga. Segistisse juhitakse tehase suruõhumagistraalist suruõhk survega 4—5 kG/cm², mis pihustab emulsiooni üliväikesteks silmaga nähtamatuiks piiskadeks temperatuuriga ligikaudu 0° C. Sattudes freesi hamba ja töödeldava detaili kokkupuutetsooni, neelab pihustatud vedelik lõikamisel tekkiva soojuse, täites ühtlasi ka määrdeaine ülesannet.

Freesi püsivusaja tõstmiseks kasutatakse nii välismaal kui ka Nõukogude Liidus peale vedelike edukalt ka gaasilisi jahutusaineid — suruõhku, lämmastikku ja süsihappegaasi. Süsihappegaasi kasutamine on väga lihtne. Süsihappegaas survega 60 kG/cm² juhitakse balloonist pingi juurde torustiku kaudu. Läbi peente avadega (läbimõõduga 0,2—0,3 mm) varustatud otsiku juhitakse ta lõiketsooni temperatuuri juures —40° C. Süsihappegaasiga jahutamist soovitatakse kasutada titaani, roostevabade ja kuumuskindlate teraste, kroomi, nikli ja teiste raskesti töödeldavate materjalide freesimisel.

### Kontrollküsimusi

1. Kuidas määrata antud pöörete arvu ja freesi läbimõõdu juures lõikekiirust freesimisel?
2. Kuidas määrata ettenihet minutis, kui on antud freesi pöörete arv ja ettenihe ühele pöördele?
3. Millised lõikeelemendid kuuluvad mõistesse «lõikerežiim»?
4. Millisel juhul kasutatakse freesimisel jahutust?

Milliseid jahutus- ja määrde-jahutusvedelikke te teate?

## V PEATÜKK

# LIHTSAIMAD TOORIKUTE KINNITUSRAKISED

Freespinki ülesseatud toorik peab omama freesi suhtes kindlat asendit. Tooriku ülesseadmisest oleneb eelkõige töötlemistäpsus ja töödeldud pindade vastastikune asetus. Peale selle peab toorik olema kinnitatud kindlalt ja tugevasti.

Freesimisel freesi hammas kas surub tooriku vastu töölauda (ettenihke suunas freesimine) või kisub seda töölaualt lahti (ettenihkele vastu freesimine). Nõrga kinnituse korral võib frees tooriku isegi kaasa haarata, mille tulemusena võivad murduda freesi hambad või juhtuda tööõnnetus. Ebatäpne, lohakas ja ebaõige ülesseadmine võib põhjustada praaki.

Kõige lihtsamal juhul kinnitatakse toorik vahetult pingi töölauale. See on võimalik siis, kui detailil on hea tugipind. Õigesti kinnitatud toorik peab tugipinnaga toetuma tihedalt vastu töölaua tööpinda. Pingi töölaual on pikisuunas kolm soont, kuhu asetatakse kinnituspoldid. Tooriku kinnitamiseks töölauale kasutatakse surveliiste, mis surutakse vastu toorikut poltidega.

Ümmarguse ristlõikega toorikud seatakse üles ja kinnitatakse prismadele, mis omakorda kinnitatakse pingi töölauale poltidega.

Lõikeriistade (keermepuurid, hõõritsad, otsfreesid) freesimisel kinnitatakse toorik jagamispea ja tagumise tsenterpuki tsentrite vahele. Tihti kinnitatakse toorik vahetult jagamispea spindlisse. Kasutatakse ka kinnitamist jagamispea spindli otsa keeratud padrunisse.

Laialdaselt kasutatakse freesimistöödel toorikute kinnitamiseks masinkruustange. Kui on vaja freesida suur partii ühesuguseid detaile, kasutatakse kinnitamiseks spetsiaalseid freesimisrakiseid, mis tagavad ülesseade ja töötlemise suure täpsuse ning lühendavad tooriku ülesseadmiseks ja kinnitamiseks kuluvat aega.

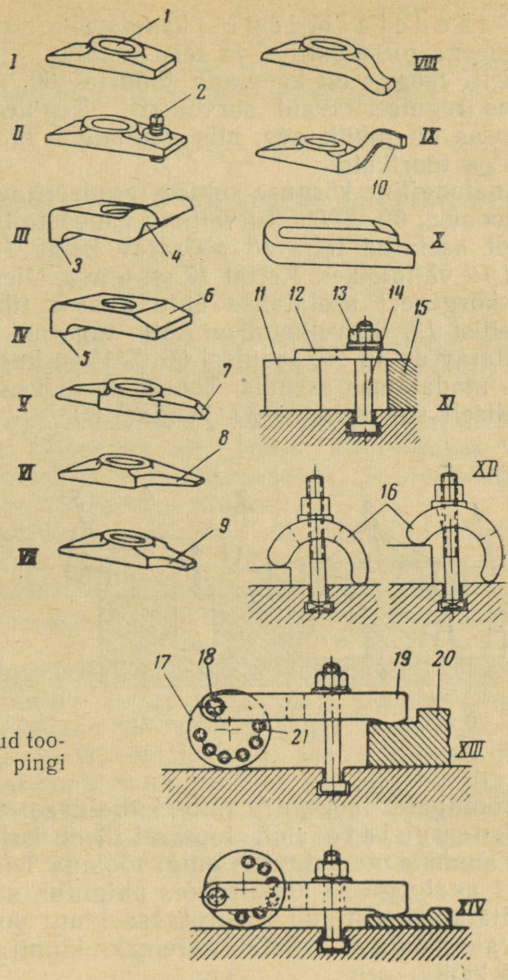
## § 13. TOORIKUTE KINNITAMINE PINGI TÖÖLAUALE

### Kinnitusrakised

Tooriku vahetuks kinnitamiseks pingi töölauale kasutatakse poldiga surveliiste ja haarajaid.

Joonisel 60 on kujutatud mitmesugused surveliistude tüübid. Enamlevinenumaks on surveliist *I*. Surveliistu poldi ava *1* on piklik, mis võimaldab teda nihutada kinnitatava tooriku suhtes. Sellised piklikud avad on kõigil joonisel 60 kujutatud surveliistudel. Kruvi *2* surveliistul *II*, samuti nukid *3* ja *5* surveliistudel *III* ja *IV* asendavad toetavat vahedetaili. Kinnitamisel surveliistuga *III* asetatakse aste *4* kinnitatavale detailile. Surveliistul *IV* on faas *6*, et anda freesile ruumi tooriku vastava pinna töötlemiseks.

Tihti kasutatakse venitatud otstega surveliiste (surveliistud *V*, *VI*, *VII*). Nende otsad *7*, *8* ja *9* paigutatakse tavaliselt kas toorikui olevasse süvendisse või toetatakse tooriku väljaulatuvale osale. Surveliistu VIII saab kasutada ilma toetava vahedetailita. Surveliistu IX on sobiv kasutada juhul, kui tooriku pinnal on süvend või




Joon. 60. Surveliistud toorikute kinnitamiseks pingi töölauale

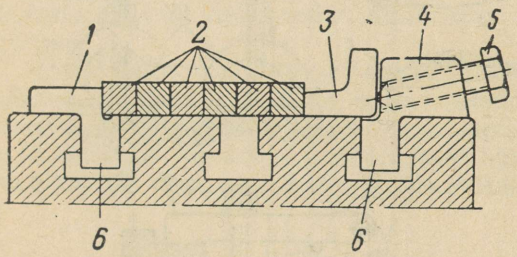
lohk, kuhu saab paigutada nuki *10*. Väga mugav ja lihtne on kasutada ja valmistada surveliistu *X*. Surveliistu mahavõtmiseks piisab vaid kinnituspoldi mutri lõdvendamisest ja liistu nihutamisest kõrvale.

Joonisel 60, *XI* on kujutatud tooriku *15* kinnitus surveliistuga *12*, mis ühe otsaga toetub toorikule *15* ja teisega vahedetailile *11*. Polt *14*, mille pea käib töölaua T-kujulises soones, ulatub läbi surveliistu. Kui keerata mutrivõtmega mutrit *13*, surub surveliist vahedetailile ja toorikule, kinnitades viimase.

Vahedetailidena kasutatakse mitmesuguseid sobiva kõrgusega prismaatilisi ja teisi detaile.

Eriti mugav on kasutada joonisel 60, *XII* kujutatud kõrguse suhtes reguleeritavaid surveliiste. Reguleeritava surveliistu *16* keskosas on piklik ava, mis võimaldab kinnitada erinevate kõrgustega toorikuid.

Analoogiline kõrguse suhtes reguleeritav surveliist on kujutatud joonisel 60, *XIII*. Surveliistu vahedetailiks on ümber ekstsentriliselt asetatud telje *18* pööratav ketas *17*, mis paikneb surveliistu *19* väljalõikes. Kettal *17* on 6 ava. Olenevalt vajalikust ülesseadekõrgusest asetatakse ühte avasse tihvt *21*, millele toetub surveliist *19*. Surveliistul on kolm tugipunkti: telg *18*, tihvt *21* ja kinnitatav detail *20*. Joonisel 60, *XIV* on kujutatud sama surveliist kõige madalamas asendis. Toorik surutakse kinni poldi abil analoogiliselt surveliistule *XI* joonisel 60.




Joon. 61. Kokkusuruja

Mõningaid toorikuid võib küllaldase tugevusega kinnitada kokkusurujate abil. Joonisel 61 on kujutatud kokkusuruja *4*, mille alumine ots paigutub pingi töölaua T-kujulisse soonde. Tugipaki *1* analoogiline alumine ots paigutub samuti töölaua soonde. Kinnitatavad toorikud *2* surutakse kinni poldi *5* abil, mis surub liikuvale pakile *3*. Tooriku paremaks kinnitamiseks on polt *5* asetatud kaldu.

### Reeglid toorikute kinnitamisel pingi töölauale

Vaatamata sellele, et tooriku kinnitamine vahetult pingi töölauale on kõige lihtsam kinnitusviis, vajab see kogemusi.

Tooriku kinnitamisel pingi töölauale surveliistudega tuleb meeles pidada järgmisi reegleid:

1) surveliistu kinnitav polt tuleb seada võimalikult tooriku lähedale, selleks kasutada pikliku avaga surveliiste;

2) surveliist peab toetuma vahedetailile toorikuga ühel kõrgusel;

3) toorikule toetuv surveliistu ots tuleb seada tooriku sellele kohale, kus toorik asetseb tihedalt vastu töölauda;

4) tooriku koorivfreesimist teostada tugevasti kinnitõmmatud poltidega, siluvfreesimisel aga lõdvendada kergelt poltide mutreid.

## § 14. TOORIKUTE KINNITAMINE NURGIKUTELE JA PRISMADELE

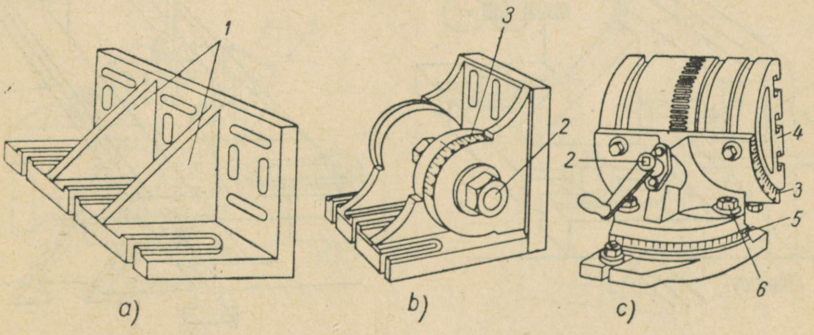
### Nurgikud

Tooriku freesimiseks, mille kaks töödeldavat külge peavad moodustama omavahel teatud nurga, kasutatakse *nurkplaati*, mida lühidalt nimetatakse *nurgikuks*.

Joonisel 62, *a* on kujutatud *harilik* nurgik, mille küljed on teineteise suhtes töödeldud täisnurga all. Toorik kinnitatakse vahetult nurgikule surveliistudega või pitskruvidega. Suuremõõtmelistel nurgikutel on jäikuse tõstmiseks ribid *1*.

Joonisel 62, *b* on kujutatud *pööratav* nurgik, mille küljed on pööratavad ümber poldi *2*. Nurgiku küljed seatakse vajaliku nurga alla skaala *3* järgi pärast mutri vabastamist. Joonisel 62, *b* on nurgik kujutatud asendis, kus küljed moodustavad omavahel 90° nurga.

Joonisel 62, *c* on kujutatud *universaalnurgik*, mis võimaldab kinnitatud toorikut pöörata kahes tasapinnas. Universaalnurgikuid kasutatakse kaldpindade töötlemisel. Universaalnurgik kujutab endast horisontaal- ja vertikaaltelje ümber pööratavat kolme T-kujulise soonega varustatud töölauda *4*, millele kinnitatakse toorik. Ümber vertikaaltelje pööratakse töölauda pööratava vahedetaili *5* abil, mis pärast vajaliku nurga alla seadmist kinnitatakse




Joon. 62. Nurgikud toorikute kinnitamiseks:
*a* — tavaline; *b* — pööratav; *c* — universaalne

poltidega *6*. Töölaua pööramine ümber horisontaaltelje toimub vända *2* abil.

Joonisel 63 on kujutatud suhteliselt õhukese, kuid pika ja laia plaadi *1* kinnitus nurgikule *2*. Nurgik toetub pingi töölauale tugipinnaga ja kinnitatakse sinna poltidega, mis paigutuvad pingi töölaua T-kujulistesse soontesse. Nurgiku tugipinnal on juhttapp *3*, mis paigutub pingi töölaua soonde, tagades nurgiku ülesseadmisel ta paralleelsuse pingi kerega.

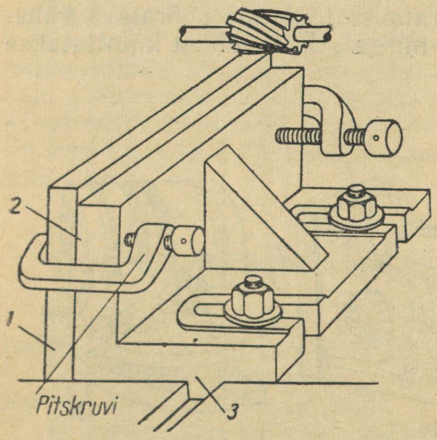
Enne tooriku kinnitamist tuleb hoolega kontrollida nurgiku enda õiget asendit pingi töölaual. Küllaldase täpsusega võib nurgiku asendit töölaual kontrollida (joon. 64) vertikaalse külje kauguse mõõtmise teel lähemast pingi töölaua soonest *3*: kaugused *A* ja *B*, mõõdetuna mõõtjoonlauaga, peavad olema võrdsed.

Täpsemaks kontrollimiseks võetakse tükike painutatud ja teritatud otsaga traati *1* või rismus (joon. 64) ning kinnitatakse freestorni külge. Traadi teravik lähendatakse (soovitav ristettenihkega) nurgiku vertikaalsele küljele kuni kerge kokkupuuteni. Pärast seda antakse töölauale käsitsi aeglane pikiettenihe ja jälgitakse valguspilu laiuse muutust traadi teraviku ja nurgiku vahel.

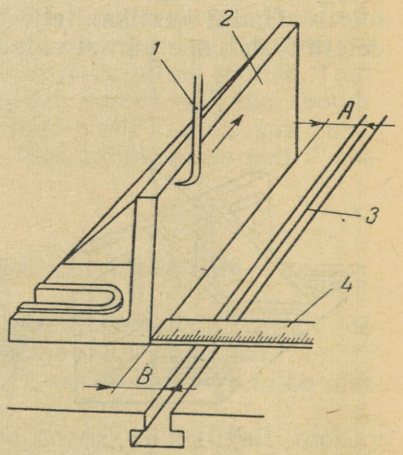
Kui tekib kahtlus nurgiku enda ülesseade täpsuses, s. t. kas ta küljed on teineteise suhtes täisnurga all, kontrollitakse seda analoogiliselt ülalesitatuga, andes pingi töölauale vertikaalettenihke.

Pärast kontrollimist kinnitatakse nurgik tugevasti töölauale.

Toorik seatakse nurgikule üles ja kinnitatakse harilikult pitskruvide abil, seejuures teostatakse kõigepealt eelkinnitus, siis




Joon. 63. Tooriku kinnitamine nurgikule




Joon. 64. Nurgiku ülesseade kontrollimine pingi töölaual

kontrollitakse ülesseade õigsust ja pärast seda kinnitatakse lõplikult.

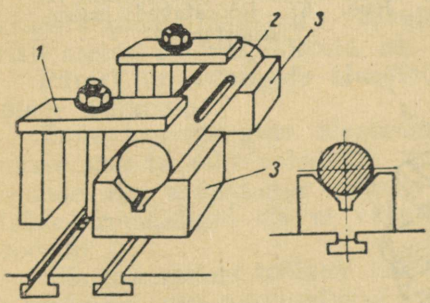
Nurgiku vertikaalküljel on harilikult pikipilud (vt. joon. 62, *a*, *b*), milledesse paigutuvad surveliistu kinnituspoldid, milledega toorik kinnitatakse nurgikule.

## Toorikute kinnitamine prismadele

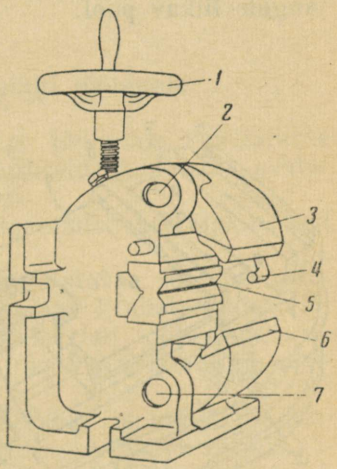
Ümmarguste toorikute kinnitamiseks kiilusoonte, liistusoonte ja väljalõigete freesimisel kasutatakse edukalt *prismasid*. Lühikeste toorikute puhul kasutatakse ühte prismat. Kui toorik on pikk, kasutatakse kahte töölauale teatud vahekaugusega üles seatud prismat. Prismad kinnitatakse töölauale surveliistudega, toorik kinnitatakse prismadele kas surveliistude või pitskruvide abil.

Joonisel 65 on kujutatud võlli *2* kinnitus kahel prismal *3*. Prismad on üles seatud pingi töölauale. Prismade telgede õige asendi tagavad nende aluspinnal olevad tapid, mis paigutuvad töölaua soontesse (vt. joon. 65). Võll kinnitatakse surveliistudega *1*. Kinnitamisel tuleb jälgida, et surveliist toetuks võllile läbipaindumise vältimiseks prisma kohal. Võlli töödeldud pinna vigastamise vältimiseks tuleb võllile toetuva surveliistu otsa alla asetada õhuke vask- või messingplekist riba.

Joonisel 66 on kujutatud *kruustangid võllide kinnitamiseks*. Võllid kinnitatakse neis prismade abil. Kruustange võib freespingi töölauale kinnitada joonisel 66 näidatud asendis või pöörata neid




Joon. 65. Võlli kinnitamine prismadele.




Joon. 66. Kruustangid võllide kinnitamiseks

90° võrra. Neid kruustange saab kasutada nii horisontaal- kui ka vertikaalfreespinkidel.

Töödeldav võll asetatakse prismadele *5* ja käsiratta *1* pööramisega pigistatakse ümber tappide *2* ja *7* pöörduvate pakkide *3* ja *6* vahele.

Suurema läbimõõduga võllide kinnitamiseks võib vajaduse korral prismat *5* kruustangides ümber seada. Võlli seadmiseks pikkuse järgi on piiraja *4*.

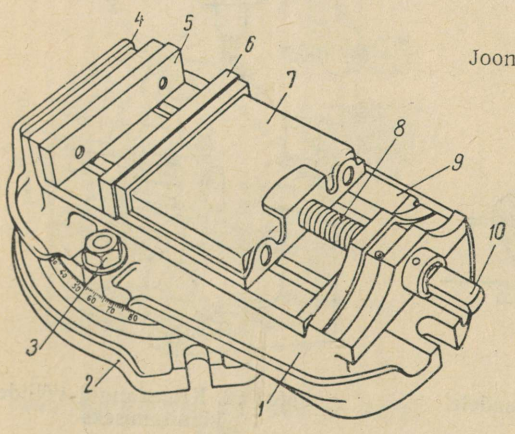
## § 15. TOORIKUTE KINNITAMINE KRUUSTANGIDESSE

### Masinkruustangide tüübid

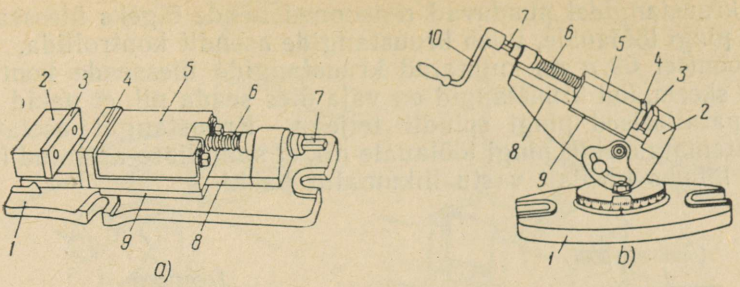
Masinkruustangid on toorikute kinnitamiseks väga mugavad. Masinkruustange on mitmes suuruses, olenevalt pingi ja tooriku mõõtmetest.

Joonisel 67 on kujutatud *pööratavad masinkruustangid*, mis kinnitatakse freespingi töölauale kruustangide alusplaadi *2* väljalõigetesse paigutuvate poltidega. Vertikaaltelje ümber pööratavat keret *1* on võimalik poltide *3* abil kinnitada alusplaadile meelevaldses asendis. Keret *1* pööratakse alusplaadi *2* suhtes vajaliku nurga võrra skaala järgi.

Kruustangidel on karastatud pakkidega *5* ja *6* varustatud liikumatu pool *4* ja liikuv pool *7*, spindel *8*, mille nelikantotsale *10* saab asetada käepideme, ja juhtpinnad *9*, milledel liigub kruustangide liikuv pool.




Joon. 67. Pööratavad masinkruustangid




Joon. 68. Masinkruustangide tüübid:
*a* — mittepööratavad; *b* — universaalsed; *1* — kruustangide alus; *2* — liikumatu pool; *3* ja *4* — karastatud pakid; *5* — liikuv pool; *6* — spindel; *7* — nelikantots; *8* — juhtpinnad; *9* — pingutusplaat; *10* — käepide

Detailide kinnitamiseks kasutatakse ka *mittepööratavaid masinkruustange* (joon. 68, *a*), mis erinevad pööratavaist selle poolest, et neil puudub alusplaat *2*. Nad kinnitatakse pingi töölauale kere väljalõigetesse asetatavate poltidega.

Kaldpindade freesimiseks kasutatakse universaalkruustange (joon. 68, *b*), mis on pööratavad mitte ainult vertikaaltelje ümber, nagu pööratavad kruustangid, vaid ka horisontaaltelje ümber. Universaalkruustange on mugav kasutada tööriistade valmistamisel, kuid vähem sobivad nad siis, kui tuleb eraldada suure ristlõikega laastu, sest nad ei taga tooriku küllalt jäika kinnitust.

## Kruustangide ülesseadmine pingi töölauale

Kruustangide ülesseadmisel freespingi töölauale kasutatakse kruustangide alusplaadis olevaid täisnurkseid, teineteise suhtes risti asetsevaid väljalõikeid, nn. *ristsooni*.

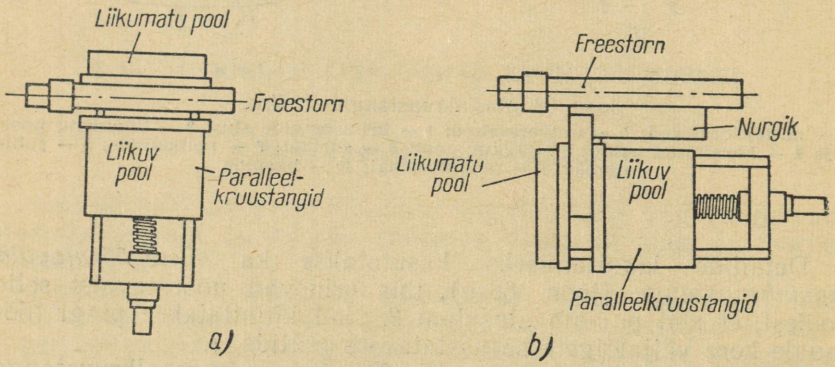
Pärast kruustangide alusplaadi puhastamist asetatakse nad pingi töölauale.

Enne kruustangide ülesseadmist paigutatakse töölaua keskmisse soonde kaks vahetükki, mis paigutuvad kruustangide pikisoonde. Kui kruustange on vaja üles seada risti töölauaga, seatakse kruustangid nii, et vahetükid satuksid kruustangide ristsoonde.

Siis asetatakse töölaua soontesse seibidega ja mutritega kinnituspoldid, mis paigutatakse kruustangide alusplaadi väljalõigetesse, ja kinnitatakse kruustangid. Kinnituspoltide mutreid tuleb keerata vaheldumisi, sest mutrite lõplik kinnitõmbamine enne ühel pool ja siis teisel pool ei taga kruustangide õiget ülesseadet.

Kui kruustangidel puuduvad ristsooned nende õigeks ülesseadmiseks pingi töölauale, tuleb kruustangide asendit kontrollida.

Joonisel 69, *a* on kujutatud kruustangide ülesseade kontrollimise skeem, kui kruustangid on vaja üles seada nii, et pakid oleksid paralleelsed pingi spindli teljega. Kruustangid asetatakse kinnitamata olekus pingi töölauale nii, et spindlisse asetatud freestorn liibuks tihedalt vastu liikumatut pakki.



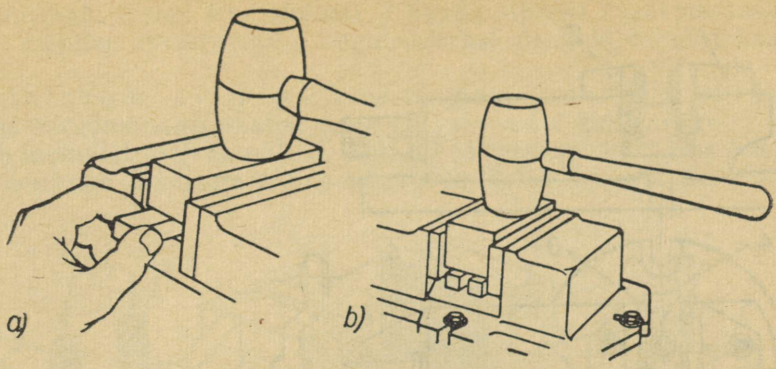

Joon. 69. Kruustangide ülesseadeviisid:
*a* — paralleelselt pingi spindli teljega; *b* — risti pingi spindli teljega

Joonisel 69, *b* on kujutatud kruustangide ülesseade kontrollimise skeem, kui kruustangid on vaja üles seada nii, et pakid oleksid risti pingi spindli teljega. Kruustangid asetatakse kinnitamata olekus pingi töölauale nii, et kruustangidesse kergelt kinnitatud nurgik tihedalt, ilma valguspiluta liibuks pingi spindlisse kinnitatud freestorni vastu.

Pärast kruustangide õigesse asendisse seadmist (joon. 69, *a* või 69, *b*) kinnitatakse nad freespingi töölauale analoogiliselt eespool kirjeldatud kinnitusviisiga.

## Toorikute kinnitamine kruustangidesse

Tooriku kinnitamisel keeratakse kruustangid kõigepealt niipalju lahti, et pakkide vahe oleks veidi laiem tooriku laiusest ning pühitakse pakid ja kruustangide põhi puhtaks. Kui tooriku kõrgus on väiksem pakkide kõrgusest, võetakse üks või kaks paralleelsete külgedega terasliistu, puhastatakse nad ja paigutatakse pakkide vahele kruustangide juhtpindadele. Alusliistudele asetatud toorik peab ulatuma pakkidest 10 kuni 15 mm kõrgemale. Asetanud too-




Joon. 70. Toorikute ülesseadmine kruustangidesse:
*a* — ühele alusliistule; *b* — kahele alusliistule

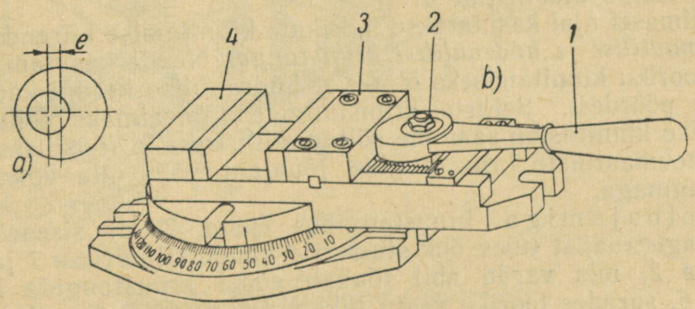
riku kruustangidesse alusliistule, surume ta kruustangide pakkide vahele kinni kruustangide käepideme pööramisega, lüües samal ajal toorikule vasest või messingist vasaraga, et teda kindlalt kinnitada. Kui toorik ei liibu küllalt tihedalt vastu liiste, lööme veelkord vasaraga toorikule ja kinnitame ta siis lõplikult.

Joonisel 70, *a* on kujutatud ühele alusliistule toetuva tooriku ülesseade, joonisel 70, *b* kahele paralleelsete külgedega alusliistule toetuva tooriku ülesseade.

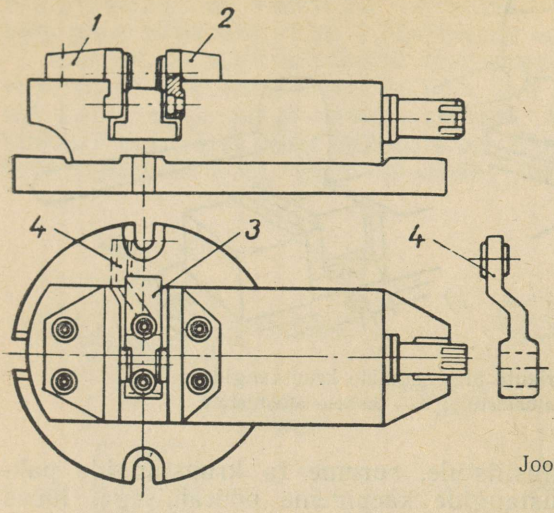
## Lihtsaimate kinnitusrakiste mehhaniseerimisest

Freesijate-novaatorite mõte on suunatud sellele, kuidas vähendada toorikute ülesseadmiseks ja kinnitamiseks kuluvat aega, kasutamata spetsiaalseid rakiseid.

Väikeste detailide kinnitamiseks kasutavad novaatorid ekstsentrikuga kruustange (joon. 71), mis aitavad tunduvalt kokku




Joon. 71. Ekstsentrikuga kruustangid




Joon. 72. Spetsiaalsete pakkidega masinkruustangid

hoida kinnitamiseks kuluvat aega. Pöörates käepidet *1* (joon. 71, *b*), mille külge on kinnitatud ekstsentrik *2* ekstsentrilisusega *e* (joon. 71, *a*), nihutatakse liikuvat pakki *4*, mille tulemusena toorik pigistatakse liikumatu paki *3* ja liikuva paki *4* vahele kinni. Toorik vabastatakse käepideme *1* pööramisega vastassuunas.

Väikeste partiide töötlemise aega võib tunduvalt lühendada *spetsiaalsete pakkide* kasutamisega masinkruustangidel ja ekstsentrikuga kruustangidel.

Joonisel 72 kujutatud kruustangid on varustatud spetsiaalsete pakkidega, mis on kinnitatud kruustangide liikuva ja liikumatu poole külge hoobade ülesseadmise ja kinnitamise kiirendamiseks nende tasapinnaliste osade freesimisel.

Töödeldav hoob *4* tsentreeritakse ava kaudu pakkidel *1* ja *2* olevate silindriliste tihvtide abil ja kinnitatakse kruustangidesse. Hoob toetub alusliistule *3*.

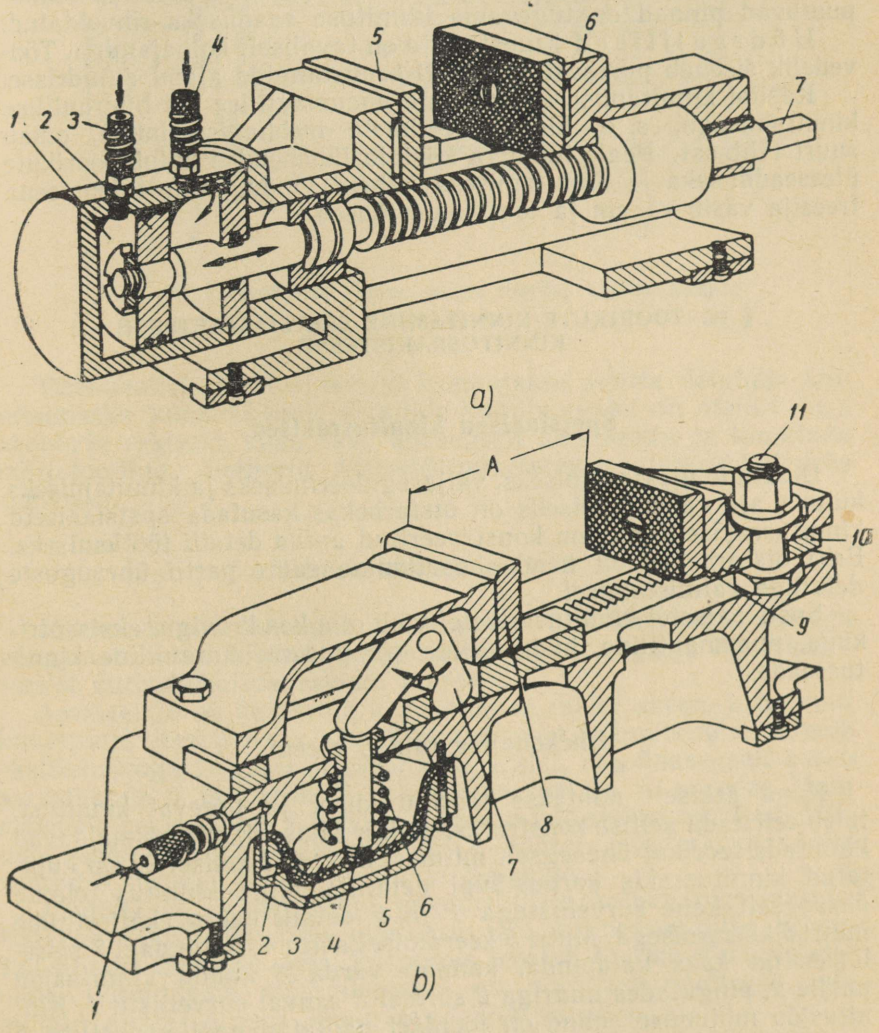
Viimasel ajal kasutatakse toorikute kinnitamise kiirendamiseks *pneumaatilisi* ja *hüdraulilisi kruustange*. Nende kasutamisel piisab tooriku kinnitamiseks õhu- või hüdraulilise kraani käepideme ühest pöördest. Selliste kruustangide tähtsaimaks eeliseks on vajaliku kinnitusjõu saamine sõltumatult freesija füüsilisest jõust.

Pneumaatiliste kruustangide jõuajam võib olla kolviga või diafragmaga.

K o l b a j a m i g a kruustangides (joon. 73, *a*) siseneb surutõhumagistraalist tulev õhk stutseri *4* kaudu silindrisse *1* ja surub kolvile *2*, mis varda abil tõukab edasi kruustangide liikuvat poolt *6*, surudes tooriku vastu liikumatut pakki *5*. Tooriku vabastamine pärast töötlemist toimub kolmeasendilise kraani ümber-

lülitamisega, lastes õhu stutseri *3* kaudu silindri vasakpoolsesse ossa. Reguleerimiskruviga *7* reguleeritakse pakkide vahelist kaugust.

Diafragmaajamiga kruustangides (joon. 73, *b*) siseneb tehase suruõhumagistraalist tulev õhk stutseri *1* kaudu õõnde *2* ja surub kummist diafragmale *5*. Ketas *3* tõstetakse diafragma *5* toimel üles koos tõukuriga *4*, mis omakorda tõstab hooba *7*, mille üks




Joon. 73. Pneumaatilised kruustangid:
*a* — kolbajamiga; *b* — diafragmaajamiga

ots asub liistu *10* väljalõikes. Liist *10* on ühendatud liikuva pakiga *9*. Seega tõukuri ülesliikumisel nihutatakse liikuvat poolt mööda juhtpindu liikumatu paki *8* suunas ja toorik surutakse pakkide vahele kinni. Pärast õhukraani sulgemist viib vedru *6* tõukuri tagasi algseisu. Kruustangide liikumatu pool on ühtlasi ka tõukurmehhanismi kereks. Liikuvat pakki *9* võib mutriga poldi *11* abil seada liistul *10* maksimaalse mõõtme $A = 150$ mm piirides meelevaldsele kaugusele. Kruustangide liikuva poole ja liistu *10* kokkupuutuvad pinnad on tugevama kinnituse saamiseks rihveldatud.

Hüdraulilised kruustangid on tavaliselt kolbajamiga. Töövedelik siseneb pumbast surve all kruustangide ajami silindrisse.

Käsitsi kinnitamise asendamine pneumaatilise või hüdraulilise kinnitamisega, s. o. kinnitusseadmete mehhaniseerimine, omab suurt tähtsust. Peale tunduva käsiaja lühenemise kulub toorikute ülesseadmiseks ja kinnitamiseks vähem jõudu, mille tulemusena freesija väsib vähem ja tootlikkus tõuseb.

## § 16. TOORIKUTE KINNITAMINE SPETSIAALSETESSE KINNITUSRAKISTESSE

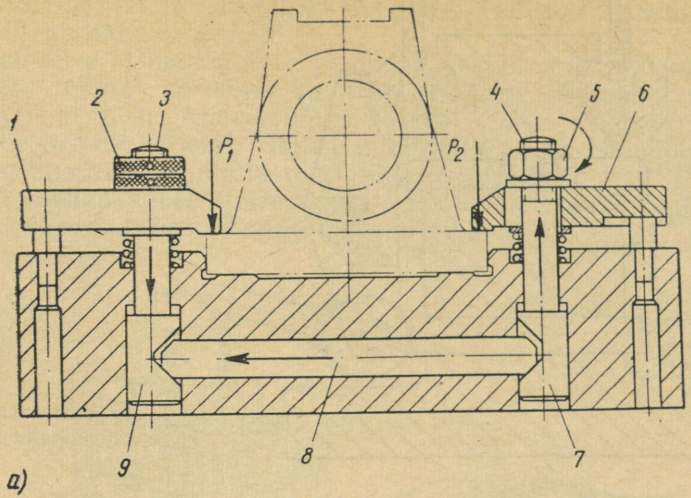
### Spetsiaalsed kinnitusrakised

Detailide ülesseadmiseks, väljareguleerimiseks ja kinnitamiseks kuluva aja vähendamiseks on otstarbekas kasutada spetsiaalseid kinnitusrakiseid, mis on konstrueeritud antud detaili töötlemiseks. Eriti otstarbekas on nende kasutamine suure partii ühesuguste detailide valmistamisel.

Spetsiaalsetel kinnitusrakistel võib olla kas kruviga, ekstsentrikuga, pneumaatiline, hüdrauliline või pneumohüdrauliline kinnitusseade.

### Ühekohalise rakise skeem

Kuna rakiselt nõutakse tooriku kiiret ja tugevat kinnitust, tuleb eelistada sellise konstruktsiooniga rakiseid, mis võimaldavad kinnitada toorikut üheaegselt mitmest kohast. Joonisel 74 on kujutatud kinnitusrakis korpustüüpi detailile, mille kinnitus toimub üheaegselt kahe surveliistuga *1* ja *6* detaili kahest küljest ühe mutri *5* keeramisega. Mutri *5* keeramisel sõrm *4*, mille paki *7* sisselõikes on kaks kaldpinda, kannab varda *8* kaudu kinnitusjõu pakile *9*, pingutades mutriga *2* sõrmel *3* asuvat surveliistu *1*. Kinnitusjõu mõjumise suund on joonisel näidatud nooltega. Mutri *5* lahtikeeramisel surveliistude *1* ja *6* all asuvad vedrud suruvad surveliistud üles, vabastades detaili.




Joon. 74. Ühekohalise rakise skeem tooriku käsitsi kinnitamisega

Ühekohalisi kinnitusrakiseid kasutatakse suurte detailide kinnitamiseks, kuna väikeste detailide kinnitamiseks on otstarbekam kasutada rakiseid, kuhu saab üheaegselt üles seada ja kinnitada mitu toorikut. Selliseid rakiseid nimetatakse mitmekohalisteks rakisteks.

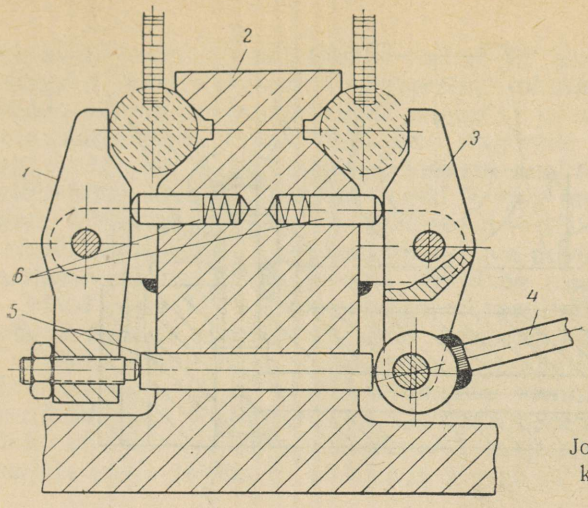
## Mitmekohalised rakised

Mitme detaili üheaegne kinnitamine ühe kinnipigistamisega võimaldab kokku hoida kinnitamiseks kuluvat aega ja leiab kasutamist mitmekohaliste rakiste juures.

Joonisel 75 on kujutatud kahekohalise rakise skeem kahe võlli kiilusoonte freesimiseks ühe kinnitamisega. Kinnitamine toimub ekstsentrikuga varustatud käepideme *4* abil, mis üheaegselt surub surveliistule *3* ja varda *5* kaudu surveliistule *1*, surudes kinni mõlemad rakise keres *2* olevatele prismadele seatud toorikud. Võllide vabastamiseks tuleb käepidet *4* pöörata vastassuunas, siis vedrud *6* suruvad surveliistud *1* ja *3* eemale.

Joonisel 76 on kujutatud pneumaatilise kolbajamiga mitmekohaline rakis. Suruõhk juhitakse läbi kolmeasendilise kraani kas silindri ülemisse ossa, kusjuures teostub tooriku kinnipigistamine (kinnitusjõu mõjumissuund on näidatud nooltega), või silindri alumisse ossa, kusjuures toorik vabaneb.

Kirjeldatud rakises on detailide ülesseadmiseks kasutatud *kassettmeetodit*. Mitu toorikut, antud näites viis, paigutatakse




Joon. 75. Ekstsentrikuga kahekohaline rakis

kassetti, samal ajal kui teist partiid toorikuid kassetis juba tööldakse. Pärast töötlemist võetakse esimene kassett freesitud detailidega rakisest maha ja tema asemele seatakse üles uus kassett töötlemata toorikutega. Kassettmeetodi rakendamine võimaldab lühendada toorikute ülesseadmise aega.

Joonisel 77 on kujutatud hüdraulilise ajamiga mitmekohalise kinnitusrakise konstruktsioon.

Ajami alus *1* kinnitatakse pingi töölauale. Silindris *3* liigub kolb *4*, mille väljalõikes asub kang *5*, mis pöörleb hargi *7* liikumatul teljel *8*. Kangi *5* õlgade suhe on 3:1. 50 kG/cm² õlirõhu puhul ja 55 mm läbimõõduga kolvi juures saavutatakse kangi lühemal õlal jõud 2800 kG. Kaitseks laastude eest on kang kaetud volditud kattega *6*. Õli siseneb kolmeasendilise juhtimiskraani kaudu klappi *2* ja sealt edasi silindri *3* ülemisse õõnde. Silindri vastaspoolsest õõnest väljub õli läbi aluses *1* oleva ava kolmeasendilisse kraani ja voolab sealt välja.

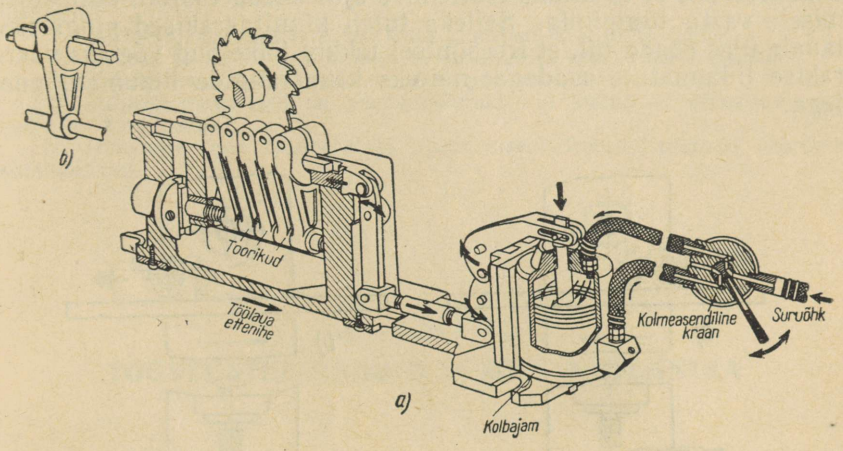
Kraani käepideme pööramisel asendisse, milles toimub kinnitamine, rõhub õli kolvile *4*, kandes kinnitusjõu edasi kangi *5* kaudu rakise hoovale *9*, mis pöörleb kahel poolteljel *10*. Hoovasse *9* pressitud sõrm *12* pöörab kangi *11* rakise kerega ühendatud kruvi *21* puutepunkti suhtes. Seejuures kangi telg *13* nihutab varrast *14* vasakule, kandes sfäärilise seibi *17* ja mutri *18* kaudu kinnitusjõu üle surveliistule *19*, mis pöördudes omakorda ümber telje *16* surub töödeldavad toorikud vastu liikumatut pakki *20*. Liikumatu paki *20* ja surveliistu *19* vahelist kaugust (kinnitusmõõtu) reguleeritakse mutri *18* ja kruvi *21* abil.

Kolmeasendilise kraani käepideme pööramisel asendisse, milles toimub detaili vabastamine, pöördub kang *11* vastassuunas,

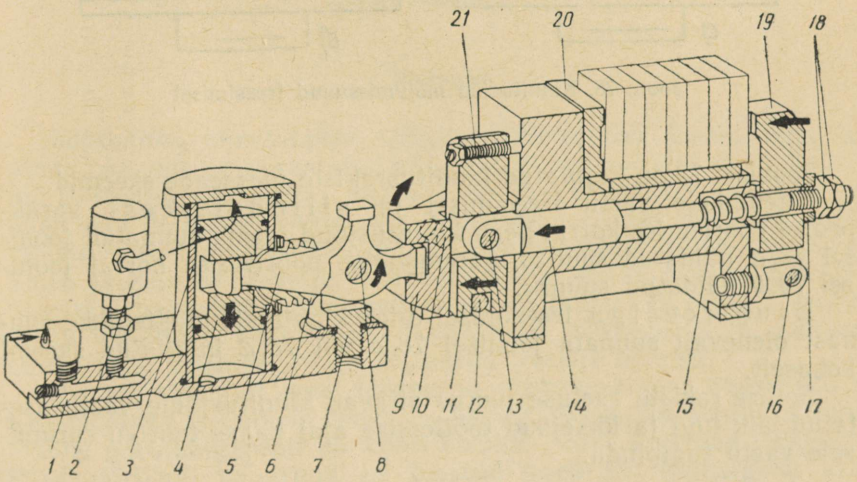
nihutades varrast *14* paremale. Seejuures vedru *15* tõukab surveliistu *19* toorikutest eemale.

Viimasel ajal kasutatakse pneumohüdraulilisi kinnitusrakiseid, milledes tehase suruõhumagistraalist tulev suruõhk rõhuga 4—6 kG/cm² surub hüdrosilindri kolvile, tekitades süsteemis õlisurve ca 40—80 kG/cm². Sellise surve all olev õli võimaldab kinnitusseadme abil kinnitada toorikuid suure jõuga.

Töövedeliku surve suurendamine võimaldab sama kinnitusjõu juures vähendada kruustangide ajami mõõtmeid.




Joon. 76. Pneumaatilise kolbajamiga mitmekohaline kassettrakis

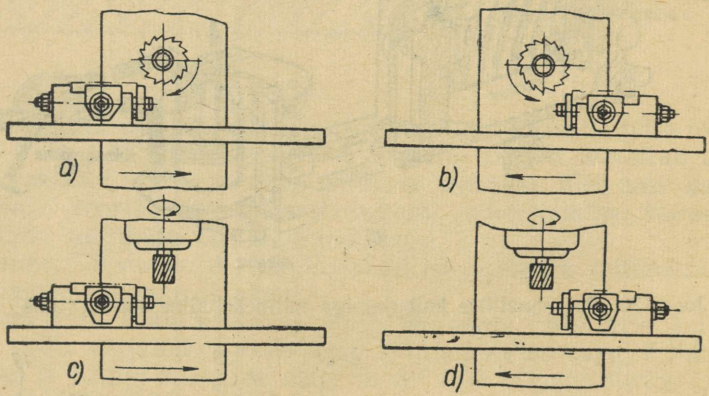



Joon. 77. Hüdraulilise kolbajamiga mitmekohaline rakis

## Kinnitusrakiste valiku reeglid

Kinnitusrakiste valikul tuleb juhinduda järgmistest reeglitest.

Kinnitusrakised peavad olema lihtsad, kiire toimega ja hõlpsasti juurdepääsetavad nende teenindamisel, küllaldaselt jäigad ega tohi lõdveneda lõikejõu, pingi vibratsiooni ning muude juhuslike põhjuste mõjul, ei tohi deformeerida tooriku pinda ega kutsuda esile ta vetrumist. Kinnitusjõu mõjumissuuna vastu asetatakse tugi, kusjuures kinnitusjõud peab olema võimaluse korral suunatud nii, et ta aitaks töötlemise ajal kaasa tooriku kinnisurumisele vastu tugipinda. Selleks tuleb kinnitusrakised pingi töölauale üles seada nii, et freesimisel tekkiv lõikejõud võetaks vastu rakise liikumatute osadega, näiteks kruustangide liikumatu poolega.




Joon. 78. Kinnitusjõu mõjumissuund freesimisel

Joonisel 78 on kujutatud kinnitusrakiste ülesseade skeemid.

Ettenihkele vastu freesimisel ja silinderfreesi vasakpoolse pöörlemise korral peab kinnitusjõud olema suunatud joonisel 78, *a* näidatud suunas, parempoolse pöörlemise korral joonisel 78, *b* näidatud suunas.

Laupfreesiga freesimisel tuleb kinnitusjõud ettenihke suunast olenevalt suunata joonisel 78, *c* või 78, *d* kujutatud skeemi kohaselt.

Sellise rakiste asetuse juures aitavad kinnitusjõule vastu asetatud jäik tugi ja lõikejõud töötlemise ajal kaasa tooriku surumisele vastu tugipinda.

## Kontrollküsimusi

1. Milliseid rakiseid kasutatakse toorikute kinnitamisel vahetult pingi töölauale?
2. Mis on nurkplaat (nurgik) ja kus seda kasutatakse?
3. Milliste toorikute kinnitamiseks kasutatakse prismasid?
4. Nimetage ja kirjeldage freesimistöödel kasutatavate kruustangide tüüpe.
5. Kuidas kaitsta puhtalt töödeldud detaili muljumiste eest kinnitamisel kruustangide pakkide vahele?
6. Kui enne tooriku kinnitamist kruustangidesse ei kõrvaldata neilt laaste, kuidas see avaldab mõju a) toorikule, b) kruustangidele, c) paralleelsetele alusliistudele?
7. Milliseid ratsionaalseid toorikute kinnitamise viise te teate?
8. Milleks ja millal kasutatakse kruustangides spetsiaalseid pakke?
9. Milleks kasutatakse rakiste juures pneumaatilist kinnitust?
10. Millised paremused on pneumohüdraulilisel kinnitusel võrreldes pneumaatilise kinnitusega?
11. Nimetage teile teadaolevaid spetsiaalseid freesimisrakiseid toorikute kinnitamiseks.

VI PEATÜKK

# TÖÖSTUSTERVISHOID JA OHUTUSTEHNIKA

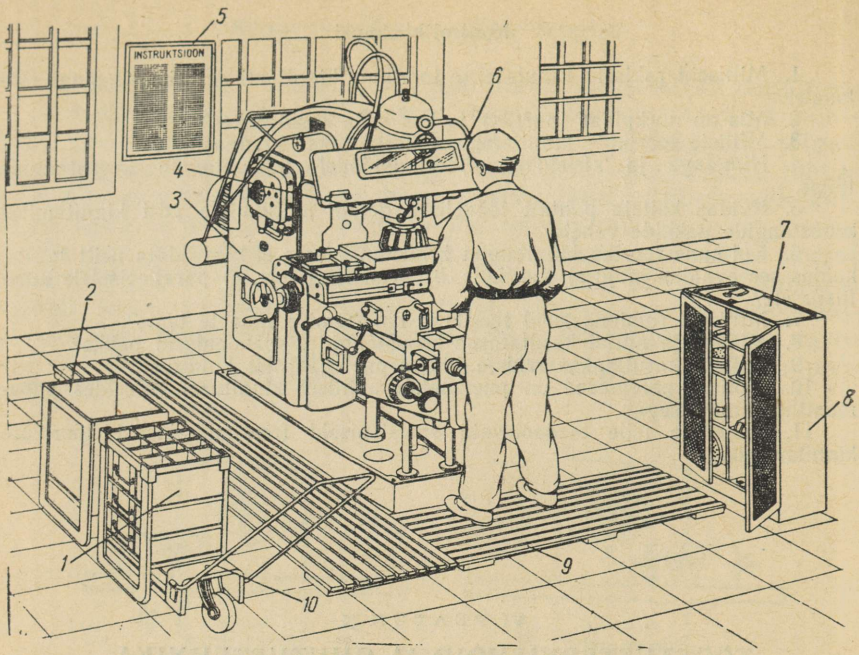
## § 17. MIDA PEAB ALGAJA FREESIJA TEADMA TÖÖSTUSTERVISHOIUST

### Töökoht

*Töökohaks* nimetatakse töötajale kinnitatud tsehhi tootmispinna osa, mis on varustatud kõige vajalikuga vastavalt täidetava töö iseloomule. Töökohas asuvad: tööpink, sisseseade toorikute ja töödeldud detailide hoidmiseks, tööriistade ja rakiste kapp, pult, millele saab laotada jooniseid ja tehnilist dokumentatsiooni jne. Tuleb jälgida, et freesija töökohal oleksid üksikud vajalikud töövahendid paigutatud otstarbekalt ja mugavalt, et oleks tagatud ohutu töötamine, normaalsed tingimused töötamiseks ja puhtuse hoidmiseks. Joonisel 79 on kujutatud freesija töökoht.

Puhtus töökohal koos töötamise elementaarsete hügieeniliste tingimustega tsehhis on peamine. Sellest oleneb töö ohutus. Pingitööline peab kõigepealt ise hoolt kandma korra eest oma töökohal. Praaktoorikud, vanaraud ja laastud tuleb siit õigeaegselt ära koristada.

Pingi õlitamisel tuleb jälgida, et õli ei tilguks õlikannust




Joon. 79. Freesija töökoht:
*1* — detailide kast; *2* — toorikute kast; *3* — pink; *4* — lamp kohtvalgustuseks; *5* — ohutustehnika instruktsioon; *6* — kaitseekraan; *7* — pult joonistele ja dokumentidele; *8* — tööriistade kapp; *9* — alusrest; *10* — platvormkäru

põrandale ega valguks pingi ümber laiali, et jahutusvedelik ei tilguks läbi torustiku ebatihedatest ühendustest ega loksuks maha pingi aluses olevast künast. Põrandale sattunud õli ja jahutusvedelik muudavad põranda libedaks, tööline võib libiseda ja kukkuda. Tihti põhjustavad õnnetusjuhtumeid koristamata jäetud laastud, tekitades kätele ja jalgadele haavu.

Pinkidevahelised läbikäigud ei tohi olla täis kuhjatud detailidega, kappidega, istmetega ja rakistega. Kitsad ummistatud läbikäigud võivad põhjustada õnnetusjuhtumeid.

Põrandas ei tohi olla auke ega ebatasasusi, kus tööline võiks komistada ja kukkuda.

## Ventilatsioon

Kõrvalekalle normaalsest temperatuurist halvendab töötingimusi, vähendab tootlikkust ja soodustab haigestumist. Talvel peab mehaanikatsehhides olema temperatuur piirides 16—18° C. Tööruume tuleb hästi tuulutada. Kõige levinenum ventilatsioon

mehaanikatsehhis on loomulik ventilatsioon katuse valguslaternate või õhuakende kaudu. Kaasaegsetes tsehhides kasutatakse sundventilatsiooni.

## Valgustus

Hea valgustus kergendab tööd, vähendab traumade ohtu ja väldib silmade pingutamist.

Halva valguse korral väsivad töölise silmad ruttu, nõrgeneb tähelepanu ja selle tulemuseks on tihti tööõnnetus.

Valgustust nimetatakse loomulikuks, kui kasutatakse päevavalgust ja kunstlikuks, kui kasutatakse elektri- või päevavalguslampidega valgusteid.

Normaalse loomuliku valgustuse tagavad tsehhis kõrged aknad, asetatuna piki löövi, või suured valguslaternad katusel.

Kunstlik valgustus tsehhis ja töökohal peab olema küllaldane, ühtlane ega tohi anda eredaid helke ega järske varje. Peale üldvalgustuse peab töökoht olema varustatud kohaliku valgustusega, mille toiteks kasutatakse 36-voldilise pingega voolu. Pingi töötsoon peab olema valgustatud tagant, vasakult ja ülalt (vt. joon. 79). Ei ole soovitav, kui valgus langeb paremalt poolt, mingil juhul ei tohi valgus langeda otse silma.

Akende, valguslaternate ja elektrilampide puhtus mõjub tsehhi ja töökoha valgustusele ning mängib tähtsat osa võimalike õnnetusjuhtumite ärahoidmisel. Määrdunud ja tolmune klaas laseb päikesevalgust halvasti läbi. Tolmuga kaetud elektrilampide klaasid vähendavad tunduvalt ruumide valgustust.

## Isiklik hügieen

Isiklikul hügieenil on suur tähtsus inimese tervise säilitamisel.

Töötamisel tööline higistab ja tolm, mustus ning õli võivad sattuda näole ja kätele. Higi ja tolm ummistavad nahapoore, nahk muutub krobeliseks ja lõheneb. Sellepärast tuleb pärast tööd tingimata pesta kogu keha vee ja seebiga või veel parem — pesta ennast üleni duši all.

Käsi tuleb pesta töö vaheajal enne söömist ja kohe pärast tööd. Pesta tuleb hoolikalt, seebitada nii, et tekiks ohtralt seebivahtu, pesta pehme harjaga või nuustikuga ja siis loputada sooja veega.

Freesimisel kasutatakse lõikeriista ja töödeldava tooriku jahutamiseks mitmesuguseid jahutusvedelikke ja emulsioone. Kui ei täideta hügieeni eeskirju, võib freesijal nende ainete mõjul tekkida nahale vistrikke või teisi mädanikulise iseloomuga haigusi.

Suurt tähtsust omab haigestumise vältimisel ka tööriietuse õige hooldamine. Võtnud tööriided seljast, tuleb nad riputada kuivama

kas individuaalkappi või nagisse üldriietehoius. Tööriideid peab regulaarselt pesema.

Pideva ja pingelise töö tagajärjel inimene väsib. Päeva jooksul kulutatud jõutagavarad taastab inimene magamisega, mis peab kestma vähemalt 7—8 tundi.

Kõige paremaks jõu taastamise ning tervise tugevdamise abinõuks on kehakultuuriga tegelemine.

Hommikvõimlemine ja tootmisvõimlemine on suurepärased vahendid väsimuse vastu võitlemisel.

Peale selle soovitatakse tegelda spordiga. Selleks on meie maal antud noortele kõik tingimused ja võimalused.

## § 18. OHUTUSTEHNIKA EESKIRJADEST FREESPINGIL TÖÖTAMISEL

### Ohutu töö tingimused

Töö freespinkidel nõuab kehtivatest ohutustehnika eeskirjadest kinnipidamist ja tähelepanu. Töölise tähelepanematus töö juures ja ohutustehnika eeskirjade rikkumine võivad põhjustada õnnetusi.

Tööõnnetus võib juhtuda, kui töölise sõrmed satuvad freesi hammaste alla. Laastude eemaldamine paljaste kätega võib põhjustada käte vigastusi. Tööõnnetusi võib põhjustada ka sidumata pearäti, varrukakääniste ja töörõivaste paelte kinnijäämine pingi pöörlevate osade vahele.

Ohutu töötamise tähtsaimaks tingimuseks on ettevaatus ja korralike töörõivaste kandmine. Pingitööline peab olema riietatud nii, et pingi liikuvad osad ei saaks töörõivaid kaasa haarata. Tuleb kanda tihedalt ümber keha liibuvaid töörõivaid, neil ei tohi olla lipendavaid paelu ega sidemeid, naistöötajad peavad aga pearäti otsad korralikult kinni siduma.

Parimaks tööülikonnaks meestele on pükstes kantav pikk, kitsaste varrukatega pluus või kombinesoon, naistöötajatele aga sile seelik ja pikk põll või kombinesoon. Riietumisel tuleb tööülikond korralikult kinni nööpida.

Tööõnnetuse võib põhjustada ka tooriku mõõtmine pingi käigu ajal. Sellepärast on lubatud töödeldavat toorikut mõõta ainult pärast pingi seiskamist, sest muidu võib pöörlev frees vigastada käsi.

Horisontaalfreespinkidel on ohtlikuks osaks spindlist välja ulatuv pingutusvarda pea, eriti kui pinkidevaheline kaugus on väike, sest ta võib möödumisel rõivaid kaasa haarata. Sellepärast tuleb pingist tagantpoolt möödumisel olla ettevaatlik.

Tööõnnetusi esineb ka toorikute ettevaatamatul ülesseadmisel ja kinnitamisel. Töölise vigastamist võivad põhjustada töödeldud

detailide kraadid ja teravad servad. Juhuslikul detaili mahakukkumisel võib vigastada jalga. Eriti ettevaatlik tuleb olla raskete rakiste (ümmarguste töölaudade, jagamispeade ja pingirakiste) ülesseadmisel. Kui töölisel oma jõust tõstmiseks ei jätku, tuleb pöörduda meistri poole või paluda abiks naabertööline. Tsehhides, kus on tõsteseadeldised, tuleb raskete rakiste ülesseadmiseks kasutada kraanat.

Messingi, pronksi ja teiste murdelaastuga metallide suure lõikekiirusega töötlemisel lendavad laastud freesilt lehvikuna eemale ja võivad sattuda töölisele silma. Mitte ainult silmahaav, vaid ka kõige tühisem silma vigastus — kriimustus või torge, võib põhjustada töölise silmahaiguse, mille tulemusena võib väheneda nägemine või jääda isegi pimedaks. Silmade kaitseks tuleb kasutada kaitseprille. Täpse töö juures kasutatavate kaitseprillide klaasid peab välja valima koos silmaarstiga. Sellised prillid mitte ainult ei kaitse silmi võimalike vigastuste eest, vaid parandavad ka nägemist.

Ilma kaitseprillideta võib töötada ainult siis, kui kasutatakse kaitsekilpi (ekraani), mille vastu põrkavad laastud. Joonisel 79 on kujutatud selline kaitseekraan vertikaalfreespingile. Šarniiride ja vasturaskuse abil võib teda seada freesi ette või katta ka tooriku. Kasutades ekraaniks purunematut orgaanilist klaasi, on võimalik läbi ekraani jälgida lõikeprotsessi. Kaitseekraan mitte ainult ei kaitse töölise silmi eemalelendavate laastude eest, vaid takistab ka kallihinnalise värvilise metalli laastude laialipildumist. Kiirfreesimisel on kaitseekraani kasutamine kohustuslik.

Silma sattunud oksiidi, tolmu või laaste ei tohi hakata ise välja võtma ega lasta seda teha teistel, vaid tuleb kohe pöörduda arsti poole.

Terase kiirfreesimisel tekivad peened nõelataolised laastud, mis langevad tooriku töödeldavale pinnale, kinnitusrakisele ja pingi töölauale.

Pingi puhastamisel harjaga ja laastude mahapuhumisel suruõhuga võivad peened laastud vigastada sõrmi.

Kruustangidesse või kinnitusrakistesse halvasti kinnitatud detail võib töötlemisel lahti pääseda ja tekitada töölisele vigastusi või teha isegi invaliidiks.

## Kuidas kasutada abitööriistu

Ebaõiges mõõdus mutrivõtme kasutamine võib põhjustada vigastusi, sest mutri keeramisel võib ta libiseda üle mutri kantide ja lahti pääseda. Konarlik mutrivõtme käepide võib vigastada töölise käsi. Keelatud on pikendada mutrivõtme käepidet teise võtmega või toruga, sest võti või toru võivad lahti pääseda ja põhjustada tööõnnetuse.

Vasaravars peab olema sile, ilma kiskudeta. Vasar peab olema kindlalt varrele kinnitatud, et ta löögi ajal otsast ära ei lendaks. Keelatud on kasutada vasarat, mille laup on kulunud, viltuse otsaga või kiskudega. Sellise vasaraga lüües võib ta libiseda ja põhjustada vigastusi.

Kruvikeeraja ots peab olema õigesti teritatud, vastasel korral libiseb ta kruvi lõhest välja ja vigastab töölist.

Viilipea peab olema kinnitatud viili sabale tihedalt. Et vältida viilipea lõhkemist, asetatakse selle otsale metallrõngas.

## Vigastused elektrivoolust

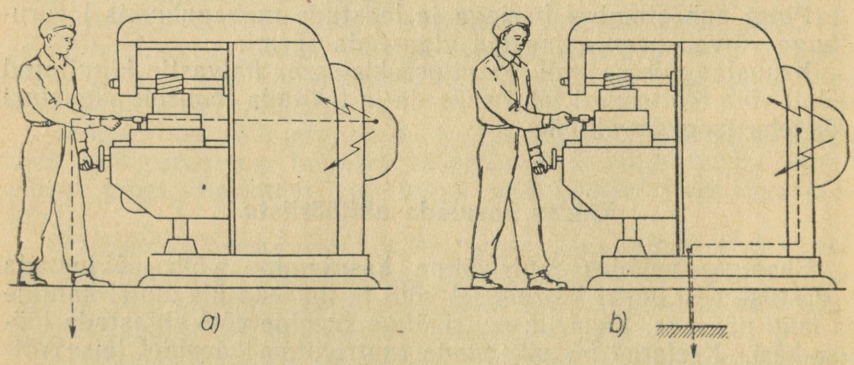
Elektriseadmete, juhtmete ja pingi maandussüsteemi mittekorrasolek, aga samuti ka nendega ettevaatamatu ümberkäimine võivad põhjustada tööõnnetusi.

Tuleb jälgida, et ei esineks isolatsioonita juhtmeid. Igasugused isolatsioonita juhtmed, mida läbib kas või madalpingeline vool, on ohtlikud. Rangelt tuleb täita pingi elektrimootori käivitamise ja seiskamise reegleid ja instruktsioone.

Tihti tuleb freesijal töötada kohtvalgustusega. Tuleb jälgida, et lambijuhe oleks täiesti korras ja toitepinge mitte kõrgem kui 36 volti, vastasel korral igasugune mittekorras lambipesa, pistik või juhe võivad põhjustada vigastusi elektrivoolust.

Elektrivool on eriti ohtlik, kui põrand on pingi juures niiske või töölise käed märjad.

Elektrivoolu poolt tekitatavate vigastuste vältimiseks peab pink olema maandatud. Kui isolatsioon elektrimootoris, käivitusaparatuuris või juhtmes pole korras, võib kere sattuda pinge alla, aga kui pink on maandatud, suundub elektrivool maasse (joon. 80, *b*). Kui maandus puudub, võib freesija saada elektrilöögi (joon. 80, *a*).




Joon. 80. Elektrivoolu kulgemine pingi keres lühiühenduse korral:
*a* — maandamata pink; *b* — maandatud pink

## Üldised juhised

Kõikides suuremates ettevõtetes on arstikabinet (medpunkt) või ambulants, kus tööõnnetuse korral võib kannatanule anda vajalikku esmaabi. Tsehhides on esmaabi andmiseks väiksemate haavade ja vigastuste puhul esmaabikapid, millede korrashoiu ja ravimite komplektsuse eest vastutab üks tsehhi töötaja. Esmaabikapis peab alati leiduma sidumismaterjali (sidet, marlit, vatti) ja lihtsamaid ravimeid (joodi, nuuskpiiritust, palderjanitilku jm.).

Raskelthaavatuile ja vigastatuile, kes on kaotanud iseseisva liikumisvõime, on tsehhis kanderaamid.

Esmaabikapp ja kanderaam tuleb hoida nähtaval kohal ja läbikäik nende juurde peab olema alati vaba.

## Esmaabi

Peamine tingimus esmaabi andmisel on kiire tegutsemine, leidlikkus ja esmaabi andmise oskus. Eriti tähtis on see elektrivoolu poolt tekitatud vigastuste korral, kus viivitamine või mitteoskuslik tegutsemine võivad põhjustada kannatanu hukkumise.

Kui inimene, kes on sattunud pinge alla, ei suuda end ise vooluhtivatest osadest lahti rebida, on vaja ta viivitamata vabastada voolu alt. Selleks tuleb kõigepealt vool välja lülitada, sest seni, kuni kannatanu on pinge all, on tema puudutamine ilma isoleerimata ohtlik. Kui lähedal puudub lüliti, tuleb juhtmed läbi raiuda näiteks puitvarrega kirvega (lubatud 110, 220, 380 voldise pinge korral) või tekitada lühiühendus, nii et kaitsmed põleksid läbi. Kui mingil põhjusel pole võimalik juhet voolu alt vabastada, peab päästja end isoleerima: tõmbama kätte kummikindad, panema jalga kalossid või seisma kuival laual, riietuma kuivadesse riietesse.

Kui kannatanu on meelemärkuseta, tuleb talle viivitamatult teha kunstlikku hingamist, ootamata meditsiinilise personali saabumist, sest hingamise katkemine on elektrilöögi korral tihti ajutine. Üks—kaks minutit ajakaotust võib saada kannatanule saatuslikuks. Enne kunstliku hingamise tegemist tuleb kannatanu vabastada riietusesemetest, mis takistavad hingamist (nööpida lahti kaelus, vabastada vöö jne.).

## Ohutustehnika tööstuslikud instruktsioonid

Nõukogude ettevõtetes on tehtud ära suur töö töötingimuste tervistamiseks.

Kõik viisaastakute jooksul ehitatud tehased ja tsehhid on avarad, valgusküllased, nad on varustatud ventilatsiooniga, riietus- ja duširuumidega.

Viimasel ajal väljalastud freespinkide liikuvad osad, mis võiksid põhjustada tööõnnetusi, on kaetud.

Tööõnnetuste täielikuks likvideerimiseks tööstuses on vaja, et iga tööline teaks ohutustehnika eeskirju.

Ohutustehniliste abinõude rakendamist tsehhides ja ohutute töömeetodite instrueerimise läbiviimist töölistele jälgib tehases ohutustehnika osakond. Iga uus tööline peab peale tootmisalase ja ohutustehnilise instruktaaži tutvuma kohapeal esmaabikapiga, kanderaamiga ja medpunktiga, samuti esmaabikappi hooldava isikuga. Peale selle tuleb läbi viia tööliste instrueerimist otse töökohal. Näitlikuks ohutute ja ohtlike töövõtete tutvustamiseks tsehhis kasutatakse plakateid, aga iga pingi juurde riputatakse pingil töötamise ohutustehnika instruktsioonid. Nende instruktsioonide täitmine on kohustuslik.

## Tuleohutuse nõuded

Tulekahjud võivad tekkida tootmises väga mitmesugustel põhjustel. Sageli on tulekahjude tekkimise põhjusteks töötajate ettevaatamatus ja lohakus, tuleohutuse eeskirjade mittetäitmine. Paljudel juhtudel tekib tulekahju õliste kaltsude, puhastusnarmaste ja puhastusmaterjalide isesüttimise tulemusena, sellepärast tuleb pärast pingi puhastamist kõik kaltsud ja puhastusnarmad kokku korjata ning lukustada nad selleks määratud metallkasti.

Pärast töö lõpetamist tuleb pingi elektrimootor ja töökoha kohtvalgustus välja lülitada. Suitsuotste põrandale viskamine ja töökohal suitsetamine on keelatud.

Pingi elektriseadmete kaitsmete läbipõlemisel, samuti elektrimootori tugeva ülekuumenemise korral tuleb viivitamata kohale kutsuda elektrik.

Tulekahju korral tuleb pingi elektrimootor välja lülitada, joosta lähima tuletõrjesignaali juurde ja telefoni teel välja kutsuda tuletõrjekomando.

Kuni tuletõrje kohalesaabumiseni püüda tuld kustutada olemasolevate kustutusabinõudega, kasutades selleks tulekustuteid, liiva, presenti, riiet jne.

## Kontrollküsimusi

1. Mispärast on tähtis hoida töökohal puhtust?
2. Kuidas peab töökohta õigesti valgustama?
3. Loetlege põhilised nõuded ohutuks tööks freespingil?
4. Kuidas tuleb riietuda ohutuks tööks?
5. Kuidas kaitsta silmi laastude eest?
6. Mispärast ei tohi detaile mõõta pingi käigu ajal?
7. Milliseid ettevaatusabinõusid tuleb rakendada elektrivoolu poolt tekitatavate vigastuste vastu?
8. Mida tuleb teha tulekahju korral tsehhis?

TEINE OSA

# LIHTSAIMAD FREESIMISTÖÖD

VII PEATÜKK

## TASAPINDADE FREESIMINE

Tasapinnaks nimetatakse pinda, mis on igas suunas sirgjooneline. Kui tasapinnale asetada meelevaldses suunas lekaaljoonlaua tööserv, siis jääb nende vahele piki puutejoont ühtlane, vaevaltmärgatav valguspilu. Mida täpsemalt on tasapind töödeldud, seda väiksem on valguspilu. Suur valguspilu erinevates puutekohtades näitab, et tasapind on töödeldud ebatäpselt.

Masinate, tööpinkide ja mehhanismide detailidel on palju tasapindu, näiteks freespingi töölaua tööpind, kere juhtpinnad, kruustangide aluspind, nurgiku talla pind jne.; seoses sellega on tasapindade freesimine üks levinenuim freesimistööde liik.

Tasapindu võib freesida horisontaalfreespinkidel ja vertikaalfreespinkidel.

Horisontaalfreespinkidel töödeldakse tasapindu põhiliselt silinderfreesidega, vertikaalfreespinkidel laupfreesidega või freespeadega.

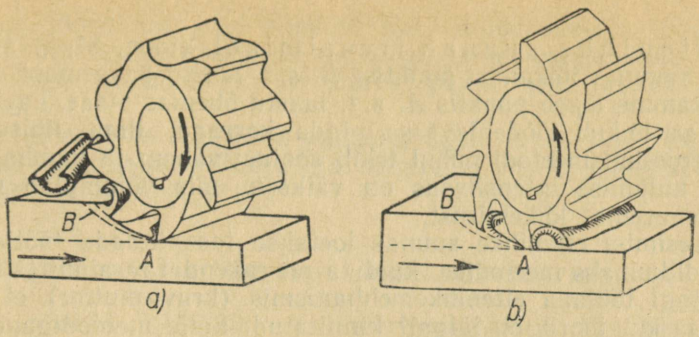
### § 21. FREES LÕIKEPROTSESSIS

#### Silinderfrees

Joonisel 81, *a* on kujutatud silinderfrees lõikeprotsessis. Frees pöörleb noolega näidatud suunas. Nool toorikul näitab ettenihke suunda, mis antud juhul on freesi pöörlemisele vastupidine. See on üldkasutatav ettenihkesuund. Sellist freesimist nimetatakse *ettenihkele vastu freesimiseks.*

Joonisel 81, *b* kujutatud silinderfreesi pöörlemissuund on vastupidine joonisel 81, *a* kujutatud freesi pöörlemissuunale. Ettenihke suund ühtib antud juhul freesi pöörlemissuunaga. Sellist freesimist nimetatakse *ettenihke suunas freesimiseks.*

Mõlemal juhul lõikab freesi iga hammas komakujulise ristlõikega laastu, ainult selle erinevusega, et ettenihkele vastu freesi-

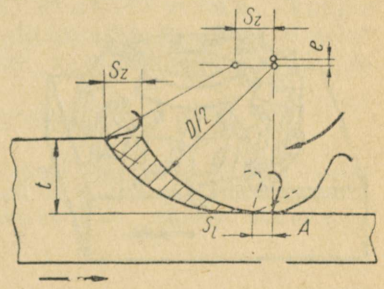



Joon. 81. Silinderfreesiga freesimine:
*a* — ettenihkele vastu freesimine; *b* — ettenihke suunas freesimine

misel (joon. 81, *a*) freesi hammas alustab lõikamist laastu õhemast otsast ja lõpetab lõikamise laastu paksemas otsas, aga ettenihke suunas freesimisel freesi hammas alustab lõikamist laastu paksemast otsast ja lõpetab lõikamise laastu õhemas otsas.

Laastu muutuv paksus, mis muutub lõikamise algmomendist kuni hamba väljumiseni, tingib lõikejõu muutuse. Jõud, mis vajatakse laastu eraldamiseks silinderfreesi iga hambaga, suureneb ettenihkele vastu freesimisel nullist kuni maksimumini ja, vastupidi, väheneb maksimumist nullini ettenihke suunas freesimisel. Selline järsk lõikejõu muutus põhjustab pingi ebaühtlase koormamise, mis omakorda tekitab tõukeid ajammehhanismis ja pingi vibratsiooni.

Ettenihkele vastu freesimisel (joon. 81, *a*) freesi hammas ei alusta lõikamist punktist *A*. Teatud pikkusel $s_1$ (joon. 82) libiseb hammas eelmise hamba poolt töödeldud pinnal niikaua, kui olenevalt suurusest *e*, mis omakorda sõltub freestorni vetruvusest, freesi viskumisest ja lõikeserva teravusest, metallikihi paksus hamba all on küllaldane selleks, et hammas ei saa enam edasi libiseda ja alustab lõikamist. Sellest momendist algab laastu tekkimine. Hamba libisemisel tekkiv soojus vajab rikkalikku jahutamist. Hamba tagapinna kulumine libisemisel tekkiva kuumuse tagajärjel on selle meetodi suureks puuduseks.




Joon. 82. Laastu tekkimise skeem ettenihkele vastu freesimisel

Ettenihke suunas freesimisel (joon. 81, *b*) alustab freesi hammas lõikamist punktist *B*, s. t. laastu paksemast otsast, ja lõikamine lõpeb punktis *A*, s. t. laastu õhemas otsas, kusjuures hammas lõikub töödeldavasse pinda korraga, ilma libisemata. Selle freesimismeetodi puhul tekib soojust vähem ja hamba tagapinna kulumise intensiivsus on väiksem, mis võimaldab rakendada suuremat lõikekiirust.

Freesimist ettenihke suunas loetakse tasapindade töötlemisel eesrindlikumaks meetodiks, kuid ta on rakendatav ainult siis, kui freespingi töölaua ettenihkemehhanismis (kruvi-mutter) ei esine lõtku ja kui toorik on jäigalt kinnitatud. Selle meetodiga ei saa freesida kõva koorikuga toorikuid (valudetailid või sepised), kuna freesi hammas alustab lõikamist kooriku või oksiidikihi poolsest küljest ja nürineb kiiresti.

Ettenihke suunas freesimist on otstarbekas rakendada õhukeste detailide pindade töötlemisel, läbilõikamisel ja mahalõikamisel.

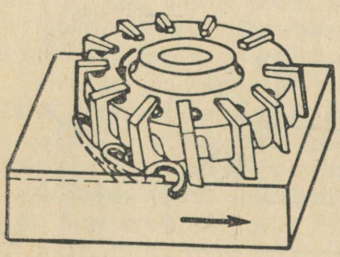
## Laupfrees

Joonisel 83 on kujutatud laupfrees lõikeprotsessis. Erinevalt silinderfreesist lõikab laupfreesi iga hammas peaaegu ühtlase paksusega ristkülikukujulise ristlõikega laastu. Tänu sellele on lõikejõud püsivam kui silinderfreesiga freesimisel, kus lõikejõud muutub koos laastu ristlõike muutumisega.

Võrreldes jooniseid 83 ja 81 on näha, et laupfreesiga freesimisel võtab freesimisest üheaegselt osa rohkem hambaid kui silinderfreesi puhul. Selle tulemusena on laupfreesiga freesimisel pingi spindel koormatud ühtlasemalt ja lõikeprotsess toimub rahulikumalt kui silinderfreesiga freesimisel, s. t. peaaegu puuduvad vibratsioon ja löögid, mis on laupfreesiga freesimise suureks eeliseks.

Eriti oluline on see tasapindade freesimisel kõvasulamist plaadikestega varustatud vahetatavate lõiketeradega laupfreesidega, mis on eriti tundlikud vibratsiooni ja löökide vastu.

Laupfreesiga freesimisel toimub põhiline lõikamine freesi silindrilisel pinnal olevate hammastega, kuna otspinnal olevad hambad ainult siluvad töödeldud pinda. Sellepärast on laup-



Joon. 83. Laupfrees lõikeprotsessis

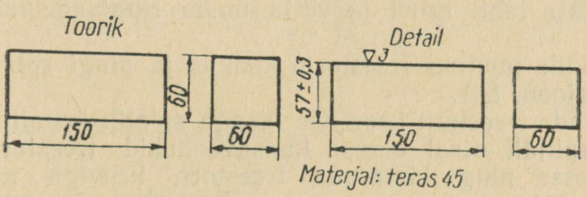
freesiga töödeldud pind siledam kui silinderfreesiga töödeldud pind. Laupfreesiga freesimine on eelistatavam tasapindade töötlemise kõigil juhtudel, kui freesitava pinna laius ületab 100—125 mm.

Võttes arvesse laupfreesi eeliseid, tuleb tasapindade töötlemisel igal konkreetsel juhul välja selgitada, kas ei oleks võimalik kasutada laupfreesi.

## § 22. TASAPINDADE FREESIMINE SILINDERFREESIGA

Tasapindade töötlemine silinderfreesiga on üks lihtsamaid freesimisoperatsioone.

Joonisel 84 on kujutatud teraslatt, mille üks pind on vaja üle freesida, kusjuures töötlusvaru on 3 mm. Pinnasiledus peab joonise järgi vastama 3 pinnasiledusklassile (▽3). Mõõtme 57 mm tole-




Joon. 84. Teraslati joonis

rants on ± 0,3 mm, mis tähendab, et lati paksus võib kõikuda piirmõõtmete 57,3 mm ja 56,7 mm vahel, näiteks võib lati paksus olla 56,7; 56,8; 56,9; 57,0; 57,1; 57,2 ja 57,3 mm.

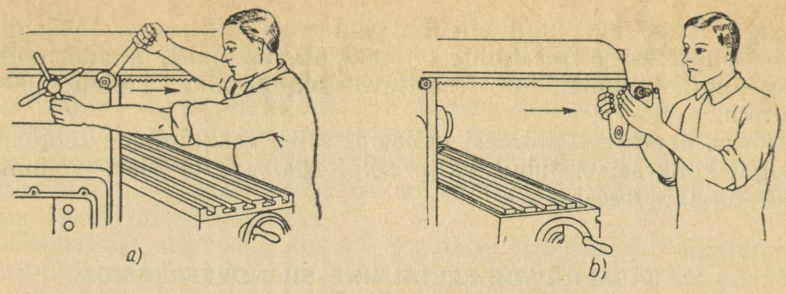
Freesimise teostame koorimisena suurehambalise silinderfreesi ühe töökäiguga. Et freesimine oleks rahulik, valime kruvihammastega silinderfreesi. Tooriku kinnitamiseks kasutame kruustange.

### Ettevalmistus tööks

F r e e s i  ü l e s s e a d m i n e  j a  k i n n i t a m i n e. Valime kiirlõiketerasest P18 valmistatud kruvihammastega silinderfreesi* läbimõõduga 80 mm, laiusega 80 mm, ava läbimõõduga 32 mm ja hammaste arvuga 10.

Freesi ülesseadmiseks ja kinnitamiseks tuleb:

* Silinderfrees on valitud ГОСТ 3752-59 järgi. Kui tööriistalaos on freesid vana ГОСТ-i järgi, mis erinevad näites valitud freesi mõõtmetest läbimõõdu ja laiuse poolest, tuleb valida sobivate mõõtmetega frees, näiteks läbimõõduga 75 mm, laiusega 75 mm ja hammaste arvuga 8.




Joon. 85. Pingi ülatala nihutamine (*a*) ja ripplaagri mahavõtmine (*b*)

1. Keerata lahti kruvid (joon. 85, *a*) ja asetada ülatala ristikujulise käepideme pööramisega äärmisse eesmisse asendisse.

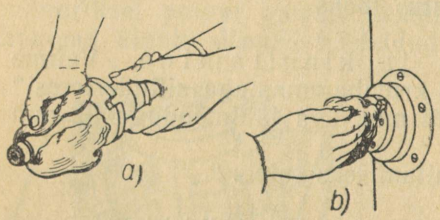
2. Keerata lahti kruvi ja võtta maha ripplaagripukk (joon. 85, *b*).

3. Pühkida puhtaks freestorni koonus ja pingi spindli koniline pesa (joon. 86).

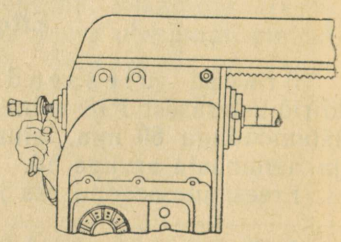
4. Asetada freestorn koonilise otsaga spindli koonilisse pessa, sobitades spindli otsal olevad kaasaveonukid freestorni ääriku väljalõigetesse ning kinnitada freestorn kruviga mutrivõtme abil (joon. 87).

5. Võtta freestornilt maha vaherõngad ning asetada neid freestornile tagasi niipalju, et pärast silinderfreesi asetamist freestornile jääks frees võimalikult pingi kere ligidale (olenevalt sellest, kuipalju töödeldav detail seda võimaldab). Freesi asetamisel freestornile tuleb tähele panna, et freesi lõikesuund ühtiks spindli pöörlemissuunaga (joon. 88, *a*).

Kui silinderfreesi lõikesuund ei ühti spindli pöörlemissuunaga (joon. 88, *b*), tuleb frees maha võtta ja pöörata teistpidi.



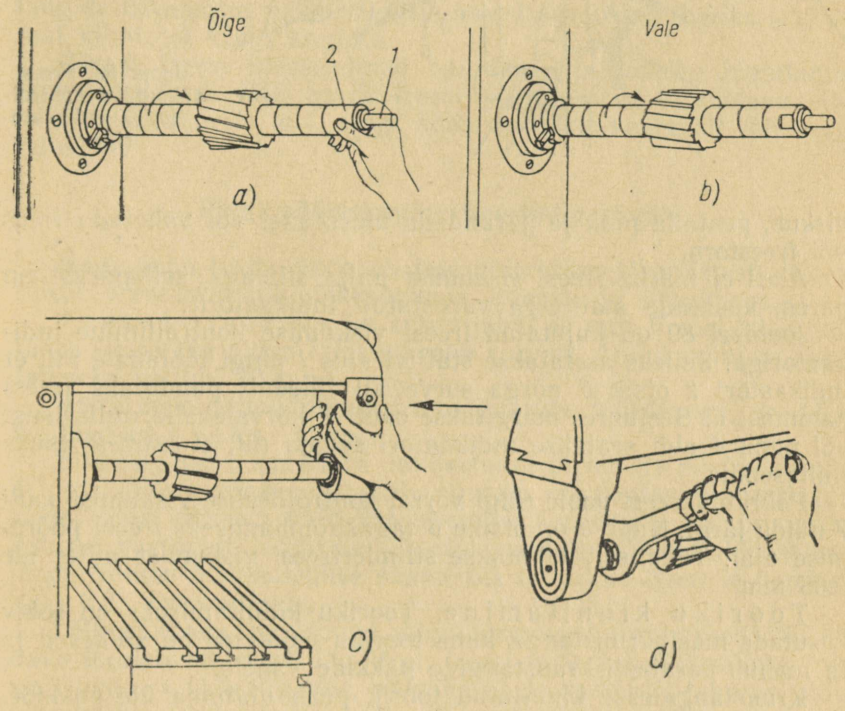

Joon. 86. Freestorni koonuse (*a*) ja spindli koonilise pesa (*b*) ettevalmistamine (puhastamine)



Joon. 87. Freestorni kinnitamine

Pärast freesi tornile asetamist asetada freestornile ülejäänud vaherõngad ja keerata peale mutter *2* (joon. 88, *a*). Mutri pealekeeramisel jälgida, et mutter ei kataks ripplaagrisse jäävat freestorni tappi *1*.

6. Nihutada ülatala ristikujulise käepideme pööramisega kaugusele, mis vastab freestorni pikkusele ja asetada kohale ripplaagripukk nii, et freestorni ots (tapp) satuks ripplaagrisse (joon. 88, *c*).

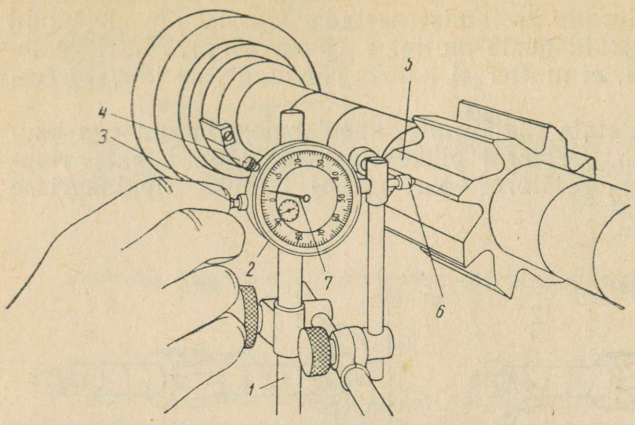



Joon. 88. Freesi ülesseadmine ja kinnitamine freestornile:
*a*, *b* — freesi ja vaherõngaste asetamine freestornile; *c* — ripplaagri paigaldamine; *d* — freesi kinnitamine freestornil

7. Kinnitada frees freestornile, keerates mutrit mutrivõtmega (joon. 88, *d*) ja kinnitada ripplaagripukk. Seejuures tuleb jälgida, et mutrivõtme suu istuks tihedalt mutri kantidel ega saaks keeramisel lahti pääseda, mis võib põhjustada tööõnnetuse.

8. Kinnitada ülatala ja õlitada ripplaager.

Kui frees ja ülatala on kinnitatud, võib pingi sisse lülitada ja panna freestorni koos freesiga pöörlema. Kui frees pöörlemisel




Joon. 89. Freesi viskumise kontrollimine indikaatoriga

viskub, peatada pink ja parandada ülesseadet või vahetada frees või freestorn.

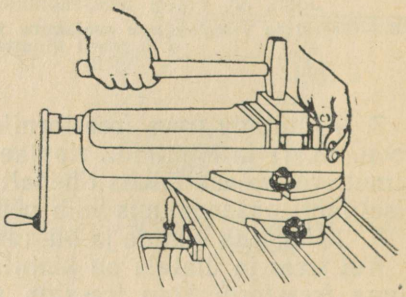
Alati ei märka freesi viskumist palja silmaga, sellepärast on parem kasutada statiiviga varustatud indikaatorit.

Joonisel 89 on kujutatud freesi viskumise kontrollimine indikaatoriga. Selleks asetatakse statiivi alus *1* pingi töölauale nii, et indikaatori *2* otsik *6* nõrga surve all tihedalt puudutaks freesi hammast *5*. Seejuures märgitakse osuti *7* kõrvalekalle nullseisust või nupu *4* abil seatakse indikaatori skaala nii, et osuti *7* asuks nullasendis.

Pöörates freesi poole ringi võrra, kontrollitakse viskumist osuti *7* näidu järgi. Nupp *3* on otsiku *6* tagasitõmbamiseks freesi pööramise ajal. Tavaliselt lubatakse silinderfreesi viskumist mitte üle 0,05 mm.

T o o r i k u  k i n n i t a m i n e. Tooriku kinnitamiseks on sobiv kasutada masinkruustange, kuna tooriku mõõtmed on väikesed ja ta mahub parajasti kruustangide pakkide vahele.

Kruustangidesse kinnitatud toorik peab ulatuma üle pakkide, sest muidu võib frees riivata karastatud pakke, mille tulemusena



Joon. 90. Tooriku kinnitamine kruustangidesse

freesi hambad võivad puruneda (nürineda). Sellepärast neil juhtudel, kui tooriku paksus on väiksem pakkide kõrgusest, asetatakse kruustangidesse tooriku alla vastava paksusega alusliist (vt. joon. 70). Tuleb silmas pidada, et alusliistuks ei sobi iga juhuslik terasetükk või kõlbmatu toorik.

Et tagada tooriku tihedat liibumist vastu tugipinda, tuleb toorikule lüüa duralumiiniumist, messingist või vasest vasaraga (joon. 90). Kui tooriku pinnad on ebatasased (sepised, valutoorikud), tuleb asetada tooriku enam-vähem tasane pind vastu kruustangide liikumatut pakki. Selline asend soodustab tooriku tugevamat kinnitust kruustangides.

Pärast freesi ülesseadmist spindlisse ja tooriku kinnitamist kruustangidesse võib asuda freesi pöörete arvu ja töölaua ettenihke määramisele, s. t. *pingi häälestamisele* vastavalt lõikerežiimile.

## Pingi häälestamine freesimisrežiimile

Nagu juba teada, koosneb freesimisrežiim järgmistest elementidest: freesimislaius, lõikesügavus, ettenihe ja lõikekiirus.

Freesimislaius on antud juhul 60 mm. Freesi laius valitakse freesitava pinna laiusest veidi suurem. Antud juhul on freesi laiuseks valitud 80 mm.

Kuna meie näites toimub freesimine ühe töökäiguga, on lõikesügavuseks 3 mm.

Ettenihe hambale määratakse olenevalt nõutavast töödeldava pinna siledusest: mida kõrgem on nõutav pinnasiledusklass, seda väiksem valitakse ettenihe. Freesitava lati pinnasiledus on vastavalt joonisele 84 ette nähtud 3 pinnasiledusklassi järgi. Sellise pinnasileduse saamiseks on antud ettenihe hambale $s_z = 0{,}08$ mm/hambale.

Lõikekiirusele avaldavad mõju järgmised tingimused: töödeldava tooriku materjali kvaliteet, freesi materjali lõikevõime, freesimislaius ja lõikesügavus, ettenihe ühele hambale, jahutus, pingi vibratsioon. Lõikekiiruse valiku lihtsustamiseks on koostatud spetsiaalsed tabelid, kus on arvestatud kõiki neid tingimusi. Olgu nende tabelite järgi antud lõikekiirus $v = 27$ m/min. Määrata pingi spindli pöörete arv.

Kiirte diagrammilt (vt. joon. 54) leiame, et lõikekiiruse $v = 27$ m/min ja freesi läbimõõdu 80 mm juures on vastav pöörete arv pöörete $n_6 = 100$ ja $n_7 = 125$ vahel. Valime spindli väiksema pöörete arvu $n_6 = 100$ p/min ja häälestame kiiruste kasti sellele pöörete arvule.*

* Siin ja edaspidistes näidetes on võetud aluseks, et töötatakse kas horisontaalfreespingil 6M82Г või universaalfreespingil 6M82. Juhul, kui freesitakse mõnel teist tüüpi freespingil, ei pea spindli pöörete arv ja töölaua ettenihe toodud näitega kokku langema.

Lõikekiirus on valemi (1) järgi

$$v = \frac{\pi Dn}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 80 \cdot 100}{1000} = 25{,}1 \text{ m/min.}$$

Pöörete arvu $n = 100$ p/min, freesi hammaste arvu $z = 10$ ja antud ettenihke $s_z = 0{,}08$ mm/hambale juures ettenihe minutis $s$ määratakse valemiga (4):

$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0{,}08 \cdot 10 \cdot 100 = 80 \text{ mm/min.}$$

Valime pingil oleva ettenihke 80 mm/min ja häälestame ettenihete kasti sellele ettenihkele.

Seega teraslati freesimine teostatakse kruvihammastega silinderfreesiga (freesi materjal — kiirlõiketeras P18) 80 × 80 × 32 mm lõikesügavusega 3 mm, freesimislaiusega 60 mm, pikiettenihkega 80 mm/min ehk 0,08 mm/hambale ja lõikekiirusega 25,1 m/min. Freesimine toimub jahutusega.

Tööstuses saab freesija andmed lõikerežiimi kohta operatsioonikaardilt, mille järgi ta häälestab pingi. Kvalifitseeritud freesija peab aga oskama määrata lõikerežiimi tabelite järgi iseseisvalt, vastavalt töötlemistingimustele.

## Töövõtted tasapindade freesimisel

Pärast tooriku ja freesi kinnitamist ning pingi häälestamist võib alustada freesimisega.

Lülitame sisse pingi elektrimootori. Seejärel, vajutades nupule «*ПУСК*», käivitame pingi ja nihutame käsiettenihkega töölaua koos toorikuga ettevaatlikult freesi alla kuni tooriku kerge kokkupuuteni freesiga. Seejärel, nihutades töölauda käsiettenihkega pikisuunas, juhime tooriku freesi alt välja ja tõstame vertikaalettenihke käepidet pöörates töölauda vajaliku lõikesügavuse, s. o. 3 mm võrra. Töölaua tõstmist tuleb teostada *limbi,* s. t. jaotustega rõnga järgi, mis asub vertikaalse käsiettenihke võlli otsal.

Limbi järgi võib lugemit võtta meelevaldsest jaotusest, kuid hõlpsamaks lugemiseks on parem asetada limb hetkel, mil frees puudutab tooriku pinda, nullasendisse, kus limbil märgitud null langeb kokku visiirkriipsuga. Sel juhul saab jaotuste lugemist alustada nullist, mis tunduvalt lihtsustab lugemist.

Limbi jaotused ei ole kõikidel pinkidel ühesugused, sellepärast tuleb kõigepealt kindlaks määrata limbi jaotuse väärtus (limbi jaotuse väärtuseks nimetatakse suurust, mille võrra nihkub pingi töölaud, kui töölaua ettenihkekruvi käepidet pöörata ühe limbi jaotuse võrra).

Freespingi 6M82Г ja vastavalt pinkide 6M82 ja 6M12П töölaua vertikaalettenihke limbidel on 40 jaotust ja vertikaalettenihke käepideme ühe täispöördega tõuseb töölaud 2 mm. Järelikult vas-

tab pöördele limbi ühe jaotuse võrra töölaua vertikaalsuunaline nihkumine 2 : 40 = 0,05 mm ja limbi jaotuse väärtuseks on seega 0,05 mm.

Selleks, et tõsta töölauda 3 mm võrra, tuleb pöörata limbi 3 : 0,05 = 60 jaotust. Teisiti öeldes, kui alustada lugemist nullist, tuleb vertikaalettenihke käepidet pöörata täisringi ja veel 20 limbi jaotuse võrra, s. t. kuni 20-es limbi jaotus langeb kokku visiirkriipsuga.

Vertikaalettenihke käepideme pööramisel tuleb arvestada kruvi «surnud käiguga». «Surnud käik» (lõtk kruvipaaris) tekib käigukruvi ja mutri kulumise tagajärjel. Kui pöörata ettenihkekruvi käepidet ühes suunas ja siis muuta pööramissuunda (pöörata kruvi vastassuunas), pöörleb kruvi teatud osa pöördest tühjalt, s. t. töölaud ei nihku.

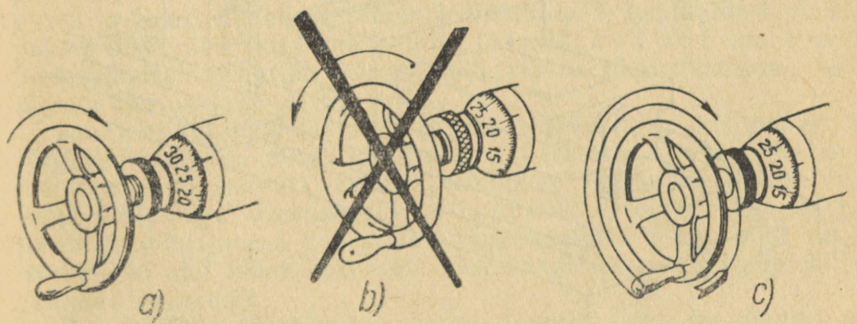
Järelikult, kui töölaua seadmisel lõikesügavusele limbi järgi pöörati käepidet kogemata veidi rohkem kui vaja, mistõttu lõikesügavus suurenes, siis käepideme (käsiratta) tagasisuunas pööramisega jaotuseni, mille juures viga tekkis, ei saa töölaua asendit parandada, ja detaili mõõtmed pärast freesimist saadakse väiksemad kui nõutud. Sellepärast tuleb limb võimalikult ettevaatlikult viia kuni vajaliku jaotuseni.

Kui limb mingil põhjusel siiski pöördus rohkem, näiteks mitte kuni 20-nda jaotuseni, vaid 25-nda jaotuseni (joon. 91, *a*), siis vea parandamiseks ei tohi käepidet tagasisuunas pöörata kuni 20-nda jaotuseni (joon. 91, *b*), vaid peaaegu terve ringi võrra ja siis ettevaatlikult viia limb uuesti kuni vajaliku jaotuseni (joon. 91, *c*).

Analoogiliselt toimitakse ka töölaua allalaskmisel ja siis uuesti ülestõstmisel vajaliku kõrguseni.

Lõikesügavuse seadmist võib teostada veel teiste viisidega: märkimise, gabariidi (rakise mõõtebaasi) ja näidisdetaili järgi.

Lõikesügavuse seadmisel m ä r k i m i s e järgi tuleb toorik eelnevalt märkida, s. t. tõmmata toorikule märkjooned, mida mööda




Joon. 91. Käsiettenihke käepideme pööramise reeglid

peab kulgema freesimistasapind. Selleks, et märkjooned oleksid toorikul selgesti nähtavad, tuleb toorik eelnevalt värvida kriidi vesilahusega ning rismuse märknõelaga tõmmatud märkjoontele lüüa kärni ja vasaraga teravad punktitaolised süvendid (kärnida).

Joonisel 92 on kujutatud märgitud toorikud tasapindade freesimiseks.

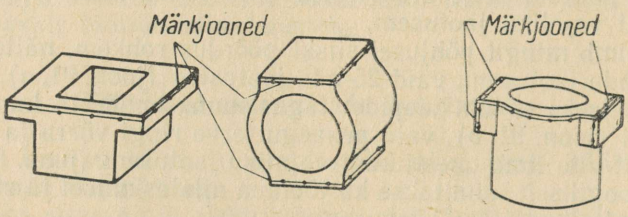
Freesija tavaliselt ise toorikuid ei märgi, vaid need tuuakse (vajaduse korral) pingi juurde märgituina.

Märgitud toorik seatakse kruustangidesse üles nii, et märkjooned ulatuksid mõlemast küljest võimalikult ühtemoodi üle kruustangide pakkide. Lõplik tooriku ülesseadmine märkimise järgi toimub rismuse abil, juhtides ta märknõela piki märkjoont ja õgvendades toorikut vasaralöökidega.

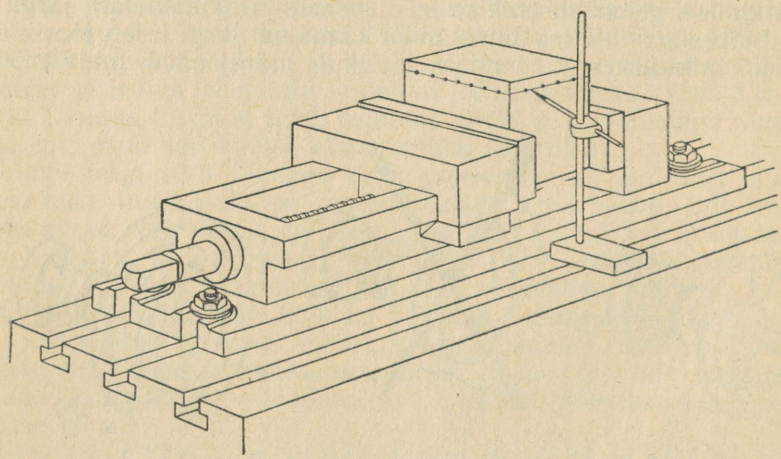
Joonisel 93 on kujutatud märkjoone horisontaalsuse kontrollimine rismusega.

Lõikesügavuse seadmine märkjoone järgi toimub proovitöökäikudega, kusjuures tuleb jälgida, et frees lõikaks töötlusvaru poole kärnisüvendi ulatuses.

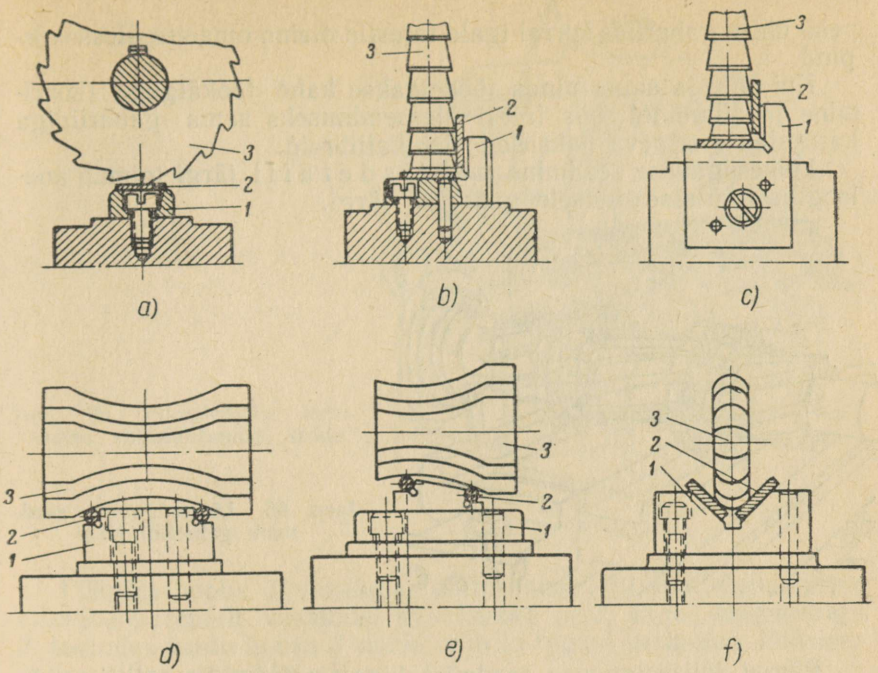
Freesi täpseks seadmiseks lõikesügavusele, mõnikord




Joon. 92. Freesimiseks märgitud toorikud



Joon. 93. Märgitud tooriku ülesseade kontrollimine rismuse abil




Joon. 94. Näiteid gabariitide (mõõtbaaside) kasutamisest: *a* — kõrguse gabariit; *b* — nurga gabariit; *c* — otsa gabariit; *d*, *e* ja *f* — gabariidid profiilfreesidele; *1* — gabariit; *2* — pilukaliiber; *3* — frees

ka tooriku laiuse suhtes, kasutatakse gabariite. Joonisel 94 on toodud mõned näited gabariitide kasutamisest rakistes. Nagu toodud näidetest selgub, kujutab gabariit *1* endast karastatud terasplaadikest või nurgikut, mis on jäigalt kinnitatud rakise kere külge. Selleks, et frees *3* gabariidiga vahetult kokku puutudes ei nürineks ja et tagada seejuures ta täpne ülesseade, asetatakse gabariidi pinna ja freesi lõiketera vahele lehtkaliiber *2*. Lehtkaliibri plaadi paksus on 3 või 5 mm; ümarkaliibri läbimõõt on 3 või 5 mm. Freesi ülesseadmisel gabariidi järgi saavutatakse töötlemistäpsus kolmanda täpsusklassi järgi.

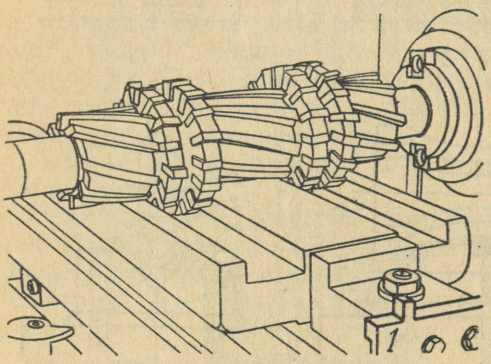
Kui toorikut töödeldakse freeside komplektiga, siis gabariidi järgi seatakse üles ainult üks frees, sest freeside omavaheline asetus freestornil saavutatakse vaherõngaste abil ja seda kontrollitakse šablooniga. Joonisel 95 on kujutatud freeside komplektiga freesimine, kusjuures gabariidi *1* järgi seatakse 5 mm paksusega lehtkaliibri abil lõikesügavusele üles ainult üks frees komplektist (kolmas vasakult).

Kui toorikut töödeldakse mitme freesiga, mis on kinnitatud erinevatesse spindlitesse (mitmespindlilised freespingid), siis

peab ühise gabariidi korral igale freesile olema omaette ülesseadepind.

Kui ühte ja sama pinda töödeldakse kahe töökäiguga (koorimine ja silumine), siis freesi ülesseadmiseks sama gabariidiga kasutatakse erineva paksusega lehtkaliibreid.

Lõikesügavuse seadmine näidisdetaili järgi toimub analoogiliselt ülesseadmisele gabariidi järgi.



Joon. 95. Lõikesügavuse seadmine gabariidi järgi

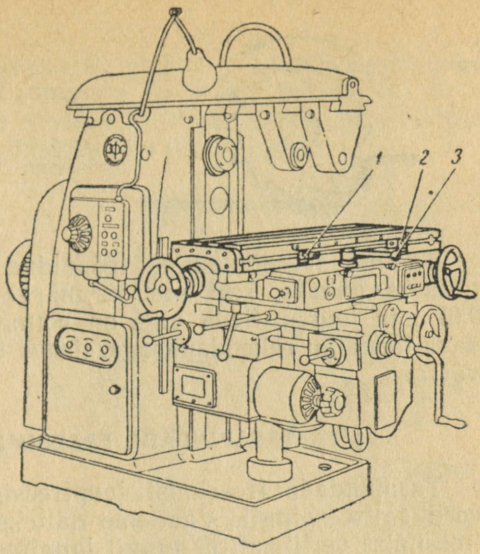
Pärast lõikesügavuse seadmist kinnitatakse konsooli ja ristkelgu pingutuspoldid (stoperdatakse konsool ja ristkelk), pikiettenihke kruvi pööramisega nihutatakse töölaud koos toorikuga pöörleva freesi suunas ja peatatakse 5—6 mm kaugusel freesist ning lülitatakse sisse mehaaniline pikiettenihe ja jahutus.

Pärast töökäigu lõppu lülitatakse välja töölaua pikiettenihe, jahutus ja spindli pöörlemine, lastakse töölauda veidi allapoole ja nihutatakse tagasi algasendisse, viilitakse maha detaili teravad kraadid ja mõõdetakse nihkkaliibriga detaili paksust 57 ± 0,3 mm.

## Ettenihke väljalülitamise automatiseerimine

Ettenihke õigeaegseks väljalülitamiseks töökäigu lõpul on freespinkidel vastav seade, mis võimaldab automaatselt, s. t. freesija juuresolekuta, peatada töölauda.

Joonisel 96 on kujutatud horisontaalfreespingi 6M82Г pikiettenihke automaatne väljalülitamisseade. Käigupiirajad *1* ja *2* kinnitatakse töölaua küljel olevasse pikisoonde asendisse, mis vastab töökäigu algusele ja lõpule. Lükates mehaanilise ettenihke hooba *3* paremale, lülitub sisse töölaua mehaaniline ettenihe ja töölaud koos toorikuga nihkub vasakult paremale seni, kuni käigupiiraja *1*, toetudes vastu hoova *3* nukki, viib ta tagasi keskseisu. Sellest hetkest lülitub mehaaniline ettenihe välja.




Joon. 96. Pikiettenihke automaatse väljalülitamise seade

Lükates hooba *3* vasakule, lülitub sisse töölaua mehaaniline ettenihe paremalt vasakule, mis kestab seni, kuni käigupiiraja *2*, toetudes vastu hoova *3* nukki, viib ta tagasi keskseisu, lülitades mehaanilise ettenihke välja.

Rist- ja vertikaalettenihke automaatseks väljalülitamiseks on freespinkidel analoogilised seadmed (vt. joon. 26 ja 27).

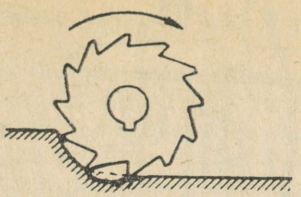
Kui ei kasutata automaatset ettenihke väljalülitamist, kinnitatakse käigupiirajad töölaua äärmistesse tööasenditesse, et freesija hooletuse või hajameelsuse tõttu ei puruneks ettenihkemehhanism.

## Praak tasapindade freesimisel

Võimalikuks praagiks peale joonisel antud mõõtmetest kõrvalekaldumise võib olla ka töödeldud pinna sileduse mittevastavus joonisele.

Selle üheks põhjuseks võib olla freesi nürinemine või viskumine, mis põhjustab töödeldud pinna lainelisuse. Teiseks põhjuseks võib olla liiga suur ettenihe freesi ühele hambale; selle vea parandamiseks tuleb suurendada freesi pöörete arvu või vähendada ettenihet minutis.

Sagedamini põhjustab seda praaki nähe, mida nimetatakse *sisselõikumiseks*. Mõnikord on vajadus peatada ettenihet enne töökäigu lõppu. Kui täpselt frees ka teritatud poleks, ikkagi viskub ta töötamisel veidi. Peale selle vetrub freestorn lõikejõu mõjul. Sellepärast, kui peatada ettenihe sel ajal, kui frees jätkab veel pöörlemist, lõikub ta metalli veidi sügavamalt just selles kohas, mis jäi freesi alla ettenihke väljalülitamise hetkel (joon. 97).



Joon. 97. Sisselõikumine tasapinna freesimisel

Taoline sisselõikumine töödeldud pinda on siluvfreesimisel tõsiseks paheks, sest see on märgatav isegi sügavuse 0,05—0,07 mm juures. Seda viga on võimalik parandada ainult täiendava töökäigu rakendamisega, tõstes töölauda sisselõike sügavuse võrra.

## § 23. TASAPINDADE FREESIMINE LAUPFREESIGA

Tasapindade freesimist laupfreesiga teostatakse sagedamini vertikaalfreespingil. Vaatleme näiteks lati (vt. joon. 84) pinna freesimist vertikaalfreespingil laupfreesiga.

Freesi ülesseadmine ja kinnitamine. Töötlemiseks valime kiirlõiketerasest P18 suurehambalise laupfreesi. Freesimislaiuse 60 mm juures peab freesi läbimõõt olema piirides 80—100 mm. Valime freesi läbimõõduga 80 mm ja hammaste arvuga 10.* Laupfreesi kinnitamiseks vertikaalfreespingi spindlisse on vaja:

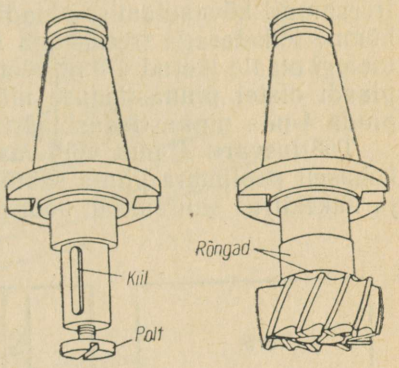
1. Pühkida puhtaks freestorni koonus ja spindli kooniline pesa.
2. Asetada freestorn koonilise sabaga spindli pessa ja kinnitada pingutusvardaga mutrivõtme abil. Siin tuleb samuti jälgida, et freesi lõikesuund ühtiks spindli pöörlemissuunaga. Laupfreeside lõikesuund on ühesugune, s. t. nende pöörlemissuunda ei saa muuta freesi ümberpööramisega freestornil, sellepärast tuleb vajaduse korral muuta spindli pöörlemissuunda.
3. Asetada laupfrees freestornile ja kinnitada poldiga (joon. 98).

Pärast freesi kinnitamist kontrollida indikaatoriga freesi otsviskumist, viskumine ei tohi ületada 0,05 mm.

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Freesimisrežiimi elementide määramise kord on analoogiline eespool esitatud režiimiga töötlemisel silinderfreesiga. Freesimislaius on antud 60 mm, lõikesügavus 3 mm; ettenihke hambale, lähtudes pinnasileduse nõuetest ja arvestades laupfreesiga töötlemise eeliseid, võib võtta veidi suurema kui silinderfreesiga freesimisel, — antud juhul on valitud ettenihe 0,1 mm/hambale; lõikekiirus on 27 m/min nagu silinderfreesiga freesimisel.

* Tornile asetatav laupfrees on valitud ГОСТ 9304-59 järgi. Kui tööriistalaos on freesid vana ГОСТ-i järgi, mis erinevad antud näites valitud freesi mõõtmetest läbimõõdu ja laiuse poolest, tuleb valida sobivate mõõtmetega frees, näiteks 10 hambaga 75 mm läbimõõduga frees.

Kiirte diagrammilt (vt. joon. 54) leiame, et pingi* spindli pöörete arv lõikekiiruse $v = 27$ mm/min ja freesi läbimõõdu $D = 80$ mm juures on pöörete arvude $n_6 = 100$ p/min ja $n_7 = 125$ p/min vahel. Valime spindli pöörete arvuks 100 p/min.




Joon. 98. Laupfreesi ülesseadmine freestornile

Ettenihe minutis $s$ freesi pöörete arvu $n = 100$ p/min, hammaste arvu $z = 10$ ja ettenihke $s_z = 0{,}1$ mm/hambale korral määratakse valemiga (4):

$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0{,}10 \cdot 10 \cdot 100 = 100 \text{ mm/min.}$$

Valime pingil oleva ettenihke 100 mm/min.

Asetame kiiruste kasti limbi pöörete arvule 100 p/min ja ettenihete kasti limbi ettenihkele 100 mm/min ja määrame valemiga (1) tegeliku lõikekiiruse:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 80 \cdot 100}{1000} = 25{,}1 \text{ m/min.}$$

Seega toimub freesimine kiirlõiketerasest P18 laupfreesiga $80 \times 45 \times 32$ mm lõikesügavusega 3 mm, freesimislaiusega 60 mm, pikiettenihkega 100 mm/min ehk 0,10 mm/hambale ja lõikekiirusega 25,1 m/min. Freesimine toimub jahutusega.

Pärast pingi häälestamist võib alustada freesimisega.

T a s a p i n d a d e  f r e e s i m i s e  t ö ö v õ t t e d. Laupfreesiga tasapindade freesimise kord vertikaalfreespingil ei erine silinderfreesiga tasapindade freesimisest horisontaalfreespingil.

Tasapindade freesimisel laupfreesiga võivad esineda samad praagi juhused nagu freesimisel silinderfreesiga (kõrvalekaldumine mõõtmetest, ebatasane töödeldud pind, sisselõikumine).

---

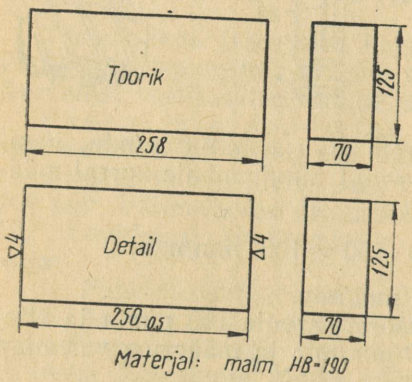
* Siin ja edaspidistes näidetes vertikaalfreespinkidel töötlemisel on võetud aluseks, et töö viiakse läbi vertikaalfreespingil 6M12П. Juhul kui freesitakse mõnel teist tüüpi vertikaalfreespingil, ei pruugi spindli pöörete arv ja töölaua ettenihe kokku langeda toodud näitega.

## Freesimine horisontaalfreespingil

Frees või freespea kinnitatakse pingi spindli koonilisse avasse kas sõrmtorni abil või vahetult pingi spindli otsa.

Vaatleme malmplaadi (joon. 99) otste freesimist horisontaalfreespingil kõvasulamist plaadikestega BK8 varustatud neljateistkümne lõiketeraga freespeaga $D = 250$ mm. Töötlusvaru on kummalegi otsale jäetud 4 mm, töötlemistäpsus on 0,5 mm. Joonisel on plaadi otstel pinnasileduse märk $\nabla 4$, mis tähendab poolpuhast pinda 4-nda pinnasiledusklassi järgi.

Töötlusvaru 4 mm võib maha võtta ühe töökäiguga; joonise kohaselt poolpuhta pinna saamiseks tuleb ettenihe valida väiksem ja lõikekiirus suurem kui koorimisel.




Joon. 99. Malmplaadi joonis

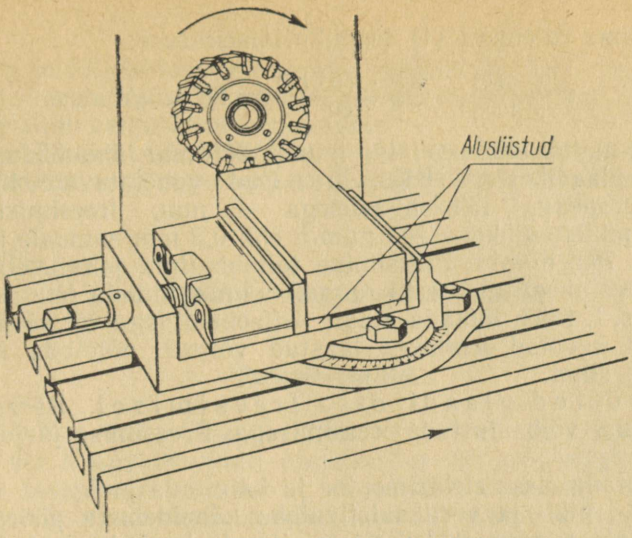
Freespea ülesseadmine ja kinnitamine. Freespea ülesseadmiseks ja kinnitamiseks on vaja:

1) viia pingi ülatala äärmisse eesmisse seisu;
2) võtta maha ripplaagripukk;
3) viia pingi ülatala tagasi äärmisse tagumisse seisu ja kinnitada selles asendis;
4) pühkida puhtaks pingi spindli väline ots ja freespea ava ning asetada freespea spindli otsa nii, et spindli otsal olevad kaasaveonukid satuksid freespea väljalõigetesse ja kinnitada freespea nelja kruviga pingi spindli otsa nii, nagu kirjeldati leheküljel 62.

Kui freespeal on kooniline baasava (vt. joon. 49, *a*), kinnitatakse ta freestorni koonusele (vt. joon. 50).

Pärast freespea kinnitamist käivitada pink ja kontrollida indikaatoriga freesi viskumist. Freespeal on lubatud viskuda 0,05 mm.

Tooriku kinnitamine. Plaadi mugavamaks kinnitamiseks kruustangidesse asetatakse ta laiema küljega (joon. 100)




Joon. 100. Plaadi otste freesimine

kruustangide juhtpindadele paigutatud kahele alusliistule. Tooriku pealispinna paralleelsust pingi töölaua suhtes kontrollitakse rismusega. Selleks nihutatakse rismust piki kruustangidesse kinnitatud toorikut, libistades märknõela mööda plaadi töödeldud pealispinda. Kergete messingvasara löökidega seatakse plaat paralleelseks pingi töölauaga ja kinnitatakse siis lõplikult.

Pingi häälestamine kiirfreesimisrežiimile. Kuna kõvasulamist plaadikestega varustatud freespea võimaldab kasutada tavalisest suuremat lõikekiirust, on antud juhul otstarbekas rakendada kiirfreesimist.

Ettenihe on antud 0,2 mm/hambale. Kõvasulamist BK8 plaadikestega varustatud 14 lõikehambaga 250 mm läbimõõduga freesile on antud lõikesügavuse 4 mm ja ettenihke 0,2 mm/hambale juures lõikekiirus 90 m/min.

Kiirte diagrammilt (vt. joon. 54) leiame, et pingi spindli pöörete arv lõikekiiruse $v = 90$ m/min ja freesi läbimõõdu $D = 250$ mm juures on pöörete arvude $n_6 = 100$ p/min ja $n_7 = 125$ p/min vahel. Valime väiksema pöörete arvu $n = 100$ p/min ja asetame kiiruste kasti limbi sellele pöörete arvule.

Pöörete arvu $n = 100$ p/min, lõiketerade arvu $z = 14$ ja ettenihke $s_z = 0{,}2$ mm/hambale juures määratakse ettenihe minutis valemiga (4):

$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0{,}2 \cdot 14 \cdot 100 = 280 \text{ mm/min}.$$

Valime lähima väiksema ettenihke, mida pink 6M82Г võimaldab ja asetame ettenihete kasti limbi ettenihkele 250 mm/min.

Määrame valemiga (1) tegeliku lõikekiiruse:

$$v = \frac{\pi Dn}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 250 \cdot 100}{1000} = 78{,}5 \text{ m/min.}$$

Seega malmi kiirfreesimine toimub 250 mm läbimõõduga kõvasulamist plaadikestega BK8 varustatud vahetatavate lõiketeradega freespeaga lõikesügavusega 4 mm, freesimislaiusega 125 mm, pikiettenihkega 200 m/min ehk 0,2 mm/hambale ja lõikekiirusega 78,5 m/min. Freesimine toimub ilma jahutuseta.

Kiirfreesimisel tuleb eriti rangelt silmas pidada ohutustehnika eeskirju, s. t. tuleb töötada ainult kaitseprillidega või kaitseekraaniga, sest kuumad lendavad laastud võivad põletada nägu ja vigastada silmi.

Töövõtted plaadi otsa freesimisel. Pärast pingi häälestamist võib alustada freesimisega. Freesimise järjekord on järgmine:

1) lülitada sisse elektrimootor ja käivitada pink;

2) rist-, piki- ja vertikaalettenihke käepidemete pööramisega nihutada plaat ettevaatlikult freesi juurde kuni kerge kokkupuuteni tooriku keskel. Seejärel pikiettenihke käepideme pööramisega eemaldada toorik freesist, seisata spindel ja ristettenihke käepideme pööramisega nihutada töölauda pingi kere suunas mahavõetava laastu paksuse, s. o. 4 mm võrra.

Freesi lõikesügavusele seadmisel võib kasutada ristettenihke limbi, mis oma ehituselt on sarnane vertikaalettenihke limbiga, kuid tal on 120 jaotust, kusjuures ühe jaotuse väärtus on samuti 0,05 mm. Järelikult 4 mm sügavuse mahavõetava kihi lõikesügavusele seadmisel tuleb ristettenihke kruvi käepidet pöörata 80 limbi jaotuse võrra;

3) stoperdada konsool ja ristkelk;

4) seada kohale käigupiirajad töölaua mehaanilise pikiettenihke väljalülitamiseks vastavalt freesimise pikkusele;

5) viia plaat käsiettenihkega töölaua pikiettenihke käepideme sujuva pööramise teel 10—15 mm kaugusele freespeast, käivitada spindel, lülitada sisse mehaaniline pikiettenihe ja freesida detail;

6) seisata pink, viia töölaud ristsuunas eemale ja nihutada ta kiirendatud pikiettenihkega algasendisse;

7) eemaldada viiliga plaadi otsa servade teravad kraadid, kontrollida nurgikuga töödeldud otspinna ristseisu plaadi külgede suhtes ja võtta plaat kruustangidest välja;

8) märkida plaadi teine ots pikkusele 250 mm ja asetada uuesti pinki lõplikku mõõtu freesimiseks.

Teise otsa freesimise järjekord on analoogiline esimese otsa freesimisega, ainult selle vahega, et ülesseadmine toimub märkimise järgi;

9) keerata kruustangid lahti, võtta plaat kruustangidest välja, kontrollida nurgikuga töödeldud otspinna ristseisu külgede suhtes

ja mõõta mõõtjoonlauaga plaadi pikkust (antud pikkus oli 250 mm), kasutades selleks 0,5 mm täpsusega mõõtjoonlauda, mis vastab plaadi valmistamise täpsusele.

Otsfreesimisel võib kasutada mehaanilise pikiettenihke asemel ka mehaanilist vertikaalettenihet. Mõelge, kuidas seda teha.

## § 24. KAASTASAPINDADE FREESIMINE

### Definitsioonid

Detaili erinevates tasapindades asetsevaid teineteisega paralleelseid või lõikuvaid pindu nimetatakse *kaaspindadeks*. Selliste detailide tasapinnad ehk tahud võivad olla üksteisega paralleelsed, risti või moodustada meelevaldse kahetahulise nurga. Kaaspindadeks detailides on kuubi, rööptahuka, igaliiki prismade, püramiidi ja teiste geomeetriliste kehade lähistahud.

Freesimisel nimetatakse üht kaaspindadest baaspinnaks. Baaspinnast teostatakse kõik mõõtmised ja selle järgi seatakse detail tavaliselt üles.

Baaspind ehk ülesseadepind on *ülesseadebaasiks* tooriku ülesseadmisel ja kinnitamisel pingi töölauale või rakisesse ja omab suurt tähtsust joonisega määratud mõõtmetega ja kujuga detaili saamisel.

Vaatleme näitena paralleelsete ja ristuvate kaaspindade freesimismeetodeid täisnurkse plaadi külgede töötlemisel.

### Täisnurkse plaadi tahkude freesimine

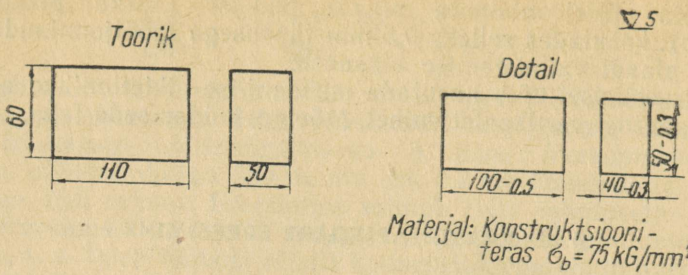
On vaja töödelda täisnurkne plaat (joon. 101). Plaadi materjaliks on konstruktsiooniteras tõmbetugevusega $\sigma_b = 75$ kG/mm$^2$.

Määrame kindlaks plaadi nelja pikitahu ja kahe otsa freesimise järjekorra.

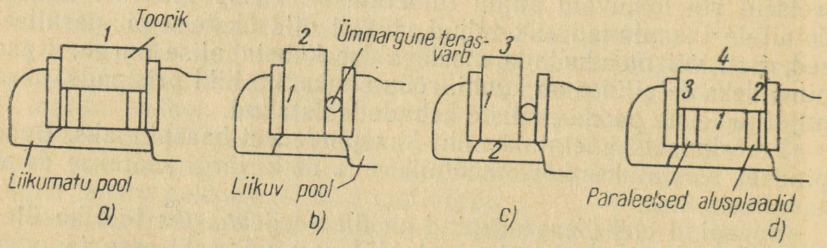
Plaadi töödeldavate pindade sileduse ($\nabla 5$) tagamiseks tuleb rakendada väikese ettenihkega siluvfreesimist. Kogu töötlusvaru, mis moodustab küljele 5 mm, ei saa maha lõigata ühe töökäiguga, sellepärast tuleb enne silumist teha veel üks koorimise siire. Lõikesügavuseks koorimisel valime 4 mm, silumisel 1 mm küljele.

Tahkude koorimisoperatsioonide täitmise järjekord on toodud joonisel 102.

Kõigepealt freesime suurema pinnaga tahu *1* (joon. 102, *a*), kasutades kruustangidesse kinnitamisel paralleelseid alusliiste, seejärel pöörame plaadi töödeldud pinnaga *1* vastu kruustangide liikumatut pakki ja freesime naabertahu *2* (joon. 102, *b*).




Joon. 101. Täisnurkse plaadi joonis




Joon. 102. Plaadi tahkude freesimise järjekord

Kui kruustangide pakkide kinnituspinnad on risti kruustangide alusplaadiga, küllalt siledad ja omavahel rangelt paralleelsed, s. t. ei ole kiivas, siis plaadi teine töödeldud tahk moodustab esimesega täisnurga.

Seega on plaadi tahk *1* ülesseadebaasiks temaga ristiasetseva tahu *2* saamiseks. Kaaspinnad *1* ja *2* moodustavad täisnurga.

Et tagada esimesena töödeldud külje *1* tihedat liibumist vastu kruustangide liikumatut pakki, võib liikuva paki ja plaadi vahele asetada ümmarguse terasvarva (joon. 102, *b*). Sellega välditakse plaadi võimalik vildakus ta kinnitamisel kruustangidesse.

Seejärel asetame plaadi töödeldud tahuga *2* kruustangide põhjale (joon. 102, *c*), kusjuures, nagu eelmisegi ülesseade juures, peab tahk *1* tihedalt liibuma vastu kruustangide liikumatut pakki. Seejärel kinnitame plaadi kruustangidesse, koputades samaaegselt plaadile messingist vasaraga, et tagada tahu *2* tihedat liibumist vastu kruustangide juhtpindu või alusliistu, keerame kruustangid lõplikult kinni ja freesime plaadi tahu *3*.

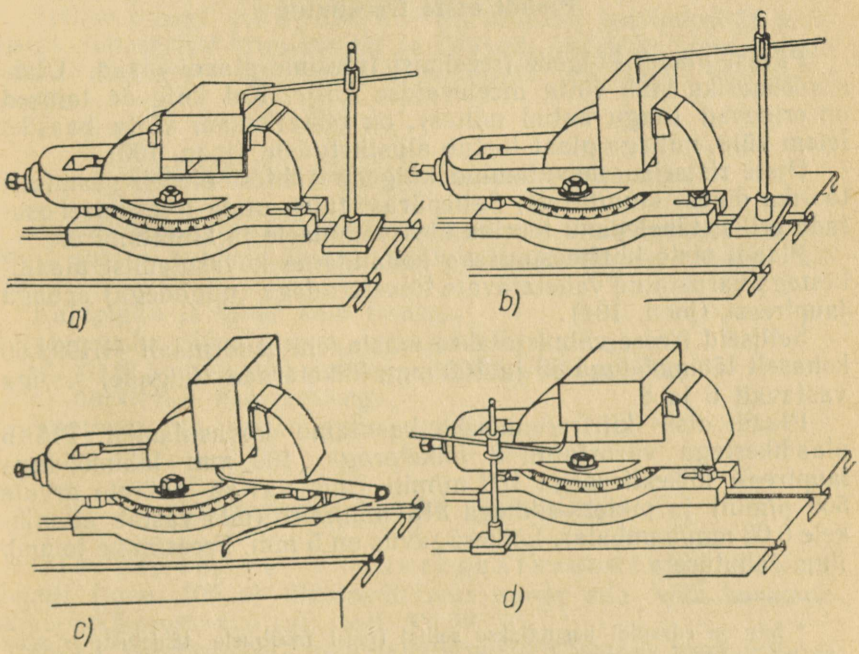
Kui kruustangid on õigesti koostatud ja üles seatud, toetuspinnad puhtad ja plaadil ei ole kraate, on tahud *2* ja *3* pärast töötlemist teineteisega paralleelsed ja risti tahuga *1*.

Viimase tahu *4* freesimiseks tuleb plaat asetada tahuga *1* kahele sobivate mõõtmetega paralleelsele alusliistule (joon. 102, *d*), kinnitada kruustangidesse ja, koputades vasaraga veel töötlemata tahule *4*, seada ta õigesse asendisse. Kui paralleelsed alusliistud on ühesugused ja kui plaat on töötlemise ajal surutud tihedalt vastu alusliiste, siis pärast töötlemist on tahk *4* tõenäoliselt paralleelne tahuga *1* ja risti tahkudega *2* ja *3*.

Silumisoperatsioonide järjekord on analoogiline koorimisoperatsioonide järjekorraga. Et mitte rikkuda kruustangidesse kinnitamisel plaadi juba töödeldud pindu, on soovitav asetada kruustangide pakkidele messing- või vaskplekist valmistatud vahepakid.

Plaadi ülesseade õigsust kontrollitakse rismusega, nagu näidatud joonisel 103. Plaadi esimese tahu ülesseadet võib kontrollida joonise 103, *a* kohaselt. Teist tahku kontrollitakse rismusega analoogiliselt esimese tahuga.

Kolmandat ja neljandat tahku kontrollitakse, nagu näidatud joonisel 103, *c* ja *d*. Et plaadi alumine tahk on töödeldud, ülemine peab aga pärast töötlemist olema alumisega paralleelne, tuleb paralleelsust kontrollida alumise tahu järgi. Paralleelsust kontrollitakse tastriga (joon. 103, *c*) või rismusega (joon. 103, *d*).




Joon. 103. Plaadi ülesseade kontrollimine

Lõikerežiimid on järgmised:

Koorimine — 10 hambaga suurehambaline silinderfrees 80 × 80 × 32* mm (freesi materjal — kiirlõiketeras P18), lõikesügavus 4 mm, freesimislaius 50 ja 60 mm, pikiettenihe 100 mm/min ehk 0,1 mm/hambale.

Lõikekiirus on 25,1 m/min pöörete arvu 100 p/min juures. Freesimine toimub jahutusega.

Silumine — 16 hambaga silinderfrees 80 × 63 × 32 mm (freesi materjal — kiirlõiketeras P18), lõikesügavus 1 mm, freesimislaius 40 ja 50 mm, pikiettenihe 100 mm/min ehk 0,05 mm/hambale. Lõikekiirus on 31,4 m/min pöörete arvu 125 p/min juures. Freesimine toimub jahutusega.

Pärast silumist kontrollitakse plaadi kõigi nelja külje paksust nihkkaliibriga.

Plaati võib freesida ka vertikaalfreespingil. Mõelge, kuidas ehitada üles freesimisoperatsioon, kasutades suurehambalist 10 hambaga laupfreesi läbimõõduga 80 mm ja peenehambalist 14 hambaga laupfreesi läbimõõduga 80 mm. Ettenihe on koorimisel 0,125 mm/hambale, silumisel 0,06 mm/hambale. Lõikekiirused on samad, mis silinderfreesiga freesimisel.

## Plaadi otste freesimine

Pärast plaadi külgede freesimist freesime plaadi otsad. Ülesseadebaasiks võib võtta meelevaldse külje. Kui külgede laiused on erinevad (nagu antud näites), on otstarbekam võtta baasiks laiem külg, millega plaat toetub alusliistudele (joon. 100).

Otste ristseisu saavutamine külgede suhtes oleneb peamiselt tooriku õigest kinnitusest. Sellepärast tuleb otste freesimisel osutada erilist tähelepanu tooriku ülesseadmisele ja kinnitamisele.

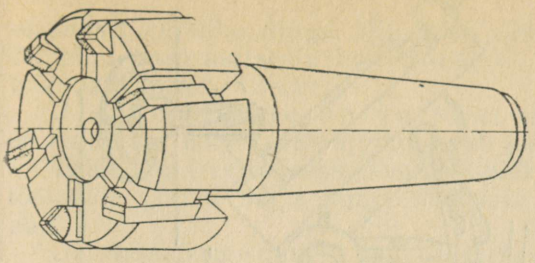
Plaadi otste kiirfreesimiseks kohandame kõvasulamist plaadikestega varustatud vahetatavate lõiketeradega (nugadega) sabaga laupfreesi (joon. 104).

Selliseid freese valmistatakse masinaehitusnormaali MH993-60 kohaselt läbimõõduga 80 ja 100 mm, lõiketerade (nugade) arvuga vastavalt 6 ja 8.

Plaadi otste kiirfreesimiseks kasutame kõvasulamist T15K6 plaadikestega varustatud 8 lõiketeraga 100 mm läbimõõduga laupfreesi lõikekiirusega 160 m/min (mis vastab pöörete arvule 500 p/min) ja pikiettenihkega 315 mm/min (mis vastab ettenihkele 0,08 mm/hambale). Lõikesügavus on 5 mm. Freesimine toimub ilma jahutuseta.

---

* Siin ja edaspidi kasutatakse sellist freesi mõõtmete tähistust: esimene number — freesi läbimõõt *D*, teine — freesi laius *B*, kolmas — baasava läbimõõt, mis on identne freestorni läbimõõduga *d*.



Joon. 104. Kõvasulamist plaadikestega varustatud vahetatavate lõiketeradega laupfrees

Otste töötlemise järjekord on analoogiline leheküljel 120 kirjeldatud malmplaadi otste freesimisega. Kaitseks eemalelendavate kuumade laastude eest tuleb kasutada kaitseekraani või kaitseprille.

### Praak kaaspindade freesimisel

Kaaspindade freesimisel laup- või silinderfreesiga võib peale töödeldud pinna sileduse defektidest või mõõtmete mittevastavusest tekkinud praagi esineda veel praaki kaaspindade mitteparalleelsusest ja mitteperpendikulaarsusest.

Sellise praagi põhjuseks on: halvasti laastudest ja mustusest puhastatud kruustangid ja töölaud, töölauale pingi spindli suhtes ebaõigesti kinnitatud kruustangid, ebaõigesti kinnitatud toorik.

## § 25. KALDPINDADE JA FAASIDE FREESIMINE

*Kaldpinnaks* nimetatakse tasapinda, mis asub horisontaaltasapinna suhtes kaldu. Lühikest kaldpinda detailil nimetatakse *faasiks.*

Kaldpindu ja faase võib freesida:

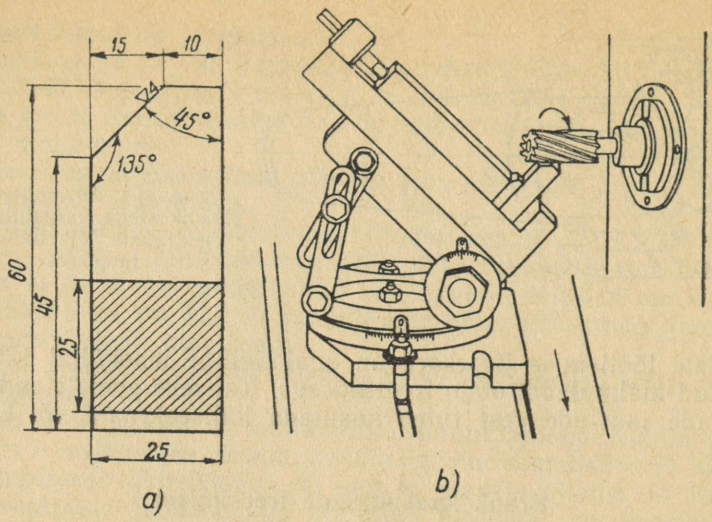
a) tooriku pööramisega vajaliku nurga alla;
b) pingi spindli pööramisega vajaliku nurga alla;
c) nurkfreesi kasutamisega.

Vaatleme iga freesimisviisi eraldi.

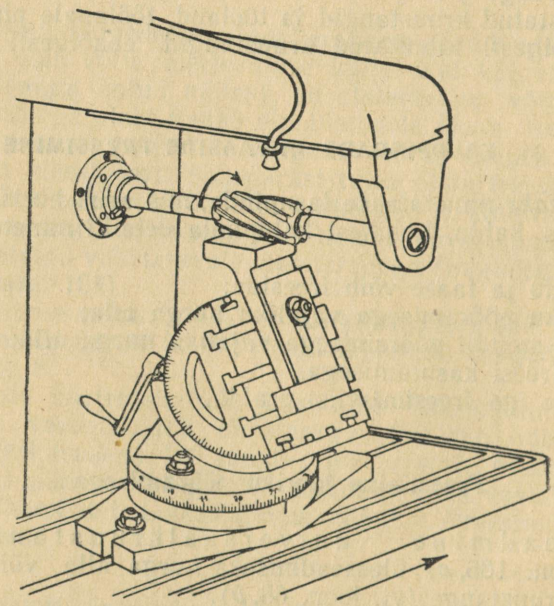
### Freesimine tooriku pööramisega

Ülesseadmine universaalkruustangidesse. Detaili (joon. 105, *a*) ülesseadmiseks nurga alla võib kasutada universaalkruustange (vt. joon. 68, *b*).

Detail kinnitatakse universaalkruustangidesse analoogiliselt masinkruustangidesse kinnitamisega. Universaalkruustangide




Joon. 105. Kaldpinna freesimine universaalkruustangides



Joon. 106. Kaldpinna freesimine universaalnurgikul

seadmisel vajaliku nurga alla tuleb silmas pidada, et töödeldav kaldpind peab asetsema horisontaalselt, s. t. paralleelselt pingi töölauaga (joon. 105, *b*).

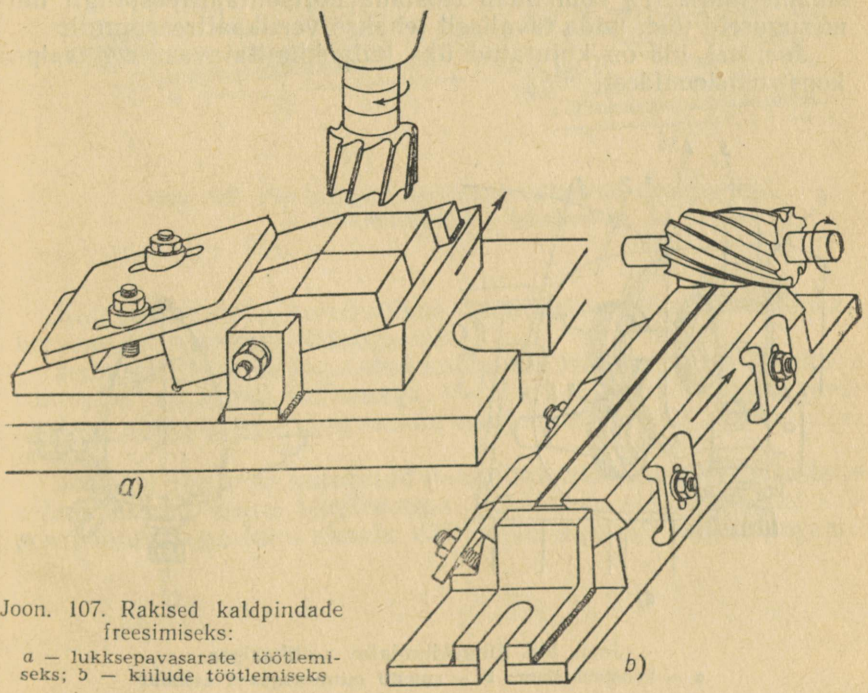
Ülesseadmine universaalnurgikule. Joonisel 106 on kujutatud universaalnurgikule (vt. joon. 62, *c*) üles seatud toorik kaldpinna freesimiseks. Toorik kinnitatakse universaalnurgiku töölauale samuti nagu pingi töölauale surveliistude ja poltide abil.

Universaalkruustange ja universaalnurgikuid kasutatakse tavaliselt tööriista- ja remont-mehaanikatsehhides üksikdetailide valmistamisel ja mehaanikatsehhides detailide väikeste partiide valmistamisel.

Tööriistatsehhides kasutatakse rakiste ja stantside detailide kaldpindade ja faaside töötlemiseks kallutatava töölauaga laiendatud tööpiirkonnaga universaalfreespinke (mudelid 675 ja 679). Pingi töölaua kalle vajaliku nurga all tagab töödeldava pinna nõutava asendi.

Ülesseadmine spetsiaalsetesse rakistesse. Suure partii ühesuguste toorikute kaldpindade töötlemiseks kasutatakse tavaliselt spetsiaalseid rakiseid.

Joonisel 107, *a* on kujutatud rakis lukksepavasara pinni freesi-




Joon. 107. Rakised kaldpindade freesimiseks:
*a* — lukksepavasarate töötlemiseks; *b* — kiilude töötlemiseks

miseks. Rakise tugipind tagab tooriku kiire ülesseadmise vajaliku nurga alla ilma märkimata.

Joonisel 107, *b* on kujutatud kiilu kaldpinna freesimise rakis. Rakisel on kaks kaldtugipinda. Rakisesse seatakse üles kaks toorikut ja freesitakse nad samaaegselt ühe silinderfreesiga.

Vajaliku nurga alla seatud kaldpindade freesimine silinder- ja laupfreesidega on analoogiline horisontaaltasapindade freesimisega.

### Freesimine pingi spindli pööramisega

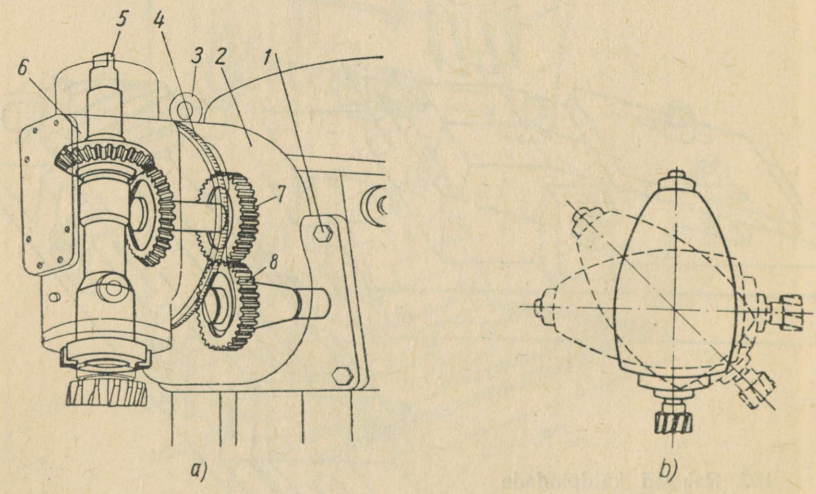
Kaldpindade ja faaside freesimisel võib tooriku pööramise asemel kasutada ka spindli pööramist. Seda võimaldavad vertikaalfreespingid, milledel spindlikasti kere koos spindliga on pööratav vertikaaltasapinnas ümber horisontaaltelje (vt. joon. 9).

Eriti mugav on töödelda kaldpindu ja faase laiendatud tööpiirkonnaga universaalfreespinkidel 6M82Ш (vt. joon. 11), millede vertikaalne pea on pööratav horisontaal- ja vertikaaltelje ümber.

Kaldpindu võib freesida ka horisontaalfreespingil, kui kasutada külgekinnitatavat vertikaalpead.

*Külgekinnitatav vertikaalpea* on horisontaalfreespingi spetsiaalne tarvik. Ta võimaldab teostada horisontaalfreespingil mitmesuguseid töid, mida tavaliselt tehakse vertikaalfreespingil.

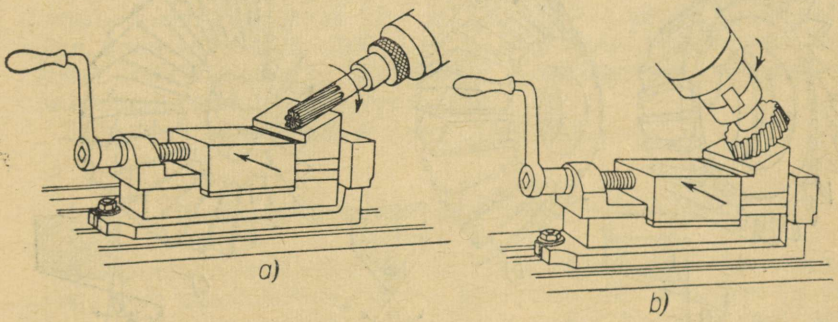
Joonisel 108 on kujutatud üks külgekinnitatava vertikaalpea konstruktsioonidest.




Joon. 108. Külgekinnitatav vertikaalpea
*a* — konstruktsioon; *b* — spindli mitmesugused asendid

Külgekinnitatava vertikaalpea kere *2* paigutatakse pingi kere juhtpindadele ja kinnitatakse poltidega *1*. Spindel *5* pöörleb pea pööratavas osas *6*. Vabastades poldid, mis ühendavad pea pööratavat osa ta kerega, võib spindlit pöörata horisontaaltelje ümber ja seada ta skaala *4* järgi meelevaldse nurga alla. Vertikaalpea tõstmiseks on rõngas *3*. Pöörlemine kantakse pingi spindlilt vertikaalpea spindlile üle hammasrataste *7* ja *8* kaudu. Hammasratas *8* on kinnitatud horisontaalfreespingi spindli otsa koonuse abil ja kannab spindli pöörlemise üle hammasrattale *7*, kust koonushammasrataste paari kaudu kantakse pöörlemine vertikaalpea spindlile *5*. Spindli *5* pessa kinnitatakse frees.

Tänu koonushammasrataste paarile võib pealepandava vertikaalpea spindlit pöörata ümber pingi spindli 360°, s. t. täisringi võrra. Selline külgekinnitatava vertikaalpea ehitus võimaldab freesi üles seada mitte ainult vertikaalselt, vaid ka meelevaldse nurga all (joon. 108, *b*).




Joon. 109. Kaldpindade freesimine kallutatud spindliga:
*a* — otsfreesiga; *b* — laupfreesiga

Külgekinnitatava vertikaalpea kasutamine laiendab tunduvalt horisontaalfreespingi tööpiirkonda.

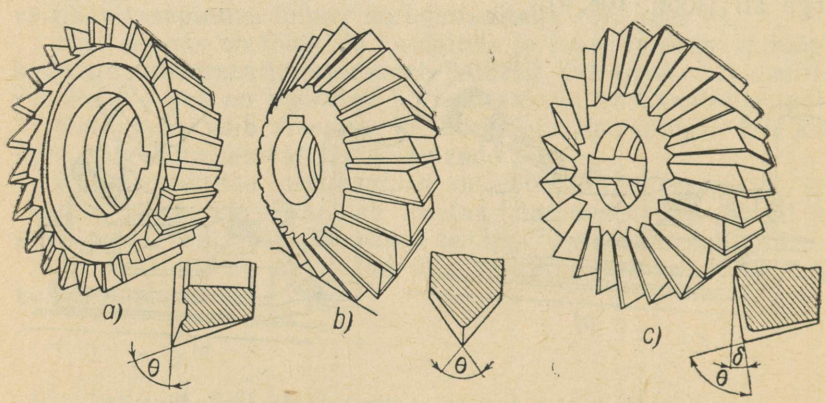
Joonisel 109, *a* on kujutatud kaldpinna freesimine vertikaaltelje suhtes 60° all asuva otsfreesiga. Vajalik kaldenurk seatakse vertikaalpea pööramisega kuni skaala näitjoonte 0 ja 60° kokkulangemiseni.

Joonisel 109, *b* on kujutatud kaldpinna freesimine vertikaaltelje suhtes 30° all asuva laupfreesiga. Kaldenurk seatakse vertikaalpea pööramisega kuni skaala näitjoonte 0 ja 30° kokkulangemiseni.

## Kaldpindade freesimine nurkfreesidega

Väikseid kaldpindu ja faase freesitakse nurkfreesidega. Sel juhul ei ole vaja pöörata detaili ega spindlit, freesitava tasapinna kaldenurk tagatakse freesi enda kujuga.

Nurkfreesid. Joonisel 110, *a* on kujutatud *ühepoolne* nurkfrees freesi telje suhtes kindla nurga all asuva tasapinna töötlemiseks. Ühepoolsete nurkfreeside nurk Θ on 55, 60, 65, 70, 85 ja 90°. *Kahepoolseks* nurkfreesiks nimetatakse freesi, mille teine lõikepind freesib samuti kaldpinda. Kahepoolseid nurkfreese liigitatakse *sümmeetrilisteks* (joon. 110, *b*) ja *ebasümmeetrilisteks* (joon. 110, *c*) nurkfreesideks. Ebasümmeetrilise kahepoolse nurkfreesi teise tahu kaldenurk on tavaliselt 15, 20 ja 25°.



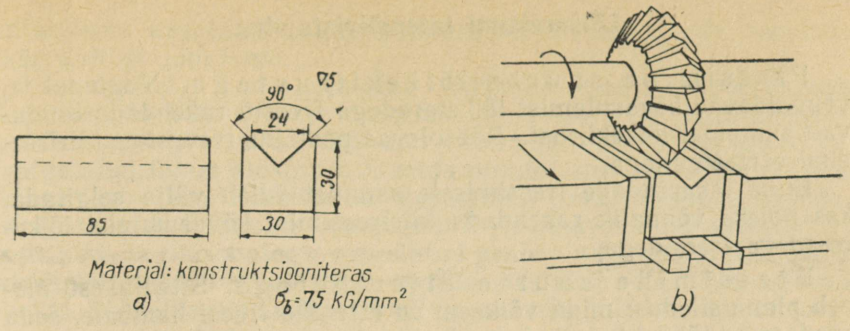

Joon. 110. Nurkfreesid:
*a* — ühepoolne; *b* — kahepoolne sümmeetriline; *c* — kahepoolne ebasümmeetriline

Nurkfreesid valmistatakse teravatipuliste hammastega.

Nurkfreesidega freesitakse horisontaalfreespinkidel. Nurkfreesid seatakse üles ja kinnitatakse samuti nagu silinderfreesid.

Lõikerežiim. Nurkfreesidega töötlemisel valitakse lõikekiirus ja ettenihe hambale väiksem kui silinderfreesiga freesimisel, sest nurkfreesi töötamistingimused on tunduvalt raskemad.

Töötlemisnäide. Vaatleme kaaspindade freesimist nurkfreesiga. Joonisel 111, *a* on toodud töödeldava prisma tööjoonis, joonisel 111, *b* nurksüvendi töötlemise skeem. Freesimiseks kasutame kahepoolset sümmeetrilist nurkfreesi lõiketahkude kaldenurgaga 45°. Valime freesi läbimõõduga 75 mm. Sellisel freesil on 22 hammast.




Joon. 111. Nurksüvendi töötlemine kahepoolse nurkfreesiga:
*a* — detail; *b* — töötlemise eskiis

Lõikerežiim: lõikesügavus $t = 12$ mm, ettenihe 0,03 mm/hambale, lõikekiirus 11,8 m/min, mis vastab pöörete arvule 50 p/min. Valime spindli pöörete arvuks pingil 6M82Г oleva 50 p/min. Ettenihe minutis on seega $0{,}03 \cdot 22 \cdot 50 = 33$ mm/min. Valime ettenihke, mida võimaldab pink, s. o. 31,5 mm/min. Häälestame pingi valitud lõikekiirusele ja ettenihkele ning freesime analoogiliselt horisontaaltasapindade freesimisega.

Töödeldud pindu kontrollitakse šablooniga.

### Praak kaldpindade ja faaside freesimisel

Kaldpindade ja faaside freesimisel silinder-, laup- ja nurkfreesidega võib praak tekkida peale pinnasileduse defektide ja ebaõigete mõõtmete veel töödeldud pinna antud kaldenurgast mittekinnipidamise tulemusena.

Sellist liiki praagi põhjuseks võib olla ebaõige märkimine, tooriku ebaõige ülesseadmine, halvasti laastudest puhastatud pingi töölaud ja kruustangid, nõrgalt nurga alla kinnitatud kruustangid või pöördlaud ja freesi viskumine.

## § 26. TASAPINDADE SUURE TOOTLIKKUSEGA FREESIMISE MEETODID

Tasapindade freesimisel saavutatakse töötlemisaja vähendamine tootlikuma freesimisrežiimi (suured lõikekiirused, suured ettenihked ja lõikesügavused) rakendamise, ratsionaalsema konstruktsiooniga kinnitusrakiste ja suure tootlikkusega lõikeriistade kasutamisega.

Vaatleme mõningaid viise, mis kiirendavad tasapindade töötlemist.

Freesimine suurte lõikekiirustega. Nagu teada, võimaldavad kõvasulamist lõiketeradega freesid rakendada tunduvalt suuremat lõikekiirust. Käesolevas peatükis tutvusime kiirfreesimise meetoditega.

Enne tasapindade freesimisele asumist tuleb välja selgitada, kas poleks võimalik rakendada kiirfreesimist kõvasulamist lõiketeradega freesidega.

Freesimine suurte ettenihetega. Ettenihkest oleneb pinna siledus: mida väiksem on ettenihe freesi hambale, seda siledam on töödeldud pind, kuid seda suurem on töökäiguks kuluv aeg.

Kiirlõiketerasest freesidega freesimisel tuleb püüda suurendada ettenihet freesi hambale, et saavutada suuremat ettenihet minutis, s. t. vähendada töötlemisaega. Siinjuures tuleb arvestada nõutud pinnasiledusega, mis alati ei võimalda suure ettenihkega töötlemist.

Kiirfreesimisel saame sama ettenihke puhul freesi hambale freesi pöörete arvu suurendamisel suurema ettenihke minutis, järelikult töötlemisaeg väheneb.

Töökäikude arvu vähendamine. Lõikekiiruse ja ettenihke suurendamisega minutis tuleb püüda vähendada töökäikude arvu, valides maksimaalse lõikesügavuse, sest töötlemisaeg lüheneb võrdeliselt töökäikude arvu vähendamisega.

## Ratsionaalsed tööabinõud

Vahetatavate pakkide kasutamine kruustangides. Vahetatavate pakkide kasutamine normaali järgi valmistatud masinkruustangides võimaldab lühendada toorikute kinnitusaega detailide väikese partii töötlemisel.

Freesijad-novaatorid kasutavad vahetatavate pakkidega kruustange toorikute ülesseade- ja kinnitusaja vähendamiseks, loobudes spetsiaalsetest rakistest, mis on tasuvad ainult detailide suure partii puhul.

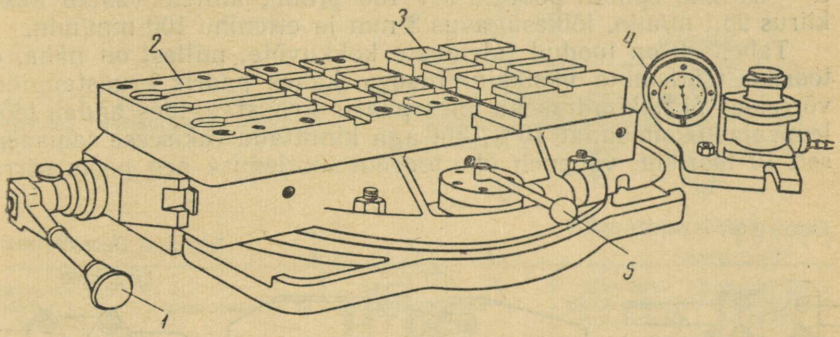
Nurksüvendiga pakke kasutatakse ümmarguste võllitüüpi toorikute ülesseadmise ja kinnitamise kiirendamiseks tavalistes masinkruustangides prismade asemel.

Käesoleval ajal toodab kodumaine tööstus ümberseadistatavaid kruustange koos *vahetatavate pakkidega*. Neil kruustangidel on täpsed piki- ja ristsoontega tugipinnad, millede järgi orienteeritakse pakke vahetamise juures.

Kruustangid ise seatakse pingi töölauale üks kord täpselt üles, pakid seatakse üles kruustangide asendit muutmata. Tooriku kin-

nitamiseks kasutatakse sisseehitatud pneumaatilist või pneumohüdraulilist jõuajamit.

Joonisel 112 on kujutatud ümberseadistatavad pööratavad kruustangid УПГ-6*, mis on ette nähtud toorikute kinnitamiseks mõõtmetega kuni 200 × 250 mm. Kruustangide malmkeresse on paigutatud liikuv alusplaat *3*, mida nihutatakse kruustangide kere külge kruvidega kinnitatud karastatud terasjuhtpindu mööda. Kruustangide liikumatu alusplaadi *2* ja liikuva alusplaadi *3* täpsete piki- ja ristsoontega varustatud pealispind moodustab töölaua mõõtmetega 450 × 200 mm, millele seatakse üles vahetatavad pakid. Töödeldava tooriku võib üles seada ka pakkide täpsete soontega varustatud otspindadele.




Joon. 112. Ümberseadistatavad pööratavad kruustangid

Tooriku kinnitamiseks nihutatakse liikuvat alusplaati *3* kruustangide kere sisse ehitatud pneumaatilise diafragmaajami abil. Pneumoajami juhtimine toimub pneumaatilise jagamiskraani *5* abil. Kinnitusjõud suruõhu surve 4 kG/cm² juures on 3600 kG, liikuvale alusplaadile kinnitatud paki käik 5—6 mm. Kinnitusjõud on reguleeritav piirides 1000—3600 kG regulaatori *4* abil, mis on ühendatud suruõhumagistraali ja kruustangide vahele. Liikuva paki nihutamine rohkem kui 5—6 mm, pakkide vahekauguse muutmine piirides 50—100 mm ja töödeldava tooriku eelpingutamine toimub ülevisatava käepideme *1* abil käsitsi.

Kruustangide vahetatavad pakid kujutavad endast spetsiaalseid pealepandavaid detaile, mis on kinnitatavad liikuvale ja liikumatule alusplaadile. Mõnikord lisatakse neile kahele põhiosale töödeldava tooriku orienteerimiseks baasplaadi näol veel kolmas, mis paigaldatakse tavaliselt liikumatule alusplaadile.

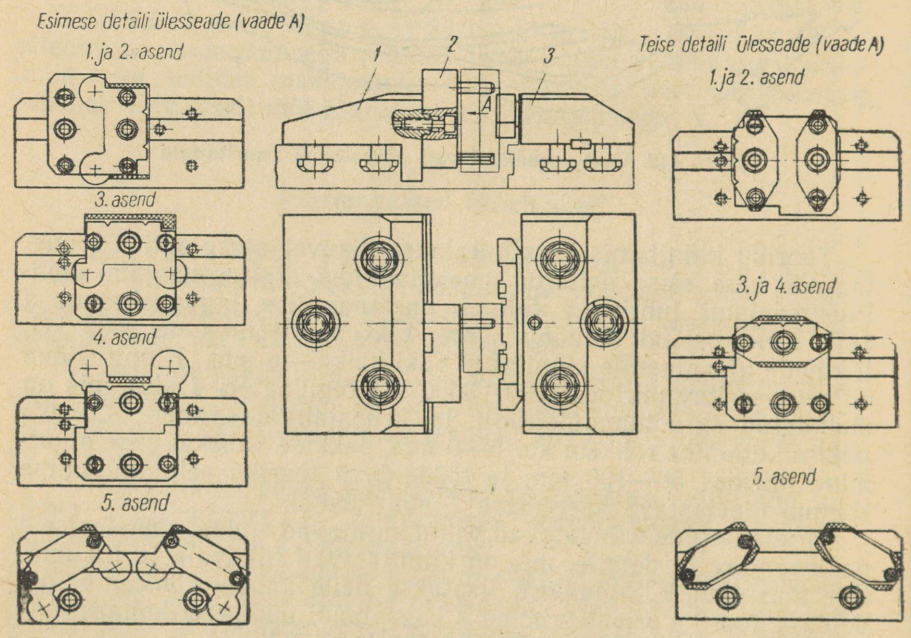
* Н. В. Михеев и А. М. Лепский. Универсальные переналаживаемые приспособления, Оборонгиз, 1961.

Joonisel 113 on toodud näide vahetatavate pakkide kasutamise konstruktiivsest lahendusest kahe erineva tooriku töötlemiseks viies asendis statsionaarsetes ümberseadistatavais universaalkruustangides УПГ-2. Alusplaatidele *1* ja *3* seatakse üles erinevaisse asendeisse täiendava baasina kaks vahetatavat pakki *2*, mis kujutavad endast sõrmedega kujudetaile töödeldava tooriku orienteerimiseks.

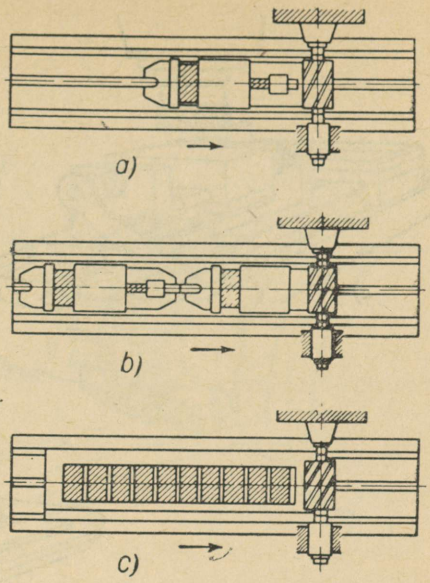
Praktikas tuleks freesimisel laialdasemalt kasutada vahetatavate pakkidega kruustange.

M i t m e k o h a l i s t e r a k i s t e k a s u t a m i n e. Joonisel 114 on kujutatud prismaatilise tooriku (laiusega 60 mm, kõrgusega 80 mm ja pikkusega 100 mm) töötlemise kolm varianti. Kõigi kolme variandi puhul on lõikeriistaks silinderfrees läbimõõduga $D = 80$ mm, spindli pöörete arv 100 p/min, millele vastab lõikekiirus 25,1 m/min, lõikesügavus 3 mm ja ettenihe 100 mm/min.

Tabelis 2 on toodud tulemuste kokkuvõte, millest on näha, et tooriku töötlemine üksikkinnitusega kahes paaris kruustangides võrreldes üksikkinnitusega ühes paaris kruustangides annab töötlemisajas ökonoomiat 10%, kui aga kinnitada rakisesse samaaegselt 10 toorikut, väheneb ühe tooriku töötlemise aeg poole võrra.




Joon. 113. Kahe erineva detaili ülesseadeskeemid ümberseadistatavais kruustangides viies asendis:
*1* — liikumatu pool; *2* — abibaas; *3* — liikuv pool




Joon. 114. Tooriku töötlemise variandid horisontaalfreespingil

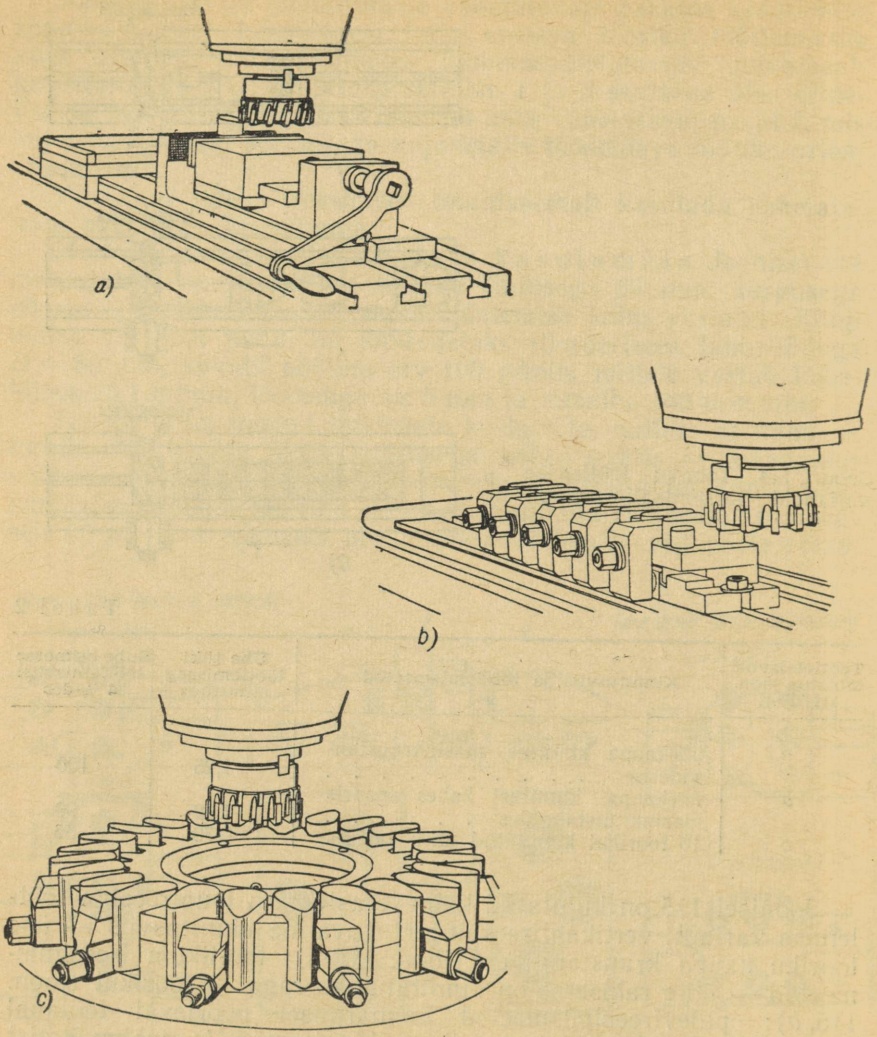
Tabel 2

| Töötlemisviisi tähistus joon. 114 järgi | Kinnitusviis ja töötlemismeetod | Ühe tüki töötlemisaeg minutites | Suhe esimesse töötlemisviisi a %-des |
|---|---|---|---|
| *a* | ühekaupa kinnitus masinkruustangidesse . . . . . | 1,25 | 100 |
| *b* | ühekaupa kinnitus kahes paaris masinkruustangides . . . . . | 1,12 | 90 |
| *c* | 10 toorikut kinnitatud ühes rakises | 0,70 | 56 |

Joonisel 115 on kujutatud kolm terastooriku laupfreesiga töötlemise varianti vertikaalfreespingil. Tavaline kinnitusviis — ühe tooriku kaupa kruustangides (joon. 115, *a*); tootlikum freesimismeetod — ühte rakisesse on kinnitatud korraga 10 toorikut (joon. 115, *b*); pidevfreesimismeetod ümmargusel pöörleval töölaual (joon. 115, *c*) võimaldab toorikute kinnitamist ja mahavõtmist vahetult freesimisprotsessis, mis tõstab veelgi freesimise tootlikkust.

Mitme tooriku üheaegse töötlemise selged eelised on äratanud freesijate tähelepanu selle freesimismeetodi vastu. Freesijad kasutavad meelsasti detailide kinnitamiseks ja töötlemiseks mitmekohalisi rakiseid ja pöörlevaid töölaudu.

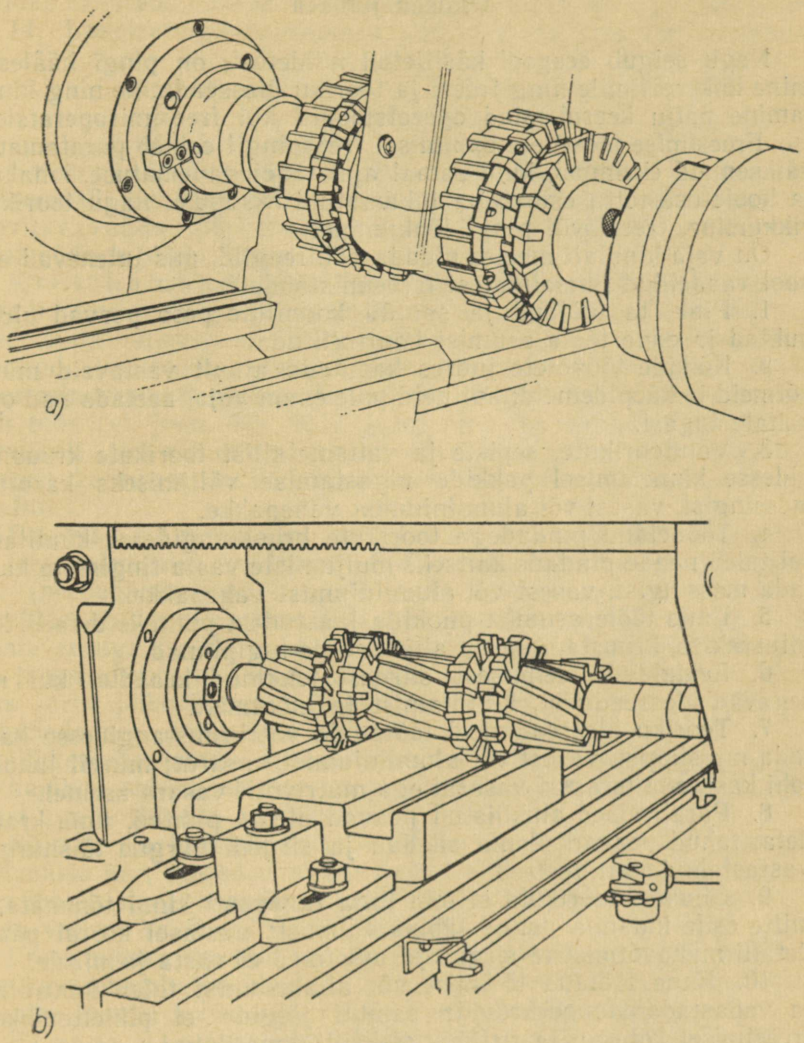
Freeside komplekt. *Freeside komplektiks* nimetatakse töödeldava tooriku kuju ja mõõtmete järgi välja valitud ja kokku pandud freeside gruppi, mis on asetatud ja kinnitatud ühele ühisele freestornile, võimaldades üheaegselt töödelda mitut pinda.




Joon. 115. Tooriku töötlemise variandid vertikaalfreespingil

Joonisel 116, *a* on kujutatud treipingi sängi töötlemine kokkupandud freeside komplektiga, joonisel 116, *b* supordi alumise kelgu töötlemine.

Kokkupandud freeside komplekti kasutamine õigustab end ühesuguste detailide partii puhul mitme kaaspinna üheaegsel töötlemisel ja neid kasutatakse töötlemise kiirendamise, odavamaks tegemise ja täpsuse tõstmise eesmärgil.




Joon. 116. Töötlemine freeside komplektiga:
*a* — treipingi sängi töötlemine; *b* — supordi alumise kelgu töötlemine

## Üldised juhised

Nagu selgub eespool käsitletud näidetest, on pingi häälestamine lõikerežiimile ning freesi ja tooriku ülesseadmine ning kinnitamine palju keerukamad operatsioonid kui freesimisoperatsioon ise. Freesimise töövõtete õppimisel freespingil esineb paratamatult väiksemaid eksimusi, kuid samal ajal tähelepanematuse, lohakuse ja hooletuse tõttu esineb ka lubamatuid eksimusi, nagu toorikute rikkumine, freesi või pingi lõhkumine.

On vaja kindlalt meeles pidada põhireeglid, mis tulenevad eespool vaadeldud lihtsaimatest freesimistöödest:

1. Pink, ta töölaud ja spindli kooniline pesa peavad olema puhtad ja enne tööle asumist kontrollitud.
2. Kõikide töövõtete juures kasutada ainult vastavaid mutrivõtmeid ja käepidemeid; kui neid pole enam vaja, asetada nad oma kohale tagasi.
3. Valutoorikute, sepiste ja valtsmetallist toorikute kruustangidesse kinnitamisel pakkide vigastamise vältimiseks kasutada messingist, vasest või alumiiniumist vahepakke.
4. Töödeldud pindadega toorikute kruustangidesse kinnitamisel tuleb nende pindade kaitseks muljumiste vastu tingimata kasutada messingist, vasest või alumiiniumist vahepakke.
5. Enne tööle asumist pühkida laastudest puhtaks detaili, kinnitusrakise, kruustangide ja alusliistude tugipinnad.
6. Eemaldada eelmisest siirdest tekkinud kraadid, kui nad segavad ülesseadmist, kinnitamist ja mõõtmist.
7. Tooriku ülesseadmisel töölauale või kruustangidesse kasutada messingist, vasest või alumiiniumist vasarat; mingil juhul ei tohi kasutada terasest vasarat ega mutrivõtit vasara asemel.
8. Paralleelsed alusliistud peavad olema puhtad, ilma kraatideta; tahud peavad olema siledad ja sirged, nurgad täisnurgad, vastastahud paralleelsed.
9. Õhukesi toorikuid ei tohi liiga tugevasti kinni tõmmata, et mitte esile kutsuda nende läbipaindumist; vastasel korral pärast detaili mahavõtmist ta sirgub ja mõõtmed ei vasta joonisele.
10. Enne töölaua tõstmist või allalaskmist tuleb kontrollida ja vabastada stopperkruvid; samuti jälgida, et pikiettenihkega freesimisel konsool ja ristkelk oleksid stoperdatud.
11. Jälgida töötamisel, et frees ei nürineks. Freesi nürinemise tunnusteks on pingi vibreerimine, laastu liigne kuumenemine, rebestused töödeldud pinnal.
12. Detail viia freesi alla aeglaselt, et frees sisse ei lõikuks. Töölaua tagasinihutamisel (detaili eemaldamine freesist) lasta töölaud veidi alla, et mitte rikkuda detaili töödeldud pinda.

13. Eelistada freesimist laupfreesiga freesimisele silinderfreesiga. Laupfreesiga freesimisel töötab frees rahulikumalt, mis võimaldab kasutada suuremat lõikekiirust ja ettenihet freesi hambale.
14. Laupfreesiga freesimisel püüda rakendada kiirfreesimist.

## Freesi valik

F r e e s i  l ä b i m õ õ t. Väiksema läbimõõduga freesid on kohasemad, kui soovitakse saada siledaid pindu, sellepärast on soovitav valida tööriistalaos olevaist freesidest alati väiksema läbimõõduga sobiv frees.

K r u v i h a m b a d. Igale freesijale on praktikast teada, et sirgete hammastega frees töötab löökidega; löögid on seda tugevamad, mida väiksem on lõikesügavus ja mida harvemad on freesi hambad. Vastupidi, isegi väikese hammaste kalde puhul töötab frees rahulikumalt. Sellisel freesil on vähemalt kaks hammast pidevalt töös (vt. joon. 39), mis tagab rahuliku löökideta töötamise. Järelikult võib rahulikes tingimustes töötavat pinki ja lõikeriista rohkem koormata, mille tulemusena tõuseb tootlikkus ja pinna kvaliteet.

F r e e s i  h a m m a s t e  a r v u  v a l i k. Freesi hammaste arvul on freesimisel oluline tähtsus. Mida suurem on freesi hammaste arv (peenehambalised freesid), seda väiksem on ettenihe ühele hambale antud minutilise töölaua ettenihke puhul. Suure hammaste arvuga freesidel on hamba samm väike, mille tulemusena iga järgnev hammas lõikub materjalisse sujuvalt, sest eelnev hammas (eriti lõikesügavuse 3—5 mm juures) ei ole veel jõudnud vabaneda kontaktist detailiga.

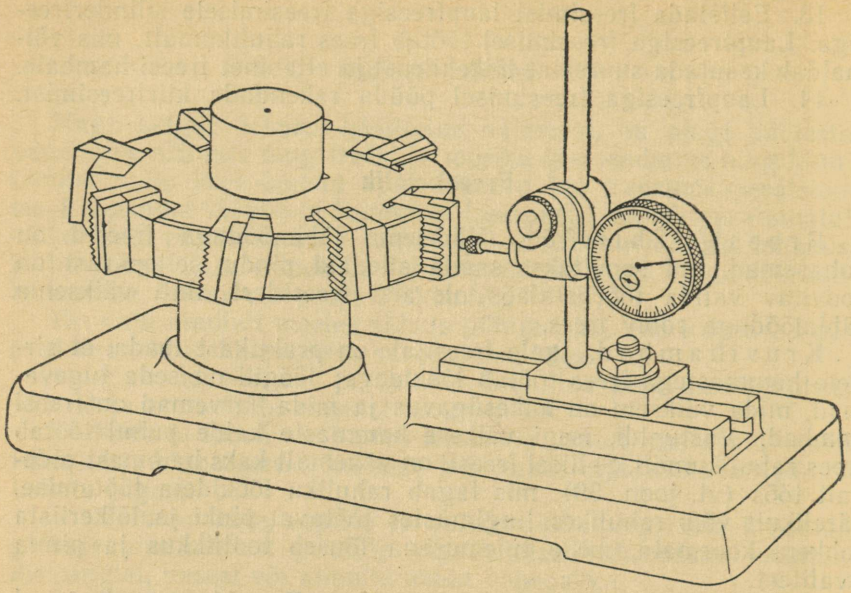
Väikese hammaste arvuga freesidel (suurehambalised freesid) on hambad suhteliselt tugevamad, nendega saab võtta paksemat laastu, s. t. töötada tootlikumalt.

Silinder- ja laupfreesidel on igale läbimõõdule vastav kindel hammaste arv, olenedes ainult freesi tüübist (suurehambaline või peenehambaline), seepärast koos freesi läbimõõdu ja tüübi valikuga valime ka freesi hammaste arvu.

Freesimiseks ühe töökäiguga, samuti koorivfreesimiseks eelistatakse suurehambalisi freese; siluvfreesimiseks, kus on nõutav väike ettenihe hamba kohta, eelistatakse peenehambalisi freese.

F r e e s i  v i s k u m i n e. Tähtsaks tingimuseks freesimisel on freesi viskumise kõrvaldamine. Kui freesi iga hammas lõikab ühesuguse ristlõikega laastu, töötab frees palju rahulikumalt. Kui frees viskub, siis osa hambaid läheb läbi vabalt, ilma metalli lõikamata, teine osa hambaid aga lõikab kahe või isegi kolmekordse metallihulga; selline ebaühtlane koormus tekitab freestorni läbipainet (vetrumist) ja pingi vibratsiooni.

Freesi viskumist kontrollitakse indikaatoriga. Tavaliselt kont-



Joon. 117. Freesi viskumise kontrollimise rakis

rollitakse kaks korda: pärast freesi ümberteritamist (saades ta tööriistalaost) ja pärast freesi freespingi spindlisse ülesseadmist freestornil tööasendis, sest mõnikord võib freesi viskumine olla tingitud freestorni viskumisest.

Joonisel 117 on kujutatud seade freesi viskumise kontrollimiseks. Pingi spindlisse või freestornile kinnitatud freesi kontrollitakse indikaatoriga (vt. joon. 89).

Mõlemal juhul mõõdetakse viskumist nii naaberhammaste vahel kui ka freesi kogu ümbermõõdu ulatuses. Silinder- ja laupfreeside üldviskumine ei tohi ületada 0,05 mm, freespeadel — 0,06 mm.

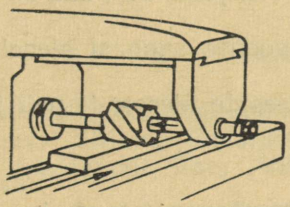
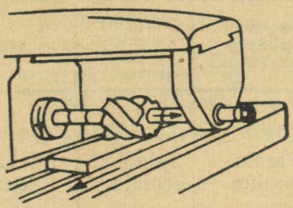
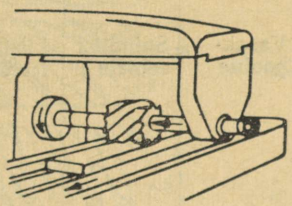
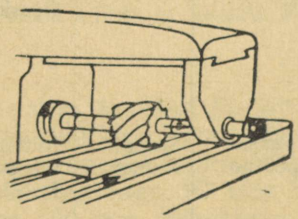
Freesid tuleb kinnitada võimalikult pingi spindli lähedale, otsfreesi väljaulatuv osa peab olema minimaalne. Ripplaager asetada võimalikult freesi lähedale.

## Spindli pöörlemissuund

Kruvihammastega freesidega töötamisel tuleb erilist tähelepanu osutada spindli pöörlemissuuna ja kruvisoonte suuna vastavusele.

Tabelis 3 on toodud neli võimalikku juhust s i l i n d e r f r e e s i g a töötamisel. Kui freesi pöörlemissuund langeb kokku kruvi-

**Spindli pöörlemissuund töötamisel kruvihammastega silinderfreesidega**

| Juhuse nr. | Freesi ülesseade visand | Freesi kruvisoonte suund | Spindli pöörlemissuund | Telgjõu suund freesimisel | Valik tehtud |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 |  | Parempoolne | Vasakpoolne | Spindli suunas | Õigesti |
| 2 |  | Vasakpoolne | Vasakpoolne | Spindlist eemale | Valesti |
| 3 |  | Vasakpoolne | Parempoolne | Spindli suunas | Õigesti |
| 4 |  | Parempoolne | Parempoolne | Spindlist eemale | Valesti |

soonte suunaga (*2* ja *4* juhus), tekib telgjõud, mis püüab freestorni spindlist välja tõugata. Telgjõud on suunatud, nagu näitab nool, vasakult paremale, ripplaagri suunas, mis aga ei ole arvestatud lisakoormusele ja võib esile kutsuda pingi vibreerimise, mis omakorda võib põhjustada freesi purunemist.

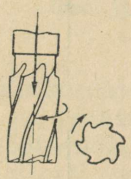
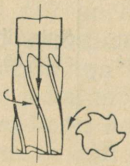
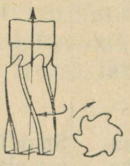
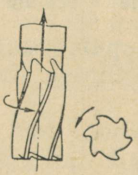
Vastupidi, kui kruvisoonte suund on vastupidine freesi pöörlemissuunale (*1* ja *2* juhus), siis tekkiv telgjõud surub freestorni spindlisse. Telgjõud (vt. noolt) on sel juhul suunatud pingi spindlikasti poole, spindli esilaagrile (vt. joon. 21), mis on arvestatud sellele täiendavale koormusele.

Ots- ja laupfreeside kruvisoonte suunast oleneb laastude väljumise suund.

Tabelis 4 on toodud ots- ja laupfreeside ülesseade neli juhust.

Tabel 4

**Spindli pöörlemissuund töötamisel kruvihammastega ots- ja laupfreesidega**

| Juhuse nr. | Freesi ülesseade visand | Freesi kruvisoonte suund | Spindli pöörlemissuund | Telgjõu suund freesimisel | Märkusi |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 |  | Parempoolne | Parempoolne | Spindlist eemale | Liistupesade freesimisel |
| 2 |  | Vasakpoolne | Vasakpoolne | Spindlist eemale | Liistupesade freesimisel |
| 3 |  | Vasakpoolne | Parempoolne | Spindli suunas | Mittepiiratud tasapindade freesimisel |
| 4 |  | Parempoolne | Vasakpoolne | Spindli suunas | Mittepiiratud tasapindade freesimisel |

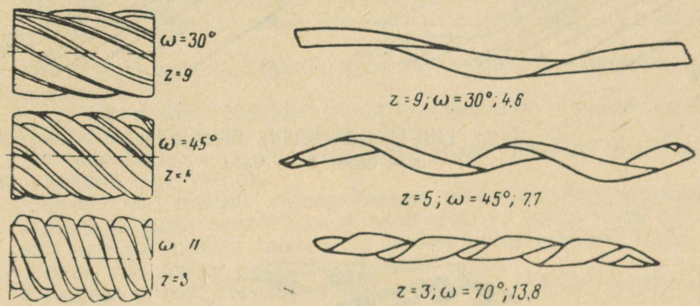
Liistupesade ja soonte freesimisel kruvihammastega otsfreesiga tuleb laast suunata üles; sellepärast seatakse need freesid üles *1* ja *2* juhuse järgi. Tekkiv telgjõud on suunatud alla ja püüab freesi spindli pesast välja tõugata, sellepärast tuleb frees kinnitada hoolikalt ja tugevasti.

Mittepiiratud tasapindade freesimisel ots- või laupfreesiga tuleb kruvihammastele anda selline suund, et laast suunduks alla ja telgjõud oleks suunatud spindli pesa poole, mis on pingi üks jäigemaid osi (*3* ja *4* juhus).

## Kruvisoonte kaldenurga valik

Töötamisel kruvihammastega freesiga omab lõikeserva kaldenurk freesi ühtlase töötamise seisukohast olulist tähtsust (frees töötab sujuvamalt, ilma löökideta ja vibratsioonita, lõikejõud on püsiv).

Joonisel 39 oli kujutatud kruvihammastega freesi paremusi võrreldes sirgete hammastega freesiga: kruvihammastega freesil on freesimisprotsessis rohkem hambaid kontaktis lõigatava materjaliga. Lõikeserva kaldenurga suurendamisel suureneb veelgi materjaliga kontaktis olevate hammaste arv ja freesimisprotsess on veelgi sujuvam. Lõikeserva kaldenurga suurendamisega kaasneb lõikamiseks vajaliku võimsuse, telgjõu ja eraldatava laastu kaalu




Joon. 118. Lõikeserva kaldenurga ja hammaste arvu mõju teraslaastu kujule ja kaalule ühesuguste töötlemistingimuste juures

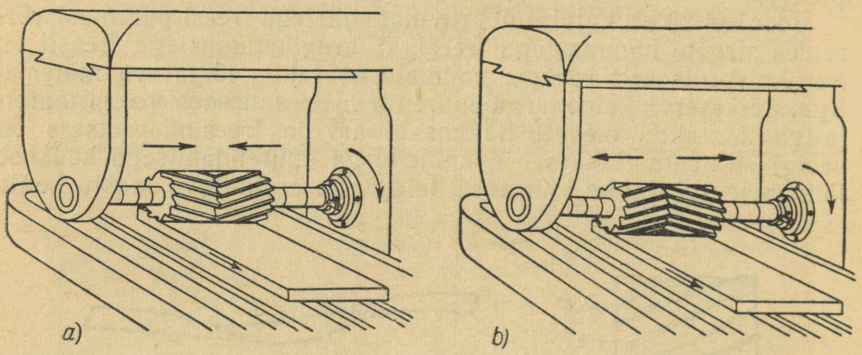
suurenemine. Joonisel 118 on kujutatud laastude erinevad kujud ja nende kaalud kruvihammaste erinevate kaldenurkade ω (30°; 45 ja 70°) ja erinevate hammaste arvuga ($z = 9$, $z = 5$, $z = 3$), kuid sama läbimõõduga 90 mm freesidega freesimisel, kui freesimislaius on 150 mm, lõikekiirus 14,7 m/min ja ettenihe 440 mm/min.

Praktikas on välja kujunenud kruvisoonte kaldenurgad ω erinevatele freesi tüüpidele, nende soovitatavad suurused on toodud leheküljel 453.

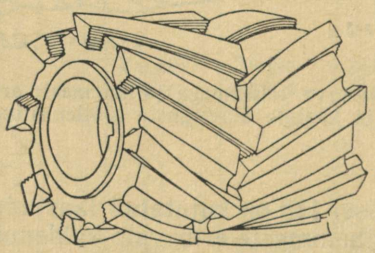
## Paarisfreesid

Laiade tasapindade freesimisel soovitatakse kasutada paarisfreese. Neid tuleb üles seada nii, et telgjõud oleksid suunatud teineteisele vastu, mille tulemusena freesid surutakse kokku (joon. 119, *a*).

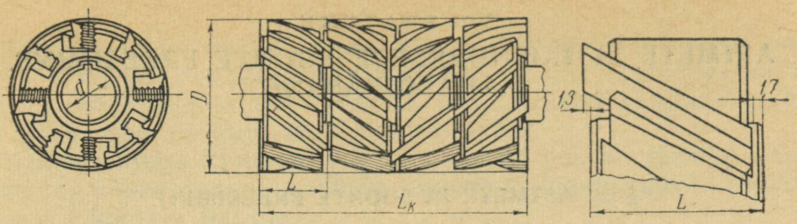
Joonisel 119, *b* on kujutatud kruvihammastega silindriliste paarisfreeside ebaõige ülesseade, kus telgjõud püüab freese teineteisest eemaldada. Sileda pinna tagamiseks valmistatakse sissepandavate hammastega paarisfreesid ülekattega (joon. 120).




Joon. 119. Paarisfreeside ülesseade:
*a* — õige; *b* — vale



Joon. 120. Sisseasetatavate hammastega silindriline paarisfrees




Joon. 121. Kokkupandud silinderfrees

Ülekattega paarisfreeside juures kummagi freesi väike teljesuunaline nihe ei avalda mõju töödeldud pinna kvaliteedile.

Väga laiade pindade töötlemiseks kasutatakse koostatud silinderfreese, mis koosnevad üksikutest sisseasetatavate lõiketeradega silinderfreesidest freesi laiusega $L = 37{,}5$ mm; selline koostatud frees on kujutatud joonisel 121.

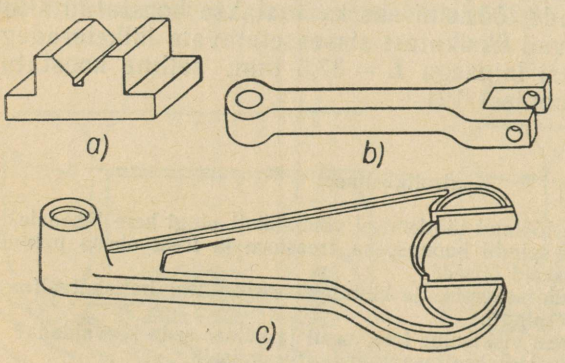
### Kontrollküsimusi

1. Mispärast viiakse töölaud töötlemisel võimalikult pingi kere lähedale?
2. Mispärast peavad spindli koonuspesa, freestorn ja frees olema puhtad? Kas on lubatud, et nad oleksid õlised?
3. Jutustage freesi ülesseadmise ja kinnitamise reeglitest horisontaalfreespingil. Sama vertikaalfreespingil.
4. Millest oleneb freesi viskumine freestornil ja kuidas seda kõrvaldada?
5. Milliseid freese kasutatakse tasapindade freesimisel?
6. Kuidas kontrollitakse detaili ülesseadmisel ta paralleel- ja ristseisu freesi teljega?
7. Jutustage, kuidas häälestada pinki antud lõikesügavusele tasapinnalise tooriku freesimisel.
8. Mispärast ei tohi töödeldud pinda tagasisuunas nihutamisel pärast töökäigu lõppemist lasta pöörleva freesi alt läbi?
9. Mis toimuks, kui viia töödeldud detail tagasi freesi alt läbi töölauda alla laskmata? Kuidas seda vältida?
10. Millisel juhul muutub silinderfreesiga töödeldav pind laineliseks?
11. Millega seletada sisselõikumist freesimisel ja kuidas seda vältida?
12. Kui suur töötlusvaru tuleb jätta silumiseks tasapindade freesimisel?
13. Mis on vibratsioon ja kuidas ta tekib?
14. Jutustage praagi liikidest ja põhjustest tasapindade freesimisel ja abinõudest praagi vältimiseks.
15. Mis on vasak- ja parempoolne frees? Millist tähtsust omab freesi pöörlemissuund ja lõikehammaste asetus? Kuidas freesi vastavalt pöörlemissuunale õigesti üles seada?

# ASTMETE JA TÄISNURKSETE SOONTE FREESIMINE. MAHALÕIKAMINE

## § 28. ASTMETE JA SOONTE FREESIMINE

Masinaehituses esineb tihti lamedaid detaile, milledel on *astmed* ühel, kahel, kolmel või isegi neljal küljel. Joonisel 122, *a* on kujutatud näitena kahe astmega prisma silindriliste detailide ülesseadmiseks freesimisel.




Joon. 122. Astmetega ja soontega detailid: *a* — prisma; *b* — šarniir; *c* — kahvel

Mõlemast küljest kinnist astet nimetatakse *sooneks*. Sooned võivad olla *täisnurksed* või *profileeritud*. Joonisel 122, *b* on kujutatud täisnurkse soonega detail, joonisel 122, *c* aga profileeritud soonega kahvel.

### Freesid astmete ja soonte töötlemiseks

Astmed ja täisnurksed sooned freesitakse kas ketasfreesidega horisontaalfreespinkidel või otsfreesidega vertikaalfreespinkidel.

Õhukesi silinderfreese nimetatakse *ketasfreesideks*. Ketasfreesid valmistatakse kas teravatipuliste või kukaldatud hammastega (joon. 123, *a* ja *b*).

K e t a s f r e e s e, milledel hambad on silindrilisel pinnal ja ühel külgpinnal, nimetatakse *kahepoolseteks* ketasfreesideks (joon. 123, *c*), aga ketasfreese, milledel on hambad silindrilisel pinnal ja mõlemal külgpinnal, nimetatakse *kolmepoolseteks* ketasfreesideks (joon. 123, *d*). Kahe- ja kolmepoolsed ketasfreesid valmistatakse teravatipuliste hammastega.

Tootlikkuse tõstmiseks valmistatakse kolmepoolsed ketasfreesid suurte *erinevalt suunatud hammastega.* Selline ketasfrees, mille vahelduvalt erisuunalised hambad moodustavad külglõikeservad üle ühe hamba, on kujutatud joonisel 123, *e*.

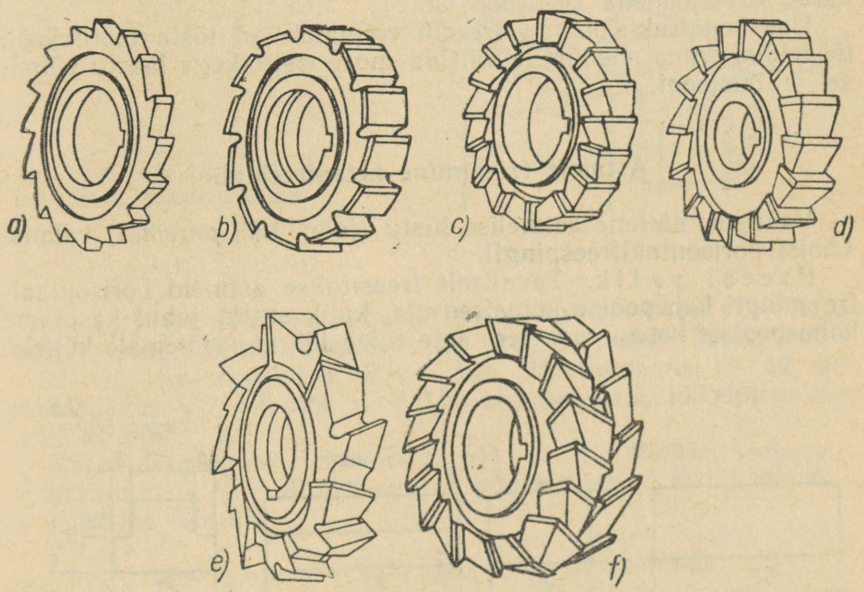
Sellise kujuga hambad, mis sarnanevad puusae räsatud hammastega, võimaldavad eraldada suuremat laastukogust ja seda paremini kõrvale juhtida.

Otsfreese valmistatakse kahte tüüpi: *silindrilise* sabaga (joon. 124, *a* ja *b*) ja *koonilise* sabaga (joon. 124, *c* ja *d*). Mõlemat tüüpi valmistatakse kahes variandis: normaalhammastega (joon. 124, *a* ja *c*) ja suurte hammastega (joon. 124, *b* ja *d*). Otsfreeside töötav osa valmistatakse kiirlõiketerasest ja keevitatakse süsinikterasest saba külge.

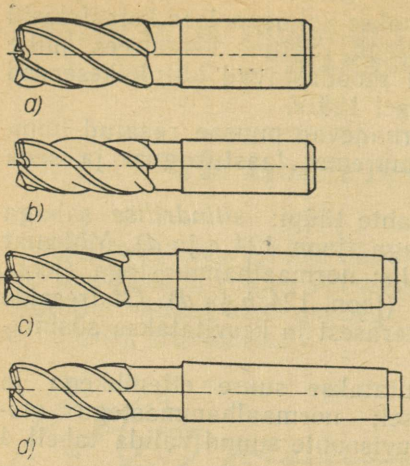
Suurehambalisi otsfreese kasutatakse suure ettenihkega ja suure lõikesügavusega freesimisel; normaalhammastega otsfreese — tavalisel töötlemisel. Kruvisoonte suund valida tabeli 4 järgi.

Silindrilise sabaga freesid valmistatakse läbimõõduga 3 kuni 20 mm, koonilise sabaga — 16 kuni 50 mm.

1957. aastal kehtestati Leningradi Kirovi-nimelise tehase novaatorite E. F. Savitši, I. L. Leonovi ja V. I. Karassevi ette-




Joon. 123. Ketasfreesid:
*a* — teravatipuliste hammastega; *b* — kukaldatud hammastega; *c* — kahepoolne; *d* — kolmepoolne; *e* — kolmepoolne vahelduvalt erisuunaliste hammastega; *f* — kokkupandud




Joon. 124. Otsfreesid ГОСТ 8337-57 järgi:
*a* — silindrilise kinnitusosaga ja normaalhammastega; *b* — silindrilise kinnitusosaga ja suurte hammastega; *c* — koonilise kinnitusosaga ja normaalhammastega; *d* — koonilise kinnitusosaga ja suurte hammastega

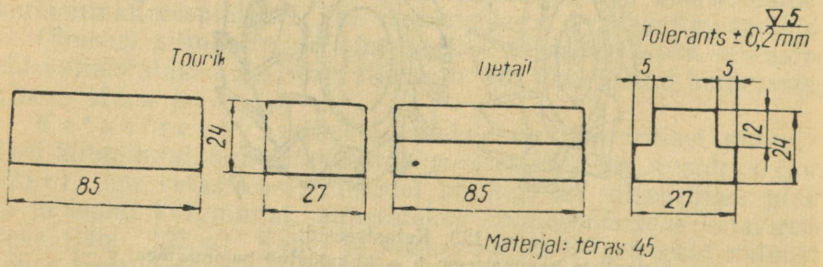
paneku alusel riiklik standard ГОСТ 8237-57. Võrreldes varemvalmistatud otsfreesidega on uutel vähendatud hammaste arvu, suurendatud kruvisoonte kaldenurka kuni 30—45° ja hamba kõrgust ning sisse viidud ebaühtlane hambasamm. Hambaselg on kujundatud kõverjoonena (vt. joon. 36, *c*).

Uue konstruktsiooniga freesid võimaldavad tõsta tootlikkust, töödeldud pinna siledust ja vältida suure ristlõikega laastu võtmisel vibratsiooni.

## Astmete freesimine ketasfreesiga

Vaatleme näitena astmelise liistu (joon. 125, *paremal*) valmistamist horisontaalfreespingil.

F r e e s i v a l i k. Tavaliselt freesitakse astmeid horisontaalfreespingil kahepoolse ketasfreesiga, kuid antud juhul kasutame kolmepoolset ketasfreesi, sest aste tuleb lõigata mõlemale küljele.




Joon. 125. Astmeline liist

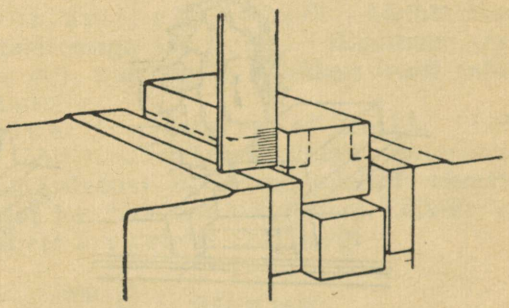
Valime astme freesimiseks kolmepoolse erinevalt suunatud hammastega ketasfreesi* läbimõõduga 80 mm, paksusega 10 mm, baasava läbimõõduga 27 mm ja hammaste arvuga 18.

Töötlemine toimub horisontaalfreespingil, tooriku kinnitame masinkruustangidesse.

Ettevalmistus töötlemiseks. Kruustangide ülesseadmist, kontrollimist ja pingi töölauale kinnitamist teostame meile juba tuntud viisil, pärast seda seame tooriku üles vajalikule kõrgusele (joon. 126).

Tooriku asendi õigsust (horisontaalsust) kontrollime rismusega märkjoonte järgi, pärast seda kinnitame tooriku tugevasti kruustangidesse. Kruustangide pakkidele asetame pehmest metallist (messing, vask, alumiinium) vahepakid, et mitte rikkuda detaili töödeldud pindu.

Ketasfreesi kinnitame freestornile samuti nagu silinderfreesigi, jälgides, et freestorn, frees ja vaherõngad oleksid puhtad.



Joon. 126. Tooriku ülesseadmine kruustangidesse

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Häälestame pingi antud lõikerežiimile. Antud: freesi läbimõõt $D = 80$ mm, freesimislaius $B = 5$ mm, lõikesügavus $t = 12$ mm, pinnasiledus $\nabla 5$, ettenihe $s_z = 0{,}05$ mm/hambale, lõikekiirus $v = 25$ m/min.

Kiirte diagrammil (vt. joon. 54) vastab lõikekiirusele $v = 25$ m/min ja $D = 80$ mm spindli pöörete arv $n_6 = 100$ p/min.

Ettenihe minutis

$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0{,}05 \cdot 18 \cdot 100 = 90 \text{ mm/min}.$$

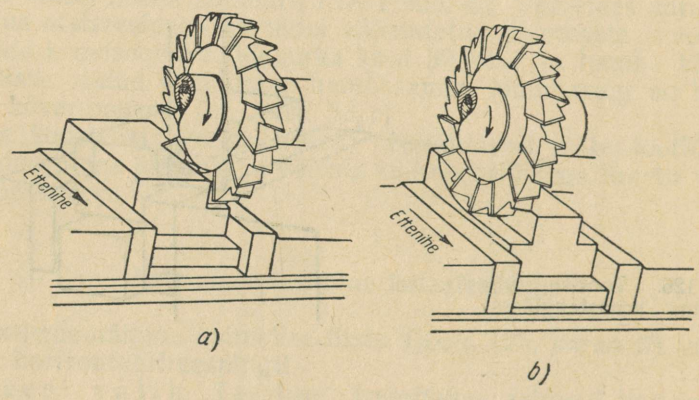
* Kolmepoolne ketasfrees on valitud ГОСТ 9474-60 järgi. Kui tööriistalaos leiduvate freeside läbimõõt erineb näites valitud freeside läbimõõdust, tuleb valida sobiva läbimõõduga (näiteks 75 mm ja vastava hammaste arvuga) frees.

Asetame kiiruste kasti limbi pöörete arvule 100 p/min ja ettenihete kasti limbi ettenihkele 80 mm/min.

Seega toimub astme freesimine kolmepoolse erinevalt suunatud hammastega ketasfreesiga 80×10×27 mm (freesi materjal — kiirlõiketeras P18) lõikesügavusega 12 mm, freesimislaiusega 5 mm, pikiettenihkega 80 mm/min ehk 0,05 mm/hambale, lõikekiirusega 25 m/min. Jahutuseks kasutame emulsiooni.

Astmete freesimine. Kummagi astme freesimine koosneb järgmistest töövõtetest:

1. Käivitada pink.
2. Piki-, rist- ja vertikaalettenihke käepidemete pööramisega viia toorik freesi juurde kuni kerge kokkupuuteni külgpinnaga. Seejärel lasta töölaud vertikaalettenihke käepideme pööramisega alla ja ristettenihke käepideme pööramisega nihutada töölauda freesi suunas 5 mm võrra, kasutades selleks ristettenihke limbi. Tõsta töölauda tooriku ülemise pinna kerge kokkupuuteni freesiga.




Joon. 127. Astmete freesimine ketasfreesiga:
*a* — parempoolse astme freesimine; *b* — vasakpoolse astme freesimine

Pikiettenihke käepideme pööramisega nihutada toorik freesist eemale ja tõsta töölauda 12 mm võrra, kasutades selleks vertikaalettenihke limbi. Seisata pink ning stoperdada konsool ja ristkelk.

3. Vastavalt freesimise pikkusele seada kohale käigupiirajad töölaua mehaanilise pikiettenihke automaatseks väljalülitamiseks. Käivitada pink ja jahutusvedeliku pump, pikiettenihke käepideme pööramisega nihutada töölaud pöörleva freesi suunas ja lülitada sisse mehaaniline pikiettenihe.

Pärast esimese astme töötlemist (joon. 127, *a*) nihutada töölauda ristsuunas detaili väljaulatuva osa laiuse (17 mm) ja freesi

paksuse (10 mm), s. t. 27 mm võrra ja freesida teine aste, täites kõiki eespool kirjeldatud töövõtteid (joon. 127, *b*).

4. Pärast töötlemist kontrollime nihkkaliibriga kruustangidest maha võtmata detaili astmete laiust ja sügavust vastavalt joonise mõõtmetele tolerantsiga ± 0,02 mm. Kui detaili mõõtmed ja pinnasiledus vastavad joonisele, vabastame detaili kruustangidest ja anname kontrollimiseks üle meistrile.

## Astmete freesimine otsfreesiga

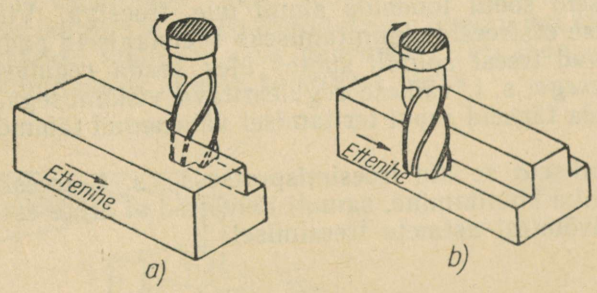
Astmeid võib freesida ka vertikaalfreespingil, kasutades ГОСТ 8237-57 järgi valmistatud otsfreesi (vt. joon. 124). Valime töötlemiseks vertikaalfreespingi 6М12П. Vaatleme näitena astmelise liistu (joon. 125) valmistamist vertikaalfreespingil otsfreesiga.

Freesi valik. Valime normaalhammastega silindrilise sabaga 16 mm läbimõõduga otsfreesi. Sellisel freesil on viis hammast. Et laast töötlemisel eemalduks ülespoole, peavad freesi kruvisooned spindli parempoolse pöörlemissuuna korral olema parempoolsed.

Ettevalmistus töötlemiseks. Toorik kinnitatakse kruustangidesse nagu ketasfreesiga töötlemisel. Kinnitame otsfreesi padrunisse (vt. joon. 48), puhastades hoolikalt freesi saba, haardepakid ja padruni mutri.

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Eelmise näitega ühesuguste töötlemistingimuste juures (freesimislaius, lõikesügavus ja pinnasiledus) on antud juhul raskemate lõiketingimuste tõttu ettenihe hambale antud 0,03 mm. Lõikekiirus $v = 25$ m/min. Spindli pöörete arv valemi (2*a*) järgi

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 25}{3{,}14 \cdot 16} = 500 \text{ p/min},$$




Joon. 128. Astmete freesimine otsfreesiga:
*a* — parempoolse astme freesimine; *b* — vasakpoolse astme freesimine

ettenihe minutis valemi (4) järgi

$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0{,}03 \cdot 5 \cdot 500 = 75 \text{ mm/min.}$$

Asetame kiiruste kasti limbi pöörete arvule 500 p/min ja ettenihete kasti limbi ettenihkele 80 mm/min.

Seega on astmete freesimisel otsfreesiga lõikekiirus ja ettenihe minutis sama, mis ketasfreesiga freesimisel.

Astmete freesimine. Astmed freesitakse analoogiliselt eespool vaadeldud astmete freesimisega ketasfreesiga.

Astmete freesimine on kujutatud joonisel 128.

## Läbiulatuvate täisnurksete soonte freesimine

Läbiulatuvate täisnurksete soonte freesimiseks kasutatakse ketasfreese (joon. 123, *e*) või otsfreese (joon. 124). Täisnurksete soonte freesimisel peab ketasfreesi laius või otsfreesi läbimõõt vastama freesitava soone laiusele joonise järgi, kuid ainult sel juhul, kui ülesseatud ketasfreesil ei esine külgviskumist ja otsfreesil radiaalviskumist. Kui frees viskub, osutub töödeldud soon freesi laiusest suuremaks, või, nagu öeldakse, frees rikub soone ja tulemuseks on praak.

Sellepärast valitakse kolmepoolse freesi laius soone laiusest veidi väiksem.

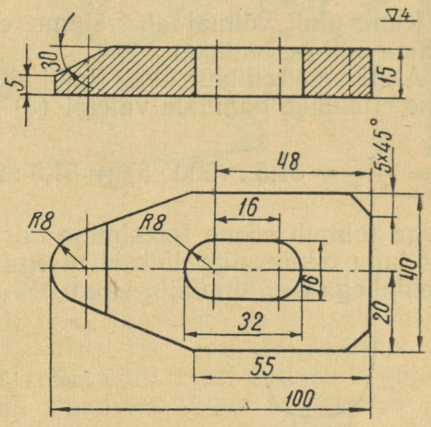
Kuna kolmepoolsed ketasfreesid valmistatakse teravatipuliste hammastega, siis pärast igakordset teritamist külghammaste laius väheneb. Järelikult ei kõlba antud frees pärast teritamist enam järgmisele detailide partiile täisnurksete soonte freesimiseks. Et säilitada kolmepoolse ketasfreesi vajalikku laiust pärast teritamist, valmistatakse nad koostatavatena, üksteist ülekatvate hammastega (vt. joon. 123, *f*), mis võimaldab reguleerida freesi laiust. Selleks asetatakse eralduspinnale terasest või vasest vahelehed.

Otsfreeside läbimõõtu ei ole võimalik reguleerida, sellepärast saab täpseid sooni töödelda ainult uue freesiga. Viimasel ajal kasutatakse otsfreeside kinnitamiseks spetsiaalseid padruneid, mis võimaldavad freesi spindli suhtes üles seada *reguleeritava ekstsentrilisusega*, s. t. väikese reguleeritava viskumisega, võimaldades freesida täpseid sooni teritamisel vähenenud läbimõõduga otsfreesiga.

Täisnurksete soonte freesimisprotsess, s. t. freesi ülesseadmine, tooriku kinnitamine, samuti töövõtted ei erine eespool kirjeldatud töövõtetest astmete freesimisel.

## Kinniste soonte freesimine

Olgu 15 mm paksusesse plaati vaja freesida (joon. 129) kinnine soon laiusega 16 mm ja pikkusega 32 mm. Soont võib freesida otsfreesiga vertikaalfreespingil või külgekinnitatava vertikaalpeaga varustatud horisontaalfreespingil.



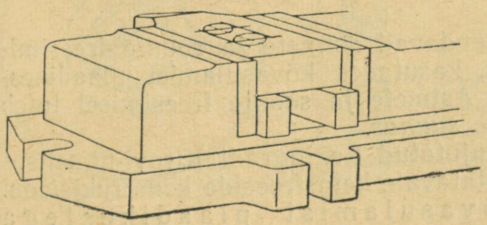

Joon. 129. Plaadi joonis

Materjal: teras 45

Freesi valik. Valime töötlemiseks vertikaalfreespingi 6M12П ja silindrilise sabaga ning normaalhammastega 16 mm läbimõõduga otsfreesi (hammaste arv $z = 5$).

Ettevalmistus töötlemiseks. Toorikule on eelnevalt märgitud soone kontuur. Kuna töödeldav soon asub tooriku keskel, võib viimase kinnitada kruustangide pakkidega samale kõrgusele, kuid paralleelsed alusliistud tuleb asetada nii, et otsfrees mahuks nende vahelt läbi (joon. 130).

Pärast tooriku ülesseadmist kinnitatakse frees pingi spindlisse. Selleks asetatakse otsfreesi saba padrunisse (vt. joon. 48), aga padrun ise kinnitatakse spindli koonilisse pessa.



Joon. 130. Plaadi kinnitamine kruustangidesse

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Freesi ettenihe on antud 0,01 mm/hambale, lõikekiirus 25 m/min, mis vastab freesi läbimõõdu $D = 16$ mm juures spindli pöörete arvule 500 p/min.

Ettenihe minutis valemi (4) järgi

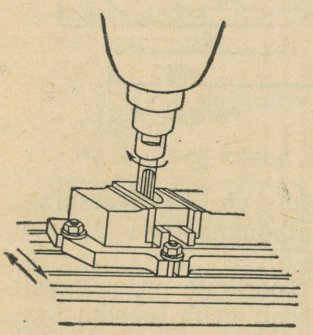
$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0{,}01 \cdot 5 \cdot 500 = 25 \text{ mm/min}.$$

Kuna pink võimaldab vähima ettenihkena 31,5 mm/min, siis valime selle ettenihke.

Asetame ettenihete kasti limbi ettenihkele 31,5 mm/min ja arvutame ettenihke hambale valemi (5) järgi:

$$s_z = \frac{s}{n \cdot z} = 31{,}5 : (500 \cdot 5) = 31{,}5 : 2500 = 0{,}013 \text{ mm/hambale}.$$

Seega toimub soone freesimine kiirlõiketerasest P18 16 mm läbimõõduga otsfreesiga lõikekiirusega 25 m/min ehk 500 p/min ja ettenihkega 31,5 mm/min ehk 0,013 mm/hambale.



Joon. 131. Soone freesimine plaati

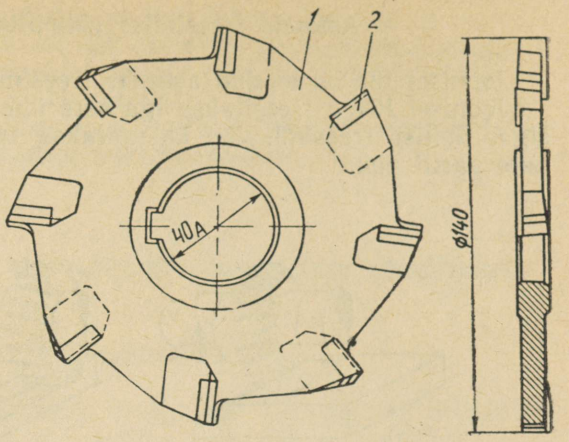
Soone freesimine. Joonisel 131 on kujutatud soone freesimine plaati. Tavaliselt antakse pärast freesi algasendisse seadmist käsitsi vertikaalettenihe, et frees lõikuks plaati 4—5 mm sügavuselt. Pärast seda lülitatakse sisse mehaaniline pikiettenihe, andes töölauale (nagu nooltega näidatud) koos sellele kinnitatud toorikuga edasi-tagasi liikumise ja tõstes töölauda pärast iga kaksikkäiku käsitsi 4—5 mm, kuni soon on kogu pikkuses läbi freesitud.

## Astmete ja soonte kiirfreesimine

Freesijad-kiirlõikajad rakendavad astmete ja soonte freesimisel laialdaselt kiirfreesimist, kasutades kõvasulamist plaadikestega varustatud ketasfreese. Astmete ja soonte freesimisel tuleb kasutada *freesimist ettenihke suunas.*

Joonisel 132 ja 133 on kujutatud Leningradi Kirovi-nimelises tehases kiirfreesimiseks kasutatavate ketasfreeside konstruktsioon.

Pealejoodetud kõvasulamist plaadikestega

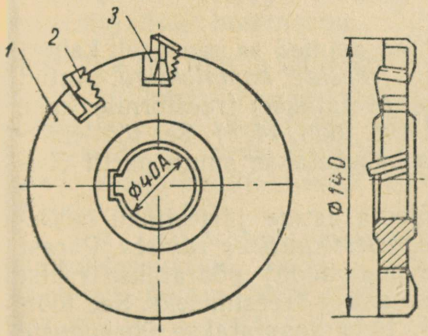



Joon. 132. Pealejoodetud kõvasulamist plaadikestega ketasfrees

ketasfreesidel (joon. 132) on kõvasulamist plaadikesed *2* joodetud freesi teraskere *1* külge. Selliseid freese kasutatakse kitsaste soonte freesimiseks. Pealejoodetud plaadikestega freeside eelisteks on nende tihedalt asetatud hambad, mis tagab freesi ühtlase ja sujuva töötamise, ja võimalus kasutada plaadikest kogu ta suuruse ulatuses. Nende freeside peamisteks puudusteks on laiuse ja läbimõõdu reguleerimise võimaluse puudumine, purunenud hammaste keerukas vahetamine ja raskused pealejootmisel.

Joonisel 133 on kujutatud kiirfreesimiseks kasutatav sissepandavate kõvasulamist plaadikestega varustatud lõiketeradega ketasfrees. Rihveldatud lõiketerad *2* kinnitatakse freesi keresse *1* kiilude *3* abil.

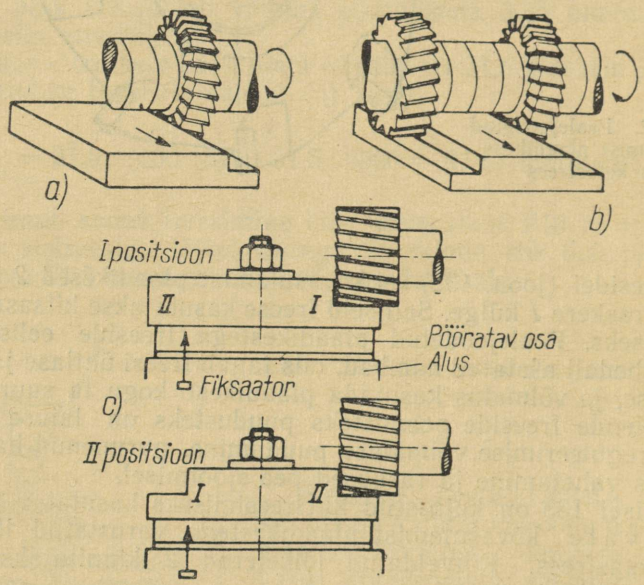
Selliseid freese on otstarbekas kasutada astmete ja soonte freesimisel.




Joon. 133. Sissepandavate rihveldatud lõikenugadega kolmepoolne ketasfrees

Joonisel 134 on toodud astmete freesimise kolm varianti.

Joonisel 134, *a* freesitakse iga aste ühe kolmepoolse ketasfreesiga. Sellist freesimisviisi kasutatakse tavaliselt väikese toorikute partii puhul.




Joon. 134. Astmete töötlemise variandid:
*a* — ühe ketasfreesiga; *b* — kahest ketasfreesist koosneva freeside komplektiga; *c* — kahepositsioonilises pööratavas rakises

Joonisel 134, *b* freesitakse mõlemad astmed samaaegselt kahest kahepoolsest ketasfreesist koosneva *freeside komplektiga.* Antud astmetevahelise mõõdu tagamiseks asetatakse freestornile kahe freesi vahele komplekt vaherõngaid (vt. joon. 44, *c*). See töötlemisviis on eelmisest tootlikum ja teda kasutatakse suure partii ühesuguste toorikute töötlemisel.

Joonisel 134, *c* on kujutatud mõlema astme järjestikku töötlemist kahepoolse ketasfreesiga *kahepositsioonilises rakises.* Pärast esimese astme freesimist (esimene positsioon) pööratakse rakist ja seatakse teisele positsioonile teise astme freesimiseks. See töötlemisviis nõuab spetsiaalset rakist, teda kasutatakse ühesuguste

detailide partiiviisilisel valmistamisel. Võrreldes esimese variandiga (joon. 134, *a*) tagab see töötlemisviis suure täpsuse ja lühendab detaili ümberseadmiseks kuluvat aega, kuid ta on väiksema tootlikkusega kui teine töötlemisviis.

Astmete freesimise kõige ratsionaalsem töötlemisviis valitakse olenevalt ühesuguste detailide partii suurusest.

## § 29. KIILUSOONTE JA LIISTUSOONTE FREESIMINE VÕLLIDESSE

### Üldmõisted

Kiilusooned ja liistusooned võivad olla *lahtised* ehk läbiulatuvad, *kinnised* ehk suletud või *poolkinnised* ehk poolsuletud.

Kiilusoont nimetatakse lahtiseks, kui ta kulgeb piki võlli kogu ta pikkuse ulatuses, kinniseks, kui ta on freesitud võlli ühte ossa ega ulatu võlli kummagi otsani, ja poolkinniseks, kui ta ulatub võlli ühe otsani.

Lahtiseid kiilusooni freesitakse ketasfreesiga horisontaalfreespingil; kinniseid ja poolkinniseid kiilusooni freesitakse spetsiaalsete otsfreesidega (kiilusoone freesid) horisontaal- ja vertikaalfreespinkidel või spetsiaalsetel soonte freespinkidel.

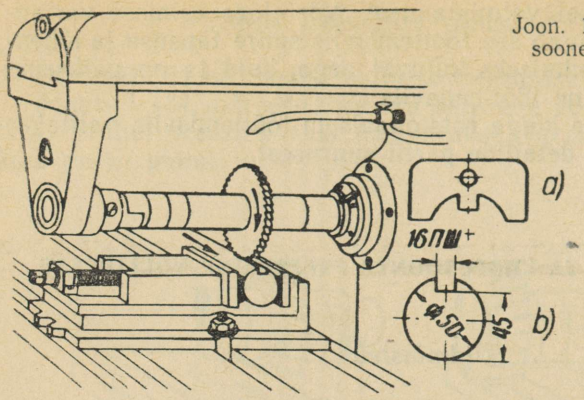
### Lahtiste kiilusoonte freesimine

Joonisel 135 on kujutatud tooriku ja freesi ülesseade lahtise kiilusoone freesimiseks võlli kinnitamisega paralleelmasinkruustangidesse. Võlli materjaliks on konstruktsiooniteras tõmbetugevusega $\sigma_b = 75$ kG/mm$^2$; võlli läbimõõt on 50 mm, kiilusoone laius 16 mm. Võlli ja kiilusoone mõõtmed on toodud joonisel 135, *b*.

F r e e s i  v a l i k. Valime freesimiseks kiirlõiketerasest P18 teravatipuliste hammastega ketasfreesi (vt. joon. 123, *a*) läbimõõduga 100 mm ja laiusega $16\ ^{-0,038}_{-0,075}$ mm, s. t. tolerantsiga vastavalt kiilusoone laiuse istule ПШ; freesi hammaste arv $z = 20$; freesi baasava läbimõõt on 32 mm.

Freestorni seame üles eespool kirjeldatud viisil. Freesi ülesseadmisel ja kinnitamisel tuleb jälgida, et freesi külgviskumine ei ületaks 0,05 mm.

T o o r i k u  k i n n i t a m i n e. Tooriku kinnitamiseks kasutame masinkruustange. Võlli kaitsmiseks muljumiste eest asetame kruustangide pakkidele messingist või vasest vahepakid. Töödeldav võll tuleb asetada kruustangide vahele selliselt, et ta üks ots



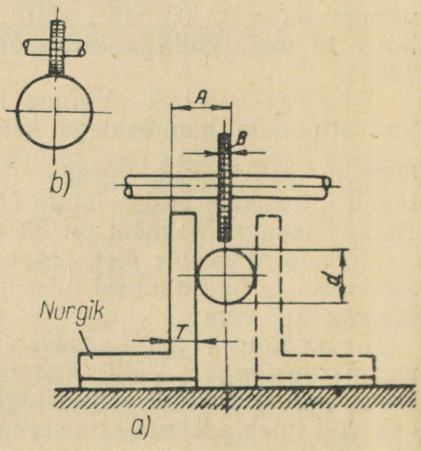

Joon. 135. Lahtise kiilusoone freesimine võlli

ulatuks kruustangidest välja või, nagu öeldakse, oleks töölaua kohale «üles riputatud» (see on vajalik võlli ülesseade täpsuse kontrollimiseks).

Kui kruustangid on õigesti üles seatud, siis neisse kinnitatud võlli ülesseade täpsust pole vaja kontrollida, sel juhul on tähtsam kontrollida freesi ülesseade täpsust tooriku suhtes.

Põhiline tingimus kvaliteetse kiilusoone saamisel on ta paralleelsus võlli teljega. Selleks peab frees lõikama täpselt piki võlli telgjoont.

Üks lihtsamaid võtteid freesi täpseks ülesseadmiseks tooriku suhtes on järgmine. Pärast freesi kinnitamist ja viskumise kontrollimist indikaatoriga nihutatakse võll käsiettenihkega freesi alla ja seatakse frees võlli üleulatuva otsa kohale silma järgi tsentrisse. Edasine täpne ülesseadmine toimub nurgiku ja nihkkaliibri abil. Joonisel 136, *a* on pideva joonega näidatud, kuidas mõõta kaugust




Joon. 136. Ketasfreesi ülesseade kontrollimine võlli suhtes

$A$, mis on võrdne nurgiku külje laiuse $T$, võlli poole läbimõõdu $d/2$ ja freesi poole laiuse $\frac{B}{2}$ summaga.

Arvutanud mõõtme $A$ suuruse valemiga

$$A = T + \frac{d}{2} + \frac{B}{2},$$

kontrollime seda nihkkaliibriga.

Asetame nurgiku vastu võlli teist külge, nagu see on näidatud joonisel 136, *a* kriipsjoonega ja kontrollime veel kord mõõdet $A$. Kui mõlemad nihkkaliibri näidud ühtuvad, on frees võlli suhtes täpselt üles seatud.

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Freesi ettenihkeks valime 0,03 mm/hambale, lõikekiiruseks $v = 50$ m/min. Kiirte diagrammil (vt. joon. 54) vastab lõikekiirusele 50 m/min ja freesi läbimõõdule $D = 100$ mm spindli pöörete arv 160 p/min. Määrame valemi (4) järgi ettenihke minutis:

$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0{,}03 \cdot 20 \cdot 160 = 96 \text{ mm/min}.$$

Asetame kiiruste kasti limbi pööretele 160 p/min ja ettenihete kasti limbi ettenihkele 100 mm/min.

Seega toimub lahtise kiilusoone freesimine ketasfreesiga 100 × × 16 × 32 mm (freesi materjal — kiirlõiketeras P18) lõikesügavusega 5 mm, freesimislaiusega 16 mm, pikiettenihkega 100 mm/min ehk 0,03 mm/hambale ja lõikekiirusega 50 m/min. Jahutuseks kasutame emulsiooni.

Lõikesügavuse seadmine. Eespool käsitletud juhtudel toimus lõikesügavuse seadmine freesi ja tooriku pinna kokkupuute hetkest. Soonte freesimisel ümmargustesse detailidesse frees puutub tooriku pinnaga kokku mööda joont, sellepärast tuleb kokkupuute alghetk täpselt tabada.

Määranud kindlaks kokkupuutehetke (algasendi), asetame töölaua vertikaalettenihke limbi nullile. Viime töölaua koos võlliga pikiettenihke abil freesi alt välja, seiskame pingi ja vertikaalettenihke käepideme pööramisega tõstame töölauda 5 mm võrra, s. t. kiilusoone sügavuse võrra. Stoperdame konsooli.

Soone freesimine. Frees viiakse lõikumisse aeglase käsiettenihkega, et vältida freesi hammaste purunemist.

Pärast töökäigu lõppemist nihutatakse töölaud käsiettenihkega freesist eemale, eemaldatakse viiliga kraadid ja kontrollitakse kiilusoone mõõtmeid.

Lahtiste kiilusoonte mõõtmeid kontrollitakse nihkkaliibriga: soone laiust mõõdetakse mõõtme 16 mm järgi, sügavust — mõõtme 45 mm järgi (vt. joon. 135, *b*). Kuid parem on kiilusoone mõõtmeid kontrollida spetsiaalse šablooniga (vt. joon. 135, *a*), mille kontuuri moodustab kiilusoone süvend ja võlli ringjoone osad mõle-

mal pool kiilusoont. Sellise šablooniga saab kontrollida peale mõõtmete ka kiilusoone asendi õigsust võlli telje suhtes.

Teravatipuliste hammastega ketasfreesi asemel võib antud juhul kasutada ka kukaldatud hammastega ketasfreesi (vt. joon. 123, *b*).

Kiilusoonte freesimiseks võib kasutada ka kolmepoolset ketasfreesi, kuid seejuures tuleb arvestada, et iga teritusega muutub frees kitsamaks. Sellepärast tuleb enne freesi ülesseadmist kontrollida mikromeetriga hamba lõikeserva laiust.

## Kinniste kiilusoonte freesimine

Kinniseid kiilusooni võib freesida horisontaalfreespinkidel, vertikaalfreespinkidel ja spetsiaalsetel soonte freespinkidel. Joonisel 137, *a* on kujutatud võlli ülesseade kiilusoone freesimiseks horisontaalfreespingil, joonisel 137, *b* — vertikaalfreespingil. Võlli materjaliks on konstruktsiooniteras tõmbetugevusega $\sigma_b$ = = 75 kG/mm². Võlli ja kiilusoone mõõtmed on toodud joonisel 137.

Freesi valik. Kiilusoonefreesid valmistatakse ГОСТ 9140-59 järgi; neil on tavaliselt kaks hammast. Freesid läbimõõduga 2 kuni 20 mm valmistatakse silindrilise sabaga, läbimõõduga 16 kuni 40 mm — koonilise sabaga. Freeside materjal — kiirlõiketeras P18. Kiilusoonefreesidel läbimõõduga üle 10 mm valmistatakse saba konstruktsiooniterasest mark 45 või 50, mis on keevitatud töötava osa külge.

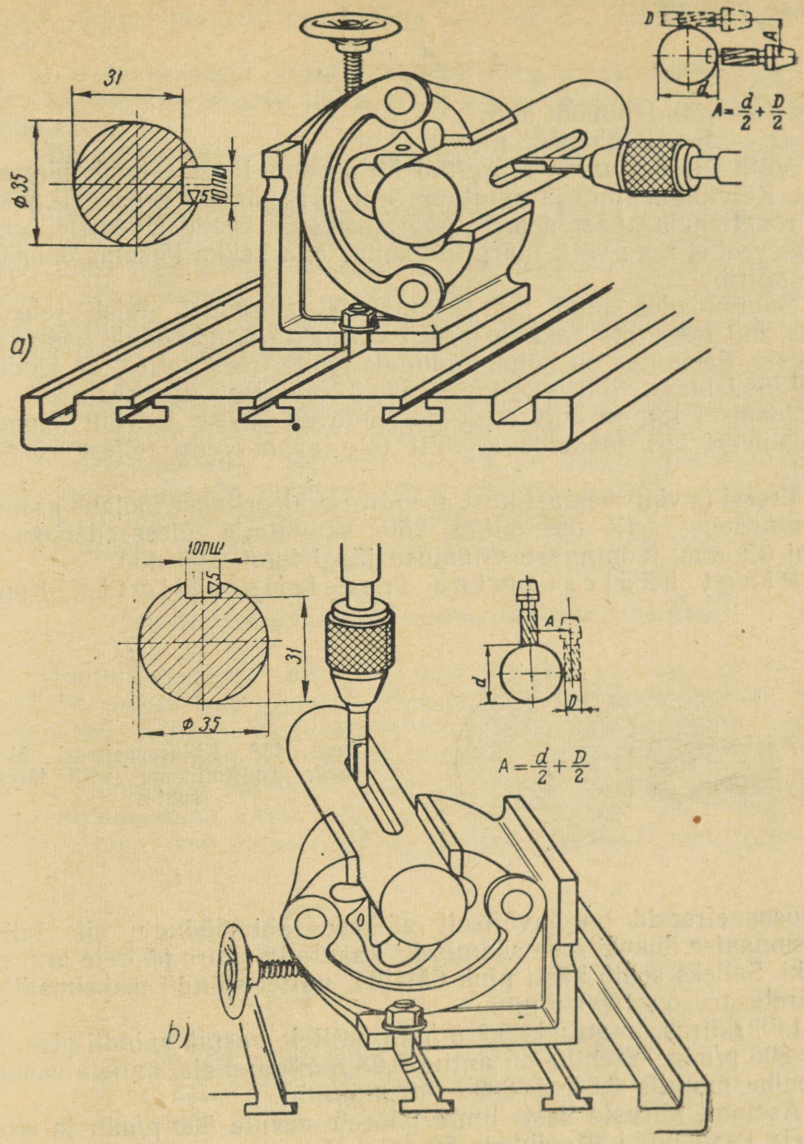
Valime silindrilise sabaga kiilusoonefreesi läbimõõduga $10\,^{-0,025}_{-0,050}$ mm, s. t. tolerantsiga vastavalt kiilusoone laiuse istule ПШ. Kuna kiilusoonefreeside läbimõõt nagu otsfreesidelgi pärast ümberteritamist väheneb, soovitatakse pärast freesi saamist tööriistalaost kontrollida mikromeetriga ta lõikeosa läbimõõtu. Pärast freesi padrunisse kinnitamist tuleb indikaatoriga kontrollida freesi radiaalviskumist.

Ettevalmistus töötlemiseks. Võlli kinnitamiseks kasutatakse spetsiaalseid kruustange (vt. joon. 66). Neisse kruustangidesse võib toorikuid kinnitada freesimiseks nii vertikaalse kui ka horisontaalse spindli puhul, nagu näidatud joonisel 137.

Kuna ülesseade freesimiseks joonise 137, *b* järgi erineb joonise 137, *a* ülesseadest ainult spindli asendi poolest, siis vaatleme kiilusoone freesimist ainult horisontaalfreespingil.

Kui võll on horisontaalfreespingil freesimiseks üles seatud, kinnitatud ja kontrollitud rismusega märkimise järgi, seame üles freesi.

Frees seatakse üles täpselt võlli tsentri järgi (mis on vajalik õige kiilusoone saamiseks), nagu on näidatud joonisel 137, *a* ja *b*




Joon. 137. Kinnise kiilusoone freesimine võlli:
*a* — horisontaalfreespingil; *b* — vertikaalfreespingil

paremal ülal. Kaugus $A$, mille võrra tuleb tõsta töölauda, määratakse valemiga:

$$A = \frac{d}{2} + \frac{D}{2},$$

kus $d$ — võlli läbimõõt mm;
$D$ — freesi läbimõõt mm.

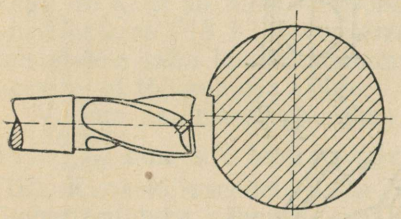
Võlli ülesseadmine märgitud kiilusoone järgi toimub järgmiselt. Käivitame pingi ja nihutame võlli järk-järgult vertikaal-, piki- ja ristettenihke käepidemete pööramisega freesile lähemale, kuni frees veel ei riiva võlli märgitud kohas ega hakka lõikama õhukest metalliriba.

Suurendades nüüd järk-järgult lõikesügavust, tuleb tabada hetk, mil freesi ots hakkab laastu võtma ta läbimõõdule vastavas laiuses. Seejuures on näha, kummale poole freesi teljest on kaldunud töödeldava võlli telg, kui frees ei ole õigesti üles seatud.

Joonisel 138 on kujutatud suurendatult freesi ja võlli telgede nihkumine, kus töödeldava võlli telg asub freesi teljest kõrgemal.

Freesi ja võlli vastastikust asendit reguleeritakse töölaua asendi muutmisega; selle meetodiga võib saavutada ülesseadetäpsuse kuni 0,1 mm, mõningase vilumuse järgi kuni 0,05 mm.

P i n g i h ä ä l e s t a m i n e f r e e s i m i s r e ž i i m i l e. Kuna



Joon. 138. Kiilusoonefreesi ülesseade kontrollimine võlli tsentri suhtes

kiilusoonefreesid on tavaliselt väikese läbimõõduga, siis tuleb ratsionaalse lõikekiiruse saamiseks kasutada suure pöörete arvuga pinki. Selleks sobib hästi pink 6M12П, millel spindli maksimaalne pöörete arv on 1600 p/min.

Lõikekiirus on antud 25,2 m/min, millele vastab spindli pöörete arv 800 p/min; ettenihe on antud 0,03 mm/hambale, millele vastab ettenihe minutis $0{,}03 \cdot 2 \cdot 800 = 48$ mm/min.

Asetame kiiruste kasti limbi pöörete arvule 800 p/min ja ettenihete kasti limbi ettenihkele 50 mm/min.

S o o n e f r e e s i m i n e. Kinnine kiilusoon freesitakse analoogiliselt kinnise soone freesimisega plaati (vt. joon. 131) kahel viisil:

a) freesida algul käsiettenihkega 4—5 mm sügavuseni, see-

järel mehaanilise pikiettenihkega edasi-tagasi soone pikkuse ulatuses, tõstes töölauda pärast iga kaksikkäiku uue lõikesügavuse võrra;

b) freesida algul käsiettenihkega kuni soone lõpliku sügavuseni ja seejärel väikese mehaanilise pikiettenihkega soone pikkuse ulatuses.

Viimast viisi kasutatakse jäikade, üle 10 mm läbimõõduga freeside puhul.

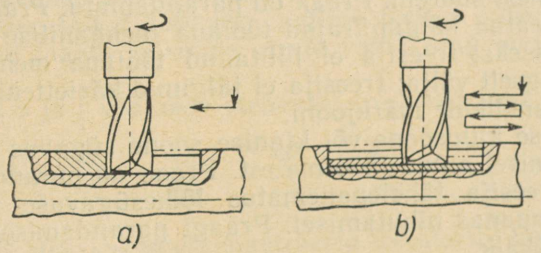
Antud näites rakendame teist töötlemisviisi. Ligikaudu 1 mm enne töökäigu lõppemist lülitatakse mehaaniline ettenihe välja ja freesitakse lõpuni käsiettenihkega, sest mehaanilise ettenihke ebatäpse väljalülitamise korral võib kiilusoon tulla ettenähtust pikem, põhjustades praaki. Pärast töökäigu lõppemist kontrollitakse kiilusoone laiust kaliibriga.

Soone sügavuse mõõtmisel nihkkaliibriga tuleb arvesse võtta, et kiilusoone sügavus, mõõdetuna soone servalt põhjani, on alati väiksem kui sügavus, mille võrra me nihutasime töölauda lõikesügavusele seadmisel. Kiilusoone sügavus, mõõdetuna soone servalt, määratakse eri valemiga või käsiraamatu järgi. Antud näites on see 2,6 mm (joonisel antud 4 mm asemel).

Kiilusoont on parem mõõta šablooniga (vt. joon. 135, *a*).

## Soonte freesimise automatiseerimise meetodid

Soonte freesimise automatiseerimisel kasutatakse *pendelettenihkega* soonte freespinke. Nende pinkide töötamispõhimõte seisneb selles, et freesi vertikaalettenihe pärast iga pikikäiku, samuti töölaua pikiettenihke suuna muutmine toimub automaatselt. Pärast soone ettenähtud sügavuse saavutamist lülitatakse vertikaalettenihe automaatselt välja, kuid töölaud teeb veel 2—4 pikikäiku, millega tagatakse soone pindade siledus. Tänu protsessi automati-




Joon. 139. Ettenihke skeem kiilusoone freesimisel:

*a* — freesi sisselõikumine käsiettenihkega töötamisel konsoolfreespingil; *b* — freesi automaatne sisselõikumine (pendeldav ettenihe) töötamisel kiilusoonefreespingil

seerimisele võib üks freesija teenindada mitut pinki. Joonisel 139 on kujutatud kiilusoone freesimise skeem konsoolfreespingil ja soonte freespingil.

Varemkäsitletust (vt. lk. 152) selgub, et otsfreesi nominaalmõõtme muutust, mille tingis ümberteritamine, võib kompenseerida, kasutades reguleeritava ekstsentrilisusega padrunit. Kaasaegsed soonte freespingid on varustatud padruniga, mis võimaldab töödelda kiilusooni väga väikeste tolerantside piirides freesiga, mis on kaotanud oma esialgse mõõtme.

## Praak astmete ja soonte freesimisel

Astmete, kiilusoonte ja täisnurksete soonte freesimisel võivad esineda alljärgnevad praagi juhud:

1. Kiilusoone telg ei lange kokku võlli teljega (mitteparalleelsus või ebasümmeetrilisus). Praak on parandamatu. *Praagi põhjused:* ketasfrees või kiilusoonefrees on võlli telje suhtes ebaõigesti üles seatud.

2. Soone laius on joonisel antud mõõtmest suurem. Praak on parandamatu. *Praagi põhjused:* esineb ketasfreesi külgviskumine või otsfreesi radiaalne viskumine.

3. Soone laius on joonisel antud mõõtmest väiksem. Praak on parandatav. *Praagi põhjused:* ketasfrees muutus ümberteritamisel õhemaks, kiilusoonefrees või otsfrees aga peenemaks ning freesija ei kontrollinud nende mõõtmeid. Praagi parandamiseks tuleb soon täiendavalt üle freesida.

4. Astme või soone sügavus on joonisel antud mõõtmest suurem. Praak on parandamatu. *Praagi põhjused:* töölaua nihutamisel luges freesija töölaua ettenihkelimbilt valesti.

5. Kinnise kiilusoone või kinnise soone pikkus on joonisel antud mõõtmest suurem. Praak on parandamatu. *Praagi põhjused:* ebaõigesti seatud käigupiirajad töölaua mehaanilise pikiettenihke väljalülitamiseks; freesija ei lülitanud töölaua mehaanilist ettenihet õigeaegselt välja; freesija ei jälginud käsiettenihkega freesides tähelepanelikult märkjooni.

6. Kinnise kiilusoone või kinnise soone sügavus ja pikkus on väiksem joonisel antud mõõtmetest. Praak on parandatav. *Praagi põhjused:* freesija tähelepanematus lõikesügavuse seadmisel ja töölaua pikisuunas nihutamisel. Praagi parandamiseks tuleb teha täiendav töökäik.

7. Astme, kiilusoone või soone töödeldud pind ei vasta nõutud pinnasiledusele, servad on rebestunud ja muljutud. Praak on parandamatu. *Praagi põhjused:* ebaõige freesimisrežiim, suur ettenihe freesi hambale, väike lõikekiirus, suur lõikekiirus ilma jahutuseta lõikamisel.

8. Muljumised ja pinnavigastused detaili (plaat, prisma, võll) pinnal. Praak on parandamatu juhul, kui detail ei kuulu lihvimisele. *Praagi põhjused:* tooriku kinnitamisel ei kasutatud pehmest metallist vahepakke; löökide tagajärjel tooriku kinnitamisel (messingvasara asemel kasutati terasvasarat).

## § 30. MAHALÕIKAMINE

### Mahalõikefreesid

Mahalõiketöödel kasutatakse õhukesi ketasfreese — *mahalõikefreese.* Väga õhukesi väikese läbimõõduga ketasfreese, mida kasutatakse pilude lõikamiseks kruvipeadesse ja mutritesse, nimetatakse *pilufreesideks.* Mahalõike- ja pilufreesidel (joon. 140) on lõikeservad ainult freesi silindrilisel osal, freesi külgedel lõikeservad puuduvad. Pilu seinte ja ketasfreesi külgede vahelise hõõrdumise vähendamiseks on freesi küljed ahendatud tsentri suunas nurga $\varphi_1$ võrra.

Mahalõike- ja pilufreesid valmistatakse ГОСТ 2679-61 järgi kiirlõiketerasest P18 peente, keskmiste (normaalsete) ja suurte hammastega.

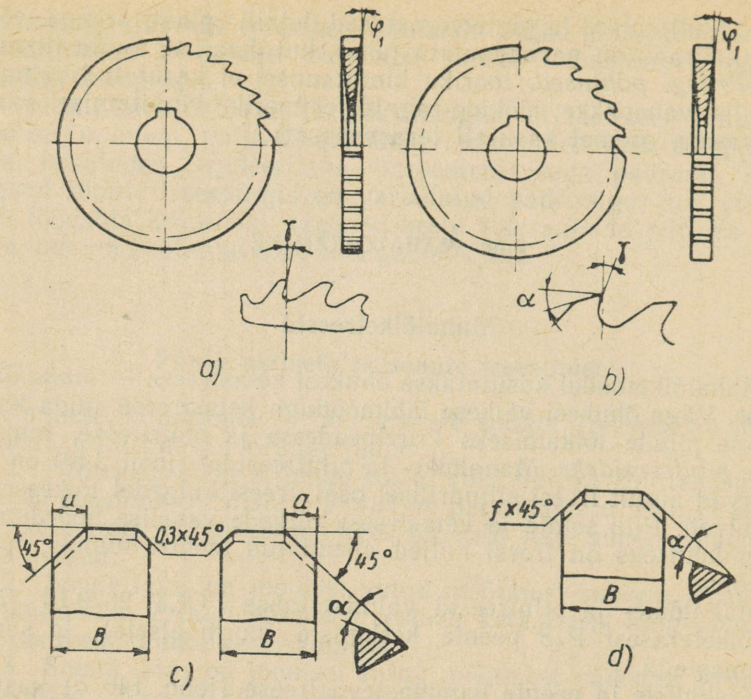
Keskmiste ja peente hammastega freese (joon. 140, *a*) kasutatakse õhukeste toorikute ja õhukeseseinaliste torude tükeldamisel ning madalate pilude lõikamisel kruvipeadesse, aga suurte hammastega (joon. 140, *b*) — sügavate ja kitsaste soonte lõikamisel ja mahalõikamistöödel.

Mahalõikefreeside püsivuse tõstmiseks soovitatakse teha hammastele üleminekulõikeservad. Keskmiste ja suurte hammastega freesidel (hamba laiusega 1,6 mm ja rohkem) tehakse üleminekulõikeservad joonise 140, *c* kohaselt. Üleminekulõikeservi lubatakse teha ka joonise 140, *d* kohaselt. Selline teritus vähendab hõõrdumist eralduva laastu ja soone seinte vahel ning suunab paremini freesi.

Mõõtmed *a* ja *f* võetakse olenevalt freesi laiusest *B*:

| *B* | 1,6 | 2,0 | 2,5 | 3,0 | 4,0 | 5,0 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| *a* | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 | 1,2 | 1,5 |
| *f* | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,8 | 1,0 |

Tavaliselt hoitakse mahalõikefreesid freestornil kinni hõõrdejõu mõjul, mis saavutatakse vaherõngaste pingutamisel mutriga. Raskete tööde puhul (paksu varb- ja lehtmetalli tükeldamisel) paigutatakse frees liistule.




Joon. 140. Mahalõikefreesid:
*a* — peente ja keskmiste hammastega; *b* — suurte hammastega; *c* ja *d* — keskmise ja suure hamba kuju

## Toorikute tükeldamine

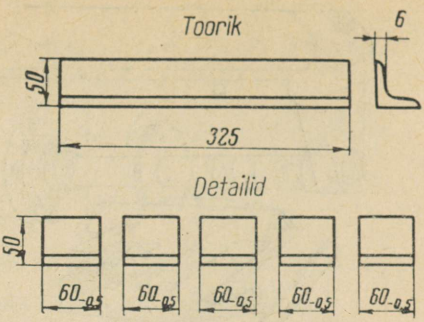
On vaja tükeldada horisontaalfreespingil nurkterasest toorik viieks võrdseks osaks pikkusega $60_{-0,5}$ mm (joon. 141).

Freesi valik. Valime kiirlõiketerasest P18 keskmiste hammastega mahalõikefreesi läbimõõduga 160 mm, laiusega 3 mm ja hammaste arvuga 56.

Ettevalmistus töötlemiseks. Kinnitame tooriku masinkruustangidesse (joon. 142), asetades ta jäikuse tõstmiseks mõlemale servale. Tükeldada võimalikult kruustangide lähedalt, kuid nii, et frees ei riivaks pakke.

Nihutada töölaud koos sellele kinnitatud toorikuga võimalikult pingi kere lähedale, pärast seda võib alustada freesi ja freestorni ülesseadmist. Mahalõikefreeside ülesseadmine ja kinnitamine ei erine eespool vaadeldud silinder- ja ketasfreeside ülesseadmisest ja kinnitamisest.

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Maha-




Joon. 141. Tükeldatav nurkteras

lõikamistöödel valitakse lõikekiirus kiirlõiketerasest freesidele piirides 40—60 m/min.

Et tagada otste pinnasiledus ja sisselõike ristseis detaili pindadega, tuleb valida väike ettenihe, piirides 0,01—0,03 mm/hambale, ja kinnitada toorik tugevasti kruustangidesse.

Valime lõikekiiruseks 40 m/min ja ettenihkeks 0,02 mm/hambale.

Valemi (2a) järgi määrame freesi pöörete arvu:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{D} = \frac{1000 \cdot 40}{3.14 \cdot 160} = 80 \text{ p/min.}$$

Asetame kiiruste kasti limbi pöörete arvule 80 p/min.

Ettenihe minutis:

$$s = s_z \cdot n \cdot z = 0{,}02 \cdot 80 \cdot 56 = 89{,}6 \text{ mm/min.}$$

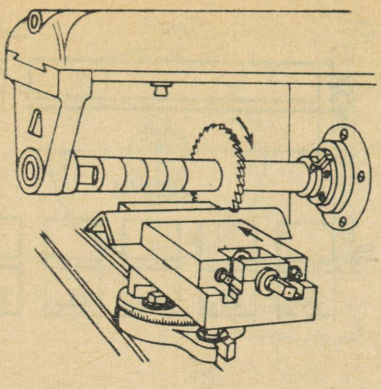
Asetame ettenihete kasti limbi ettenihkele 80 mm/min. Seega toimub tooriku tükeldamine kiirlõiketerasest P18 mahalõikefreesiga 160 × 3 × 32 mm, pikiettenihkega 80 mm/min ehk 0,02 mm/hambale ja lõikekiirusega 40 m/min. Jahutuseks kasutame emulsiooni.

## Astmelise liistu tükeldamine

On vaja tükeldada töödeldud astmeline liist (vt. joon. 125) kolmeks võrdseks osaks pikkusega $27_{-0,5}$ mm. Selleks tuleb teha kolm läbilõiget laiusega mitte üle 2 mm, et tooriku pikkusest (85 mm) jätkuks.

Valime kiirlõiketerasest P18 keskmiste hammastega mahalõikefreesi, läbimõõduga 125 mm, laiusega 3 mm ja hammaste arvuga 56 ning kinnitame ta freestornile.

Tooriku kinnitame kruustangidesse paralleelselt freestorniga, nagu näidatud joonisel 143, *c*.

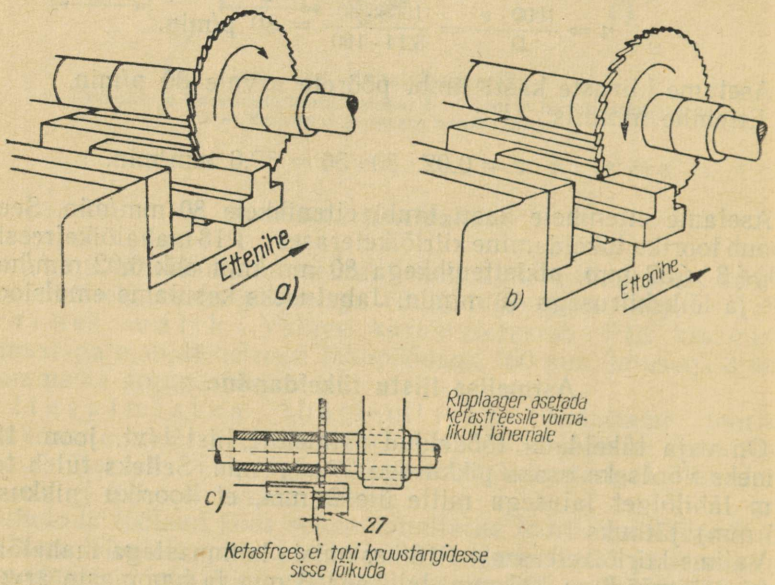


Joon. 142. Nurkterase kinnitamine ja tükeldamine

Tooriku ja freesi ülesseadmisel juhindume eespool kirjeldatud soovitustest.

Et frees toorikut kruustangidest välja ei rebiks, kasutatakse tükeldamisel alati ettenihke suunas freesimist. Sel juhul surub lõikejõud tooriku vastu kruustange. Ettenihke suunas freesimine on kujutatud joonisel 143, *b*.

Seega ettenihke suunas freesimist soovitatakse rakendada sisselõikamisel ja mahalõikamisel, sest tooriku asend on siis püsi-




Joon. 143. Astmelise liistu tükeldamine:
*a* — ettenihkele vastu freesimine; *b* — ettenihke suunas freesimine; *c* — freesi ülesseadmine

vam. Selle meetodiga freesimisel on tähtis, et töölaua ettenihkemehhanismil ei oleks surnud käiku (lõtku).

Pingi häälestamine valitud lõikerežiimile teostage iseseisvalt, võttes lõikekiiruseks $v = 60$ m/min ja ettenihkeks 0,02 mm/hambale.

### Kontrollküsimusi

1. Milliseid freese kasutatakse astmete ja soonte freesimiseks horisontaalfreespinkidel? Vertikaalfreespinkidel?
2. Milliseid freese kasutatakse kiilusoonte freesimisel võllidesse?
3. Jutustage astmete ja soonte ketasfreesiga freesimise eelistest.
4. Kuidas kolmepoolse ketasfreesi viskumine mõjub soone laiusele? Ots- ja kiilusoonefreesi radiaalviskumine?
5. Kuidas ketasfreesi võlli telje järgi õigesti üles seada?
6. Kuidas ketasfreesi märgitud soone järgi õigesti üles seada?
7. Millisel juhul kasutatakse vahetatavate hammastega kolmepooiset freesi?
8. Milliseid ketasfreese kasutatakse astmete ja soonte kiirfreesimisel?
9. Kuidas kontrollitakse kiilusoone mõõtmeid?
10. Millal tuleb kinnise kiilusoone freesimisel mehaaniline ettenihe välja lülitada?
11. Milline praak võib esineda kiilusoone freesimisel? Mis on selle põhjusteks ja kuidas praagist hoiduda?
12. Mida nimetatakse pendelettenihkeks?
13. Mispärast kasutatakse mahalõikamisel õhukesi ketasfreese?
14. Mispärast soovitatakse mahalõikamisel toorik asetada võimalikult spindli otsa lähedale ja ripplaager võimalikult freesi lähedale?

IX PEATÜKK

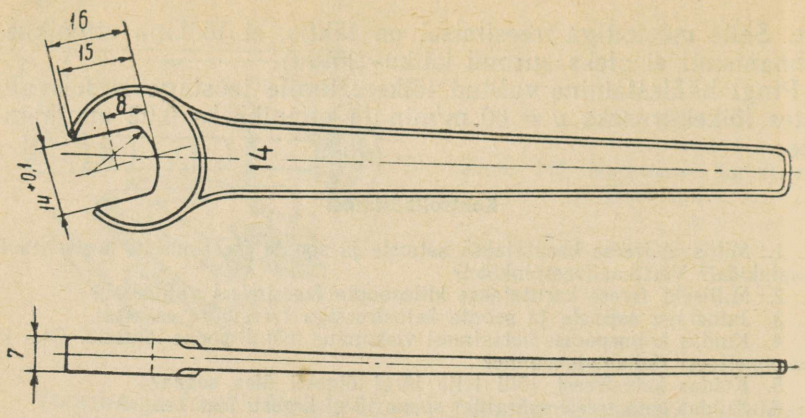
# KUJUSOONTE JA SPETSIAALSETE SOONTE FREESIMINE

## § 31. KUJUSOONTE FREESIMINE

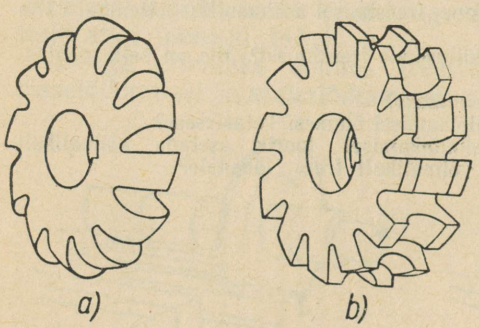
### Kujuketasfreesid

Mitmesuguse profiiliga soonte ja süvendite freesimiseks kasutatakse kujuketasfreese, millede hammastel on töödeldava tooriku kontuurile vastav profiil.

Üldmasinaehituse detailidel esineb tihti nurkprofiiliga süvendeid, mis on sarnased joonisel 122, *a* kujutatud prisma nurksüvendiga, ja mutrivõtme avaga (joon. 144) sarnaseid raadiusega sooni.




Joon. 144. Mutrivõti




Joon. 145. Kujuketasfreesid: *a* — kumera profiiliga poolümmargune raadiusfrees; *b* — nõgusa profiiliga poolümmargune raadiusfrees

Nurkprofiiliga süvendite freesimiseks kasutatakse *nurkfreese*, millede konstruktsioonid ja klassifikatsioon olid toodud joonisel 110.

Raadiusega soonte ja teiste profiilidega soonte freesimiseks kasutatakse *kujuketasfreese*. Joonisel 145 on kujutatud kujuketasfreesid: kumera profiiliga poolümmargune raadiusfrees (joon. 145, *a*); nõgusa profiiliga poolümmargune raadiusfrees (joon. 145, *b*).

Kujuketasfreesid valmistatakse kukaldatud hammastega, et säilitada nende profiili pärast teritamist.

## Raadiusega soonte freesimine

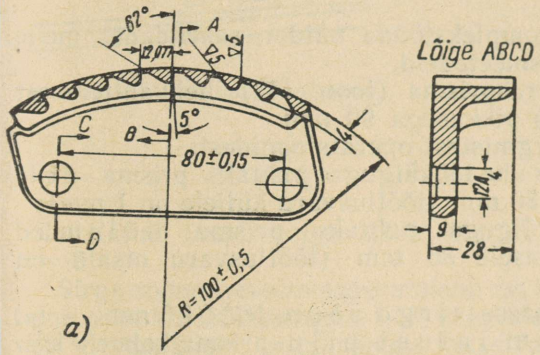
Raadiusega soonte freesimine ei erine lahtiste kiilusoonte freesimisest ketasfreesiga, mida on kirjeldatud lk. 157—160.

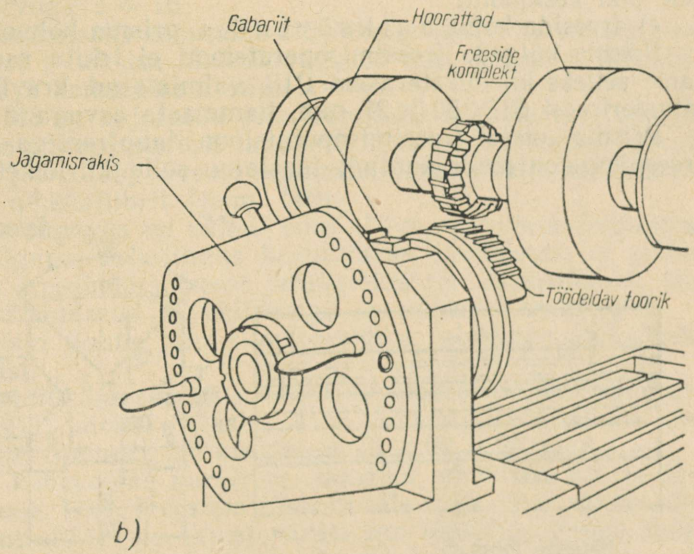
Lõikekiirus kujuketasfreesiga freesimisel valitakse freesi

püsivuse tõstmiseks, s. t. valmistatavate detailide arvu suurendamiseks kahe erituse vahel, 30—40% väiksem kui kolmepoolse ketasfreesiga freesimisel.

### Hammassektori freesimine

Vaatleme hammassektori hambavahede freesimist (joon. 146, *a*). Hammassektori hambavahede töötlemiseks võttis Kirovinimelise tehase freesija E. F. Savitš kasutusele suure produktiivsusega meetodi, rakendades kiirfreesimist, kasutades lõikeriistana




Joon. 146. Hammassektori freesimine:
*a* — detail; *b* — tooriku ülesseadmine rakisesse

kõvasulamist plaadikestega T15K6 varustatud kujunurkfreesist ja kahepoolsest ketasfreesist kokku pandud freeside komplekti ning abinõuna jagamisrakist (joon. 146, *b*).

Varem töödeldi profiilsüvendeid kiirlõiketerasest freesidega lõikekiirusega 21 m/min ja ettenihkega 100 mm/min; kõvasulamist plaadikestega varustatud freeside kasutuselevõtmine võimaldas aga tõsta lõikekiirust kuni 195 m/min ja ettenihet kuni 400 mm/min. Detaili valmistamise aeg lühenes seejuures peaaegu kolm korda.

## Terasprisma freesimine

Vaatleme freesimise komplekstööde näidet, rakendades meile varemast tuntud töötlemismeetodeid.

On vaja valmistada terasprisma (joon. 147) nelikantterasest ristlõikega 32 × 32 mm ja pikkusega 90 mm.

Töötlemine koosneb järgmistest operatsioonidest:

a) järjekorras freesida ühe töökäiguga puhtaks prisma neli tahku mõõtmetele 30 × 30 mm (töötlusvaru küljele on 1 mm);

b) freesida ühe töökäiguga puhtaks prisma mõlemad otsad prisma üldpikkusele 85 mm (töötlusvaru otsale on 2,5 mm);

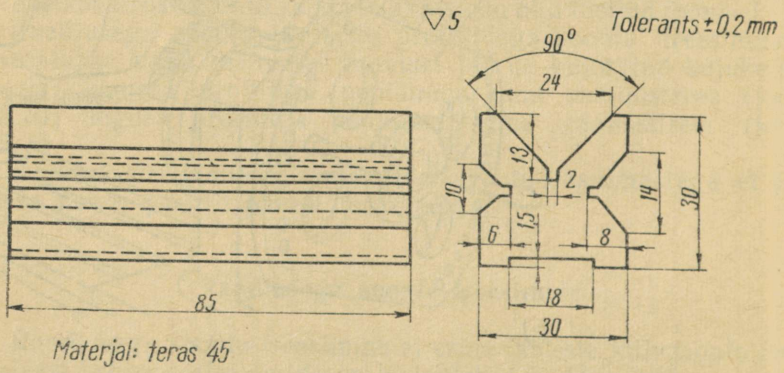
c) freesida prisma alusesse sirge soon 18 × 1,5 mm;

d) freesida kolm 2 mm laiust pilu prisma kolmele küljele piki keskjoont;

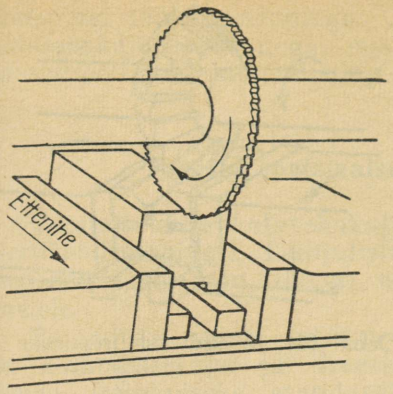
e) freesida kolm nurksüvendit prisma kolmele küljele.

Prisma külgede freesimisoperatsioon ei tekita raskusi. Kasutame selleks kiirlõiketerasest P18 valmistatud kruvihammastega silinderfreesi 63 × 50 × 27 mm, hammaste arvuga $z = 8$.

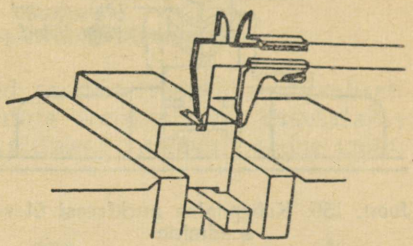
Prisma otste freesimisoperatsioon laupfreesiga horisontaalfreespingil on meile tuntud; teostame selle kiirlõiketerasest P18




Joon. 147. Prisma joonis




Joon. 148. Pilu freesimine



Joon. 149. Nihkkaliibriga mõõtmine pilufreesi ülesseadmisel

valmistatud laupfreesiga 63 × 40 × 27 mm, hammaste arvuga $z = 8$.

Sirge soone freesimisoperatsioon on meile samuti tuntud; teostame selle kiirlõiketerasest P18 valmistatud kolmepoolse vaheldumisi erisuunaliste hammastega ketasfreesiga 100 × 18 × 32 mm, hammaste arvuga $z = 16$.

Pilude freesimiseks kasutame kiirlõiketerasest P18 valmistatud 2 mm paksust pilufreesi läbimõõduga 80 mm, baasava läbimõõduga 22 mm ja hammaste arvuga $z = 45$.

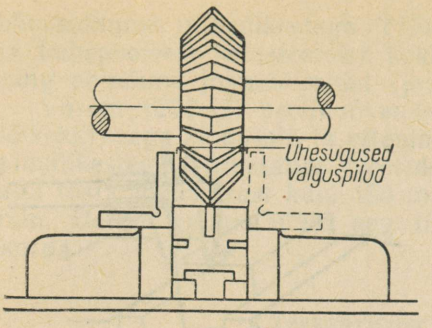
Joonisel 148 on kujutatud pilu freesimise alghetk. See operatsioon ei erine millegi poolest lahtise kiilusoone freesimise operatsioonist (vt. joon. 135). Freesi seadmisel prisma külje keskjoonele kasutatakse nihkkaliibrit (joon. 149).

Kuna pilu sügavus on küllalt suur (13 mm), toimub freesimine mitme töökäiguga. Jahutuseks kasutatakse emulsiooni; et sellise sügava pilu freesimisel freesi jahutamine on raskendatud, siis freesitakse vähendatud lõikekiirusega ja väikese ettenihkega.

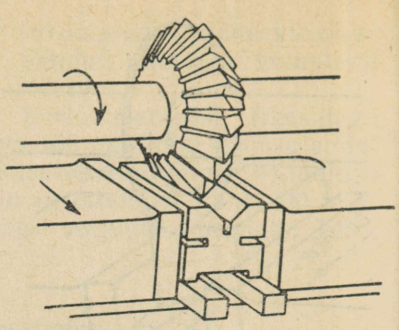
Pärast kõigi kolme pilu sissefreesimist alustame nurksüvendite freesimist.

Nurksüvendite freesimiseks valime vastavalt prisma joonisele (vt. joon. 147) kiirlõiketerasest P18 valmistatud sümmeetrilise kahepoolse 90° tipunurgaga nurkfreesi 75 × 30 × 27 mm.

Seadnud kahepoolse nurkfreesi nurgiku abil tooriku tsentri järgi üles (joon. 150), freesime süvendi täie sügavuseni mitme töökäiguga, kontrollides ta laiust pärast iga töökäiku. Freesi laius (antud juhul 30 mm) peab olema süvendi laiusest (24 mm) suurem. Pärast esimese süvendi freesimist freesime järjekorras kaks




Joon. 150. Kahepoolse nurkfreesi ülesseadmine



Joon. 151. Nurksüvendi freesimine

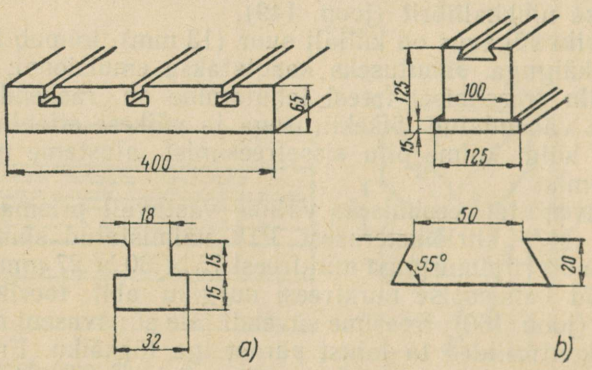
ülejäänud süvendit. Joonisel 151 on kujutatud nurksüvendi freesimine prismasse.

Teise tehnoloogilise variandi kohaselt võib pilud sisse freesida ka pärast nurksüvendite freesimist, mis vähendab pilude freesimiseks kuluvat aega.

## § 32. SPETSIAALSETE SOONTE FREESIMINE

### Spetsiaalsete soonte tüübid

Masinaehituses kasutatakse laialdaselt spetsiaalseid sooni, nende hulgas T-kujulisi ja kalasabakujulisi sooni. Joonisel 152, *a* on kujutatud plaat kolme T-kujulise soonega, mis on sarnased




Joon. 152. Spetsiaalsete soonte tüübid:
*a* — T-kujuline soon; *b* — kalasabakujuline soon

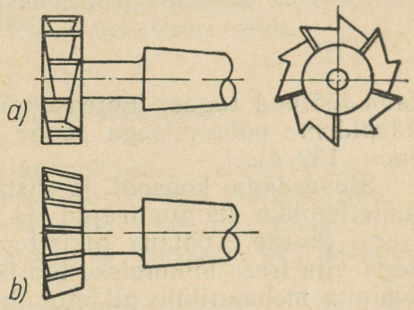
freespingi töölaua soontega. Joonisel 152, *b* on kujutatud plaat kalasabakujulise soonega, mis esineb freespinkide kerel ülatala ja konsooli juhtpindadel ning ristkelgu juhtpindadel.

## Freesid spetsiaalsete soonte töötlemiseks

T-kujulised ja kalasabakujulised sooned freesitakse tavaliselt vertikaalfreespingil. T-kujuliste soonte freesimiseks kasutatakse ots-soonfreese (joon. 153, *a*), mis valitakse vastavalt soone mõõtmetele.

T-kujuliste soonte mõõtmed on normaliseeritud ja freesid nende freesimiseks standardiseeritud ГОСТ 7063-54 järgi.

Kalasabakujulised sooned freesitakse ots-nurkfreesidega (joon. 153, *b*), mille nurk vastab soone nurgale (55 või 60°).




Joon. 153. Otsfreesid:
*a* — T-kujulise soone freesimiseks; *b* — kalasabakujulise soone freesimiseks

## T-kujuliste soonte freesimine

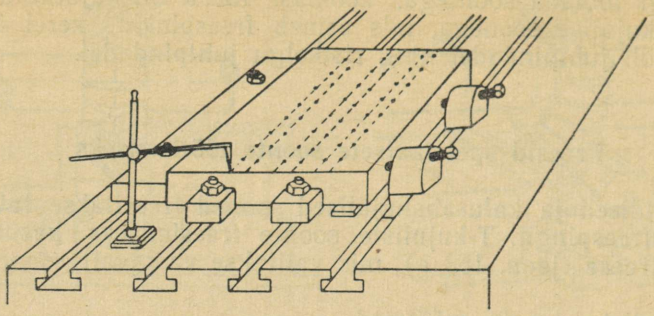
Vaatleme joonisel 152, *a* kujutatud kolme T-kujulise soone freesimist. Tooriku materjaliks on pehme teras.

T-kujulised sooned freesitakse tavaliselt kahe siirdega: esimese siirdega freesitakse täisnurkne soon (18 × 30 mm), teise siirdega soone laiem osa (32 × 15 mm).

Märgitud toorik seatakse üles vahetult pingi töölauale, nagu näidatud joonisel 154. Tooriku horisontaalsust (paralleelsust pingi töölaua suhtes) kontrollitakse rismusega, nihutades teda piki töölauda. Seejärel kinnitatakse rismus pingi spindlisse ja kontrollitakse töölaua pikiettenihke abil märgitud soonte järgi ülesseade õigsust pingi töölaua suhtes. Pärast kontrollimist kinnitatakse toorik poltidega lõplikult pingi töölaua külge.

Esimese siirde teostamiseks valime 18 mm läbimõõduga ots-freesi.

Esimese soone freesimiseks viia toorik piki- ja ristettenihke käepidemete pööramisega kerge kokkupuuteni freesiga ja seada frees üles täpselt esimese soone märkjoone järgi. Seejärel nihu-



Joon. 154. Tooriku ülesseadmine T-kujulise soone freesimiseks

tada töölaud tagasi lähteasendisse ja tõsta ta vertikaalettenihke käepideme pööramisega soone sügavuse, s. o. 30 mm võrra (vt. joon. 152, *a*).

Stoperdada konsool ja ristkelk, asetada kohale mehaanilise pikiettenihke käigupiirajad ja nihutada toorik käsiettenihkega freesi juurde. Töölaua pikiettenihke käepideme aeglase pööramisega viia frees lõikumisse toorikuga ja pärast seda lülitada sisse töölaua mehaaniline pikiettenihe.

Pärast esimese soone freesimist freesime teise ja kolmanda soone analoogiliselt esimesega.

Lõpetanud soonte freesimise otsfreesiga, võib alustada soonte lõplikku freesimist. Selleks tuleb spindlisse üles seada vahelduvalt erisuunaliste hammastega T-kujuline soonefrees, läbimõõduga 32 mm, laiusega 15 mm ja kaela läbimõõduga 18 mm (joon. 153, *a*). Freesi materjaliks on kiirlõiketeras P18; hammaste arv on 8.

Esimese soone lõplikuks freesimiseks tuleb toorik nihutada freesi alla selliselt, et freesi kael, läbimõõduga 18 mm, jääks kohakuti 18 mm laiuse soonega. Freesi lõikesügavusele seadmisel tuleb ots viia kokkupuutesse soone põhjaga. Seejärel nihutada töölaud tagasi lähteasendisse, stoperdada konsool ja ristkelk ning viia toorik aeglase käsiettenihkega lõikumisse freesiga, pärast seda lülitada sisse töölaua mehaaniline pikiettenihe.

Pärast töökäigu lõppemist kontrollida nihkkaliibriga või šablooniga soone mõõtmeid. Seejärel freesitakse teine ja kolmas soon analoogiliselt esimesega.




Joon. 155. Faasitud servadega T-kujulise soone freesimise kolm siiret

Mõnikord on T-kujulise soone servad faasitud, nagu näidatud joonisel 155, *c*. Sel juhul tehakse kolmas siire ots-nurkfreesiga, mis on sarnane joonisel 153, *b* kujutatud freesiga, kuid tagurpidi koonusega.

Seega toimub T-kujulise soone freesimine kolme siirdega: esimese siirdega freesitakse täisnurkne soon (joon. 155, *a*), teise siirdega T-kujuline soon (joon. 155, *b*) ja kolmanda siirdega freesitakse faas (joon. 155, *c*).

Kolme täisnurkse soone freesimisel võib esimest siiret teostada vertikaalfreespingi asemel ka horisontaalfreespingil, freesides kolmest kolmepoolsest ketasfreesist kokku pandud freeside komplektiga kolm täisnurkset soont üheaegselt. Selline töötlemisviis lühendab järsult töötlemisaega ja võimaldab rakendada kiirfreesimist kõvasulamist plaadikestega varustatud ketasfreesidega.

## Kalasabakujulise soone freesimine

Joonisel 152, *b* kujutatud kalasabakujulist soont freesitakse kahe siirdega. Esimesel siirdel freesitakse 50 mm läbimõõduga ots-freesiga täisnurkne soon mõõtmetega 50 × 20 mm, teisel siirdel freesitakse kalasabakujulise soone kalded nurgaga 55°, ühepoolse nurkfreesiga.

Täisnurkse soone 50 × 20 mm freesimisel võib kasutada kolmepoolset ketasfreesi ja rakendada kiirfreesimist.

Kitsaste kalasabakujuliste soonte freesimine väikestesse detailidesse toimub ühe töökäiguga joonisel 153, *b* kujutatud freesidega. Lõtku kõrvaldamiseks koostöötavate detailide vahel kalasabatüüpi ühenduses tehakse soon kaldega mööda laiust ühe külje suunas. Mõelge, kuidas sel juhul üles ehitada tehnoloogiline protsess ja milline freespink valida.

## Praak kujusoonte ja spetsiaalsete soonte freesimisel

Kujusoonte ja spetsiaalsete soonte freesimisel esinevad peale üldiste praagi juhtude, mida vaatlesime lk. 164—165 astmete ja täisnurksete soonte freesimisel, veel järgmised praagi liigid:

1. Kujusoone või spetsiaalse soone profiil ei vasta kontrollimisel šabloonile. *Põhjused:* vale profiiliga frees; kukaldatud hammastega kujufrees on teritatud valesti; frees on valesti seatud lõikesügavusele; šabloon on vale.
2. Kujusoone või spetsiaalse soone profiil on märkjoonest kõrvale kaldunud. Praak on parandamatu. *Põhjus:* freesija tähelepanematus.
3. Kujusoone freesimisel malmtoorikusse on soone servad freesi väljumiskohas rebestatud. Praagi vältimiseks soovitatakse

töölaua mehaaniline ettenihe freesi väljumise hetkel välja lülitada ja ettevaatlikult käsiettenihkega lõpuni freesida. Eriti vajalik on see siis, kui freesitakse suure ettenihkega.

#### Kontrollküsimusi

1. Mille poolest erineb kujuketasfrees kolmepoolsest ketasfreesist? Kuidas tagada kujufreesi profiili muutumatus teritamisel?
2. Milliseid kujufreese kasutatakse raadiusega soonte freesimisel?
3. Mispärast kasutatakse kujufreesidega töötamisel madalamat lõikerežiimi?
4. Milliseid freese kasutatakse kalasabakujulise soone freesimisel?
5. Millistel freespingi detailidel ja sõlmedel esinevad T-kujulised ja kalasabakujulised sooned?
6. Kuidas kontrollitakse raadiusega soone freesimise õigsust? Kuidas kontrollitakse joonisel 152, *a* kujutatud T-kujulise soone freesimise õigsust?
7. Kuidas seatakse üles kahepoolset nurkfreesi süvendi tsentri järgi? Kuidas seatakse üles raadiusfreesi soone tsentri järgi?
8. Kuidas pingi töölauale üles seada joonisel 152, *b* kujutatud detaili toorikut? Millised tööriistad on selleks vajalikud?

X PEATÜKK

## KÕVERJOONELISTE KONTUURIDE JA KUJUPINDADE FREESIMINE

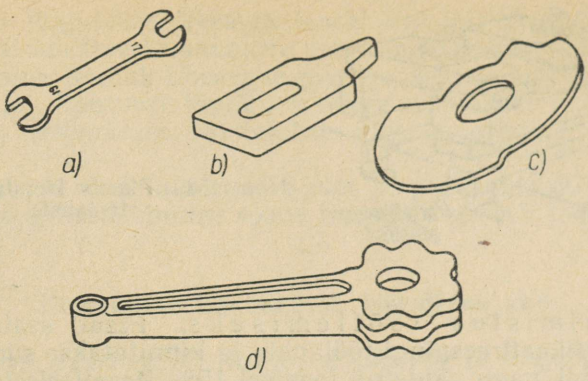
### § 33. KÕVERJOONELISTE KONTUURIDE FREESIMINE

#### Üldmõisted

Kõikidel masinadetailidel ei ole sirglõikudega piiratud kontuure, paljud lamedate pindadega detailid on külgedelt piiratud kõverjoonelise kontuuriga. Joonisel 156 on kujutatud *kõverjoonelise kontuuriga* detailid: mutrivõti (joon. 156, *a*), kaasavedaja (joon. 156, *b*), automaattreipingi nukk-ketas (joon. 156, *c*), mootori keps (joon. 156, *d*). Nende detailide kontuurid koosnevad sirglõikudest, mis on ühendatud kõverjoontega või mitmesuguse läbimõõduga ringjoonte kaartega. Kõverjooneline kontuur freesitakse kas tavalisel vertikaalfreespingil või spetsiaalsel kopeerfreespingil.

Kõverjoonelisi kontuure saab freesida vertikaalfreespingil:

a) märkimise järgi kombineeritud käsiettenihkega;
b) märkimise järgi ümmarguse pöördlaua abil;
c) kopeeri järgi.



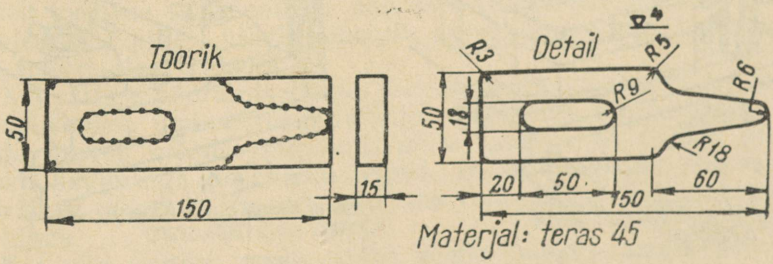

Joon. 156. Kõverjoonelise kontuuriga detailid:
*a* — mutrivõti; *b* — kaasavedaja; *c* — automaattreipingi nukk-ketas; *d* — mootori keps

## Kõverjooneliste kontuuride freesimine kombineeritud käsiettenihkega

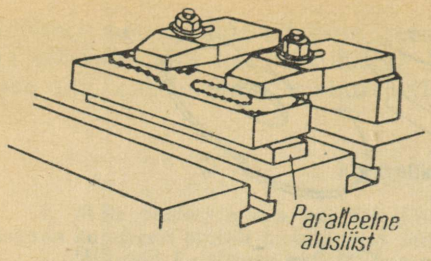
Kombineeritud käsiettenihkega freesimine seisneb selles, et eelnevalt märgitud toorikut (mis on kinnitatud kas freespingi töölauale, kruustangidesse või rakisesse) töödeldakse otsfreesiga, nihutades töölauda samaaegselt käsiettenihkega piki- ja ristsuunas nii, et frees eraldaks metallikihi märgitud kõverjoonelist kontuuri mööda.

Selle töötlemismeetodi selgituseks vaatleme näitena joonisel 157 kujutatud detaili töötlemist.

F r e e s i v a l i k. Valime otsfreesi läbimõõduga, mis võimaldab freesida ümardust raadiusega *R*-18. Valime selleks ГОСТ 8237-57 järgi kiirlõiketerasest P18 koonilise sabaga normaalhammastega otsfreesi läbimõõduga 36 mm; sellisel freesil on 6 hammast.




Joon. 157. Kaasavedaja joonis




Joon. 158. Plaadi kinnitamine pingi töölauale

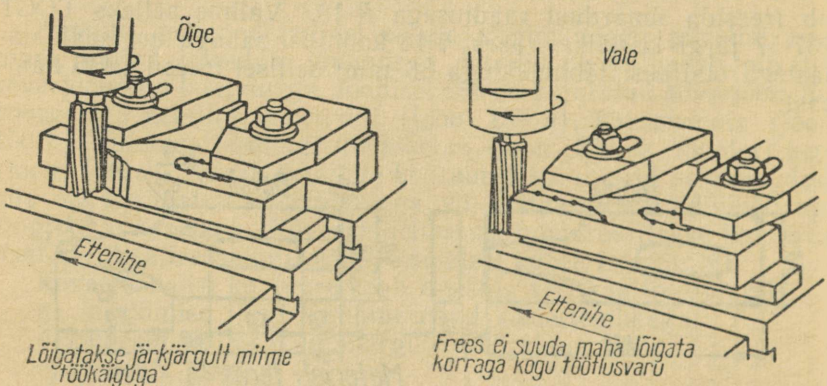
Ettevalmistus töötlemiseks. Plaat seatakse üles vahetult vertikaalfreespingi töölauale ja kinnitatakse surveliistude ja poltide abil, nagu näidatud joonisel 158. Paralleelset alusliistu kasutatakse selleks, et frees ei lõikuks pingi töölaua tööpinda.

Tooriku ülesseadmisel tuleb jälgida, et pingi töölaua ja alusliistu vahele, samuti alusliistu ja tooriku vahele ei satuks laaste ega mustust.

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Pingi häälestame antud lõikekiirusele 40 m/min. Kiirte diagrammil (vt. joon. 54) on lõikekiirusele 40 m/min ja freesi läbimõõdule $D = 36$ mm vastav pöörete arv $n_{11} = 315$ ja $n_{12} = 400$ p/min vahel. Valime lähima väiksema pöörete arvu $n_{11} = 315$ p/min ja asetame kiiruste kasti limbi sellele lõikekiirusele. Seega tegelik lõikekiirus on valemi (1) järgi:

$$v = \frac{\pi D \cdot n}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 36 \cdot 315}{1000} = 35{,}6 \text{ m/min.}$$

Kontuuri freesimine. Freesimine toimub märkimise järgi käsiettenihkega. Freesimist alustatakse vähima töötlusvaruga




Joon. 159. Plaadi kõverjoonelise osa freesimine

kohast või lõigatakse freesiga sisse järk-järgult mitme töökäiguga, et vältida freesi hammaste purunemist (joon. 159).

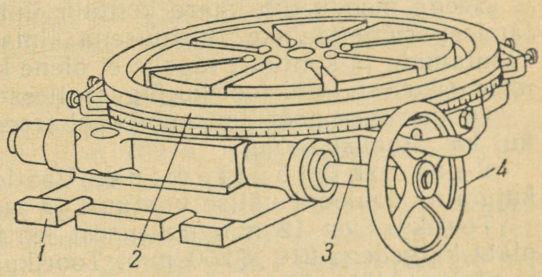
Freesimine toimub üheaegse piki- ja ristettenihkega vastavalt märkjoonele. Kontuuri lõpliku sileduse saamiseks ei piisa ühest töökäigust, sellepärast teostatakse algul koorimine ja seejärel silumine.

Tsentraalne soon laiusega 18 mm ja pikkusega 50 mm freesitakse analoogiliselt kinnise soone freesimisega (vt. joon. 131).

## Freesimine ümmarguse pöördlaua abil

Ringjoone kaartest või ringjoone kaartest ja sirglõikudest moodustatud kõverjoonelisi kontuure freesitakse ümmarguse pöördlaua abil, mis on vertikaalfreespingi tarvikuks.

Käsiettenihkega ümmargune pöördlaud. Joonisel 160 on kujutatud ümmargune pöördlaud käsiettenihkega töötamiseks. Pöördlaud kinnitatakse alusplaadiga *1* pingi töölauale poltide abil, mis paigutuvad alusplaadi väljalõigetesse. Võl-

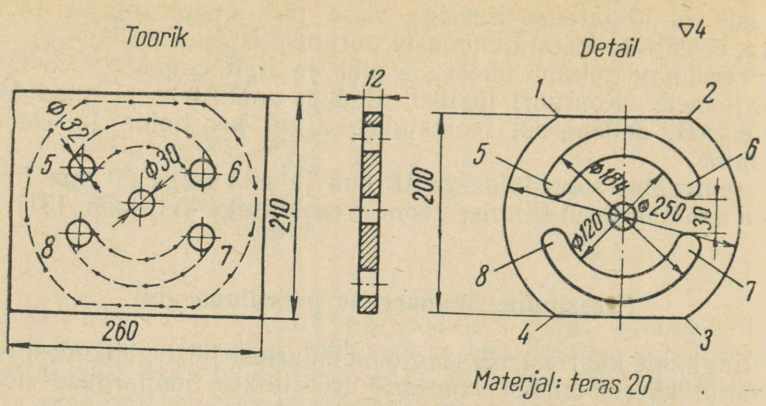



Joon. 160. Käsiettenihkega ümmargune pöördlaud

lil *3* asuva käsiratta *4* pööramisel saab laua pööratav osa *2* pöörleva liikumise. Pöördlaua silindrilisel külgpinnal on ringskaala, millelt loetakse pöördenurga suurust. Toorik kinnitatakse pöördlauale meelevaldsel viisil: vahetult, surveliistude abil, kruustangides, spetsiaalses rakises.

Käsiratta *4* pööramisel saab pöördlauale kinnitatud toorik pöörleva liikumise ümber vertikaaltelje. Seejuures tooriku pinna iga punkt nihkub mööda ringjoont, mille raadius on võrdne pinnapunkti kaugusega pöördlaua teljest. Mida kaugemal pinnapunkt pöördlaua teljest asub, seda suurema raadiusega ringjoont mööda ta liigub.

Kui viia tooriku meelevaldne punkt kokkupuutesse pöörleva freesiga ja jätkata pöördlaua pööramist, siis frees võtab toorikult




Joon. 161. Šablooni joonis

laastu mööda ringjoone kaart, mille raadius on võrdne kaugusega kokkupuutepunktist pöördlaua tsentrini.

Seega moodustub kaare kontuur ümmarguse pöördlaua kasutamisel ringettenihke tulemusena ilma kombineeritud ettenihet kasutamata ja kontuuri täpsus ei olene kahe ettenihke kombineerimise oskusest, vaid tooriku õigest ülesseadmisest pöördlauale.

Ümmarguse pöördlaua abil saab freesida nii väliseid kontuure kui ka sisemisi sooni.

Šablooni töötlemine. Vaatleme näitena joonisel 161 kujutatud šablooni välise kontuuri ja sisemiste soonte töötlemist.

Toorikuks on 12 mm paksusest lehtterasest ristkülikukujuline plaat külgedega 210 × 260 mm. Toorikusse on eelnevalt puuritud tsentriava läbimõõduga 30 mm (tooriku kinnitamiseks pöördlauale) ja neli abiava läbimõõduga 32 mm (freesimiseks). Toorik on eelnevalt märgitud.

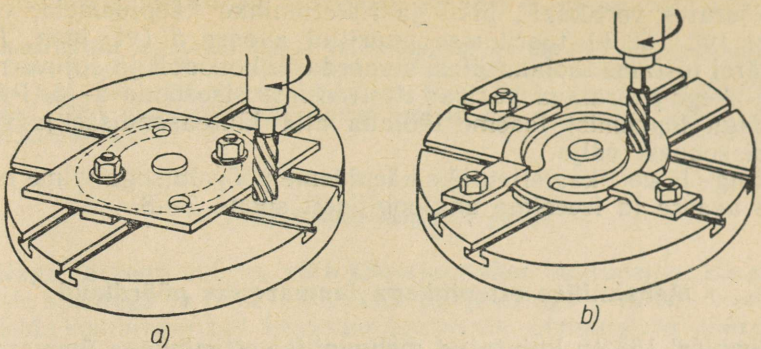
Freesimise teostame vertikaalfreespingil.

Kuna töötlemisele kuulub nii välis- kui ka sisekontuur, tuleb teha kaks ülesseadet.

1. Kinnitada toorik pöördlauale läbi kahe meelevaldselt valitud ava poltidega ja freesida ringettenihkega märkimise järgi šablooni väliskontuur (joon. 162, *a*).

2. Kinnitada toorik surveliistude abil pöördlauale ja freesida ringettenihkega märkimise järgi sisemised sooned (joon. 162, *b*).

Freesi valik. On soovitav, et välis- ja sisekontuur töödeldaks freesi vahetamata. Selleks valime kiirlõiketerasest P18 koonilise sabaga normaalhammastega ($z = 5$) otsfreesi (ГОСТ 8237-57) läbimõõduga 32 mm (mis vastab sisemiste soonte laiusele).




Joon. 162. Šablooni freesimine:
*a* — esimene ülesseade; *b* — teine ülesseade

Ümmarguse pöördlaua ülesseadmine. Ümmarguse pöördlaua ülesseadmiseks on vaja:

1. Asetada pöördlaud serviti, puhastada ta alus ja seada üles pingi töölauale. Ülesseadmisel asetada kinnituspoldid mutrite ja seibidega pingi töölaua soontesse mõlemalt poolt pöördlauda ja kinnitada pöördlaud.

2. Asetada pöördlaua tsentriavasse 30 mm läbimõõduga tihvt.

Esimese ülesseade juures kinnitatakse toorik pöördlauale tsentreeriva tihvti ja poltide abil (joon. 162, *a*), teise ülesseade juures — tsentreeriva tihvti ja surveliistude abil (joon. 162, *b*).

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Lõikekiirus on antud $v = 31{,}5$ m/min, millele kiirte diagrammil (vt. joon. 54) freesi läbimõõdu $D = 32$ mm puhul vastab pöörete arv 315 p/min. Ettenihe on antud 0,08 mm/hambale, millele pöörete arvu $n = 315$ p/min ja freesi hammaste arvu $z = 5$ korral vastab ettenihe minutis $0{,}08 \cdot 5 \cdot 315 = 126$ mm/min.

Asetame kiiruste kasti limbi pöörete arvule 315 p/min ja ettenihete kasti limbi ettenihkele 125 mm/min.

Väliskontuuri freesimine. Toorik kinnitatakse joonisel 162, *a* näidatud viisil. Kinnitanud pingi spindlisse otsfreesi, käivitame pingi ja viime tooriku freesi juurde kohas, kus töötlusvaru on vähim (joon. 162, *a*). Kasutades käsiettenihet, lõikame freesiga toorikusse kuni märkjooneni, lülitame sisse mehaanilise pikiettenihke ning freesime šablooni sirgjoonelise osa 1—2 (joon. 161). Seejärel freesime ringettenihkega kõverjoonelise osa 2—3. Pärast seda freesime mehaanilise pikiettenihkega osa 3—4 ja lõpuks jällegi ringettenihkega kõverjoonelise osa 4—1.

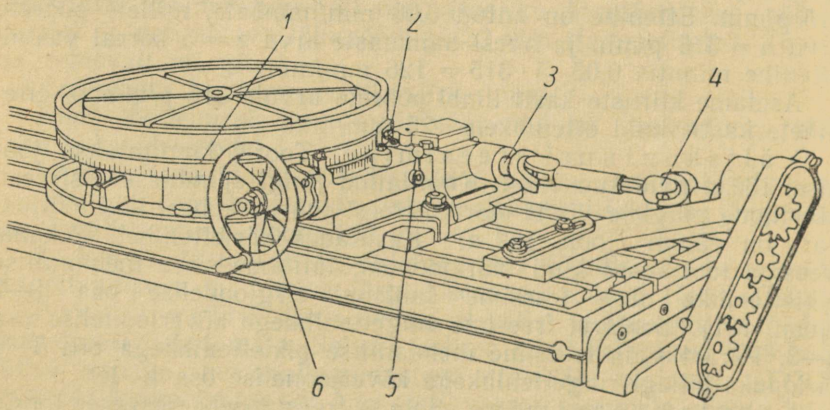
Soonte freesimine. Soonte freesimiseks seatakse toorik üles, nagu näidatud joonisel 162, *b*.

Pöörates vertikaal-, piki- ja ristettenihke käepidemeid, viime freesi (vt. 162, *b*) toorikusse puuritud avasse *5* (vt. joon. 161). Seejärel tõstame töölaua üles, stoperdame konsooli ja sujuva ringettenihkega pöördlaua käsirattalt freesime sisesoone 5—6. Pärast töökäigu lõppemist laseme töölaua alla lähteasendisse ja viime freesi soonest välja.

Ring- ja vertikaalettenihke käepideme pööramisega viime freesi teise avasse ja freesime analoogiliselt soone 7—8.

### Mehaanilise ettenihkega ümmargune pöördlaud

Joonisel 163 on kujutatud mehaanilise ettenihkega ümmargune pöördlaud, mis saab pöörleva liikumise pingi ajamilt. Kui võlli *6* nelikantotsale asetada käsiratas, võib pöördlauale anda pöörlevat liikumist ka käsitsi nagu joonisel 160 kujutatud käsiettenihkega pöördlauale. Mehaanilise pöörlemise saab pöördlaud pingi töölaua pikiettenihkekruvilt hammasrataste ja kardaanvõlli *3* kaudu, mis on ühendatud pöördlaua keres asuva tiguajamiga. Mehaaniline ettenihe lülitatakse sisse käepideme *5* abil. Mehaanilise ettenihke automaatne väljalülitamine toimub käigupiiraja *2* abil, mis on nihutatav pöördlaua soones *1* ja kinnitatakse vajalikku asendisse kahe poldi abil. Töötlemine mehaanilise ettenihkega pöördlaudadel toimub samuti nagu käsiettenihkega pöördlaudadel, ainult selle vahega, et freesija ei pruugi käsiratast pöörata. Mehaaniline ringettenihe väljendatakse mm/min ning määratakse lähtudes töödeldava ringjoone sirgestatud pikkusest ja pöördlaua pöörete arvust minutis.




Joon. 163. Mehaanilise ettenihkega ümmargune pöördlaud

Näide 7. Määrata ringettenihe joonisel 161 kujutatud tooriku väliskontuuri töötlemisel mehaanilise ettenihkega pöördlaual, pöörete arvu 0,25 p/min juures.

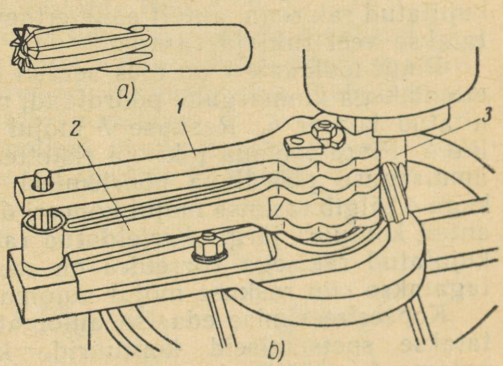
Joonisel 161 kujutatud detaili väline kontuur on piiratud ringjoone kaartega $D = 250$ mm, järelikult freesi teekonna pikkus mööda seda ringjoont on võrdne $\pi \cdot D = 3{,}14 \cdot 250 = 785{,}4$ mm. Pöördlaua ühe pöörde juures on ringettenihe minutis 785,4 mm/min, 0,25 p/min puhul on ringettenihe $785{,}4 \cdot 0{,}25 = 197{,}35$ mm/min.

## Freesimine kopeeri järgi

Nagu eespoolt selgus, võib kõverjoonelise kontuuriga, kõverjooneliste soontega ja teiste keerukate piirjoontega detailide kontuure töödelda kombineeritud käsiettenihkega või ümmarguse pöördlaua abil, mõlema töötlemisviisi puhul tuleb toorik eelnevalt märkida.

Suure partii ühesuguse kõverjoonelise kontuuriga detailide töötlemisel kasutatakse kopeerrakiseid või spetsiaalseid kopeerfreespinke.

Kopeerrakistega freesimise tööprintsiip põhineb pingi töölaua piki-, rist- ja ringettenihke kasutamisel, millega antakse toorikule

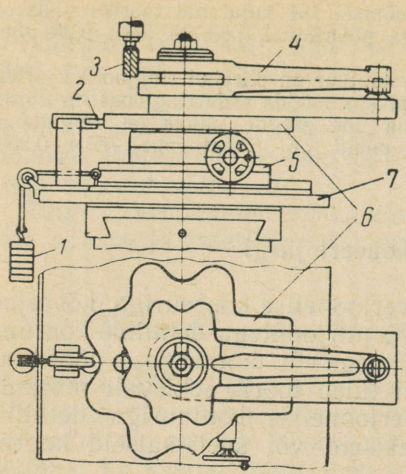



Joon. 164. Mootori kepsu alumise pea freesimine kopeeri järgi:
*a* — otsfrees; *b* — ülesseade

kõverjooneline liikumine vastavalt valmisdetaili kontuurile. Vajalik kontuur saadakse automaatselt kopeeri (šablooni) järgi, mis asendab märkimist.

Freesimine kopeeri järgi. Mootori kepsu alumise pea (joon. 164, *b*) väliskontuuri freesimiseks asetatakse kopeer *1* detailile *2* ja kinnitatakse tugevasti detaili külge. Pöörates pöördlaua ringettenihke käsiratast ning piki- ja ristettenihke käepidemeid, jälgib freesija, et otsfreesi kael *3* oleks kogu aeg surutud vastu kopeeri *1*.

Joonisel 164, *a* on kujutatud otsfrees töötlemiseks kopeerfreesimismeetodil.




Joon. 165. Kopeerrakis mootori kepsu alumise pea freesimiseks

Joonisel 165 on kujutatud skemaatiliselt kopeerrakis mootori kepsu alumise pea freesimiseks, mis on analoogiline joonisel 164 kujutatud rakisega, ainult selle erinevusega, et peale kopeeri kasutatakse veel rulli ja raskust.

Pingi töölauale *7* on üles seatud kopeerrakis *5*, millel on käsiettenihkega ümmargune pöördlaud; pöördlaua plaanseibile on kinnitatud kopeer *6*. Raskuse *1* mõjul surub kopeer *6* pidevalt rullile *2*. Pingi töölaua piki- ja ristettenihkekruvid on vabastatud ja ümmarguse pöördlaua pöörlemisel rakis koos kinnitatud toorikuga *4* jälgib raskuse mõjul kopeeri *6*, frees *3* aga töötleb toorikut *4* antud kontuuri järgi. Kirjeldatud rakise paremuseks joonisel 164 kujutatud rakisega võrreldes on see, et kopeeri ja rulli kontakt tagatakse siin raskuse mõjul automaatselt.

Kopeerfreesimise edasise automatiseerimise eesmärgil kasutatatakse spetsiaalseid kontuuride kopeerfreespinke. Kontuuride automaatse töötlemise põhiprintsiipe ja kopeerfreespinkide tööd käsitletakse XXIII peatükis.

## § 34. KUJUPINDADE FREESIMINE

### Üldmõisted

Paljudel detailidel on kujupinnad, mis erinevad eespool vaadeldud pindadest. Kujupind kujutab lõikes kõverjoonelist profiili, s. t. profiili, mis koosneb omavahel ühendatud sirglõikudest, kõveratest ja mitmesuguse läbimõõduga ringjoonte kaartest.

Kui kujupinnal on kõverjooneline profiil ainult ühes lõikes (piki- või ristlõikes), saab seda töödelda tavalisel freespingil; kui aga kujupinnal on kõverjooneline profiil mõlemas lõikes, saab seda pinda töödelda ainult spetsiaalsel kopeerfreespingil.

Kujupindadega masinadetailide levik on seletatav sellega, et kujupindadega detailid tagavad vajaliku tugevuse minimaalse kaalu juures. Selliste detailide hulka kuuluvad näiteks osaliselt lennukimootorite, lennukite, autode, traktorite, mootorrataste, mitmesuguste aparaatide, kirjutusmasinate, relvade, automaatpinkide jne. detailid. Sepastantsidel, pressvormidel, kokillidel ja teistel abinõudel esineb keerukaid kujupindu. Ei ole ühtki masinaehitusharu, kus ei esineks kujupindu.

## Kujufreesid

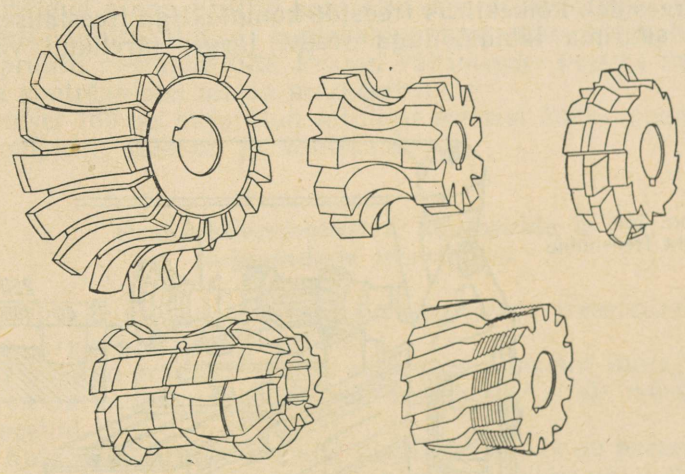
Kujupinnaga detaile, millede profiili ühes lõikes moodustavad eendid ja lohud, töödeldakse kujufreesidega ilma kopeerita.

K i t s a s t e kujupindade töötlemiseks kasutatakse kukaldatud hammastega kujufreese. Joonisel 166 on kujutatud masinaehituses kasutatavad mitmesugused kujufreeside tüübid.

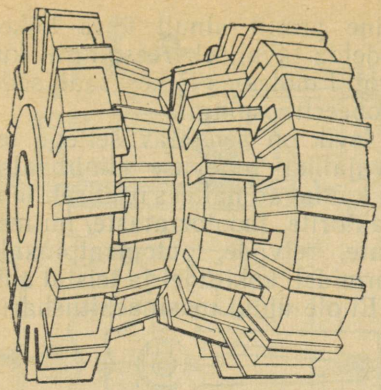
L a i a d e kujupindade töötlemiseks kasutatakse tavaliselt laiu kujufreese või mitmest freesist kokku pandud freeside komplekti.

Suurte mõõtmetega kujufreesid valmistatakse vahetatavate lõiketeradega ja kokkupandavate freesidena.

Joonisel 167 on kujutatud neljast üksikust vahetatavate hammastega kujufreesist kokku pandud freeside komplekt.



Joon. 166. Kujufreesid

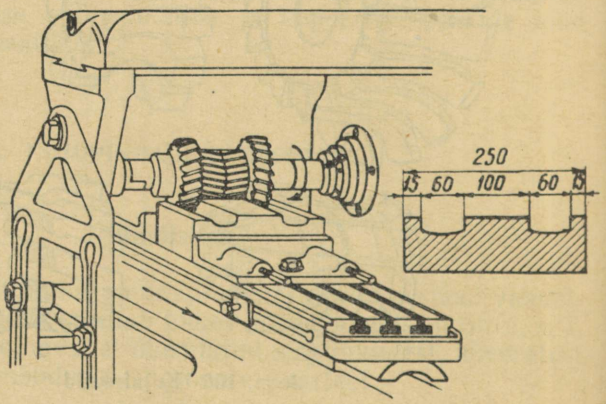


Joon. 167. Freeside komplekt kujupindade freesimiseks

## Freesimine kujufreesidega

Joonisel 168 on kujutatud neljast freesist kokku pandud freeside komplektiga kujupinna freesimine horisontaalfreespingil. Freesitava detaili profiil lõikes on kujutatud joonisel 168, paremal, tooriku materjal — malm.

Toorik on kinnitatud kinnitusrakisesse. Lõikeriistana kasutatakse kiirlõiketerasest P18 valmistatud freeside komplekti. Äärmiste freeside läbimõõt on 125 mm, keskmiste freeside läbimõõt 85 mm; igal freesil on 12 hammast. Kuna kõik freesid pöörlevad ühesuguse pöörete arvuga, siis lõikekiirus on suurema läbimõõduga äärmistel freesidel suurem kui väiksema läbimõõduga keskmistel freesidel. Lõikekiirus freeside komplektiga freesimisel arvestatakse suurima läbimõõduga freesi järgi; järelikult väiksema

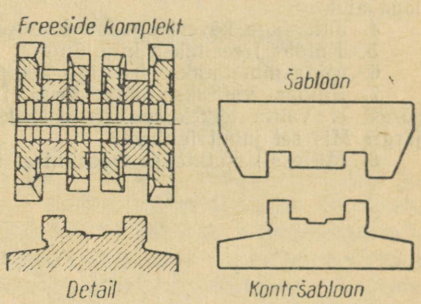



Joon. 168. Kujupinna freesimine

läbimõõduga frees töötab väiksema lõikekiirusega, s. t. paremates tingimustes.

Kujufreese ei tohi lasta liialt palju nürineda, kuna sel juhul tuleks freesi teritada mööda profiili; sellepärast võetakse lõikekiirus kujufreesidega töötlemisel 20—30% madalam kui silinderfreesidega töötlemisel.

Antud näites on lõikekiiruseks valitud $v = 20$ m/min ja ettenihkeks 0,08 mm/hambale. Freesi läbimõõdu $D = 125$ mm ja lõikekiiruse $v = 20$ m/min juures kiirte diagrammil (vt. joon. 54) pöörete arv $n = 50$ p/min; selle pöörete arvu juures on ettenihe minutis $s = 0{,}08 \cdot 10 \cdot 50 = 40$ mm/min.




Joon. 169. Freeside komplekt, detail, šabloon ja kontršabloon

Häälestame kiiruste kasti ja ettenihete kasti sellele lõikerežiimile. Töötlemine toimub jahutuseta.

Töödeldud pinna profiili kontrollitakse šablooniga.

Freesi kontrollitakse kontršablooniga, mis kujutab endast freesi profiili vastasprofiili. Praagi vältimiseks peavad frees, šabloon ja kontršabloon olema markeeritud.

Joonisel 169 on kujutatud mitmest freesist kokku pandud freeside komplekt, šabloon ja kontršabloon.

## Praak kõverjooneliste kontuuride ja kujupindade freesimisel

Kõverjooneliste kontuuride ja kujupindade freesimisel võivad esineda järgmised praagi juhud:

1. Freesitud kontuur ei ühti märgitud kontuuri märkjoontega. Praak on parandamatu. *Põhjused*: freesimisel ei ole märkjoontest kinni peetud.

2. Kujupinna profiil ei vasta joonisele. Praak on parandamatu. *Põhjused:* valesti teritatud kujufrees, valesti kokku pandud freeside komplekt, vale šabloon.

3. Detaili pind on laineline ja kriimustatud. Praak on parandatav. *Põhjused*: liiga suur ettenihe ühele freesi hambale, freesi viskumine, töölaua vibreerimine.

4. Detaili mõõtmed on valed ebaõige arvestuse tõttu baaspinnast, tooriku ebaõige ülesseade, rakiste või kruustangide viltuseisu ja teiste hooletusvigade tõttu.

### Kontrollküsimusi

1. Milliseid kõverjooneliste kontuuride freesimisviise te teate?
2. Jutustage kõverjoonelise kontuuri märkimise järgi freesimise järjekorrast.
3. Jutustage, kuidas freesitakse kõverjoonelisi kontuure ümmarguse pöördlaua abil.
4. Jutustage kõverjoonelise kontuuri kopeeri järgi freesimise järjekorrast.
5. Kuidas freesitakse kujupindu?
6. Mida nimetatakse freeside komplektiks? Mis on tema paremus?
7. Kuidas valitakse lõikekiirus freeside komplektiga freesimisel? Mispärast ei valita lõikekiirus freeside komplekti väikseima läbimõõduga freesi järgi? Mis sel juhul juhtuks?
8. Milleks kasutatakse freesimisel šablooni?

KOLMAS OSA

# TEHNOLOOGILISE PROTSESSI ALUSED FREESIMISEL

XI PEATÜKK

## ALGTEADMISI TEHNOLOOGILISEST PROTSESSIST

### § 35. TEHNOLOOGILISE PROTSESSI PÕHIMÕISTED

#### Tehnoloogilise protsessi definitsioon

Tehases, tsehhis või töökojas töödeldakse toormaterjalid ja pooltooted ümber valmistoodeteks. Toote valmistamise üksikute protsesside kogumikku, mille tulemusena saadakse valmisprodukt, nimetatakse *tootmisprotsessiks*. Tootmisprotsess koosneb mitmest etapist. Nendeks etappideks on tootmise ettevalmistamine, üksikute detailide valmistamine, detailidest sõlmede ja toodete koostamine, nende katsetamine, kvaliteedi kontrollimine, värvimine, transport, hoidmine jne. Tootmisprotsessi osa, mis on vahetult seotud töödeldava tooriku kuju, mõõtmete või omaduste muutmisega tooraine toorikuks muutmise protsessi alghetkest kuni valmistoote saamiseni, nimetatakse *tehnoloogiliseks protsessiks*. Omaette tehnoloogilised protsessid on näiteks kuumstantsimine, valamine, mehaaniline töötlemine, termiline töötlemine, koostamine jne.

Mehaanilise töötlemise tehnoloogiliseks protsessiks nimetatakse järkjärgulist tooriku (valtsmetallist toorikud, sepised, vormsepised, valutoorikud) valmistooteks muutmise protsessi, s. t. tegevust, mis on vahetult seotud töödeldava tooriku kuju ja mõõtmete muutmisega töötlemisele saabumise hetkest kuni valmistooteks saamiseni. Freesimine on mehaanilise töötlemise üks alaliike ja kogu tegevus, mis on seotud tooriku töötlemisega freespingil, on üks osa mehaanilise töötlemise tehnoloogilisest protsessist.

Tehnoloogiline protsess koosneb operatsioonidest, aga operatsioon — ülesseadetest, siiretest, töökäikudest, töövõtetest ja positsioonidest.

*Operatsiooniks* nimetatakse ühe või mitme detaili (tooriku) töötlemise lõpetatud osa, mida tehakse ühel töökohal, haarates endaga kõik tööline ja pingi järjestikused tegevused kuni üleminekuni järgmise detaili või detailide (toorikute) grupi töötlemisele.

Näiteks ühe detaili või ühele tornile kinnitatud detailide grupi tahkude täielik freesimine on üks operatsioon.

Operatsioon on tehnoloogilise protsessi põhiline koostisosa detailide valmistamise või toote koostamise tehnoloogilise protsessi väljatöötamisel, planeerimisel ja kalkuleerimisel.

Operatsiooni võib täita töödeldava tooriku ühe või mitme ülesseadega töökohal. Kui antud operatsiooni täitmisel on vaja vahetada töökohal tooriku ülesseadet, siis operatsiooni osa, mis täideti ühe ülesseadega, nimetatakse lühidalt ülesseadeks.

Selgitame seda X peatükis käsitletud šablooni töötlemise näite varal (vt. joon. 161). Töötlemine toimus ühel pingil sellises järjekorras: algul freesiti toorikut mööda väliskontuuri (vt. joon. 162, *a*), seejärel freesiti toorikusse sisesooned (vt. joon. 162, *b*). Toorik seati üles ja kinnitati kaks korda. Antud juhul koosnes šablooni freesimise tehnoloogiline protsess ühest operatsioonist täidetuna tooriku kahe ülesseadega.

*Ülesseadeks* nimetatakse operatsiooni osa, mis täidetakse tooriku töötlemisel kinnitamise ja ta mahavõtmise vahelisel perioodil. Näiteks plaadi (vt. joon. 102) külgede järjestikusel töötlemisel võetakse plaat pärast ühe külje töötlemist kruustangidest maha, pööratakse järgmine külg ja kinnitatakse uuesti kruustangidesse. Plaadi (vt. joon. 102) nelja külje töötlemine koosneb seega ühest operatsioonist ja neljast ülesseadest.

Tooriku ümberseadmine on alati seotud lisaaja kuluga ja vähendab töötlemise täpsust. Seepärast kasutatakse freesimisel toorikute ülesseadmiseks ja kinnitamiseks rakiseid, mis võimaldavad muuta tooriku asendit ilma mahavõtmiseta. Tooriku iga asendit ta töötlemisel ühe kinnitusega (õigemini ühe ülesseadega) nimetatakse *positsiooniks*.

Joonisel 134, *c* on kujutatud astmete freesimine kahepositsioonilise pööratava rakise abil.

Joonisel 146, *b* on kujutatud hammassektori süvendite freesimine pööratavas rakises. Kõik süvendid freesitakse ühe ülesseadega, kuid igaüks uue positsiooniga, mis teostatakse pöördketta pööramisega ühe augu võrra. Töödeldav hammassektor on kinnitatud pöördkettaga ühisele võllile.

*Siirdeks* nimetatakse operatsiooni osa, mille vältel ei muudeta töödeldavat pinda, lõikeriista ega pingi töörežiimi (pöörete arvu ja ettenihet). Tooriku uue pinna töötlemine, lõikeriista vahetamine või pingi ümberlülitamine teisele lõikerežiimile määrab uue siirde alguse. Joonisel 155 kujutatud T-kujulise soone freesimine koosneb kolmest siirdest.

Siire võib koosneda ühest või mitmest töökäigust.

*Töökäiguks* nimetatakse siirde osa, mille vältel võetakse maha üks metallikiht, muutmata lõikeriista, töödeldavat pinda ja lõikerežiimi. Antud töötlusvaru võib maha freesida sama lõikesügavuse, ettenihke ja lõikekiiruse juures mitme töökäiguga.

Kui antud pinnasiledus nõuab pärast koorimist veel silumist, on tegemist kahe siirdega.

Kui töötlusvaru on suur ja pingi võimsus väike, teostatakse koorimine mitme töökäiguga, muutmata lõikekiirust ja ettenihet.

*Töövõtteks* nimetatakse töölise lõpetatud üksikasjalist sihikindlat tegevust operatsiooni täitmise protsessis: näiteks kinnitada toorik kruustangidesse või rakisesse, käivitada pink, kinnitada frees freestornile jne.

## Tehnoloogilise protsessi koostamine

Freesimise tehnoloogilise protsessi koostamine mingi detaili valmistamiseks, s. t. operatsioonide, ülesseadete ja siirete järjekorra ja sisu määramine ei ole alati ühesugune. Olenevalt töödeldavate detailide arvust, olemasolevatest seadmetest ja teistest tingimustest, võib tehnoloogilist protsessi koostada mitmeti.

Vaatleme joonisel 161 kujutatud šablooni valmistamise tehnoloogilise protsessi võimalikke variante.

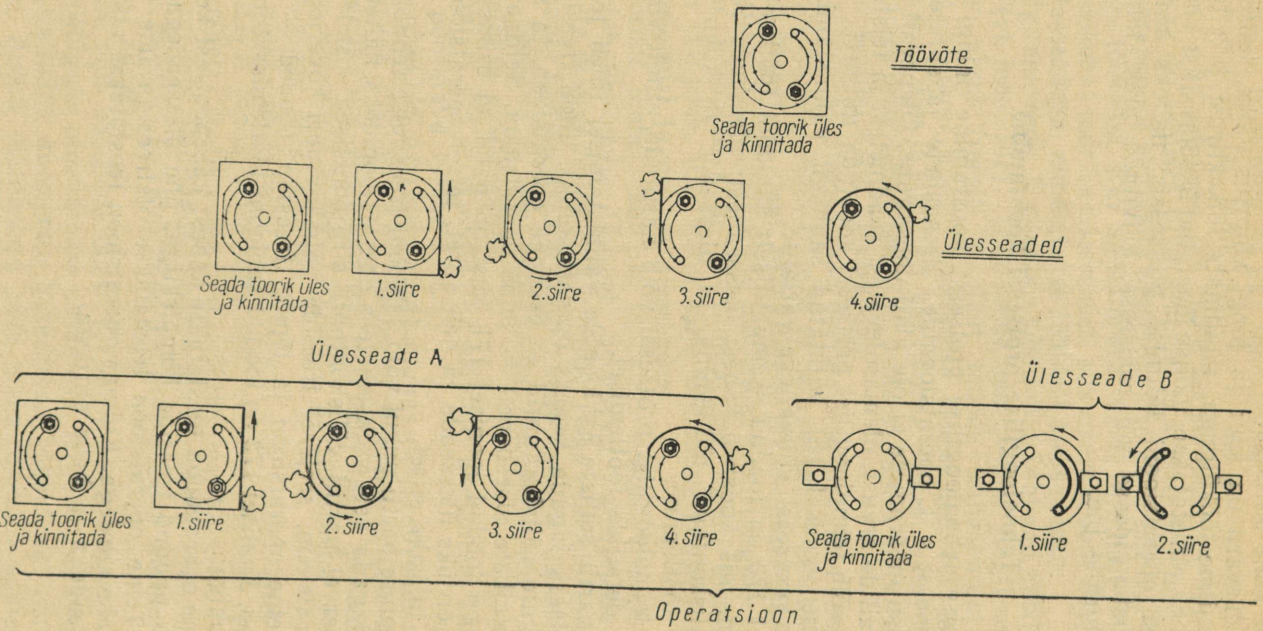
Joonisel 170 on toodud skemaatiliselt šablooni töötlemise üks operatsioon, mis koosneb kahest ülesseadest: ülesseade *A*, kuhu kuulub väliskontuuri töötlemine, ja ülesseade *B*, kuhu kuulub sisesoonte töötlemine.

Sellist tehnoloogilist protsessi võib kasutada ainult väga väikese arvu detailide töötlemisel.

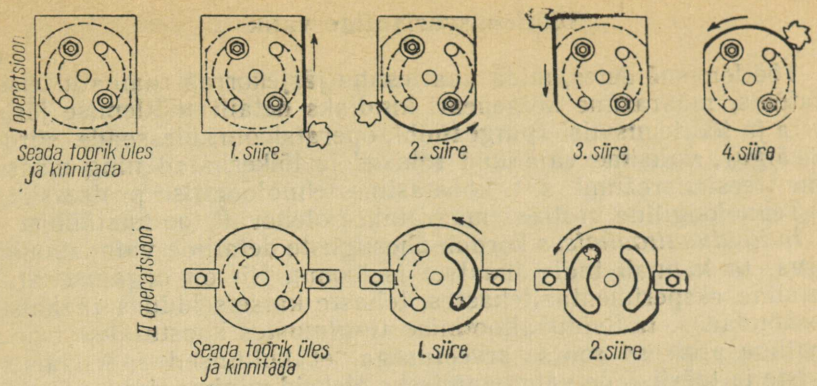
Suure partii selliste šabloonide valmistamisel tuleb tehnoloogiline protsess jagada kaheks operatsiooniks, algul freesida kõikide toorikute väliskontuurid — esimene operatsioon, ja seejärel samade toorikute sisesooned — teine operatsioon. Selline töötlemisskeem on toodud joonisel 171, kust on näha, et esimesel operatsioonil on üks ülesseade ja neli siiret, teisel operatsioonil üks ülesseade ja kaks siiret.

Väga suure partii puhul võib šablooni freesimise tehnoloogilist protsessi jagada veel väiksemateks operatsioonideks, näiteks algul freesida tervel partiil väliskontuuri sirgjoonelised osad — esimene operatsioon, seejärel freesida väliskontuuri kõverjoonelised osad — teine operatsioon ja lõpuks freesida sooned — kolmas operatsioon. Joonisel 172 on toodud šablooni töötlemisskeem kolme operatsiooniga.

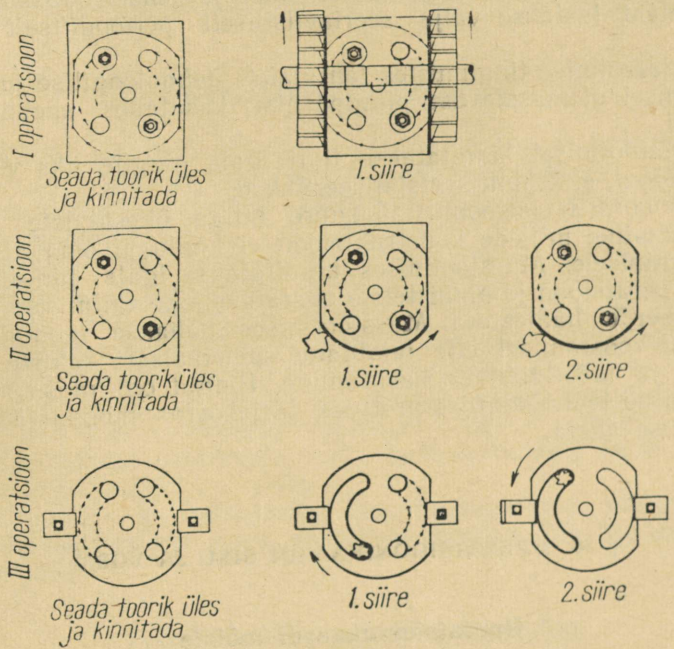
Esimene operatsioon teostatakse kahest kahepoolsest ketasfreesist kokku pandud freeside komplektiga, ühe ülesseadega ja ühe siirdega. Teine operatsioon teostatakse otsfreesiga ühe ülesseadega ja kahe siirdega. Kolmas operatsioon teostatakse otsfreesiga ühe ülesseadega ja kahe siirdega.




Joon. 170. Freesimisoperatsiooni jaotamine ülesseadeteks ja siireteks




Joon. 171. Sablooni töötlemine kahe operatsiooniga




Joon. 172. Sablooni töötlemine kolme operatsiooniga

Töötlemisnäidetes, mida vaatlesime järjekorras raamatu teises peatükis, määrasime kõigepealt kindlaks detaili töötlemise järjekorra ja töötlemisviisi (pingi tüübi, operatsiooni, ülesseade, siirde, töökäigu), valisime vajalikud rakised ja lõikeriistad ning määrasime freesimisrežiimi, s. t. koostasime tehnoloogilise protsessi.

Tehnoloogiline protsess määratakse olenevalt tootmistüübist. *Individuaaltootmises* kordub ühesuguste detailide valmistamine harva, ta kannab individuaalset iseloomu. Nii on organiseeritud tootmine eksperimentaaltehastes, tehaste katsetsehhides ja katsejaoskondades. Individuaaltootmise tingimustes koostatakse tehnoloogiline protsess sellise arvestusega, et kulutused spetsiaalsete rakiste ja tööriistade valmistamiseks oleksid minimaalsed, nähakse ette normaaltööriistade ja tavaliste universaalpinkide kasutamine koos nende juurde kuuluvate normaalrakistega.

Spetsiaalseid rakiseid ja tööriistu kasutatakse individuaaltootmises ainult detaili valmistamise täpsusnõuetest tingituna.

*Seeriatootmises* valmistatakse detaile korduvate partiide viisi. Nii on organiseeritud tootmine tehastes ja tehase jaoskondades, kus tooteid lastakse välja seeriaviisiliselt perioodiliselt kuust kuusse.

Seeriatootmise tingimustes lähtutakse tehnoloogilise protsessi koostamisel olemasolevast pingipargist, kasutades spetsiaalseid rakiseid.

Seeriatootmisel kinnitatakse tihti igale pingile üks või mitu operatsiooni, s. t. pink spetsialiseeritakse.

*Masstootmist* iseloomustab suure hulga ühesuguste toodete väljalaskmine, millede konstruktsioon ei kuulu pikema aja jooksul muutmisele. Masstootmises kinnitatakse igale pingile alati kindel operatsioon ja pinki teiste operatsioonide täitmiseks tavaliselt ümber ei häälestata. Masstootmises nähakse tehnoloogilise protsessi koostamisel ette laialdane spetsiaalsete rakiste, lõikeriistade ja mõõteriistade kasutamine. Pingid on masstootmises paigaldatud tehnoloogilise protsessi järjekorras, moodustades tehnoloogilise ahela.

## § 36. OPERATSIOONIKAARDI SISU JA VORM

### Operatsioonikaardi mõiste

Selleks, et iga töökohta varustada kehtiva mehaanilise töötlemise tehnoloogilise protsessiga, koostatakse operatsioonikaart. Operatsioonikaart peab sisaldama alljärgnevad andmed:

1) detaili nimetus ja visand, joonise number, toote nimetus ja tüüp;
2) tooriku materjal, detailide arv tootes;
3) tooriku mõõtmed;
4) tsehh, pingi number, operatsiooni number;
5) ülesseadete ja siirete järjekord, mis on vajalikud antud operatsiooni täitmiseks;
6) vajalikud lõikeriistad ja rakised, mille abil täidetakse siirded, samuti kontroll- ja mõõteriistad;
7) lõikekiirus, freesi pöörete arv minutis, ettenihe freesi ühele hambale, lõikesügavus, s. t. lõikerežiim;
8) normaeg ja töö kategooria.

Töökohtade varustamist operatsioonikaartidega loetakse käesoleval ajal vastuvaidlematuks seaduseks, kuna see aitab töölisel paremini kasutada pinki ja lõikeriista, vältida praaki, aga kõige peamine — tõsta tootlikkust.

Tööline, saades ülesande freesimiseks, saab koos operatsioonikaardiga tükitöölehe.

Enne tööle asumist peab tööline tutvuma nende dokumentidega ja endale selgeks tegema töötlemise käigu antud operatsioonis.

## Operatsioonikaardi vorm

Lehekülgedel 198—199 on toodud täidetud operatsioonikaart šablooni (vt. joon. 161) esimese freesimisoperatsiooni kohta šablooni töötlemisel kahe operatsiooniga vastavalt joonisel 171 toodud töötlemisskeemile.

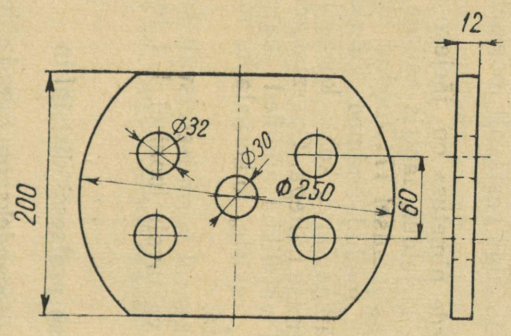
Lahtris «ülesseade ja siirde nimetus» on järjekorras esitatud ühe ülesseade ja nelja siirde kirjeldus, lahtris «siirde visand» — nelja siirde visandid kooskõlas joonisel 171 toodud töötlemisskeemiga. Lahtris «töörežiim» on toodud andmed lõikekiiruse, ettenihke, lõikesügavuse ja töökäikude arvu kohta kooskõlas lk. 182—184 käsitletud šablooni töötlemise näitega. Operatsioonikaardi ülejäänud lahtrites on esitatud vajalikud andmed materjali margi, tooriku mõõtmete, seadmete, rakiste, lõikeriistade, mõõteriistade, freesija kategooria jne. kohta.

Täitke sama operatsioonikaardi vorm iseseisvalt šablooni teise freesimisoperatsiooni kohta vastavalt joonisel 171 toodud töötlemisskeemile.

## Tehnoloogilise protsessi distsipliin

Tehnoloogilise protsessi ülesandeks on tagada detaili valmistamine lühima ajaga ja minimaalsete kulutustega, pidades kinni antud täpsusest ja pinnasiledusest.

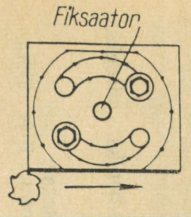
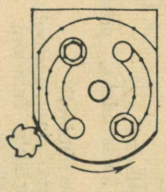
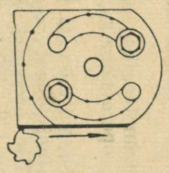
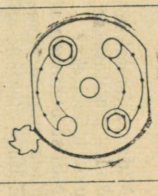
| Tööriistade tehas | Operatsioonikaart nr. 00293 | | Detailjoonise nr. 3-26 |
|---|---|---|---|
| Tehnikaosakond | Toote nimetus: *Šabloon* | | |
| | Detaili nimetus: *Šabloon* | | |




| Operatsiooni nimetus | Operatsiooni nr. |
|---|---|
| *Freesida väliskontuur* | 1 |
| Kuulub koostamisele: šabloon | Detailide arv tootes: *2* |

| Materjal | | Normaeg |
|---|---|---|
| Nimetus | Mõõt | |
| *Toorik — teras 50* | *210×260×12* mm | *16* min |
| Sisseseade | Töölise kutseala | Kategooria |
| *Vertikaalfreespink 6M12П* | *freesija* | *1* |

| Järgmise operatsiooni nimetus |
|---|
| *Sisesoonte freesimine* |

| Ülesseade nr. | Siirde nr. | Ülesseade ja siirde nimetus | Siirde visand | Rakis | Lõikeriist | Mõõteriist | Töörežiim: lõikesügavus $t$ mm | ettenihe $s$ mm/min | lõikekiirus $v$ m/min | Freesipöörete arv $n$ p/min | töökäikude arv | üheaegselt töödeldavate toorikute arv |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| A | — | Seada toorik avaga 30 mm üles ümmarguse pöördlaua fiksaatorile ja kinnitada töölauale kahe poldiga | | Ümmarguse pöördlaud | | | | | | | | |
| | 1 | Freesida märkimise järgi väliskontuuri sirgjooneline osa ühelt küljelt |   | ” | Kiirlõiketerasest P18 otsfrees Φ 32 mm | Nihkkaliiber | 5 | 125 | 31,5 | 315 | 1 | 1 |
| | 2 | Freesida märkimise järgi väliskontuuri kõverjooneline osa ühelt küljelt |  | ” | ” | ” | 2,5 | 197 | 31,5 | 315 | 4 | 1 |
| | 3 | Freesida märkimise järgi väliskontuuri sirgjooneline osa teiselt küljelt |  | ” | ” | ” | 5 | 125 | 31,5 | 315 | 1 | 1 |
| | 4 | Freesida märkimise järgi väliskontuuri kõverjooneline osa teiselt küljelt |  | ” | ” | ” | 2,5 | 197 | 31,5 | 315 | 4 | 1 |

| Tehnilised tingimused | Muudatused | | | |
|---|---|---|---|---|
| | Nr. | allkiri | Nr. | allkiri |

| Koostas | Kontrollis | Tehnikaosakonna juhataja | Tsehhi esindaja |
|---|---|---|---|

Range kinnipidamine tehnoloogilisest protsessist on tootmise normaalse kulgemise põhiseaduseks.

Tehnoloogiliste kaartide kujul vormistatud tehnoloogilise protsessi kõrvalekaldumatut ja ranget täitmist nimetatakse *tehnoloogiliseks distsipliiniks*. Tehnoloogilisest distsipliinist kõrvalekaldumine on sotsialistlikes ettevõtetes lubamatu. Samal ajal aga ei tohi kehtiv tehnoloogiline protsess olla mingiks dogmaks, teda tuleb lakkamatult täiustada ja ratsionaliseerida.

Tehnoloogilise protsessi ratsionaliseerimine osutub põhiliseks hoovaks töötlemise täiustamisel, tootlikkuse tõstmisel, omahinna alandamisel, toodete väljalaske suurendamisel ja kvaliteedi tõstmisel.

Tehastes on olemas ratsionaliseerimis-leiutamisbürood, millede ülesandeks on töölisi kaasa tõmmata tehnoloogilise protsessi täiustamisele ratsionaliseerimisettepanekutega. Iga realiseeritud ratsionaliseerimisettepaneku eest makstakse autorile rahaline preemia, mille suurus oleneb esitise juurutamisel saadavast majanduslikust efektist.

Igasugune tehnoloogilise protsessi muudatus peab olema tehnoloogilises dokumentatsioonis vormistatud.

Kõigis suuremates masinaehitustehastes vaatavad töölised-novaatorid koostöös tsehhi tehnoloogidega ja insener-tehniliste töötajatega läbi kehtivaid operatsioone, tuues neisse sisse täiustusi, mis kantakse uude tehnoloogilisse protsessi.

### Kontrollküsimusi

1. Mida mõistetakse tehnoloogilise protsessi all?
2. Mida nimetatakse operatsiooniks, ülesseadeks, positsiooniks, siirdeks, töökäiguks, töövõtteks?
3. Millist dokumentatsiooni on vaja freesimisel?
4. Mida nimetatakse individuaal-, seeria- ja masstootmiseks?
5. Esitage tehnoloogilise protsessi variante šablooni (joon. 161) töötlemiseks, kui partii suurus on 1 tk, 100 tk, 1000 tk.
6. Mida nimetatakse tehnoloogiliseks distsipliiniks?
7. Kuidas tuleb vormistada detaili töötlemise tehnoloogilise protsessi muudatused?

# TÖÖTLEMISTÄPSUS JA PINNA KVALITEET FREESIMISEL

Valmisdetaili täpsust, mis määratakse kindlaks ta vastavusega joonisele, iseloomustatakse:

1) mõõtmete täpsusega, s. t. detaili üksikute elementide mõõtmete vastavusega joonisel ettenähtud mõõtmetele;

2) geomeetrilise kuju täpsusega, s. t. detaili üksikute osade (pindade) geomeetrilise kuju vastavusega joonisel ettenähtud geomeetrilisele kujule;

3) detaili pinna kvaliteediga.

Üheks peamiseks tingimuseks, mis määrab antud täpsuse, on operatsioonide järjekord. Operatsioon, mis tagab detaili mingi elemendi või üksiku osa (pinna) kõige suurema täpsuse, tuleb täita töötlemise lõpul nii, et sellele ei järgneks ühtki operatsiooni suurte lõikejõududega, mis võiksid deformeerida detaili ja sellega rikkuda antud elemendi saavutatud täpsust.

Määranud kindlaks operatsioonide järjekorra, tuleb igas neist tagada vajalik mõõtmete täpsus.

Selleks, et freesija võiks õigesti koostada detaili töötlemise tehnoloogilist protsessi antud täpsusega, peab tal olema selge ettekujutus kõigist freesimisel esinevate vigade tekkepõhjustest ja vigade lubatud piirideni vähendamise viisidest. Allpool vaatleme üksikasjalisemalt põhjusi, mis kutsuvad esile töötlemisvigu, ja soovitusi nende kõrvaldamiseks.

## § 37. TÖÖTLEMISVIGADE SUURUST MÕJUTAVAD TEGURID FREESIMISEL

### Üldmõisted

Nagu praktikast teada, ei ole mehaanilisel töötlemisel, sealhulgas ka freesimisel, võimalik saada absoluutselt täpseid mõõtmeid; sellepärast antakse detaili konstruktiivsed mõõtmed tolerantsidega, s. t. määratakse juba eelnevalt mõõtmete lubatud hälbed nimimõõdust. Koostöötavate detailide hälvete suurus peab tagama ühelt poolt detailide asendatavuse koostamisel ja remondil, teiselt poolt ei tohi ületada valmistamise ebatäpsuse (töötlemisvigade) piiri.*

* Asendatavust ning tolerantside ja istude süsteeme käsitletakse üksikasjalisemalt kursuses «Tolerantsid ja tehniline mõõtmine».

Peamisteks põhjusteks, mis mõjutavad täpsust (töötlemisvigu) freesimisel, on freespingi ebatäpsus ja ta kulumine; rakise ebatäpsus; freesi valmistamise ja ülesseadmise ebatäpsus ja freesi kulumine; mitteküllaldane süsteemi — pink, rakis, frees koos freestorniga ja töödeldav detail — jäikus; töödeldava tooriku deformatsioon kuumenemisest; mõõtmise ebatäpsused.

### Pingi ebatäpsus ja kulumine

Pingi enda detailid valmistatakse mehaanilisel töötlemisel paratamatute hälvetega, mille tulemusena on võimatu pingi absoluutselt täpne töötamine. Uute pinkide ebatäpsused on reglementeeritud täpsusnormidega, mille alusel kontrollitakse pinke (vt. peatükk XXIV).

Pingi detailide kulumine pikaajalises tööprotsessis vähendab pingi täpsust, avaldades mõju töötlemistäpsusele. Plaanilisennetusremondi ülesandeks on säilitada pingi reglementeeritud täpsust ja tagada töötlemistäpsus.

### Rakiste ebatäpsused

Rakiste poolt põhjustatavad töötlemisvead on tingitud rakiste valmistamise ebatäpsusest, rakiste kulumisest ja nende ebatäpsest ülesseadmisest pinki. Rakiste detailidel (kinnitus-, ülesseade-, jagamisdetailid) esinevad kõige hoolsamale valmistamisele vaatamata paratamatud vead valmistamise tolerantside piirides. Selle tulemusena tekivad ebatäpsused rakiste üksikute sõlmede (näit. jagamisrakise spindel) liikumistes, kinnitus- ja ülesseaderakiste töös jne. Samuti vähendavad töötlemistäpsust rakiste üksikutes sõlmedes suure kinnitusjõu või lõikejõu mõjul tekkinud elastsed deformatsioonid.

Freesija peab pärast rakise pinki ülesseadmist kontrollima ta täpsust vastavate mõõteriistadega (indikaator, rismus, kontrolljoonlaud, nurgik) ja esimest valmisdetaili hoolega mõõtma, et veenduda töötlemisel saadud mõõtmete vastavuses antud mõõtmetele.

### Freesi valmistamise ja ülesseadmise ebatäpsused ning kulumine

Freesid, nagu teisedki lõikeriistad, valmistatakse paratamatute vigadega, millede suurus oleneb nende valmistamise tehnoloogiast. Sellisteks vigadeks on valmistamise ebatäpsusest tingitud silinder-, ots- ja ketasfreeside läbimõõdu hälbed tolerantsi piirides;

valmistamise ebatäpsusest tingitud kujufreeside profiili hälbed tolerantsi piirides; silinder-, ketas-, hambalõike-, ots- ja teiste freeside radiaal- ja otsviskumine lubatud hälvete piirides.

Töötlemistäpsusele avaldavad mõju veel vead freesi ülesseadmisel freestornile viimaste valmistamisel tekkinud hälvetest. Freeside komplekti ülesseadmisel tekib ebatäpsus läbimõõdu, laiuse ja üksikute freeside omavahelise asetuse lubatud vigadest.

Instrumendi seadmise täpsus oleneb freesija või seadistaja kvalifikatsioonist.

Peale selle mõjutab freesimistäpsust freesi kulumine. Kui mõõta plaadi paksust kohe pärast uue silinderfreesi töökäiku ja seejärel 50-nda plaadi paksust, siis viimase paksus on esimese paksusest veidi suurem. Paksuse suurenemise põhjustas freesi hammaste lõikeservade kulumine.

## Pingi, rakise, lõikeriista ja detaili jäikus

Üheks olulisemaks teguriks detailide töötlemistäpsuse tõstmisel ja samaaegsel tootlikkuse tõstmisel on süsteemi pink-rakis-lõikeriist-detail jäikus. Töötlemisvead, mis tekivad selle süsteemi mitteküllaldase jäikuse tõttu, moodustavad 80% kõigist töötlemisvigadest. Süsteemi pink-rakis-lõikeriist-detail *jäikuseks* nimetatakse ta võimet vastu panna töötlemisel tekkivale lõikejõule, mis püüab seda süsteemi deformeerida põhiliselt kõige nõrgemas lülis. Sellepärast tuleb alati arvestada iga lüli jäikust, eriti kõige nõrgema lüli jäikust. Deformatsioonid koormuse mõjul kutsuvad esile ka vibratsiooni, mis samuti avaldab mõju täpsusele, põhjustades töödeldud pinna ebatasasust (konarlikkust).

Freesimisel tekivad pingis lõikejõu toimel deformatsioonid sõlmede eemalesurumise näol nende ühenduskohtades ja pingi detailide elastsed deformatsioonid.

Parimaks abinõuks pingi jäikuse tõstmisel on kõigi juhtpindade kiilude kinnitõmbamine, lõtkude likvideerimine ja töölaua ettenihkeliikumisest mitteosavõtvate elementide stoperdamine.

Kinnitusrakise mitteküllaldase jäikuse põhjuseks on vale arvestus konstrueerimisel või rakise ebakvaliteetne valmistamine ja koostamine. Siin, nagu pingigi juures, on oluline kõikide detailide ja sõlmede tihe ühendamine koostamisel ja jõudu ülekandvate elementide küllaldane tugevus.

Ka lõikeriista mitteküllaldane jäikus põhjustab mõnel juhul töötlemisvigu. Pikkade otsfreeside (eriti kiilusoonefreeside) teljed võivad kõverduda, mille tulemusena saame töötlemisel ebatäpse soone. Suure läbimõõduga õhukesed ketasfreesid purustavad soont jne.

Jäävad ja elastsed deformatsioonid toorikutes nende töötlemi-

sel freespingil moonutavad detaili kuju ja põhjustavad mõõtmete ebatäpsusi. Näiteks soonte ja pilude freesimisel pikkadesse võllidesse, võivad võllid kõverduda, kui ei kasutata tugikruvi.

### Temperatuurist tingitud toorikute deformatsioonid

Freesimisprotsessis tõuseb tooriku temperatuur. See avaldab eelkõige mõju mõõtmete täpsusele, kuid ebaühtlasel kuumenemisel võib moonutada ka valmisdetaili kuju. Et vähendada töödeldava tooriku kuumenemist, kasutatakse jahutusvedelikke.

### Mõõtmisvead

Töötlemisvead olenevad ka mõõtmisvigadest, s. t. mõõteriistade ja mõõteseadiste ebatäpsusest ja vigadest, mis kaasnevad tavaliselt mõõteprotsessi endaga (ebaõige mõõtetulemuse lugemine, temperatuuri kõrvalekaldumine normaalsest mõõtmistemperatuurist, mõõteriista ebaõige paigaldamine mõõdetava detaili suhtes jne.).

## § 38. TÖÖTLEMISVIGADE HINDAMISE MEETODID

Tegurid, mis põhjustavad ülesseadevigu, võivad detailide järjestikulisel töötlemisel erinevalt mõjutada saadava mõõtme suurust. Seoses sellega tehakse vahet süstemaatiliste ja juhuslike vigade vahel.

### Süstemaatilised vead

Süstemaatiliseks nimetatakse niisugust viga, mis jääb konstantseks (*konstantne viga*) või muutub seaduspäraselt ülemineku ühelt detaililt järgmisele (*muutuv viga*). Näiteks, kui kukaldatud ketasfreesi laius on 0,02 mm väiksem laiusest, mis on vaja antud mõõtmega soone saamiseks (näiteks 20 ПШ), siis freesitud soone laius tuleb nõutud mõõtmest 0,02 mm võrra väiksem (kui ei esine freesi otsviskumist). Antud juhul tekib mõõtmes $20^{-0,025}_{-0,090}$ *konstantne süstemaatiline viga* 0,02 mm.

*Muutuv süstemaatiline* viga kutsutakse esile muutliku iseloomuga teguri poolt. Näiteks soonte freesimisel pikkadesse toorikutesse (pingi juhtpindade sooned) antud mõõtmele seatud freesiga väheneb soone laius sedamööda, kuidas frees kulub. Soone laiuse muutumine saadakse kindlaksmääratud seaduspärasusega,

sellepärast viga, mille kutsus esile freesi kulumine, on süstemaatiline viga; samal ajal on ta aga muutuv, kuna ta suurus on igal detailil erinev.

### Juhuslikud vead

Juhuslikuks nimetatakse niisugust viga, mille suurust ega suunda (pluss või miinus) ei ole võimalik varem ette näha, kuna ta esilekerkimine ei allu ühelegi ilmsele seaduspärasusele. Juhusliku iseloomuga viga võib tekkida juhuslike tegurite toimel, s. t. selliste, mis muutuvad juhuslikult, või ta võib tekkida suure arvu tegurite mõjul, kas või süstemaatiliste, mis ei mõju seaduspäraselt, vaid juhuslikult.

### Resulteeruv viga

Mingi mõõtme viga (nimetame seda resulteeruvaks veaks) tekib süstemaatiliste ja juhuslike tegurite koosmõjul. Kuna iga tooriku töötlemisel tekib juhuslike tegurite erinev kombinatsioon, siis kahe järjest valmistatud detaili mõõtmed on erinevad, kuid detailid on kõlblikud, kui nende mõõtmete hälbed nõutud mõõtmeist ei ületa tolerantsi piire.

Sellepärast on vaja teada mõõtme resulteeruva vea arvulist suurust, mis võib tekkida freesimisel antud tingimustes. Kui ei tea resulteeruva vea suurust, ei või kindel olla, et antud mõõtmes ei teki praaki, ega saa õigesti valida freesimisoperatsiooni täitmise viisi.

### Ökonoomiline töötlemistäpsus

Resulteeruva vea suurus määratakse tavaliselt arvutuse teel osade kaupa, mis võib algajale freesijale tekitada mõningaid raskusi. Seepärast kasutatakse (olenevalt töödeldava pinna mõõtmetest) mitmesuguste freesimismeetodite resulteeruva vea keskmisi väärtusi. Keskmised vigade väärtused on saadud praktiliselt töötamisel üldotstarbelistel freespinkidel.

Töötamisel spetsiaalsetel freespinkidel ja üksikjuhtudel ka tavalistel pinkidel võib saavutada suurt töötlemistäpsust, kuid see on seotud töötlemise maksumuse tõusuga.

Seepärast keskmist täpsust, mis saavutatakse tavalistes töötlemistingimustes kõigi töötlemisvigu vähendavate abinõude rakendamisega vastavalt § 37 esitatud soovitustele ega nõua erilisi lisakulutusi, nimetatakse ökonoomiliseks töötlemistäpsuseks. Ökonoomiline töötlemistäpsus vastab sellistele töötlemismeetoditele, millised tagavad vajaliku täpsuse saamise minimaalse töömahuga ja ajaga.

Tabelis 5 on toodud keskmised ökonoomilised täpsused tasapindade freesimisel silinder- ja laupfreesiga, tabelis 6 — paralleelsete pindade freesimisel ketasfreesiga, tabelis 7 — freesimisel kujufreesiga, tabelis 8 — kiilusoonte freesimisel.

Tabel 5

**Keskmine ökonoomiline töötlemistäpsus tasapindade freesimisel** (hälbed mm)

| Töötlemismeetod | | Tasapinna pikkus mm | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | kuni 120 | 121—360 | | 361—500 | | 501—1000 | |
| | | Tasapinna laius mm | | | | | | |
| | | kuni 120 | kuni 120 | üle 120 kuni 360 | kuni 120 | üle 120 kuni 360 | kuni 120 | üle 120 kuni 360 |
| Laupfreesiga freesimine | Koorimine | 0,15 | 0,20 | 0,25 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 |
| | Poolpuhastöötlemine | 0,08 | 0,12 | 0,15 | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,25 |
| Silinderfreesiga freesimine | Koorimine | 0,20 | 0,30 | 0,35 | 0,40 | 0,45 | 0,50 | 0,50 |
| | Poolpuhastöötlemine | 0,10 | 0,15 | 0,18 | 0,18 | 0,20 | 0,20 | 0,25 |

Tabel 6

**Keskmine ökonoomiline töötlemistäpsus paralleelsete pindade üheaegsel freesimisel ketasfreesidega** (hälbed mm)

| Töötlemismeetod | Tasapinna pikkus mm | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kuni 100 | | | üle 100 | | |
| | Tasapinna kõrgus mm | | | | | |
| | kuni 50 | üle 50 kuni 80 | üle 80 kuni 120 | kuni 50 | üle 50 kuni 80 | üle 80 kuni 120 |
| Üheaegne freesimine kahe ketasfreesiga | 0,05 | 0,06 | 0,08 | 0,06 | 0,08 | 0,10 |

Tabel 7

**Keskmine ökonoomiline töötlemistäpsus pindade töötlemisel kujufreesiga** (hälbed mm)

| Pinna pikkus mm | Koorimine | | Silumine | |
|---|---|---|---|---|
| | Freesi laius mm | | | |
| | Kuni 120 | üle 120 kuni 180 | Kuni 120 | üle 120 kuni 180 |
| Kuni 100 | 0,25 | — | 0,10 | — |
| Üle 100 kuni 300 | 0,35 | 0,45 | 0,15 | 0,20 |
| „ 300 „ 600 | 0,45 | 0,5 | 0,20 | 0,25 |

Tabel 8

**Keskmine ökonoomiline töötlemistäpsus kiilusoonte töötlemisel kiilusoonefreesiga** (hälbed mm)

| Kiilusoone laius mm | Koorimine | Silumine |
|---|---|---|
| 6—10 | 0,1 | 0,03 |
| 11—18 | 0,15 | 0,04 |
| 19—30 | 0,20 | 0,05 |

### Antud mõõtmele seadmine

Freesimisel saadakse nõutava täpsusega mõõde kahel meetodil:

a) proovilaastu võtmisega, s. t. antud mõõtmele järkjärgulise lähenemise meetodil;

b) töötades antud mõõtmele seatud lõikeriistaga, s. t. mõõtme automaatse saamise meetodil.

Esimese meetodi järgi töötades saavutab freesija antud täpsuse tooriku väikese osa töötlemise teel mõne töökäiguga, mõõtes seda osa pärast iga töökäiku. Kui saadud mõõde mahub antud tolerantsi piiridesse, lülitab freesija sisse töölaua mehaanilise ettenihke ja töötleb pinna kogu pikkuses. Proovilaastu võtmisel reguleeritakse lõikesügavust limbi abil. See võimaldab vähendada proovitöökäikude ja mõõtmiste arvu.

Teise meetodi järgi töötlemisel seatakse frees antud mõõtmele nii, et kogu tooriku partii töötlemise kestel ei kasutata rist- ega vertikaalettenihet. Freesi võib antud mõõtmele seada šablooni järgi. Freeside komplektiga freesimisel seatakse freesid telgsuunas mõõtmele vaherõngaste abil, tolerants diametraalsuunas tagatakse freesi teritamisega.

Toorikute partiiviisilisel töötlemisel on soovitav rakendada teist meetodit, kuna see on efektiivsem.

## § 39. GEOMEETRILISE KUJU TÄPSUS

### Üldmõisted

Valmisdetailide pindade kuju hälbed ja asetuse hälbed, mis tekivad mehaanilisel töötlemisel, on tingitud pingi ja rakise ebatäpsustest ja deformatsioonidest, lõikeriista lõikeserva kulumisest, tooriku deformatsioonist ja töötlusvarude ebaühtlusest.

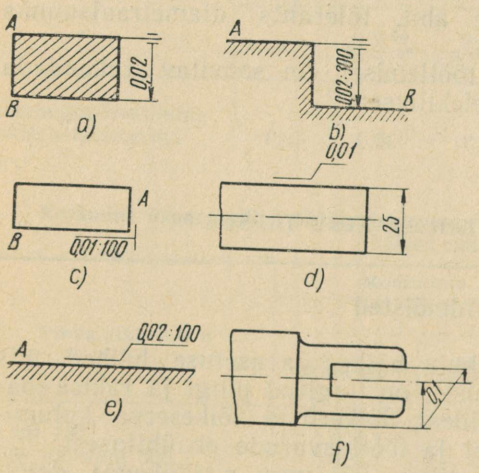
*Mittesilindriliste* (prismaatiliste või muu ristlõikega) *detai-*

*lide* pindade kuju hälbed ja asetuse hälbed liigitatakse ristlõike kontuuri hälveteks, pindade sirgjoonelisuse hälveteks, pindade paralleelsuse ja perpendikulaarsuse hälveteks.

*Lamedate pindade* (tasapindade) kuju hälbed liigitatakse kumeruseks, nõgususeks, lainelisuseks jne.

Riikliku standardiga ГОСТ 3457-46 on kehtestatud detaili lubatud piirhälvete tähistamise kord joonistel. Joonisel 173 on toodud näiteid detailide kuju hälvetest ja pindade asetuse sagedamini esinevatest hälvetest freesimisel ja nende tähistus.

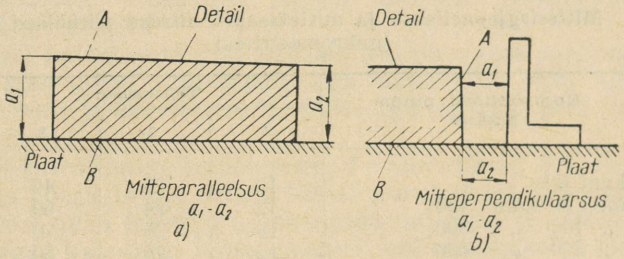
Joonisel 173, *a* on kujutatud ristkülikukujulise ristlõikega detaili (näit. liistu) kontuuri lubatud hälvete tähistus joonisel: tasapinna *A* mitteparalleelsus tasapinna *B* suhtes kogu pikkusel mitte üle 0,02 mm. Joonisel 173, *b* on kujutatud pindade mitteparalleelsuse tähistus joonisel: tasapinna *A* mitteparalleelsuse tasapinna *B* suhtes 300 mm pikkusel mitte üle 0,02 mm. Joonisel 173, *c* on kujutatud pindade mitteristseisu tähistus joonisel: pinna *B* mitteristseis pinna *A* suhtes 100 mm pikkusel mitte üle 0,01 mm. Joonisel 173, *d* on kujutatud mittesirgjoonelisuse tähistus joonisel: lati mittesirgjoonelisus kogu pikkusel paksuse 25 mm juures mitte üle 0,01 mm. Mittetasapinnalisuse tähistus on kujutatud joonisel 173, *e*: pinna *A* mittetasapinnalisus (lubatud nõgusus või kumerus) 100 mm pikkusel mitte üle 0,02 mm. Joonisel 173, *f* on kujutatud mittesümmeetrilisuse tähistus: kahvli soone ebasümmeetriline asetus silindrilise osa suhtes mitte üle 0,1 mm.




Joon. 173. Freesitud detaili geomeetrilise kuju ja pindade asetuse hälbed:
*a* — mitte tasapinnalisus; *e* — sus; *b* — astme pindade mitteparalleelsus; *c* — mitteristseis; *d* — mittetasapinnalisus; *e* — nõgusus; *f* — mittesümmeetrilisus

## Piirhälbed

Allpool on toodud tööstuses kasutusele võetud vastutusrikaste detailide ja sõlmede pindade kuju ja asetuse piirhälbed, mis märgitakse vastavalt ГОСТ 3457-46. Joonisel 174, *a* on kujutatud pindade mitteparalleelsus graafiliselt, tabelis 9 on toodud pinna *A* mitteparalleelsuse piirhälvete arvulised suurused pinna *B* suhtes, mis vastab jooniste 173, *a* ja *b* skeemidele. Joonisel 174, *b* on kujutatud mitteristseisu graafiliselt, tabelis 10 on toodud pinna *A* mitteristseisu piirhälvete arvulised suurused pinna *B* suhtes, mis vastab joonise 173, *c* skeemile. Tabelis 11 on toodud mittesirgjoonelisuse ja mittetasapinnalisuse piirhälbed vastavalt skeemile joonisel 173, *d* ja *e*.




Joon. 174. Pinnahälvete tolerantsid:
*a* — pinna *A* mitteparalleelsus pinna *B* suhtes; *b* — pinna *A* mitteristseis pinna *B* suhtes

Tabel 9

**Mitteparalleelsuse piirhälbed**
(mikromeetrites)*

| Täpsusaste | Kontrollitava pinna kõrgus mm | Kontrollitava pinna pikkus mm | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | kuni 100 | üle 100 kuni 250 | üle 250 kuni 500 | üle 500 kuni 1000 |
| 1 | kuni 100 | 5 | 10 | 15 | 25 |
| 2 | | 10 | 20 | 30 | 45 |
| 3 | | 20 | 35 | 60 | 90 |
| 1 | üle 100 kuni 200 | 10 | 15 | 25 | 40 |
| 2 | | 20 | 30 | 50 | 80 |
| 3 | | 35 | 60 | 100 | 160 |
| 1 | üle 200 kuni 500 | 20 | 35 | 60 | 90 |
| 2 | | 35 | 60 | 110 | 170 |
| 3 | | 75 | 130 | 230 | 350 |

* *mikromeeter* — SI-süsteemi ühik, vana nimetus *mikron*. *Toim.*

Täpsusastme näitab joonisel tavaliselt konstruktor vastavalt liikuvate paaride iseloomule ja töötingimustele.

Tabel 10

**Mitteristseisu piirhälbed**
(mikromeetrites)

| Täpsus-aste | Kontrollitava pinna pikkus mm | | |
|---|---|---|---|
| | Kuni 200 | üle 200 kuni 400 | üle 400 kuni 600 |
| 1 | 10 | 15 | 20 |
| 2 | 20 | 30 | 35 |
| 3 | 30 | 60 | 70 |

Tabel 11

**Mittesirgjoonelisuse ja mittetasapinnalisuse piirhälbed**
(mikromeetrites)

| Kontrollitava pinna pikkus | Täpsusaste | | |
|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 |
| kuni 50 | 10 | 20 | 40 |
| üle 50 kuni 100 | 12 | 24 | 60 |
| „ 100 „ 300 | 14 | 26 | 70 |
| „ 300 „ 600 | 16 | 28 | 80 |
| „ 600 „ 900 | 18 | 36 | 90 |
| „ 900 „ 1000 | 20 | 40 | 100 |

Märkus: Kui mittetasapinnalisust kontrollitakse kontrollplaadiga täppide arvu järgi, siis lubatud mittetasapinnalisus määratakse täppide arvuga ruudus, mille külje pikkus on 25 mm; 1-se täpsusastme puhul mitte vähem kui 25, 2-se — mitte vähem kui 20 ja 3-nda — mitte vähem kui 12 täppi.

Esimene ja teine täpsusaste nõuavad tavaliselt spetsiaalseid töötlemisvahendeid, kolmanda täpsusastme võib saavutada silumisel silinder- või laupfreesiga.

## § 40. PINNA KVALITEET

### Üldmõisted

Freesimisel moodustuvad detaili pinnale ebatasasused vaheldumate harjade ja lohkude (pinnakaredus ja lainelisus) näol, metalli pealmises kihis tekivad jääkpinged, metalli kõvadus erinevatel sügavustel pealispinnast muutub (kalestumine) ja teki-

vad teised nähtused, mis mõjutavad detaili pindkihi omadusi. Kõik need loetletud karakteristikud määravad pindkihi kvaliteedi ehk lühidalt — detaili pinna kvaliteedi.

Tehnikas vaadeldakse töödeldud pinna kvaliteeti füüsikalisest ja geomeetrilisest seisukohast.

## Pinna füüsikaline kvaliteet

Töödeldud pinna kvaliteet määratakse detaili pindkihi metalli füüsikalis-mehaaniliste omaduste erinevuse järgi detaili südamiku metalli omadustest.

Lõiketöötlemisel toimub detaili pindkihis plastne deformatsioon, mille tõttu pindkihi omadused erinevad lähtemetalli (tooriku) omadustest. Pindkihis metall *kalestub*, suureneb kõvadus ja tekivad sisepinged.

Silumisel kalestunud kihi paksus ulatub mõne sajandiku millimeetrini, koorimisel silinderfreesiga kuni 0,12 mm (keskmiselt 0,04—0,08 mm) ja koorimisel laupfreesiga kuni 0,2 mm (keskmiselt 0,06—0,1 mm).

Pindkihi kalestumine ja sisepinged vähendavad detaili väsimustugevust ja põhjustavad detaili kiiret purunemist töötamisel.

Seepärast peab freesija silmas pidama, et ta ei töötaks nürinenud freesiga, kasutaks temperatuuri vähendamiseks lõiketsoonis intensiivset jahutust, võimaluse korral kasutaks töötlusvaru eraldamiseks kahte siiret — koorivat ja siluvat ning vajaduseta ei suurendaks ettenihet freesi ühele hambale.

## Pinna mikrogeomeetria

Ebatasasused, mis jäävad detaili pinnale pärast suure ettenihkega ja lõikesügavusega koorivfreesimist, on silmaga hästi nähtavad ja sõrmega kombatavad. Ebatasasused, mis jäävad detaili pinnale pärast väikese ettenihkega ja väikese lõikesügavusega poolpuhas- ja puhastöötlemist, ei ole palja silmaga nähtavad ega sõrmega peaaegu kombatavad.

Pinna geomeetrilist kvaliteeti pinnal esinevate harjade, lohkude, joonte ja teiste väikeste pinnaosade ebatasasuste näol nimetatakse pinna *mikrogeomeetriaks*. Freesimisel mõjuvad pinna mikrogeomeetriale järgmised tegurid:

1) freesimisrežiim (lõikekiirus, ettenihe ühele hambale, lõikesügavus, jahutusvedeliku liik);

2) vibratsioon süsteemi pink-rakis-lõikeriist-detail mittekülladase jäikuse tõttu;

3) freesi hamba geomeetria, kvaliteet, teritus ja kulumine (hamba tagapinna hõõrdumine vastu töödeldud pinda);

4) töödeldava materjali ja lõikeriista materjali mehaanilised omadused.

Kaasaegse masinaehituse kiirekäigulised masinad esitavad detailide pinnasileduse suhtes eriti kõrgeid nõudeid.

## Pinna mikrogeomeetria hindamise kriteerium

Pinnakareduse astme (mikrogeomeetria) objektiivseks hindamiseks pärast detailide mehaanilist töötlemist kehtib Riiklik Üleliiduline Standard «Pinnakaredus» (ГОСТ 2789-59). Selles standardis on (erinevalt varem kehtinud standardist ГОСТ 2789-51) pinnakareduse hindamise aluseks võetud kolm kriteeriumi: profiili keskmine aritmeetiline hälve $R_a$, konaruste kõrgus $R_z$ ja baasi pikkus $l$.*

Tabel 12

**Pinnasilediusklassid**
(ГОСТ 2789-51)

| Sileduskiass | Tähis | Profiili keskmine aritmeetiline hälve $R_a$ (μm) mitte üle | Konaruste kõrgus $R_z$ μm | Baasi pikkus $l$ mm |
|---|---|---|---|---|
| 1 | ▽ 1 | 80 | 320 | 8 |
| 2 | ▽ 2 | 40 | 160 | |
| 3 | ▽ 3 | 20 | 80 | |
| 4 | ▽ 4 | 10 | 40 | 2,5 |
| 5 | ▽ 5 | 5 | 20 | |
| 6 | ▽ 6 | 2,5 | 10 | 0,8 |
| 7 | ▽ 7 | 1,25 | 6,3 | |
| 8 | ▽ 8 | 0,63 | 3,2 | |
| 9 | ▽ 9 | 0,32 | 1,6 | 0,25 |
| 10 | ▽ 10 | 0,16 | 0,8 | |
| 11 | ▽ 11 | 0,08 | 0,4 | |
| 12 | ▽ 12 | 0,04 | 0,2 | |
| 13 | ▽ 13 | 0,02 | 0,1 | 0,08 |
| 14 | ▽ 14 | 0,01 | 0,05 | |

Märkus: Sileduskiassidele 6—12 on põhiliseks näitajaks $R_a$, klassidele 1—5 ja 13—14 — $R_z$.

Analoogiliselt varem kehtinud standardiga ГОСТ 2789-51 on uues, 1. jaanuaril 1962. a. kehtestatud standardis ГОСТ 2781-59

* Pinnakaredust käsitletakse üksikasjalisemalt kursuses «Tolerantsid ja tehniline mõõtmine».

ette nähtud 14 sileduskласsi, millede maksimaalsete konaruse parameetrite $R_a$ ja $R_z$ arvulised suurused vastavalt baasi pikkusele $l$ on toodud tabelis 12.

Detailide valmistamisel määratakse pinnakaredust tavaliselt sileduskласside skaala järgi.

Kõigi pinnasileduskласside tähistamiseks on kasutusele võetud võrdkülgse kolmnurga märk ▽, millele lisatakse klassi number, näiteks ▽ 7, ▽ 8, ▽ 14.

Pinnakaredust, mille puhul konarused on suuremad kui 1. klassis, tähistatakse märgiga √, millel märgitakse konaruste kõrgus $R_z$ mikromeetrites, näiteks $\sqrt{}^{630}$.

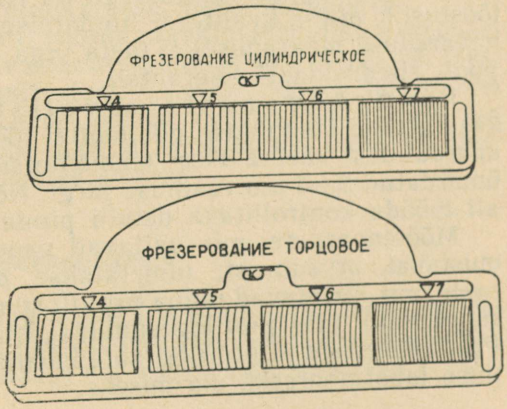
## Antud pinnakareduse tagamine ja kontrollimine

Detailide pinnakaredus, mis on vajalik antud mehhanismi sõlme või masina normaalseks töötamiseks, märgitakse joonisel vastavalt jooniste valmistamise eeskirjadele. Freesija ülesandeks on töötlemisel tagada nõutud pinnakaredus.

Pinnakaredus 2. ja 3. klassi (▽ 2, ▽ 3) järgi on kergesti saavutatav koorimisega.

Pinnakaredus 4., 5. ja 6. sileduskласsi järgi (▽ 4, ▽ 5, ▽ 6) on suhteliselt kergesti saavutatav silinder- või laupfreesiga freesimisel, kusjuures pink peab olema töökorras, toorik jäigalt kinnitatud ja frees korralikult teritatud. Vajalik pinnakaredus tagatakse vastavalt kas ettenihke vähendamisega või lõikekiiruse suurendamisega.

Pinnakareduse saamiseks 7. ja 8. sileduskласsi (▽ 7, ▽ 8) järgi tuleb õigesti valida freesi geomeetria (silinderfreesil — hammaste arv, laupfreesil — nurgad $\varphi$ ja $\varphi_1$) ja määrata vastav lõikerežiim.




Joon. 175. Pinnakareduse etaloonid freesimisel

Pinnakaredust kontrollitakse kas mikrokonaruste vahetu mõõtmise teel või etaloonidega võrdlemisel.

Tsehhi tingimustes kasutatakse etaloone, milliseid toodavad kodumaised tehased 4., 5., 6. ja 7. sileduskласsidele (joon. 175). Etaloonide järgi saab määrata pinnakaredust kuni 7. sileduskласsini, kusjuures viga on ühe sileduskласsi piirides.

Kasutades 5—10-kordse suurendusega luupi, võib võrrelda kuni 8—9 sileduskласsiga pindu veaga üks klass. Täielik etaloonide komplekt peab asuma tehase keskmõõtelaboratooriumis, tehnoloogia- ja konstruktsiooniosakonnas. Tsehhi kontrollbüroos peavad olema etaloonid, mis vastavad tsehhis valmistatavate detailide pindade iseloomule. Etaloonide hoidmine töökohal ei ole vajalik. Toorikute partiilisel töötlemisel soovitatakse esimene detail (näidisdetail) valmistada etalooni järgi, ülejäänud detailid aga valmistada näidisdetaili järgi.

*Näidisdetaile* on otstarbekas kasutada juhul, kui kontrollitava detaili kuju on keerukas, millist on raske reprodutseerida etaloonile (kõverjooneline piirjoon, üleminekukõverad) või kui tsehh (tootmisjaoskond) toodab kitsa nomenklatuuriga vastutusrikkaid detaile.

Et saada usaldusväärseid tulemusi näidisdetailiga võrdlusmeetodil kontrollimisel, tuleb võimaluse korral täita järgmisi tingimusi:

1) näidisdetail peab olema valmistatud kontrollitava detailiga samast materjalist;

2) näidisdetaili ja kontrollitava detaili pinnad peavad olema töödeldud sama töötlemisviisiga, sest pinnad, mis on töödeldud küll ühe ja sama pinnakaredusega, kuid erineva töötlemisviisiga (näiteks freesimine ja hööveldamine), omavad erinevaid spetsiifilisi ebatasasuse jooni.

Pinnakareduse kontroll pinna visuaalse võrdlemise teel etaloonide või näidisdetailide pinnaga on kõige levinum ja usaldatavam tööstuslik pinna kvaliteedi hindamismeetod. Selle meetodiga pinnakareduse määramisel ei ületa viga sileduskласside 2—9 piirides poolt sileduskласsi tolerantsi.

Pinnakonaruste arvuliste suuruste määramisel kasutatakse kompimise põhimõttel töötavaid mõõteaparaate. Neis aparaatides kasutatakse teemantotsikuga nõela, mille tipp on ümardatud 2—3 μm raadiuse järgi. Nõela nihutatakse nõrga surve all mööda kontrollitava detaili pinda.

Mõõteaparaate, mis näitavad vahetult pinna konarust iseloomustavat arvsuurust, nimetatakse *profilomeetriteks*. Mõõteaparaate, mis kirjutavad pinna profiili suurendatult (500—5000 kordne suurendus) üles profilogrammina, nimetatakse *profilograafideks*. Profilomeetreid ja profilograafe kasutatakse töödeldud pinna kareduse laboratoorseks uurimiseks.

### Kontrollküsimusi

1. Millega iseloomustatakse töödeldud pinna täpsust?
2. Mis mõjub freesimise ebatäpsusele (vigadele)?
3. Kuidas suurendada freespingi, millel te töötate, jäikust? Kuidas suurendada freesiga freestorni jäikust? Kuidas suurendada kruustangidesse kinnitatud suure väljaulatuva osaga tooriku jäikust?
4. Mida nimetatakse freesimise ökonoomiliseks täpsuseks?
5. Millised kõrvalekalded õigest geomeetrilisest kujust võivad esineda joon. 101 kujutatud töödeldud liistul kolmanda täpsusastme järgi vastavalt tabelile 9, 10, 11?
6. Millega määratakse töödeldud pinna kvaliteeti?
7. Mispärast soovitatakse freesida kahe siirdega (koorimine ja silumine)? Kuidas see mõjub pinna kvaliteedile?
8. Kuidas saavutada plaadi pinnakaredus $\nabla 6$? Sama $\nabla 8$?
9. Milliseid mõõteaparaate töödeldud pinna kareduse määramiseks te teate?

XIII PEATÜKK

# ÜLESSEADEBAASI VALIK TOORIKUTE KINNITAMISEL

## § 41. ÜLDTEADMISI BAASIDEST

### Toorikute ülesseadmine

Nagu (vt. lehek. 75) selgus, peab freespinki ülesseatud toorik omama freesi suhtes kindlat asendit. Tooriku pindade, joonte või punktide kogumikku, millede järgi toorik orienteeritakse ülesseadmisel pingi töölauale, kruustangidesse, prismadele, nurgikutele ja teistesse kinnitusrakistesse, nimetatakse *ülesseadebaasiks*.

Tooriku vajalik asend freesi suhtes saavutatakse ülesseadebaasi ja kinnitusrakise või töölaua vastavate pindade kontaktiga või ülesseadebaasi asendi reguleerimise teel. Tooriku asendi fikseerimist ülesseadebaasi järgi nimetatakse *tooriku ülesseadmiseks*. Tooriku ülesseadmine teostatakse enne tooriku kinnitamist, sest et ülesseade täpsusest oleneb töötlemise edukus.

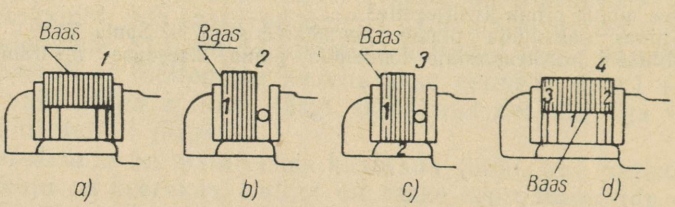
### Ülesseadebaasid

Plaadi (vt. joon. 101) külgpindade freesimisel oli ülesseadebaasiks võetud külgpind *1*, mille järgi toorik üles seati. Joonisel 176, *a*, *b*, *c* ja *d* on kujutatud plaadi kõigi nelja ülesseade järjestus valitud baasi järgi.

Šablooni (vt. joon. 161) freesimisel oli ülesseadebaasiks võetud tsentriava läbimõõduga 30 mm ja tooriku alumine pind, nagu näidatud joonisel 177.

Kiilusoonte freesimisel võllidesse (vt. joon. 137, *a* ja *b*) oli ülesseadebaasiks võetud võlli silindriline pind ja võlli otspinnal olev piiraja, mida joonisel pole näidatud.

Järelikult võivad ülesseadebaasideks olla nii välis- kui ka sisepinnad, millised valitakse olenevalt detaili konstruktsioonist ja tehnoloogilisest protsessist.



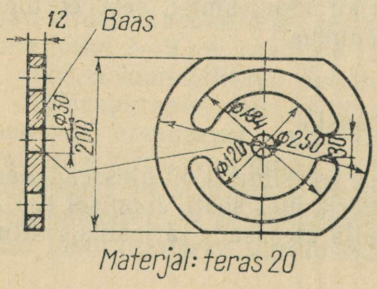

Joon. 176. Plaadi ülesseadebaasid tahkude freesimisel

Ülesseadebaasideks võivad olla ka töötlemata pinnad, nn. *mustad baasid*, millede järgi toorik orienteeritakse esialgsel töötlemisel. Tooriku täpne korduv ülesseadmine töötlemata pindade järgi ei ole võimalik, seepärast teiseks ja järgnevateks operatsioonideks must baas vahetatakse *puhta baasiga*, s. t. pinnaga, mis on juba mehaaniliselt töödeldud.

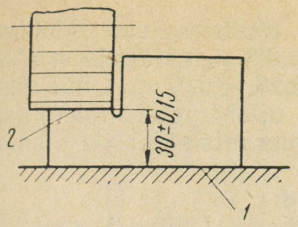
Pindu, jooni või punkte, milledest toimub töödeldavate pindade mõõtmine, nimetatakse *mõõtebaasideks*. Mõõtebaas ja ülesseadebaas võivad ühtida, mis on isegi soovitav, nagu edaspidi näeme.

Joonisel 178 on ülesseadebaas *1* samal ajal ka mõõtebaasiks, sest et tööjoonisel on ta vahetult seotud mõõtmega 30 ± 0,15 mm freesitavast pinnast *2*.

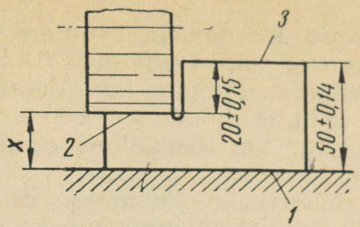
Joonisel 179 on mõõtebaasiks pind *3*, ülesseadebaasiks pind *1*. Selleks, et seada frees nõutud mõõtmele 20 ± 0,15 mm (freesitava pinna *2* kaugus mõõtebaasist *3*), tuleb määrata mõõde *x*, s. o. freesi




Joon. 177.
Šablooni ülesseadebaasid




Joon. 178. Ülesseadebaas ühtib mõõtebaasiga




Joon. 179. Ülesseadebaas ei ühti mõõtebaasiga

ülesseade kõrgus töölaua või rakise tugipinnast, mis nõuab täiendavaid arvutusi, et vältida ülesseadmisel võimalikke vigu toorikute partiilisele töötlemisele seadistatud pingiga.

## Ülesseadevead

Töötlemisvigadele, mida käsitlesime XII peatükis § 37, lisanduvad ülesseadevead.

*Ülesseadeveaks* nimetatakse ebatäpsust, mis tekib detaili mõõtmes mõõtebaasi asendi kõikumise tulemusena ta ülesseadmisel ülesseadebaasi järgi.

Kui antud partii toorikuid seatakse üles mõõtebaasi järgi (vt. joon. 178), on ülesseadeviga võrdne nulliga. Kuid real juhtudel ei ole rakis, mis on arvestatud detaili mõõtebaasi järgi ülesseadmiseks, ekspluateerimisel mugav. Siis on otstarbekam kasutada ülesseadmist ülesseadebaasi järgi, kuid tingimusel, et seejuures tekkiv ülesseadeviga oleks väiksem mõõtebaasi ja töödeldavat pinda siduva mõõtme tolerantsist.

Joonisel 179 vaatlesime juhust, kui toorikut töödeldakse freesi fikseeritud asendiga ülesseadebaasi *1* suhtes kaugusel *x*. Ülesseadebaas *1* ei ole mõõtme kaudu seotud töödeldava pinnaga *2*. Eelmise operatsiooniga, kui töödeldi mõõtebaas *3*, tagati mõõtebaasi *3* ja ülesseadebaasi *1* siduv mõõde (joon. 179) piirides $50 \pm 0{,}14$ mm. See tähendab, et osal detailidel partiist oli piirmõõt 50,14 mm, osal 49,86 mm. Kuna rakise ülesseadepind *1* ja frees on teineteise suhtes kindlas asendis, siis toorikute ülesseadmisel nende mõõtebaasi *3* asend freesi suhtes kõigub sama tolerantsi 0,28 mm piirides, mis antud juhul on ka ülesseadevea suuruseks.

Kui eeldada, et teisi vigu ei esine, võiks anda mõõtmele 20 mm tolerantsi $\delta_{20} = 0{,}28$ mm.*

* Tehnilises kirjanduses on vea tähistamiseks võetud kasutusele kreeka täht $\Delta$, tolerantsi tähistamiseks — kreeka täht $\delta$. Antud juhul $\delta_{20}$ tähendab tolerantsi mõõtmele 20 mm.

Kuid me teame, et alati esinevad töötlemisvead. Mõõtmele 20 mm on antud tolerants $0{,}15 + 0{,}15 = 0{,}3$ mm, järelikult töötlemisvigade summa ei tohi ületada $0{,}3 - 0{,}28 = 0{,}02$ mm, mis tähendab seda, et mõõde $x = (50 - 20)$ · mm tuleb tagada tolerantsiga 0,02 mm. On tõenäoline, et sellisest tolerantsist ei ole võimalik kinni pidada.

Olukorra lahendamiseks on kaks teed:

1) loobuda ülesseadmisest ülesseadebaasi *1* järgi ja projekteerida uus rakis, võttes ülesseadebaasiks mõõtebaasi;

2) kui see on kasulik ja paratamatu, seada detail üles küll ülesseadebaasist *1*, kuid samaaegselt üle vaadata mõõtmete tolerantsid sellise arvestusega, et saaks suurendatud mõõtme 30 mm tolerantsi ($\delta_{30}$), arvestades reaalseid töötlemisvigu.

Tolerantsi $\delta_{30}$ suurendamiseks tuleb kas suurendada tolerantsi $\delta_{20}$ või vähendada tolerantsi $\delta_{50}$. Kuid joonisel antud mõõdet ei tohi ilma konstruktoriga kooskõlastamata muuta; järelikult on ainsaks võimaluseks vähendada mõõtme 50 tolerantsi ($\delta_{50}$). Kui näiteks $\delta_{50} = 0{,}28$ asendada tolerantsiga $\delta_{50} = 0{,}2$, siis sel juhul saame, et $\delta_{30} = 0{,}1$ mm, s. t. $\delta_{20} = \delta_{50} + \delta_{30} = 0{,}2 + 0{,}1 = 0{,}3$ mm, mis vastab joonisele. Seega mõõt $x = 30 \pm 0{,}05$ mm.

Sel juhul, kui ülesseadebaas ei ühti mõõtebaasiga, tuleb mõõtmete tolerantsid ümber jaotada. Seepärast taotletaksegi alati ülesseadebaasi ühtimist mõõtebaasiga.

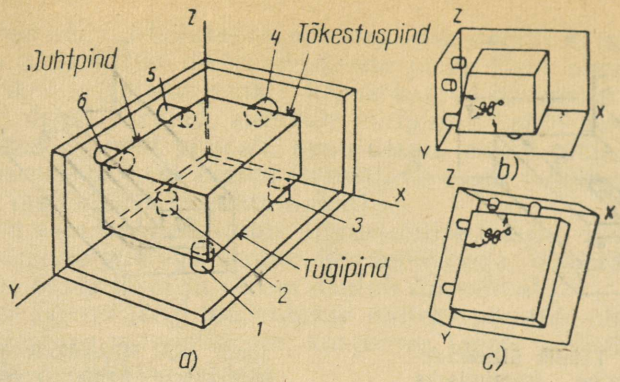
Vaatleme nüüd toorikute rakistes ülesseadmise põhimeetodeid.

## § 42. NÄITEID TOORIKUTE ÜLESSEADMISEST

### Prismaatilise tooriku ülesseadmine tasapindade järgi

Joonisel 180, *a* on kujutatud prismaatilise tooriku ülesseadmise skeem, mis tagab tooriku kindlaksmääratud asendi ruumis, järelikult ka freesi suhtes. Alumise baaspinnaga, mida nimetatakse *tugipinnaks*, toetatakse toorik kolmele kolmnurgakujuliselt asetatud tugitihvtile *1*, *2* ja *3*. Praktikast on teada, et mingi tooriku ülesseadmiseks tasapinna järgi on vaja kolm tugipunkti. Kahest tugipunktist on vähe, sest toorik võib pöörduda neid punkte läbiva telje ümber, neljas punkt on aga üleliigne.

Kolm punkti ei lase toorikut nihkuda vertikaalsuunas (piki *Z*-telge) ja pöörduda ümber horisontaaltelgede (*X* ja *Y*). Matemaatiliselt öeldes — toorikul puudub kolm vabadusastet. Et takistada tooriku nihkumist horisontaalsuunas (piki *X*-telge) ja pöördumist ümber vertikaaltelje (*Z*), toetatakse tooriku vertikaalne baaspind, mida nimetatakse *juhtpinnaks*, kahele tihvtile *5* ja *6*. Seega kaotasime veel tooriku kaks vabadusastet. Toorikul jääb veel võimalus




Joon. 180. Prismaatilise tooriku ülesseadeskeem

nihkuda piki horisontaaltelge *Y*. Seda tooriku nihkumist takistab tihvt *4*, mille vastu toorik surutakse teise vertikaalse baaspinnaga, mida nimetatakse *tõkestuspinnaks.**

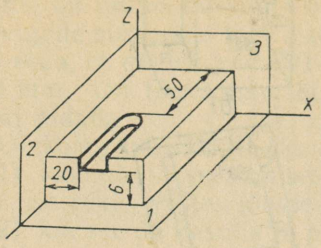
Kaotanud tooriku kõik 6 vabadusastet, saame tooriku täielikult määratud asendi ruumis.

Selgitame, miks juhtpinda tuleb toetada kahe, aga tõkestuspinda ühe tihvtiga. Kui toetaks juhtpinna ühele tihvtile, võiks toorik pöörduda ümber vertikaaltelje *Z*, järelikult ühest tihvtist ei piisa. Kolmas tihvt on üleliigne, kuna ta ei suurenda ülesseade määratust, vastupidi, kui juhtpind ei ole tugipinnaga risti (mis esineb tihti mustade toorikute juures), võib juhtuda, et juhtpind toetub ainult ühele kolmest tihvtist, mis on lubamatu, sest toorik võiks sel juhul pöörduda ümber selle tihvti (joon. 180, *b*). Tõkestuspinda (joon. 180, *c*) on küllaldane toetada ühe tihvtiga, sest juhul, kui tõkestuspind ei ole risti juhtpinnaga, siis tõkestuspind ei toetu teisele tihvtile. On selge, et kui toorik seatakse rakises üles töödeldud pindadega, võib tugipunktid asendada tugipindadega. Vastavalt sellele reeglile võib rakistes üles seada peale prismaatiliste toorikute liiste, plaate, kronsteine ja korpustüüpi detaile.

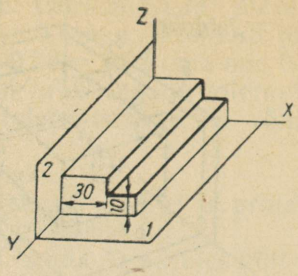
### Täielik ja mittetäielik ülesseadeskeem

Kui ülesseadmisel, nagu näidatud joonisel 180, on kaotatud tooriku kõik kuus vabadusastet, nimetatakse ülesseadmist *täielikuks*. Täielikku ülesseadeskeemi kasutatakse siis, kui töödeldava

* Tavaliselt valitakse juhtpinnaks pikem vertikaalpind, millega suureneb ülesseade kindlus. Tõkestuspind võib olla väga kitsas.




Joon. 181. Täielik ülesseadeskeem soone freesimiseks plaati



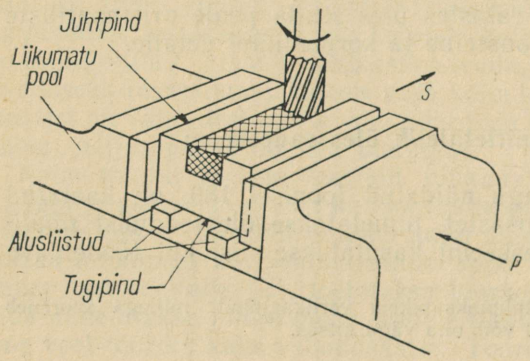

Joon. 182. Mittetäielik ülesseadeskeem astme freesimiseks prismaatilisse detaili

pinna asend joonisel on kindlaks määratud kolme mõõtmega (või õigemini kolme koordinaadiga *X*, *Y*, *Z*). Sel juhul seatakse toorik üles kolme pinna järgi: juht-, tugi- ja tõkestuspinna järgi.

Joonisel 181 kujutatud soone asend on määratud kolme mõõtmega: 20 mm *X*-telje suunas, 50 mm *Y*-telje suunas ja 6 mm *Z*-telje suunas. Et saada seadistatud pingis need mõõtmed automaatselt, tuleb tagada kinnitusrakises täielik ülesseadmine kolme pinna — tugipinna *1*, juhtpinna *2* ja tõkestuspinna *3* suhtes.

Kui töödeldav pind on pingi tooriku pinnaga seotud kahe või ühe mõõtmega, tuleb ta üles seada kahe või ühe pinna abil. Sellist ülesseadet nimetatakse *mittetäielikuks*.

Joonisel 182 kujutatud tooriku astme asend on määratud kahe mõõtmega: 30 mm *X*-telje suunas ja 10 mm *Z*-telje suunas. Seadistatud pingiga töötlemisel ei oma ülesseadmise ebatäpsus piki *Y*-telge mingit tähtsust, seepärast on siin tooriku asendi määramiseks piisavad kaks baaspinda: *1* (tugipind) ja *2* (juhtpind).




Joon. 183. Prismaatilise detaili kinnitamine kruustangidesse

Joonisel 183 on kujutatud prismaatilise detaili kinnitus kruustangides mittetäieliku ülesseadeskeemi järgi. Kaks alusliistu asendavad kolme tugipinna punkti, kruustangide liikumatu pool, mille vastu on detail surutud, asendab juhtpinna kahte punkti. Kuues punkt tõkestuspinnal puudub, kuna detaili asend pikisuunas töötlemistäpsusele mõju ei avalda (freesitava soone mõõtmed on antud joonisel tugipinnast ja juhtpinnast).

Kui on vaja freesida ainult prismaatilise tooriku ülemist pinda, mis on alumise pinnaga seotud ühe mõõtmega, võib toorikut üles seada ühe pinna järgi ja skeem osutub *lihtsaimaks*.

Sellise skeemi järgi töödeldakse näiteks plaatide ülemised pinnad ülesseatuna magnetlauale, kusjuures toorik võib töölaua ulatuses olla juhuslikus asendis.

## Toorikute ülesseadmine töödeldud pinna ja ava järgi

Selliste toorikute, nagu kepsude, silindriplokkide, plaatide ja nurgikute asendi fikseerimisel kasutatakse juht-, tugi- ja tõkestuspindade järgi ülesseadmise (vt. joon. 180) asemel tihti pinna ja kahe sellega risti oleva ava (joon. 184) või pinna ja sellega paralleelse ava järgi (joon. 185) ülesseadmist. Need on tavaliselt puhtad baasid, mis on ette valmistatud eelmiste operatsioonidega.

Toorikute ülesseadmisel töödeldud pinna ja avade järgi kasutatakse seadesõrmi. Juhul, kui pinna ja kahe sellega ristioleva ava järgi ülesseadmisel kasutatakse kahte seadesõrme, võetakse üks seadesõrmedest silindriline, teine aga avade tsentreid ühendava joonega ristsuunas mahalõigatud külgedega. Toorikute ülesseadmisel pinna ja sellega paralleelse ava järgi (joon. 185) valmistatakse seadesõrmed samuti mahalõigatud külgedega.

Kasutades kahest seadesõrmest ühte mahalõigatud külgedega, tekib tooriku avas tsentreid ühendava joone suunas täiendav lõtk, mis on vajalik selleks, et kompenseerida töödeldava tooriku kahe ava tsentrite vahelise mõõtme lubatavad hälbed.

Suurendatud lõtku suurust detailide avade tsentreid ühendava joone suunas seadesõrme külgede mahalõikamise tulemusena võib määrata joonisel 186 toodud skeemi abil.

Tähistame:

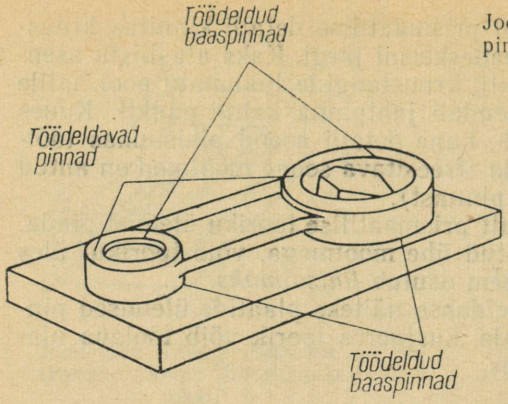
$s_m$ — minimaalne lõtk tooriku avade ja seadesõrme mahalõikamata osa vahel mm;

$x$ — suurendatud lõtk seadesõrme mahalõigatud külgede tõttu tsentreid ühendava joone suunas mm;

$b$ — mahalõigatud külgedega seadesõrme silindrilise osa laius seadesõrmede tsentreid ühendava joone suunas mm;

$d$ — seadesõrme läbimõõt mm.

Kolmnurki $OAB$ ja $ACE$ võib vaadelda teatud ligikaudsusega




Joon. 184. Tooriku ülesseadmine pinna ja kahe sellega ristioleva ava järgi

sarnaste täisnurksete kolmnurkadena, kuna neil on üks võrdne teravnurk ($\angle AOB = \angle CAE$).

Kolmnurkade sarnasuse põhjal võib kirjutada järgmise võrduse:

$$\frac{CE}{AB} = \frac{AC}{AO}$$

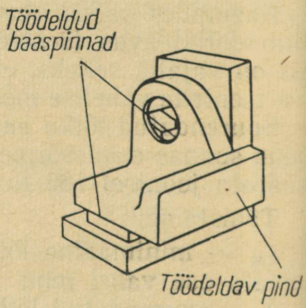
või

$$\frac{s_m}{2} : \frac{b}{2} = \frac{x}{2} : \frac{d}{2},$$

kust

$$x = s_m \cdot \frac{d}{b}.$$

Joon. 185. Tooriku ülesseadmine pinna ja sellega paralleelse ava järgi




Järelikult, mida kitsam on seadesõrme silindriline osa, mis jääb järele pärast külgede mahalõikamist, seda suurem on lõtk $x$ mõõtme $L$ suunas. Samal ajal aga põhjustab silindrilise osa laiuse üleliigne vähendamine seadesõrme kiiret kulumist, seepärast on laius $b$ normitud.

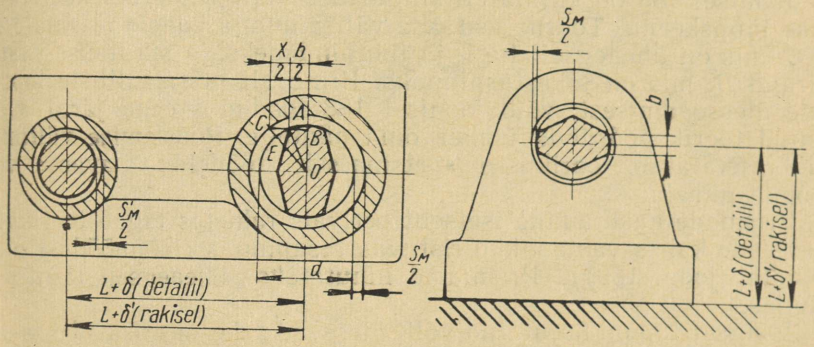
Lõplikud võrrandid, mida kasutatakse arvestusteks ülesseadmisel seadesõrmedele, on järgmised:

ülesseadmisel pinna ja kahe ava järgi (joon. 184):

$$\delta + \delta' \leqslant x + s^1{}_m = s_m \frac{d}{b} + s_m';$$

ülesseadmisel pinna ja ühe ava järgi (joon. 185):

$$\delta + \delta' \leqslant x = s_m \cdot \frac{d}{b},$$



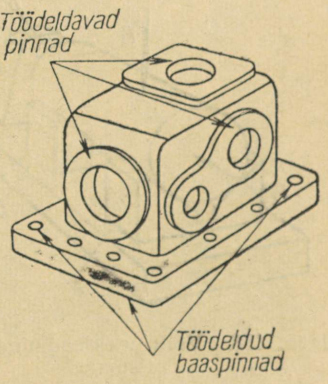

Joon. 186. Lõtkude määramine mahalõigatud külgedega seadesõrme järgi ülesseadmisel

kus $\delta$ — tooriku avade tsentrite vahelise kauguse $L$ või tooriku pinna ja ava tsentri vahelise kauguse tolerants;

$\delta'$ — rakise seadesõrmede telgede vahelise kauguse $L$ või tugipinna ja seadesõrme tsentri vahelise kauguse tolerants (tavaliselt $\delta' = 0{,}01 - 0{,}02$ mm);

$s_m'$ — silindrilise seadesõrme minimaalne lõtk teises avas.

Ühe tugipinna ja kahe seadesõrme järgi ülesseadmisel võivad esineda vead tooriku mitteparalleelsuse tõttu seadesõrmede tsentreid ühendava joone suhtes, mille põhjustab ühendeis olev lõtk. Lõtkud on tingitud detaili avade mõõtmete erinevusest tolerantsi piirides. Sellepärast korpustüüpi detailide (joon. 187) töötlemisel koostamiseks ettenähtud puuritud avadest kaks ava hõõritsetakse 2 või 3-nda täpsusklassi järgi ülesseadebaasideks.




Joon. 187. Korpustüüpi detaili ülesseadebaaside ettevalmistus

## Toorikute ülesseadmine silindriliste pindade järgi

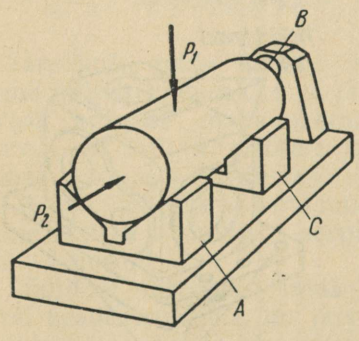
Toorikute ülesseadmiseks silindriliste pindade järgi kasutatakse p r i s m a s i d. Prismad valmistatakse peamiselt 90° nurgaga, eriotstarbeks ka 60° ja 120° nurgaga. Prismadel ülesseadmisel tooriku silindrilise pinna telg, olenemata ta läbimõõdu hälbe suurusest, seatakse üles prisma sümmeetriatasapinda.

Joonisel 188 on kujutatud silindrilise kujuga tooriku ülesseadmise tüüpskeem. Toorik seatakse välispinnaga kahele prismale *A* ja *C*, mis on üheaegselt tugi- ja juhtpindadeks, ja surutakse vastu piirajat *B*, mis on tõkestuspinnaks. Erinevalt prismaatiliste toorikute ülesseadmisest, võib joonisel 188 toodud skeemi järgi üles seatud toorik pöörduda ümber oma pikitelje. Pöörlemise vältimiseks asetatakse toorikusse spetsiaalselt töödeldud avasse või soonde piiraja.

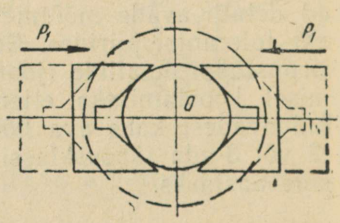
Prismade kasutamine isetsentreerivais rakistes tagab toorikute ülesseade kahes vastastikku ristuvas tasapinnas (läbimõõdust olenemata (joon. 189)). Prismasid nihutatakse üheaegselt tsentri *0* suunas.

Joonisel 190 on kujutatud võlli ülesseade skeem prismadel tasapinnalise osa freesimisel, kusjuures joonisel 190, *a* on mõõtebaasiks võlli ülemine moodustaja, mis töödeldava pinnaga on seotud mõõtme $h_1$ kaudu, joonisel 190, *b* on mõõtebaasiks alumine moodustaja (mõõde $h_2$) ja joonisel 190, *c* on mõõtebaasiks võlli telg (mõõde *h*). Kuna kõigil kolmel juhul võllid seatakse üles ülesseadebaasi järgi, on ülesseadeviga vältimatu. Ülesseadeviga, s. t. mõõtmete $h_1$, $h_2$ ja *h* kõikumine oleneb võlli läbimõõdu tolerantsist $\delta_D$ ja prisma nurgast $\alpha$.

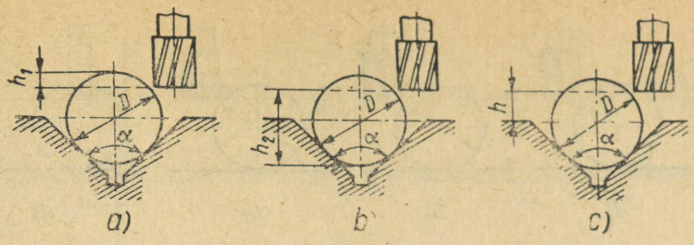
Ülesseadevea selgitamiseks kujutame ette, et prismale on asetatud kaks võlli, kusjuures ühe võlli läbimõõduks on suurim piir-



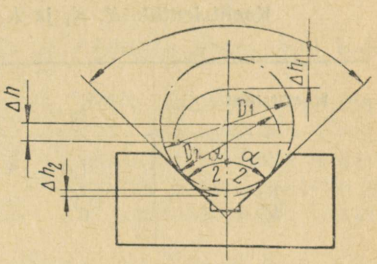

Joon. 188. Võlli ülesseadmine kahele prismale




Joon. 189. Võlli ülesseadmine isetsentreerivas padrunis




Joon. 190. Võlli ülesseadmine prismadel tasapinnalise osa freesimisel, kui mõõtebaasiks on:
*a* — võlli ülemine moodustaja; *b* — võlli alumine moodustaja; *c* — võlli telg




Joon. 191. Ülesseadevea arvutamise skeem võlli ülesseadmisel prismale

mõõde $D_1$ ja teise läbimõõduks väihim piirmõõde $D_2$ (joon. 191). Määrame järgmised suurused: $\Delta h_1$ — võllide ülemiste moodustajate vaheline kaugus; $\Delta h_2$ — võllide alumiste moodustajate vaheline kaugus; $\Delta h$ — võllide tsentrite vaheline kaugus.

Need kaugused ongi ülesseade vead, mis tekivad võlli ülesseadmisel joonisel 190 toodud skeemi järgi.

$$\Delta h_1 = \frac{(D_1 - D_2)\left(1 + \sin\frac{\alpha}{2}\right)}{2\sin\frac{\alpha}{2}} = \frac{\delta_D\left(1 + \sin\frac{\alpha}{2}\right)}{2\sin\frac{\alpha}{2}} = K_1\delta_D;$$

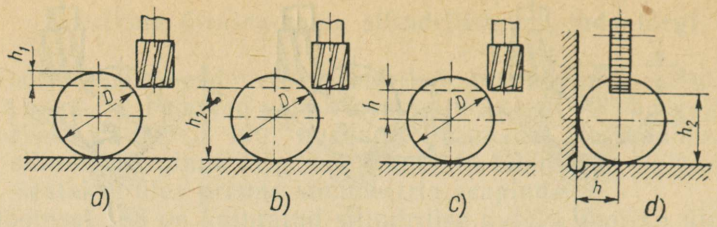
$$\Delta h_2 = \frac{\delta_D\left(1 - \sin\frac{\alpha}{2}\right)}{2\sin\frac{\alpha}{2}} = K_2\delta_D; \quad \Delta h = \frac{\delta_D}{2\sin\frac{\alpha}{2}} = K\delta_D.$$

Koefitsientide $K$, $K_1$ ja $K_2$ arvulised väärtused erinevate prisma nurkade $\alpha$ juures on toodud tabelis 13.

Kui prisma nurk (nagu see tihti esineb) võtta 90°, siis ülesseadeviga joonisel 190 toodud skeemide järgi on:

$$\Delta h_1 = 1{,}21\,\delta_D; \quad \Delta h_2 = 0{,}2\,\delta_D; \quad \Delta h = 0{,}7\,\delta_D.$$

Kui võll üles seada tasapinnale ($\alpha = 180°$), esineb analoogiliselt joonisega 190 kolm skeemi. Need skeemid on toodud joonisel




Joon. 192. Võlli ülesseadmine tasapinnal, kui mõõtebaasiks on: *a* — võlli ülemine moodustaja; *b* — võlli alumine moodustaja; *c* — võlli telg; *d* — võlli alumine ja külgmine moodustaja

Tabel 13

**Koefitsientide $K$, $K_1$ ja $K_2$ väärtusi erinevate prisma nurkade $\alpha$ juures**

| Koefitsient | Prisma nurk $\alpha°$ | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 60 | 90 | 120 | 180 |
| $K$ | 1,0 | 0,7 | 0,58 | 0,5 |
| $K_1$ | 1,5 | 1,21 | 1,07 | 1,0 |
| $K_2$ | 0,5 | 0,2 | 0,08 | 0,0 |

192, *a*, *b*, *c*. Ülesseadeviga joonisel 192 toodud skeemi järgi on: $\Delta h_1 = \delta_D$; $\Delta h_2 = 0$ (siin ülesseadebaas ühtib mõõtebaasiga); $\Delta h = 0{,}5\,\delta_D$.

Joonisel 192, *d* on toodud skeem, mille juures tagatakse mõõde $h_2$ ja soone sümmeetriline asetus võlli telje suhtes; viimane oleneb mõõtme $h$ muutumisest. Analoogiliselt skeemidega joonisel 192, *b* ja 192, *c* on ülesseadeviga: $\Delta h_2 = 0$ ja $\Delta h = 0{,}5\,\delta_D$.

### Kontrollküsimusi

1. Mida nimetatakse ülesseadebaasiks?
2. Näidake joonisel 137 erinevad ülesseadebaasid võlli kinnitamisel kruustangidesse. Mis puudub selle kinnituse juures, et kaotada kõik kuus vabadusastet?
3. Mida nimetatakse ülesseadeveaks? Avaldage ülesseadeviga mõõtmele 31 mm, kui võll on kinnitatud joonise 137, *b* kohaselt ja kui prisma nurk $\alpha = 90°$? (Kasutage tabelit 13.)
4. Mispärast ülesseadeviga võrdub nulliga, kui ülesseadebaas ja mõõtebaas ühtivad?
5. Mispärast joonisel 185 kujutatud ülesseadel kasutatakse ühte silindrilist ja ühte mahalõigatud külgedega seadesõrme?
6. Mispärast joonisel 130 toodud plaadi kinnituse juures ei kasutata ta otspinda tõkestuspinnana? Kas võib sellist toorikute ülesseadmist soovitada plaatide seeriaviisilisel valmistamisel?
7. Nimetage ülesseadebaasid toorikute kinnitamisel faaside freesimiseks joonise 107, *a* ja *b* kohaselt.
8. Millist tüüpi konsoolfreespingil võib freesida ühe ülesseadega joonisel 187 toodud tooriku kõik kolm pinda?

NELJAS OSA

# FREESIMISTÖÖD JAGAMISPEA KASUTAMISEGA

XIV PEATÜKK

## JAGAMISPEAD

Jagamispea põhiliseks ülesandeks on temasse kinnitatud tooriku pööramine vajaliku nurga võrra.

Kõige lihtsamateks freesimistöödeks, mida tehakse jagamispeade abil, on soonte freesimine pöördkehade välispinnale (freeside, hõõritsate, avardite ja puuride hambavahed), tahkude freesimine detailidele (mutrid, poldipead, lõikeriistade sabad), soonte ja pilude freesimine detailide otspindadesse (hammassidurid, kroonmutrid).

Neid operatsioone täidetakse tavaliselt ühe ülesseadega, kuid mitme positsiooniga, kusjuures positsioonide arv vastab pööramiste arvule, mis on vajalikud tooriku täielikuks töötlemiseks.

Jagamispead liigitatakse *lihtsateks* ja *universaalseteks*. Jagamispead valmistatakse tavaliselt *ühespindlilistena*, harvemini *kahe-* või *kolmespindlilistena* kahe või kolme tooriku üheaegseks töötlemiseks.

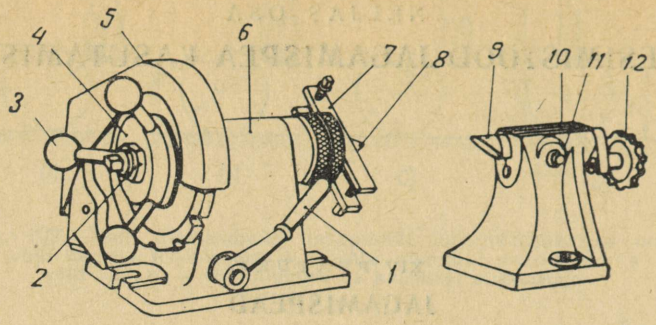
Universaaljagamispäid valmistatakse kahte tüüpi: limbiga (jaotuskettaga) ja ilma limbita (jaotuskettata). Nõukogude Liidus valmistatakse jagamispead limbiga.

Eriti täpseks jagamiseks ja jagamise täpsuse kontrollimiseks kasutatakse *optilisi jagamispäid*.

### § 43. LIHTJAGAMISPEAD

#### Jagamispea tooriku jagamiseks 12 osaks

Jagamispea keres *6* (joon. 193) pöörleva spindli parempoolsele otsale on kinnitatud kaasaveopadrun *7*. Jagamispea spindlisse on paigutatud tsenter *8*. Spindli vasakpoolsele otsale on kinnitatud jaotusketas *4*, mille servas on kaksteist väljalõiget. Spindli lõtku kõrvaldamiseks kere *6* laagrites võib spindlit aeg-ajalt reguleerida mutri *2* abil. Spindlit pööratakse käepideme *3* abil. Spindli




Joon. 193. Lihtjagamispea tooriku jagamiseks 12 osaks

pööre fikseeritakse kettaga *4*, ketas seatakse soovitavasse asendisse hoova *1* abil, mille vasakpoolsel otsal olev nukk paigutub tihedalt jaotusketta *4* väljalõikesse. Kaitseks mustuse ja laastude eest on jagamispea kaetud kattega *5*.

On ilmne, et antud jagamispea võimaldab jagada piiratud arvuks osadeks ja nimelt 12, 6, 4, 3 ja 2 osaks. Spindlit pööratakse jaotusketta *4* pööramisega käepideme *3* abil ilma vahemehhanismita.

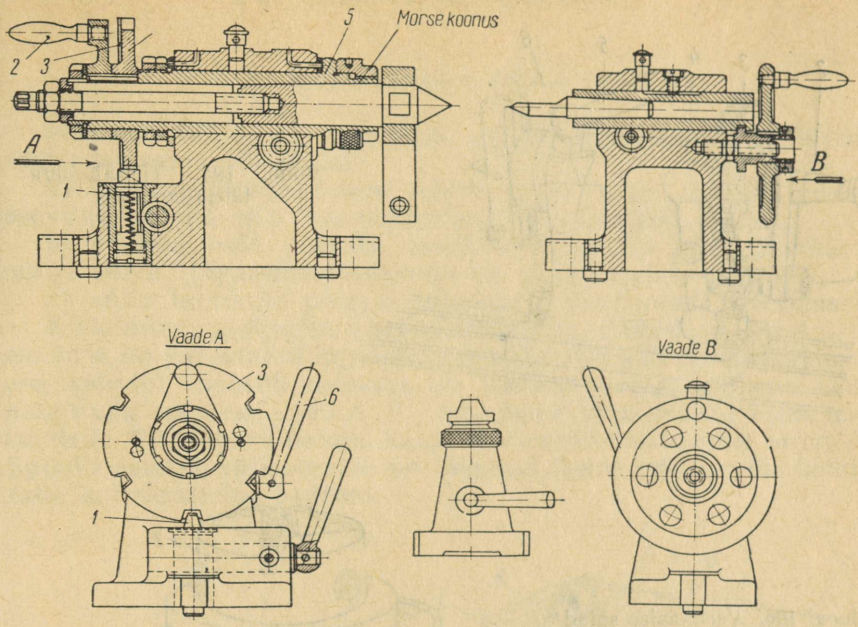
Tagumine tsenterpukk *10*, mille ülesandeks on tooriku teise otsa toetamine, on varustatud tsentriga *9*, mis on nihutatav pikisuunas käsiratta *12* abil ja kinnitatav soovitavasse asendisse kruviga *11*.

## Vahetatavate jaotusketastega jagamispea tooriku jagamiseks 24, 30 ja rohkemaks osaks

Joonisel 194 kujutatud jagamispeaga on võimalik suuremaks arvuks osadeks jagamine kui joonisel 193 kujutatud jagamispeaga. Jagamine teostatakse spindlile *5* kinnitatud jaotusketta abil. Jaotusketast pööratakse käepidemega *2* ja seatakse soovitavasse asendisse fiksaatori *1* abil. Vigade vältimiseks jagamisel asetatakse jaotuskettale, mille servas on suur hulk väljalõikeid (erinevate jaotuste arvu saamiseks), õhukesest plekist valmistatud vahetatav ketas *3*, mille väljalõigete arv vastab vajalikule jaotuste arvule.

Pärast pööramist soovitava nurga võrra stoperdatakse jagamispea spindel käepideme *6* abil.

Selle jagamispea jaotusketta servas on kakskümmend neli väljalõiget, võimaldades jagada 2, 3, 4, 6, 8, 12 ja 24 osaks. Vajaduse korral võib antud jaotusketta asendada jaotuskettaga, millel on meelevaldne arv väljalõikeid. Tänu sellele võib jagada meelevaldseks arvuks osadeks.




Joon. 194. Lihtjagamispea tooriku jagamiseks 24 osaks

## Tiguajamiga lihtjagamispead

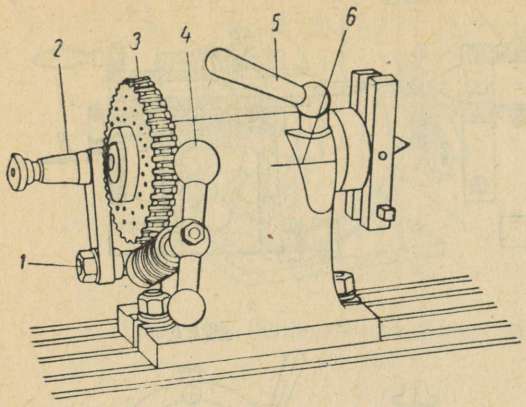
Joonisel 195 on kujutatud jagamispea, mille spindlit pööratakse tiguajami abil.

Jagamispea spindlile kinnitatud tiguratas *3* on ühtlasi ka jaotuskettaks: ta otspinnal on kolm rida auke (16, 42 ja 60). Spindlit pööratakse käepidemega *4*, mis asub tigurattaga *3* hambuva teoga ühel võllil.

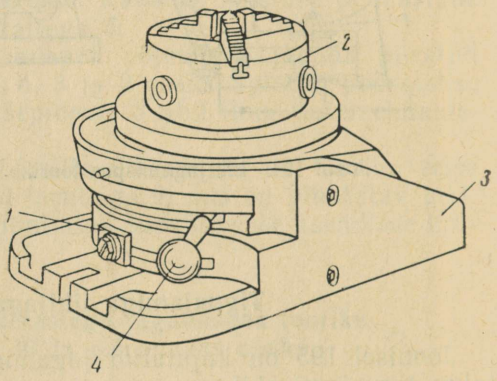
Tänu tiguajamile on spindli pöörlemine sujuvam, mis kergendab jaotusketta seadmist vajaliku auguga täpselt tihvti *2* vastu. Tihvt *2* on kinnitatud hoova ühele otsale, hoova teine ots asub poldil *1* ja on kinnitatud mutriga. Lõdvendades mutrit, võib hooba koos tihvtiga asetada selliselt, et viimane asuks täpselt vajaliku aukude ringi vastas. Jagamispea spindel stoperdatakse vajalikku asendisse käepideme *5* abil, kusjuures selleks on jagamispea kerel sisselõige *6*.

Selline jagamispea võimaldab jagada 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10, 12, 14, 15, 16, 20, 21, 30, 42 ja 60 osaks.

Joonistel 193—195 kujutatud jagamispeadega jagamine toimub




Joon. 195. Tiguajamiga lihtjagamispea




Joon. 196. Vertikaalse spindliga lihtjagamispea:
*1* — reguleeritav tõkesti; *2* — kolmepakiline padrun; *3* — jagamispea kere; *4* — fiksaator

jaotusketta vahetu pööramisega ilma vahemehhanismita. Sellist jagamismeetodit nimetatakse *vahetuks jagamiseks.*

Lihtjagamispäid vahetuks jagamiseks kasutatakse laialdaselt kruvipeade külgtahkude freesimisel, lõhede freesimisel mutritesse, keermepuuride, hõõritsate, freeside soonte, käsikeermepuuride ja käsihõõritsate nelikantotste freesimisel ning teiste tahkudega, väljalõigetega, lõhedega ja soontega lihtsate detailide valmistamisel.

Joonisel 196 on kujutatud vertikaalse spindliga lihtjagamispea.

Lihtjagamispead on ette nähtud väikese arvu jaotuste tegemiseks, kuid tootmises on tihti vaja jagamist laiemas ulatuses. Sel juhul kasutatakse lihtjagamispeade asemel universaaljagamispäid.

## Universaaljagamispea lühike kirjeldus

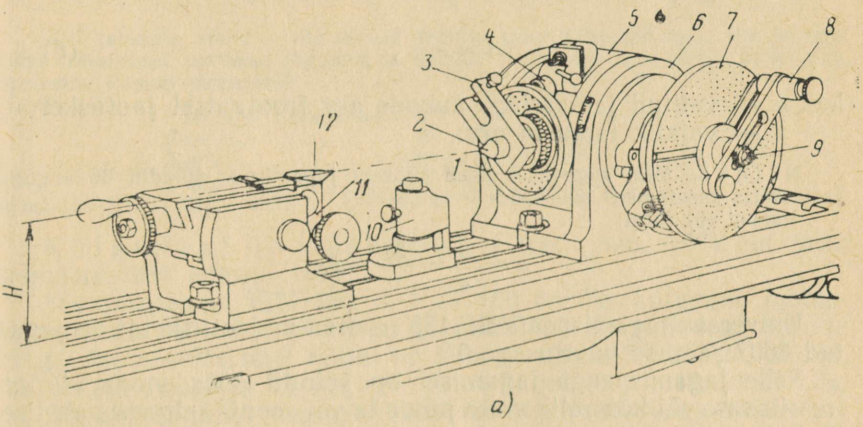
Joonisel 197, *a* on kujutatud universaaljagamispea. Universaaljagamispea võimaldab:

a) üles seada töödeldava tooriku telge pingi töölaua suhtes soovitava nurga alla (horisontaalselt, vertikaalselt, kaldu);

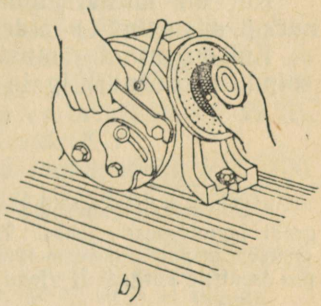
b) perioodiliselt pöörata toorikut ümber ta telje soovitava nurga võrra (jagamine võrdseteks või ebavõrdseteks osadeks);

c) anda toorikule pidevat pöörlemist kruvisoonte freesimisel.

Kõik universaaljagamispead, olenemata tüübist ja konstruktsioonist, on varustatud tiguajamiga, mille abil pööratakse jagamispea spindlit. Spindli esiotsas on kooniline pesa, millesse võib paigutada esimese tsentri *2*. Sel juhul kinnitatakse esimesele tsentrile töödeldava detaili kaasahaaramiseks kaasaveopadrun *3*. Spindli esiotsa välispinnale on lõigatud keere, millele võib kinnitada kolmepakilise padruni.




a)



b)

Joon. 197. Universaaljagamispea:
*1* — frontaalne jaotusketas; *2* — esimene tsenter; *3* — kaasaveopadrun; *4* — fiksaator; *5* — pööratav pakk; *6* — jagamispea kere; *7* — külgmine jaotusketas; *8* — jagamispea käepide; *9* — mutter käepideme kinnitamiseks; *10* — tugikruvi; *11* — tagumise tsentri pakk; *12* — tagumine tsenter

Jagamispea pakku *5* võib koos spindliga pöörata pakul oleva skaala järgi kere *6* suhtes meelevaldse nurga võrra allapoole piirides 0 kuni 10° ja ülespoole piirides 0 kuni 100° ning kinnitada valitud asendisse. Joonisel 197, *b* on näidatud, kuidas vabastatakse pööratava paku polte, mis asuvad jagamispea paremal küljel.

Jagamispea spindli pöördenurga arvestamiseks, s. t. jagamiseks, on jagamispea varustatud jaotuskettaga.

Frontaalne jaotusketas *1* on kinnitatud jagamispea spindli otsale ja tema pööramisel pöördub spindel sama nurga võrra. Universaaljagamispea frontaalset jaotusketast võib kasutada vahetuks jagamiseks analoogiliselt joonistel 193—196 kujutatud jagamispeadega.

Universaaljagamispea* УДГ-100 frontaalses jaotuskettas on 24 auku ja ta võimaldab jagada 2, 3, 4, 6, 8, 12 ja 24 osaks; universaaljagamispeal УДГ-160 on frontaalne jaotusketas kolme aukude ringiga (24, 30 ja 36 auguga) ja ta võimaldab jagada 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12, 15, 18, 24, 30 ja 36 osaks.

Jagamispea spindli pööramisel vahelejäetavate auguvahede arv valitud jaotusringil (nii nimetame edaspidi lühidalt valitud aukuderingi jaotuskettal) arvutatakse valemiga:

$$n = \frac{a}{z}, \qquad (6)$$

kus $a$ — valitud jaotusringi aukude arv frontaalsel jaotuskettal;
$z$ — vajalik jaotuste arv.

Näide 8. Mitu auguvahet tuleb pöörata jagamispea spindlit 36 auguga jaotusketta kasutamisel kuuskandi freesimiseks?

Valemi (6) järgi:

$$n = \frac{a}{z} = \frac{36}{6} = 6.$$

Universaaljagamispea УДГ-135 frontaalne jaotusketas on jagatud 360° jaotuse väärtusega 1°.

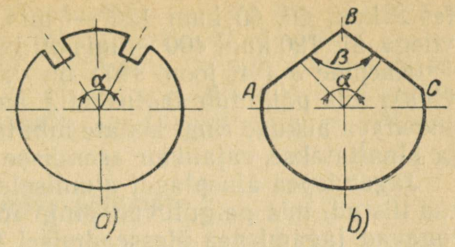
Selle jagamispeaga jagamisel on spindli pöördenurk võrdne freesitavate või kontrollitavate pindade või soonte telgede vahelise kesknurgaga $\alpha$ (joon. 198, *a*).

Kui on antud pindade *AB* ja *BC* (joon. 198, *b*) vaheline nurk $\beta$, siis spindli pöördenurk $\alpha$ määratakse valemiga $\alpha = 180° - \beta$.

Kui on antud jaotuste arv $z$ detaili täispöörde ulatuses, siis spindli pöördenurk igale jaotusele määratakse valemiga:

$$\alpha = \frac{360°}{z}. \qquad (7)$$

* Universaaljagamispäid УДГ-100, УДГ-135 ja УДГ-160 valmistab Leningradi jagamispeade tehas. Tähed УДГ tähendavad — universaaljagamispea (универсальная делительная головка) ja numbrid 100, 135 ja 160 — jagamispea tsentrite kõrgust *H* (joon. 197).




Joon. 198. Jagamine kesknurga järgi (*a*) ja pindade vahelise nurga järgi (*b*)

Spindli igal järgmisel pööramisel tuleb lisada suurus α.

Alates 1958. aastast on universaaljagamispead УДГ-100 ja УДГ-160 varustatud frontaalse jaotuskettaga, mis on jagatud 360° nagu jagamispeal УДГ-135.

Näide 9. Olgu freesida toorikule 4 tahku jagamispeaga УДГ-135. Määrata spindli asend iga tahu freesimisel.

Valemi (7) järgi:

$$\alpha = \frac{360°}{z} = \frac{360°}{4} = 90°.$$

Kui tahkude asend ei ole seotud tooriku mõne teise pinnaga, siis esimese tahu freesimisel seatakse jagamispea spindel frontaalse jaotusketta nullpunkti. Arvestus toimub järgmiselt:

1-se tahu freesimisel 0°;
2-se „ „ 0° + 90° = 90°;
3-nda „ „ 90° + 90° = 180°;
4-nda „ „ 180° + 90° = 270°.

Kontroll: 270° + 90° = 360°.

Külgmisel jaotusketta l 7 (vt. joon. 197) on mitu kontsentrilist aukude ringi.

Jagamispeadel УДГ-135 ja УДГ-160 on üks külgmine jaotusketas, mille mõlemal küljel on 11 mitteläbivate aukudega aukude ringi. Jaotusketta ühel küljel on aukude ringid 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42 ja 43 auguga, teisel küljel 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62 ja 66 auguga. Seda tüüpi jagamispeaga töötamisel on vaja kasutada nii üht kui ka teist jaotusketta külge, selleks tuleb ta võllilt maha võtta ja kinnitada vajalikus asendis.

Jagamispea УДГ-100 komplektis on kaks mitteläbivate aukudega vahetatavat jaotusketast. Esimese jaotusketta ühel küljel on aukude ringid 24, 25, 28, 30, 34 ja 37 auguga, teisel küljel — 38, 39, 41, 42 ja 43 auguga. Teisel jaotuskettal on vastavalt 46, 47, 49, 51, 53 ja 54 auku ning 57, 58, 59, 62 ja 66 auku.*

Jaotuskettad, milledega on varustatud jagamispead УДГ-100, УДГ-135 ja УДГ-160, võimaldavad jagamist kõikideks osadeks ala-

* Alates 1958. aastast on kõik Leningradi tehase poolt toodetavad jagamispead varustatud jaotuskettaga, mille ühel küljel on aukude ringid 16, 17, 19, 21, 23, 29, 30 ja 31 auguga, teisel küljel 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49 ja 54 auguga.

tes 2 kuni 60, 60 kuni 120 — mis on jaguvad ainult kahega ja viiega, üle 120 kuni 400 — mis on jaguvad ainult mõne arvuga.

Käepide *8* (vt. joon. 197) on varustatud lukustustihvtiga (riiviga), mis paigutub jaotusketta auku. Lukustustihvti seadmiseks soovitava aukude ringi kohale nihutatakse käepidet piki väljalõiget ja kinnitatakse vajalikku asendisse mutriga *9*.

Jagamispea alusplaadi alumisele küljele on kruvidega kinnitatud liistud, mis paigutuvad pingi töölaua soontesse. Need liistud tagavad jagamispea ülesseadmisel ta paralleelsuse töölaua soontega ja ristseisu pingi spindliga.

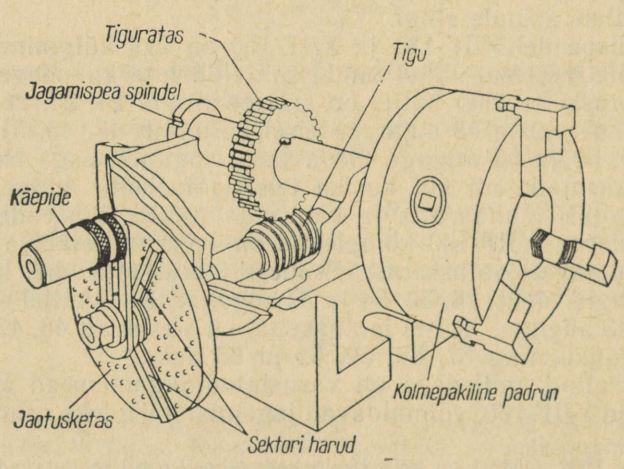
Tagumise tsenterpuki t s e n t e r (vt. joon. 197) on pikisuunas nihutatav tooriku kinnitamiseks tsentrite vahele. Pakk *11*, mis kannab tagumist tsentrit, võimaldab selle nihutusi vertikaalsuunas ja seada teda horisontaalsuunas erinevate nurkade alla.

Tagumise tsenterpuki aluse alumisel küljel on samuti fikseerivad vahetükid (liistud), millede mõõtmed vastavad freespingi töölaua soonte mõõtmetele.

Pikkade ja peente võllide freesimisel kasutatakse nende läbipaindumise vältimiseks tugikruvi *10*.

Külgmise jaotuskettaga jagamise põhimõte selgub jooniselt 199, kus on skemaatiliselt kujutatud universaaljagamispea spindel koos spindlile kinnitatud tigurattaga ja jaotusketta tiguvõll, mis hambub tigurattaga. Käepideme pööramisel ümber liikumatu jaotusketta pööratakse tiguvõlli, mis tiguratta kaudu pöörab jagamispea spindlit.

Kodumaiste universaaljagamispeade tigurattal on 40 hammast



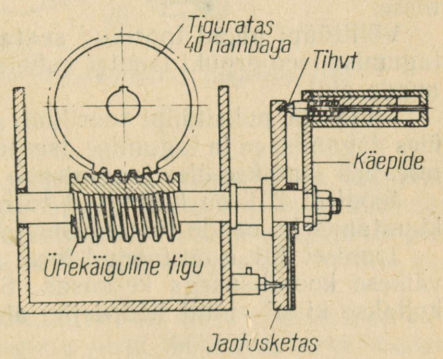

Joon. 199. Lihtjagamise skeem

ja ühekäiguline tigu, seega jagamispea spindli ühe täispöörde tegemiseks tuleb käepidet (tiguvõlli) pöörata 40 täispööret.

Jagamismeetodit, mille puhul lugemine toimub liikumatu jaotusketta järgi, jagamine ise aga käepideme abil, mis on jagamispea spindliga ühenduses tiguajami kaudu, nimetatakse *lihtjagamiseks.*

### Lihtjagamise põhimõte

Käepideme pöörete arvu, mis on vaja teha selleks, et jagamispea spindel pöörduks ühe täispöörde võrra, nimetatakse jagamispea *karakteristikuks.* Jagamispeade УДГ-100, УДГ-135 ja УДГ-160 karakteristik on 40. On olemas jagamispäid, millede karakteristik on 30 või 60. Jagamispea karakteristikut tähistatakse tähega *N.*




Joon. 200. Jagamispea tiguajam

Tiguratta ja temaga ühendatud jagamispea spindli täispöörde tegemiseks (vt. joon. 199 ja 200) tuleb käepidemega teha 40 pööret; poolpöörde, s. t. ringjoone kaheks osaks jagamisel tuleb teha käepidemega 20 pööret; $^1/_4$ pöörde, s. t. ringjoone neljaks osaks jagamisel — 10 pööret jne.

Valemi kujul on see väljendatav nii:

$$n = \frac{N}{z}, \qquad (8a)$$

kus $n$ — käepideme pöörete arv;
$N$ — jagamispea karakteristik;
$z$ — freesitava tooriku jaotuste arv.

Asendades $N$ tavalise jagamispea karakteristikuga 40, saame:

$$n = \frac{40}{z}. \qquad (8b)$$

Valemit (8b) kasutatakse tavaliselt lihtjagamisel jagamispea käepideme pöörete arvu kindlaksmääramisel.

Et kergendada vajaliku aukude arvu lugemist jaotuskettal, on jagamispea varustatud sektoriga (vt. joon. 199), mis koosneb kahest laialilükatavast harust ja kruvist nende kinnitamiseks.

### Jagamispeades freesitavate toorikute kinnitusrakised

Jagamispeade abil freesitavaid toorikuid võib nende konstruktsioonist olenevalt kinnitada ühel alljärgnevatest viisidest:

a) jagamispea esitsentri ja tagumise tsenterpuki tsentri vahele;

b) jagamispea esitsentri ja tagumise tsenterpuki tsentri vahele ülesseatud tornile;

c) jagamispea spindli koonilisse pessa paigutatud tornile;

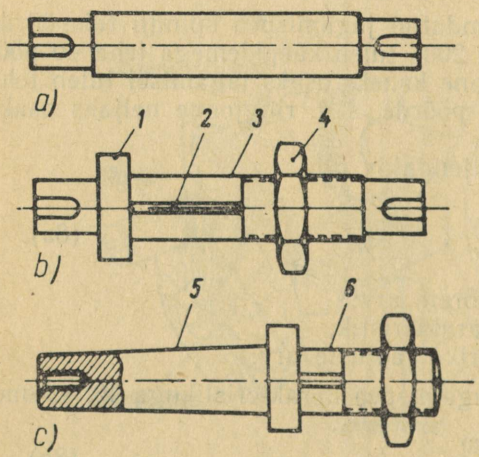
d) jagamispea spindli otsale kinnitatud kolmepakilisse padrunisse.

Võllitüüpi pikad toorikud seatakse üles jagamispea esitsentri ja tagumise tsenterpuki tsentri vahele tooriku otstesse tehtud tsentriavade abil.

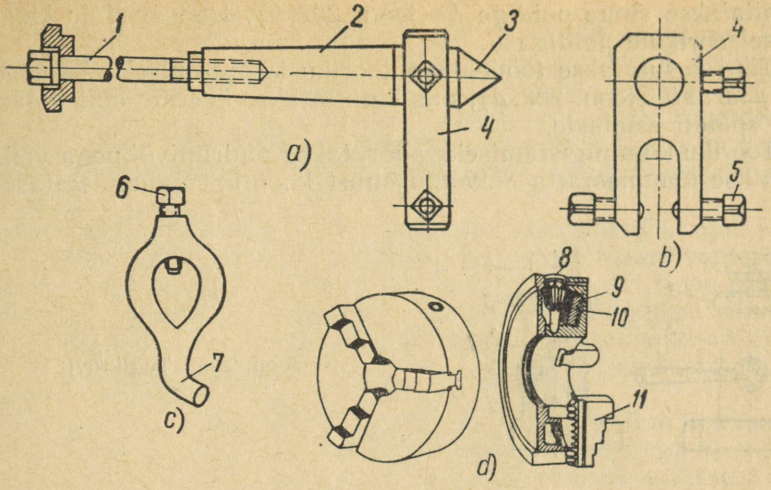
Ketta- ja puksitüüpi toorikud asetatakse tornile, mis seatakse üles jagamispea ja tagumise tsenterpuki tsentrite vahele, või tornile, mis seatakse üles jagamispea spindli koonilisse pessa.

Joonisel 201 on kujutatud tornid, mida kasutatakse toorikute kinnitamiseks nende töötlemisel jagamispeade abil.

Joonisel 201, *a* on toodud torn, mis kujutab endast siledat võlli väikese koonilisusega keskosas. Sellisele tornile asetatud toorik hoitakse kinni ainult hõõrdejõu abil. Torni otstes on tsentriavad,




Joon. 201. Tornid




Joon. 202. Rakised toorikute ülesseadmiseks jagamispeasse

millede abil ta seatakse üles jagamispea esitsentri ja tagumise tsenterpuki tsentri vahele. Torn koos temale asetatud toorikuga tuleb tsentrite vahele üles seada selliselt, et koonuse jämedam pool oleks jagamispea pool, muidu lõikejõud nõrgestab tooriku istu tornil.

Joonisel 201, *b* on toodud torn, millel on äärik *1*, liistusoon *2* ja mutter *4*. Toorik asetatakse liugistu järgi töödeldud torni siledale osale *3* ja kinnitatakse mutriga *4*. Kui freesimisel tekib väga suur lõikejõud, võib tooriku asetada liistule.

Joonisel 201, *c* kujutatud torni kasutatakse toorikute kinnitamiseks ilma tagumist tsentrit kasutamata. Torn asetatakse koonilise sabaga *5* jagamispea spindli koonilisse pessa ja kinnitatakse spetsiaalse pingutuskruviga *1* (joon. 202, *a*). Toorik kinnitatakse torni silindrilisele osale *6* (joon. 201, *c*) nagu joonisel 201, *b* toodud tornile.

Joonisel 202 on kujutatud rakised, mida kasutatakse toorikute jagamispeasse ülesseadmisel.

*Tsenter 3* koos temale kinnitatud *kaasaveopadruniga 4* (joon. 202, *a*) asetatakse koonilise sabaga *2* jagamispea spindli koonilisse pessa. Kaasaveopadrun on eraldi näidatud joonisel 202, *b*.

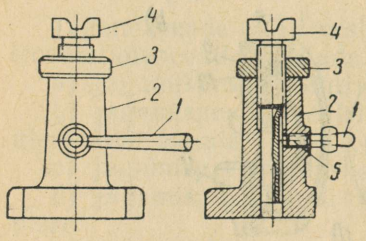
*Pingutuskruvi 1* tsentrile ja koonilisele tornile (joon. 202, *a* ja 201, *c*) asetatakse sisse jagamispea spindli tagumisest otsast ja keeratakse tsentri või torni sabas olevasse keermestatud avasse.

*Kaasavedaja* (joon. 202, *c*) kinnitatakse toorikule või tornile. Ta painutatud ots *7* paigutub kaasaveopadruni väljalõikesse ja

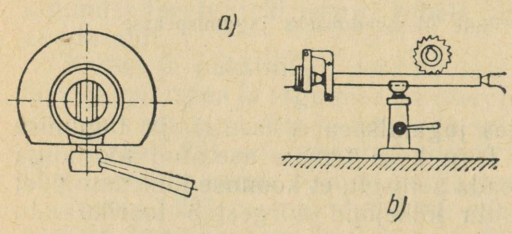
kinnitatakse sinna poldiga *5* (joon. 202, *b*). Kaasavedaja kinnitatakse toorikule poldiga *6*.

Tihti kasutatakse töödeldava tooriku kinnitamiseks *kolmepakilist padrunit* (joon. 202, *d*), mis kinnitatakse keerme abil jagamispea spindli esiotsale.

Tooriku kinnipigistamiseks pööratakse padrunivõtmega väikese koonilise hammasratta *8* kaudu suurt koonilist hammasratast *10*.




Joon. 203. Tugikruvi




Kuna hammasratta *10* tagumisel küljel on spiraalsoon *9*, mida mööda nihutatakse kolme spiraalkeermega varustatud pakki *11*, siis pakid kas nihkuvad padruni tsentri poole või tsentrist eemale, s. t. pigistavad kinni või vabastavad tooriku.

*Tugikruvi* (joon. 203, *a*) koosneb kerest *2*, prismaatilise peaga kruvist *4*, mutrist *3*, mille abil nihutatakse kruvi vertikaalsuunas, ja stoppkruvist *5* koos käepidemega *1*. Stoppkruvi ots ulatub kruvi *4* soonde, takistades kruvi pöörlemist tema seadmisel kõrguse järgi. Joonisel 202, *b* on toodud tugikruvi kasutamise näide.

## Optilised jagamispead

Toorikute täpsete pöördenurkade saamiseks nende töötlemisel ja mitmesuguste nurkdetailide täpsuse kontrollimiseks kasutatakse laialdaselt optilisi jagamispäid.

Joonisel 204, *a* ja *b* on kujutatud Novosibirski Rahvamajanduse Nõukogu tehastes toodetava optilise jagamispea ОДГ-60 üldvaade ja skemaatiline lõige. Laagrites *8* ja *11* pöörlevale jagamispea

spindlile *9* kinnitatud tiguratta *6* külge on jäigalt kinnitatud klaasist ringskaala *5* jaotuse väärtusega 1°. Tiguratas *6* saab pöörleva liikumise teolt *10*, mis on ühendatud käsirattaga *1*. Tiguratast *6* on võimalik stoperdada meelevaldses asendis käepideme *4* abil, mis on ühendatud surveseibiga *7*. Teo *10* ja tiguratta *6* ülesandeks on ainult spindli pööramine, nende vead ei avalda mõju jagamispea täpsusele.

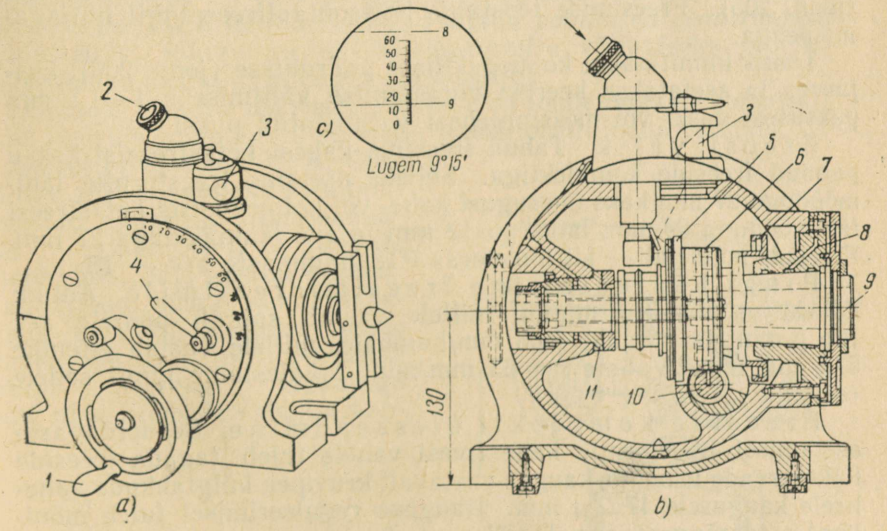
Pöördenurki loetakse ringskaalalt *5* mikroskoobi *2* abil, mille okulaar on paigutatud jagamispea keresse. Okulaari vaateväljas asub 60 osaks jaotatud skaala jaotuse väärtusega 1′ (joon. 204, *c*). Jaotused on okulaaris näha nii suurtena, et mõningase vilumuse järgi võib lugeda $^1/_4$ minutilise täpsusega. Ringskaalat valgustatakse lambiga läbi prisma *3*, mis on paigutatud jagamispea keresse. Tsentrite kõrgus $H = 130$ mm.

Kui on antud freesitavate soonte telgede vaheline kesknurk $\alpha$, on jagamispea spindli pöördenurk võrdne kesknurgaga $\alpha$.

Kui on antud jaotuste arv tooriku ümbermõõdu ulatuses, määratakse jagamispea spindli pöördenurk valemiga (7):

$$\alpha = \frac{360}{z},$$

kus $\alpha$ — jagamispea spindli pöördenurk kraadides;
$z$ — antud jaotuste arv.




Joon. 204. Optiline jagamispea ОДГ-60

### Kontrollküsimusi

1. Milliste rakistega jagatakse ringjoont osadeks?
2. Milles seisneb vahetu jagamise meetod? Kuidas toimub vahetul jagamisel 2, 3, 4, 6, 8, 12 osaks jagamine?
3. Milles seisneb lihtjagamise meetod? Kuidas toimub lihtjagamisel 2, 4, 8, 10, 20 osaks jagamine?
4. Mis on jagamispea karakteristik?
5. Kirjutage lihtjagamise valem.
6. Kuidas kinnitatakse töödeldavaid toorikuid jagamisrakistesse või jagamispeadesse? Milliseid rakiseid on selleks vaja?

## XV PEATÜKK

# FREESIMINE VAHETU JAGAMISE MEETODIL

## § 45. HULKTAHUKATE FREESIMINE

### Tahkude freesimine freeside komplektiga

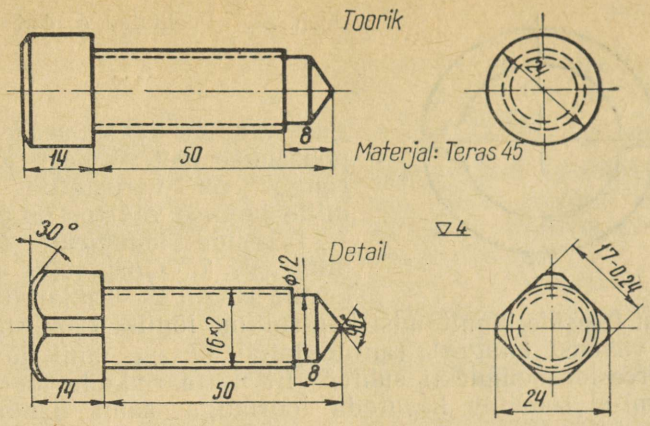
Olgu vaja freesida treitud toorikule kruvipea neli külgtahku (joon. 205). Freesimise teostame horisontaalfreespingil lihtjagamispeaga.

Toorik kinnitatakse kolmepakilisse padrunisse (joon. 206), kusjuures ta asetatakse keerme vigastamise vältimiseks 1—1,5 mm paksusest vask- või messinglehest valmistatud puksi.

Freesi valik. Tahud freesime kahest ketasfreesist kokku pandud freeside komplektiga. Selleks asetame freestornile läbimõõduga 27 mm kaks ühesugust kahe- või kolmepoolset ketasfreesi läbimõõduga 80 mm, laiusega 12 mm ja ava läbimõõduga 27 mm. Freeside materjal — kiirlõiketeras P18, hammaste arv — 18.

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Antud: lõikekiirus $v = 31{,}5$ m/min, millele vastab spindli pöörete arv 125 p/min, ja ettenihe 0,03 mm/hambale, millele vastab ettenihe 67,5 mm/min. Valime $s = 63$ mm/min. Häälestame pingi sellele režiimile.

Freeside komplekti ülesseadmine. Seaderõngaste asetamisel freestornile kahe freesi vahele tuleb tagada freeside lõikeservade vaheline kaugus vastavalt kruvipea külgtahkude vahelisele kaugusele $17_{-0{,}24}$ mm. Kauguse reguleerimisel tuleb mõnikord seaderõngaste vahele või seaderõnga ja freesi vahele asetada messingist, vasest või paberist vahelehed.



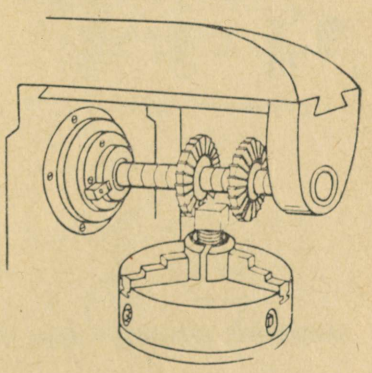

Joon. 205. Seadekruvi joonis

Pärast seda, kui on asetatud kohale teine frees, asetatakse freestornile ülejäänud seaderõngad ja keeratakse mutriga kinni. Laagripuks asetatakse freestornile nii, et ripplaagrit saaks paigaldada võimalikult freeside lähedale (niipalju, kui seda võimaldavad jagamisrakise mõõtmed).

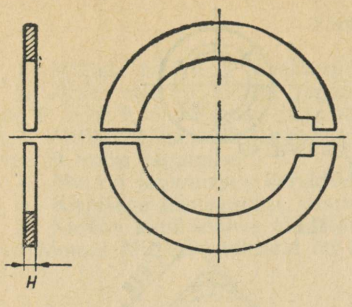
Tavaliselt kulutatakse kahe ketasfreesi mõõtuseadmiseks ligikaudu 20 min, vilumatuse korral aga veelgi rohkem. Kui freeside vaheline kaugus on alla 30 mm, soovitatakse freeside komplekti mõõtu seadmise kiirendamiseks kasutada *poolitatud seaderõngaid* (joon. 207). Rõnga poolte väljakukkumise vältimiseks soovitatakse nende üks külg määrida masinaõliga.

Omades erineva paksusega poolitatud seaderõngaste komplekti, võib freeside komplekti üles seada freesi tornilt maha võtmata.

Freesija-novaator V. A. Gorjainov tegi ettepaneku kasutada freeside komplekti ülesseadmisel *reguleeritavat rõngast* (joon. 208), mis samuti võimaldab freese maha võtmata tagada vajaliku kauguse nende vahel. See konstruktsioon tagab freesi ülesseade täpsusega 0,01 mm. Freeside vahelist kau-



Joon. 206. Ülesseade kahe tahu freesimiseks




Joon. 207. Poolitatud seaderõngas

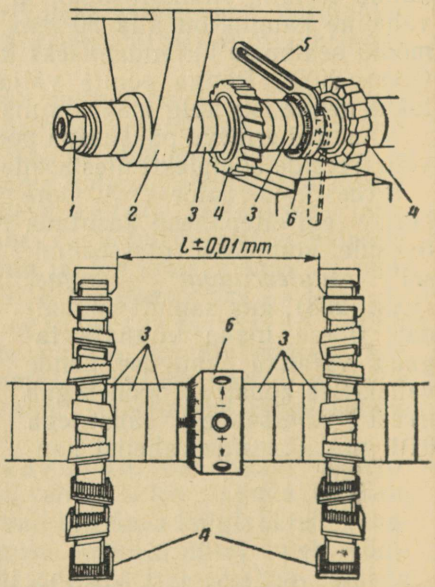
gust reguleeritakse seaderõnga *6* pööramise teel võtmega *5*. Seaderõngas on varustatud limbiga, mille jaotuse väärtus on 0,01 mm.

Freeside komplekti ülesseadmine V. A. Gorjainovi meetodil kestab kokku 2—3 minutit.

Pärast freeside kinnitamist kontrollime lõplikult freeside lõikeservade vahelist kaugust (antud juhul $17_{-0,24}$ mm) ja tooriku asendit freeside komplekti suhtes. Et mitte rikkuda toorikut, on kontrollimisel soovitav kasutada toorikuga sama läbimõõduga ümarmaterjali. Nimetame seda proovitoorikuks.

Pärast seda, kui frees on nõutaval viisil üles seatud ja tehtud esimene töökäik, s. t. töödeldud proovitooriku kaks vastastahku, viiakse töölaud pikiettenihkega tagasi, pööratakse jagamisrakise spindlit 180° (pool pööret) ja lastakse proovitoorik freeside vahelt uuesti läbi.

Kui proovitoorik läheb freeside vahelt vabalt läbi ja kumbki




Joon. 208. Freeside komplekti ülesseadmine reguleeritava seaderõnga abil:
*1* — mutter; *2* — ripplaager; *3* — tavaline seaderõngas; *4* — freesid; *5* — võti; *6* — reguleeritav seaderõngas

frees ei võta talt laastu, siis see tähendab, et tooriku telg on seatud täpselt freeside keskkoha järgi.

Kui ülesseade on kontrollitud, võetakse proovitoorik maha, stoperdatakse töölaua ristkelk ja seatakse padrunisse üles töötlemisele kuuluv toorik. Pink on seadistatud mõõtme $17_{-0,24}$ automaatseks saamiseks.

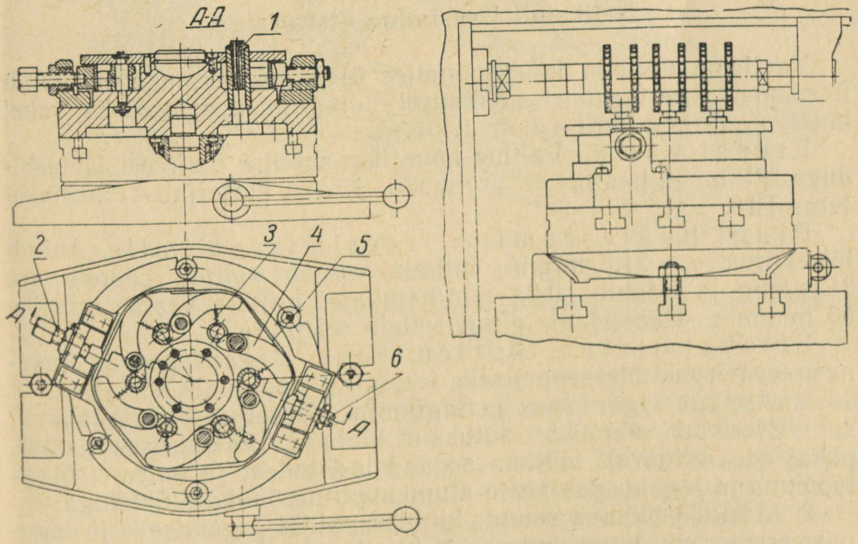
Pärast tooriku kinnitamist käivitatakse pink ja viiakse toorik otsaga freesi juurde kuni kerge kokkupuuteni, seejärel seisatakse pink, nihutatakse toorik freesi alt välja ja tõstetakse töölauda 16 mm võrra, mis tagab töötlemissügavuse 14 mm.

Kui lõikesügavus on seatud, stoperdatakse konsool.

Ühesuguste detailide partiilisel töötlemisel tuleb toorikud kinnitada padrunisse nii, et nad ulatuksid padrunist välja ühepalju. Selleks soovitatakse kasutada spetsiaalset seibi, mis asetatakse kruvi pea alla.

Tahkude freesimine. Pink käivitatud, freesitakse tooriku esimesed kaks tahku. Pärast töökäigu lõppu lastakse töölaud 18—20 mm võrra allapoole, nihutatakse ta käsipikiettenihkega tagasi lähteasendisse ja tõstetakse järgmise töökäigu alustamiseks endisele kõrgusele. Töölaua allalaskmine on vajalik selleks, et vältida sisselõikumist töödeldud tahu pinda töölaua lähteasendisse tagasiviimisel.

Pärast esimest töökäiku, s. t. pärast kruvipea kahe tahu freesimist, tuleb teostada jagamine — pöörata toorikut.




Joon. 209. Rakis kuue poldi kuuekandiliste peade üheaegseks freesimiseks

Jagamiseks pööratakse frontaalset jaotusketast veerandi ringi võrra.

Pärast teist töökäiku on toorik töödeldud. Sellisel viisil võib toorikut vastava nurga võrra pöörates saada freesimisel kuuekandilisi, kaheksakandilisi ja teisi detaile.

Tahkude üheaegne freesimine freeside komplektiga. Kui kasutada neljast, kuuest või rohkemast ketasfreesist kokku pandud freeside komplekti, võib vastavalt suurendada üheaegselt töödeldavate poldipeade arvu. Poldid kinnitatakse mitmekohalisse pööratavasse rakisesse. Sellist tahkude freesimise meetodit kasutavad laialdaselt freesijad-novaatorid tootlikkuse tõstmiseks.

Joonisel 209 kujutatud rakisesse kinnitatakse samaaegselt kuus polti kuuekandiliste peade freesimiseks. Poldid seatakse üles lõhestatud puksidesse *1* ja pigistatakse kinni hoobade *4* abil, milledele surub lehtvedru *5*. Vedrule avaldavad omakorda survet kruvid *2* ja *6*.

Kinnitusseade paigutatakse jagamisrakisesse, mis võimaldab toorikut pöörata 30, 45, 60, 90, 120 või 180° võrra, s. t. teostada jagamist 2, 3, 4, 6, 8 ja 12 osaks. Antud juhul pööratakse jagamisrakist pärast iga töökäiku 60° võrra.

Pärast töötlemise lõppemist vabastatakse kruvid *2* ja *6* ning vedru *5* laseb vabaks hoovad *4*, millised vedru *3* toimel eemalduvad töödeldud toorikutest.

## Nelikandi freesimine otsfreesiga

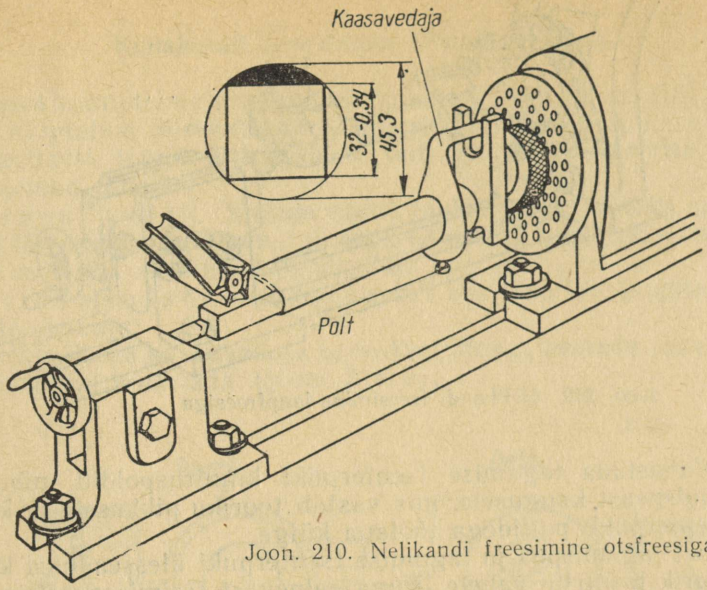
Vaatleme näitena kõverjoonelise üleminekupinnaga nelikandi freesimist (keermepuuri nelikantots) jagamispea tsentrite vahel horisontaalfreespingil (joon. 210).

Freesi valik. Valime koonilise sabaga otsfreesi läbimõõduga 32 mm ja hammaste arvuga 5. Freesi materjal — kiirlõiketeras P18.

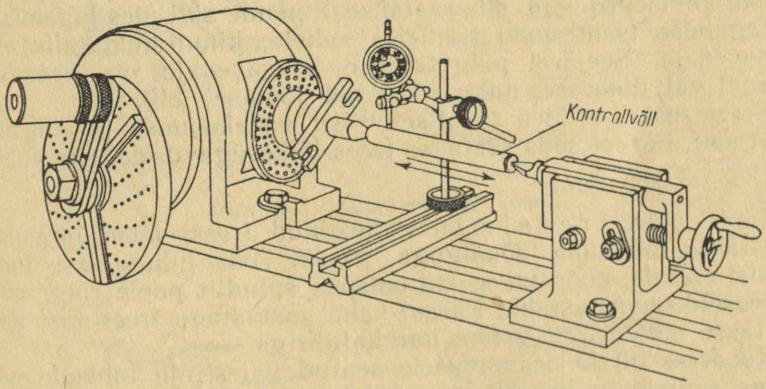
Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Antud: lõikekiirus $v = 31{,}5$ m/min, millele vastab spindli pöörete arv 315 p/min ja ettenihe 0,03 mm/hambale, millele vastab ettenihe 50 mm/min. Häälestame pingi sellele režiimile.

Ettevalmistus töötlemiseks. Jagamispea ja tagumise tsenterpuki ülesseadmiseks freespingi töölauale on vaja:

1. Asetada jagamispea ja tagumine tsenterpukk töölauale nii, et fikseerivad vahetükid satuksid töölaua keskmisesse soonde, puhastades eelnevalt töölaua sooned laastudest ja kattes töölaua tööpinna ja jagamispea aluse alumise pinna õhukese õlikihiga.
2. Asetada töölaua soonde kinnituspoldid jagamispea ja tagumise tsenterpuki kinnitamiseks ja kinnitada nad.
3. Kontrollida jagamispea ja tagumise tsenterpuki tsentrite

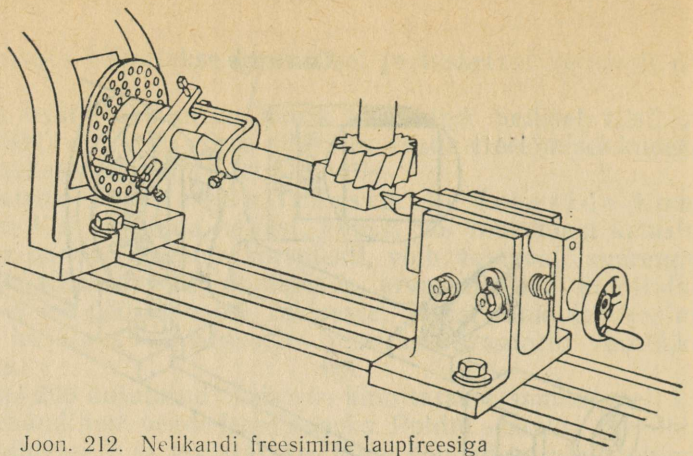



Joon. 210. Nelikandi freesimine otsfreesiga




Joon. 211. Tagumise tsenterpuki tsentri ja jagamispea tsentri ülesseade kontrollimine

kokkulangemist. Selleks soovitatakse kasutada lihvitud kontrollvõlli, nagu näidatud joonisel 211. Kui indikaatori osuti hälve indikaatori nihutamisel piki võlli ei ületa kahte skaala jaotust (0,02 mm), on tsentrid üles seatud küllaldase täpsusega. Tagumise tsenterpuki tsentri ja jagamispea tsentri mitteühtimise korral tuleb reguleerida tagumise tsentri asendit teda kandvas pakus oleva seadekruvi abil. Võtta kontrollvõll tsentrite vahelt välja.



Joon. 212. Nelikandi freesimine laupfreesiga

4. Vabastada tagumise tsenterpuki kinnituspoldid, nihutada ta jagamispeast kaugusele, mis vastab tooriku pikkusele ja kinnitada tsenterpukk poltidega töölaua külge.

Pärast jagamispea ja tagumise tsenterpuki ülesseadmist kinnitada toorik tsentrite vahele. Kuna eelnevast treimisoperatsioonist on toorikul tsentriavad, siis seatakse ta nende abil üles jagamispea ja tagumise tsenterpuki tsentrite vahele, kinnitanud talle enne kaasavedaja. Seejärel paigutatakse kaasavedaja ots kaasaveopadruni väljalõikesse, nagu näidatud joonisel 210.

Frees seatakse üles tavalisel viisil vahekoonuse ja pingutuskruvi abil. Pärast seda seatakse frees lõikesügavusele, mis võrdub $\frac{45{,}3 - 32}{2} = 6{,}65$ mm.

T a h k u d e  f r e e s i m i n e. Seadnud freesi lõikesügavusele, freesitakse tahk ühe töökäiguga, pärast seda nihutatakse toorik freesist eemale, pööratakse jagamispea spindlit poole ringi võrra ja freesitakse vastastahk. Pärast kahe vastastahu freesimist kontrollitakse mõõtu $32_{-0{,}24}$ mm harkkaliibriga.

Kui frees oli lõikesügavusele seatud valesti ja tahkude mõõt osutus suuremaks kui 32 mm, tuleb töölauda tõsta poole võrra mõõdetud ja nõutud mõõtmete vahest ja freesida uuesti, pärast seda kontrollida tahkude vahekaugust.

Pärast kahe vastastahu mõõtu freesimist pööratakse jagamispea spindlit 90° võrra ja alustatakse kolmanda tahu freesimist; pärast seda, pööranud jagamispea spindlit 180°, freesitakse neljas tahk.

Otsfreesiga freesimise tootlikkus on madal ja kirjeldatud nelikandi freesimist võib soovitada ainult individuaaltootmise korral, kus väikese detailide partii freesimiseks freeside komplektiga kulub pingi seadistamiseks rohkem aega kui otsfreesiga freesimisel.

Kuna tahkude freesimine on sarnane tasapindade freesimisega, võib tahke freesida ka laupfreesiga (joon. 212).

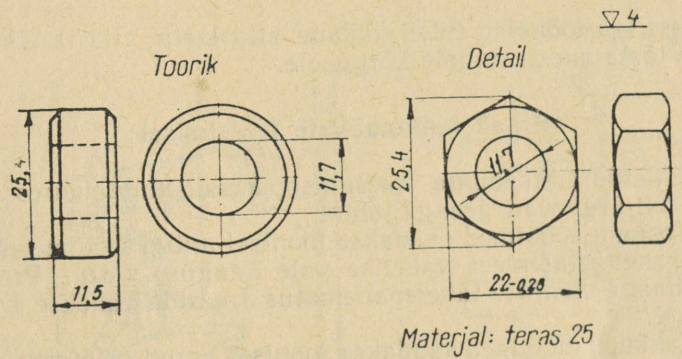
## Kuuskandi freesimine silinderfreesiga

Kuuskantmutri valmistamisel ümartoorikust (joon. 213) freesitakse külgtahud horisontaalfreespingil. Töötlemiseks kasutatakse silinderfreesi, toorik kinnitatakse lihtjagamispea tsentrite vahele üles seatud tornile.

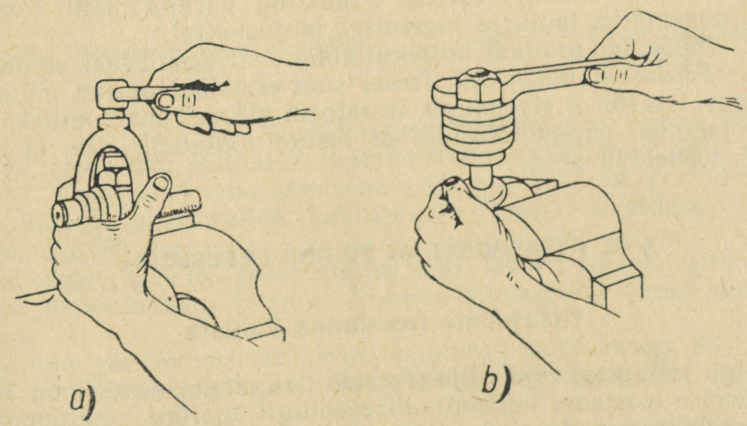
F r e e s i v a l i k. Valime mutri tahkude töötlemiseks silinderfreesi läbimõõduga 63 mm, laiusega 63 mm ja hammaste arvuga 8; freesi materjal — kiirlõiketeras P18.

E t t e v a l m i s t u s t ö ö t l e m i s e k s. Tooriku kinnitamiseks tornile on vaja:

1) kinnitada kaasavedaja kruustangidesse, asetada torn kaasavedajasse ja kinnitada (joon. 214, *a*);




Joon. 213. Kuuskantmutri joonis




Joon. 214. Toorikute kinnitamine tornile

2) kinnitada torn koos kaasavedajaga kruustangidesse, asetada tornile neli toorikut ja kinnitada mutriga (joon. 214, *b*).

Torni ülesseadmine jagamispea ja tagumise tsenterpuki tsentrite vahele toimub nagu eelmises näites.

T a h k u d e f r e e s i m i n e. Tahkude freesimine silinderfreesiga toimub analoogiliselt tahkude freesimisega otsfreesiga: käivitatakse pink, viiakse frees kergesse kokkupuutesse toorikuga, pärast seda viiakse töölaud pikiettenihkega tagasi lähteasendisse ja tõstetakse antud freesimissügavuse, antud juhul 1,7 mm võrra.

Algul freesitakse esimene ja neljas tahk ja kontrollitakse harkkaliibriga mõõtu $22\,C_4$ ($22_{-0,28}$ mm), pärast seda freesitakse järjekorras kõik ülejäänud tahud, pöörates iga kord jagamispea spindlit frontaalse jaotusketta 24 auguga jaotusringil nelja augu võrra.

Pärast iga töökäiku tuleb töölaud alla lasta, viia ta lähteasendisse ja tõsta uuesti samale kõrgusele.

### Praak hulktahukate freesimisel

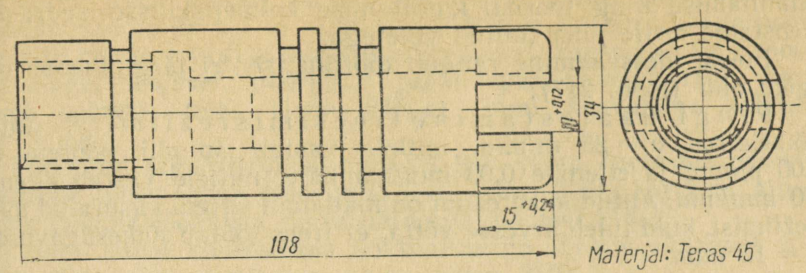
Kirjeldatud lihtsaimate freesimisoperatsioonide juures võivad esineda alljärgnevad praagi juhud.

1. Tahkude mõõtmed saadakse joonisel antud mõõtmetest väiksemad kahe ketasfreesi vahelise vale kauguse tõttu. Praak on parandamatu. *Põhjus:* tähelepanematus freeside vahelise kauguse seadmisel.
2. Tahkude mõõtmed saadakse joonisel antud mõõtmetest väiksemad ebaõige lõikesügavuse või töölaua tõstmise tõttu. Praak on parandamatu. *Põhjus:* tähelepanematus vertikaalettenihke limbi skaala lugemisel.
3. Tahkude ebaõige asetus. Praak on parandamatu. *Põhjus:* tähelepanematus jaotuste lugemisel jaotuskettal.
4. Töödeldud pindade mitteküllaldane siledus. Praak on parandatav. *Põhjused*: nürinenud frees, suur ettenihe, tooriku mittejäik kinnitus, freestorni viskumine, freestorni vibreerimine, mitteküllaldane jahutus, pärast töökäiku ei lastud töölauda alla ja frees riivas töödeldud pinda.

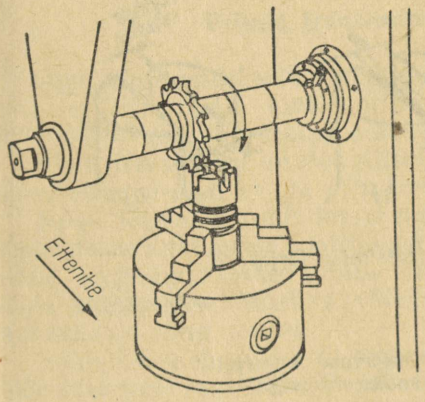
## § 46. OTSASOONTE JA PILUDE FREESIMINE

### Otsasoonte freesimine võllisse

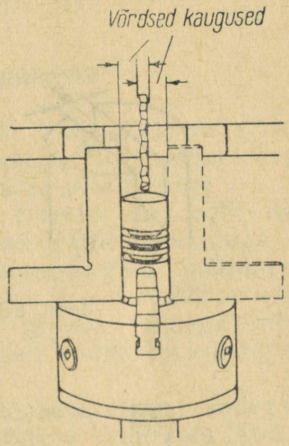
Olgu võlli otsal vaja välja freesida neli sirget soont (joon. 215). Töötlemise teostame horisontaalfreespingil tooriku kinnitamisega kolmepakilisse padrunisse (joon. 216), mis on keeratud vertikaalse lihtjagamispea spindlile.




Joon 215. Otsasoontega võll




Joon. 216. Otsasoonte freesimine võlli




Joon. 217. Freesi ülesseadmine tsentri järgi

Freesi valik. Tootlikumaks freesimiseks valime kolmepoolse erinevalt suunatud hammastega ketasfreesi (vt. joon. 123, *e*). Vastavalt soone sügavusele 15 mm ja freesi ava läbimõõdule 27 mm tuleb valida kolmepoolse freesi läbimõõduks mitte vähem kui 80 mm.

Et tagada soonte täpset asetust võlli tsentri suhtes, tuleb frees valida soone laiusest kitsam. Võtame kolmepoolse freesi laiuseks 8 mm.

Valime kolmepoolse erinevalt suunatud hammastega 80×8×27 mm kiirlõiketerasest P18 ketasfreesi hammaste arvuga $z = 14$.

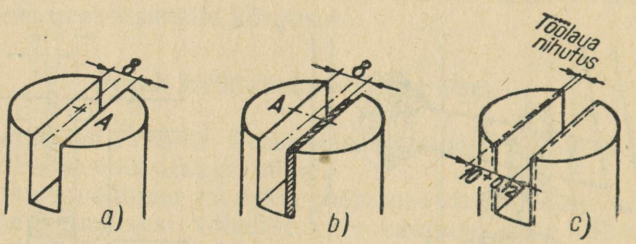
Ettevalmistus töötlemiseks. Freesi kinnitamise

freestornile, jagamispea ja kolmepakilise padruni ülesseadmise ja kinnitamise ning tooriku kinnitamise kolmepakilisse padrunisse teostame meile juba tuntud võtetega.

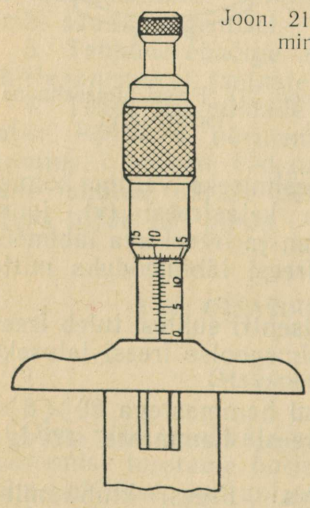
Freesi ülesseadmine rangelt tooriku tsentri järgi toimub nurgiku abil (joon. 217).

Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Antud: lõikekiirus $v = 25$ m/min, millele vastab spindli pöörete arv 100 p/min, ja ettenihe 0,03 mm/hambale, millele vastab ettenihe 40 mm/min. Antud lõikerežiim on madalam varem kasutatud lõikerežiimist, kuid tuleb arvesse võtta, et frees töötab lõikesügavusega $t = 15$ mm.

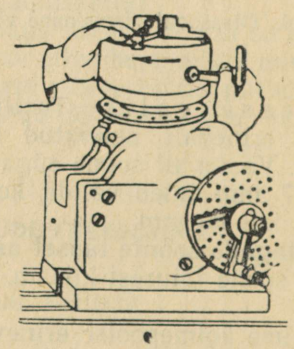
Soonte freesimine. Esimese soone freesimise kord on toodud joonisel 218. Algul freesitakse soon täies sügavuses laiusega 8 mm (joon. 218, *a*), seejärel pööratakse jagamispea spindlit 180° võrra (pool pööret) ja freesitakse soon uuesti kogu pikkuses.




Joon. 218. Soone freesimise järjekord



Joon. 219. Soone sügavuse kontrollimine sügavusmikromeetriga



Joon. 220. Universaaljagamispea seadmine vertikaalasendisse

Seejuures frees lõikab ainult üht soone külge (joon. 218, *b*). Mõõdame soone laiust ja nihutame töölauda ristettenihkega poole võrra 10 mm ja faktilise mõõtme erinevusest. Freesime algul soone üht külge, seejärel, pööranud jagamispea spindlit 180° võrra (pool pööret), teist (joon. 218, *c*), kuni saavutame mõõtme $10^{+0,12}$ mm.

Pööranud jagamisrakise spindlit 90° võrra (veerand pööret), alustame teise soone freesimist (vt. joon. 216), korrates ainult kahte viimast töökäiku, nagu näidatud joonisel 218, *c*.

Soone laiust kontrollime korkkaliibriga. Soone sügavust võib kontrollida sügavusmikromeetriga (joon. 219).

Sooni võib võlli otsa freesida ka universaaljagamispea abil, pöörates spindli vertikaalsesse asendisse (joon. 220). Jutustage, kuidas sel juhul toimub nelja ossa jagamine.

## Pilude freesimine kroonmutrisse

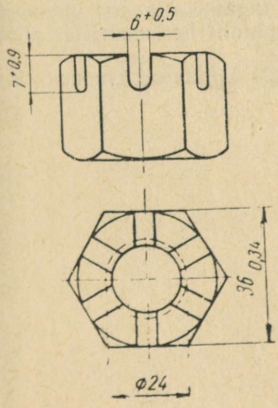
Olgu kuuekandilisele kroonmutrile M24 (joon. 221) vaja freesida splindi jaoks kuus pilu (sisselõiget). Pilu mõõtmetega $6^{+0,5} \times 7^{+0,9}$ mm lõigatakse sisse 6 mm laiuse pilufreesiga.

Pilud freesitakse analoogiliselt soonte freesimisega võlli otsa, ainsa erinevusega, et iga pilu freesitakse sisse ühe töökäiguga.

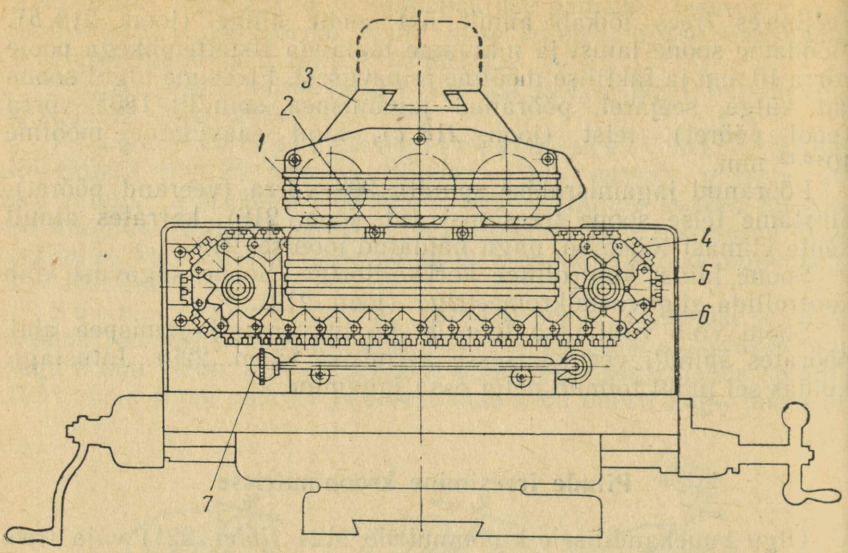
Kuna kroonmutreid kasutatakse masinaehituses laialdaselt, töödeldakse neid suure tootlikkusega rakistes. Joonisel 222 on kujutatud kroonmutritesse pilude freesimise pideva toimega rakis, mida kasutatakse Moskva väikeautotehases, Lihhatšovi-nimelises autotehases ning mujal.

Rakis koosneb kerest *6*, milles liigub lõputu kett *5* pesadega *4* töödeldavatele mutritele. Pesadel on sisselõiked lõikeriista läbikäiguks. Keti edasiliikumisel haaratakse pesad kaks korda liikumatute piirajate *2* poolt ja pööratakse neid vertikaaltelje ümber freeside vahel. Kolm freesi on järjestikku kinnitatud kolmespindlilisse freespeasse *3*. Pöördenurga suurus on 60° ja vastab pilude asendile kroonmutrites.

Freespea *3* saab liikumise pingi spindlilt, rakis aga töölaua ettenihke-




Joon. 221. Kroonmutri joonis




Joon. 222. Pideva toimega rakis pilude freesimiseks kroonmutritesse

mehhanismilt šarniirülekande kaudu. Etteandemehhanism lülitatakse sisse hoova *7* abil.

Kirjeldatud rakis töötab nagu poolautomaatne pink, kus on vaja ainult toorikud üles seada ja valmistooted maha võtta.

### Kontrollküsimusi

1. Missuguste meetoditega võib freesida nelikanti? Kuuskanti?
2. Missugune tahkude freesimise meetod on kõige tootlikum?
3. Kuidas kontrollitakse jagamispea esimese ja tagumise tsentri ühtumist?
4. Mida on vaja teha, et pöörata jagamispea spindlit horisontaaltasapinna suhtes nurga alla?
5. Kirjeldage pilude freesimise korda joonisel 221 kujutatud kroonmutrisse jagamispea abil vahetu jagamise meetodil.

# FREESIMINE LIHTJAGAMISMEETODIL

## § 47. JAGAMINE ILMA JAOTUSKETTA KASUTAMISETA

Joonisel 223 on kujutatud toorik ja freesitud silinderfrees. Freesi läbimõõt on 60 mm, laius 30 mm ja hammaste arv 20. Hamba ja hambavahe profiil on toodud suurendatult joonisel 223 üleval sõõris.

Freesimiseks asetatakse kolm toorikut silindrilisele tornile (vt. joon. 201, *b*) ja kinnitatakse mutriga. Torni asetame jagamispea ja tagumise tsenterpuki tsentrite vahele. Freesimise teostame lihtjagamismeetodil.

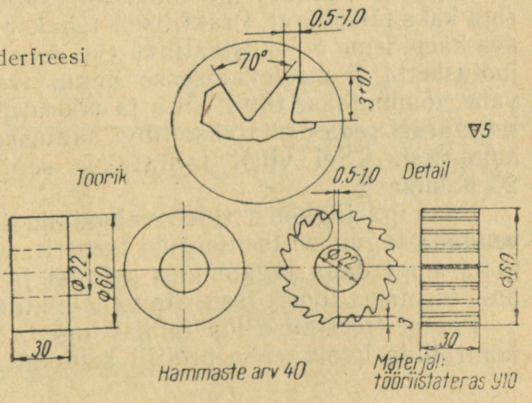
Hammaste freesimisoperatsioon silindrilisele toorikule seisneb profiilsoonte lõikamises silinderpinnale.

Selle operatsiooni täitmisel on uueks töövõtteks tööfreesi ülesseadmine tooriku suhtes ja jagamine.

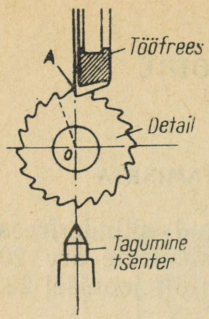
F r e e s i v a l i k. Kuna töödeldava freesi hammastel on radiaalne esipind, s. t. esinurk võrdub nulliga, valime tööfreesiks vastavalt hambavahe profiilile ühepoolse nurkfreesi 70° nurgaga, välisläbimõõduga 63 mm, ava läbimõõduga 22 mm ja hammaste arvuga $z = 20$.

V a l i t u d f r e e s i m i s r e ž i i m i l e h ä ä l e s t a m i s e l võtame aluseks lõikekiiruse $v = 20$ m/min ja ettenihke $s_z = 0{,}05$ mm/hambale.

T ö ö f r e e s i ü l e s s e a d m i n e t o o r i k u t s e n t r i j ä r g i tuleb teostada järgmiselt: vertikaalettenihke käsiratta pööramisega tõstetakse pingi töölauda seni, kuni tagumise tsenterpuki tsenter satub tööfreesi alumise servaga ühte tasapinda. Seejärel




Joon. 223. Silinderfreesi joonis




Joon. 224. Nurkfreesi ülesseadmine

nihutame ristettenihke käsiratta pööramisega töölauda ristsuunas seni, kuni tagumise tsenterpuki tsentri teravik ühtib freesi teravnurga tipuga. See tagab freesitava hamba radiaalse esipinna saamise, vastavalt joonise nõuetele (vt. asend *A* joonisel 224).

Nüüd kinnitame ristkelgu ja laseme töölaua alla, et oleks mugavam paigaldada torni koos sellele kinnitatud toorikutega jagamispea ja tagumise tsenterpuki tsentrite vahele.

Ettevalmistus töötlemiseks. Kinnitanud torni koos toorikutega tsentrite vahele, seatakse toorikud freesi suhtes hamba kõrgusele (freesimissügavusele). Selleks tõstetakse pingi töölauda kuni tooriku ja freesi kerge kokkupuuteni ja pikiettenihke käsiratast pöörates nihutatakse pingi töölauda seni, kuni frees satub tagumise tsentri kohale. Nüüd tuleb pingi töölauda tõsta hamba kõrguse võrra ülespoole, s. o. vastavalt joonisele 3 mm võrra.

Tõstnud töölaua üles, veendume proovilaastu võtmisega ülesseade õigsuses ja siis stoperdame konsooli.

Esimese töökäigu järel saame toorikul esimese hambavahe, mis vastab detaili esimesele hambale. Kuna töödeldaval freesil on 20 hammast, tuleb järgmise hambavahe freesimiseks toorikut pöörata $^1/_{20}$ pööret.

Selleks vajalik käepideme pöörete arv määratakse valemiga (8b)

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{20} = 2 \text{ pööret.}$$

Tähendab, pärast iga töökäiku tuleb jagamispea käepidet pöörata kaks täispööret. Praktiliselt tehakse seda järgmiselt. Jagamispea käepideme *8* lukustustihvt (vt. joon. 197) asetatakse külgmise jaotusketta *7* meelevaldsesse auku, freesitakse esimene hambavahe, tõmmatakse tihvt välja ja pööratakse käepidet kaks täispööret, pärast seda asetatakse tihvt samasse auku ja freesitakse teine hambavahe. Sel viisil talitatakse seni, kuni on freesitud kõik 20 hammast.

Enne iga jagamist tuleb vabastada jagamispea spindel ja lõdvendada tagumise tsenterpuki tsentrit, pärast jagamist aga tingimata stoperdada jagamispea spindel ja suruda tagumise tsenterpuki tsentriga toorik tsentrite vahele kinni.

Pärast freesimise lõpetamist lugeda saadud hammaste arv ja kontrollida hambavahe profiili šablooniga.

## § 48. JAGAMINE JAOTUSKETTA KASUTAMISEGA

Vaatleme tooriku freesimise juhust, kui jaotuste arv tingib jagamispea käepidemega mittetäieliku pöörde tegemist. Joonisel 225 on kujutatud 20 mm läbimõõduga ja 7 hambaga otsfrees, mis tuleb freesida lihtjagamismeetodil.

Töötlemiseks on vajalikud samad rakised ja lõikeriistad, milliseid kasutasime silinderfreesi hammaste freesimisel. Tööfreesina kasutatava ühepoolse nurkfreesi profiil peab vastama otsfreesi hambavahe profiilile.

Tooriku kinnitame jagamispea spindlisse, milleks tuleb esimene tsenter messingvardaga välja lüüa ja tema asemele asetada freesi tooriku kooniline saba. Teisest otsast toetame toorikut tagumise tsentriga.

Tööfreesi seame üles tooriku tsentri järgi analoogiliselt eelmise näitega.

Pärast esimese hambavahe freesimist on vaja jagamispea spindlit pöörata $^1/_7$ pöörde võrra.

Käepideme pöörete arvu määrame valemiga (8b)

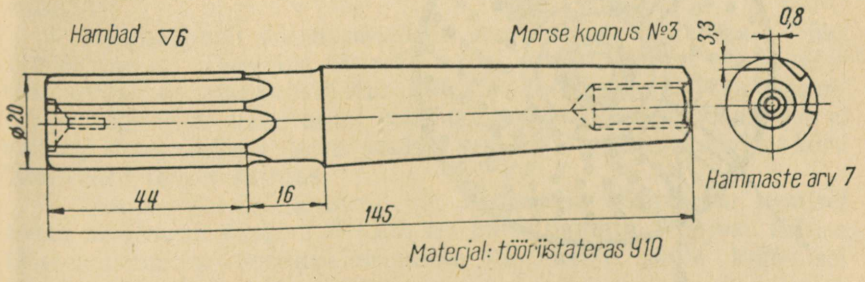
$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{7} = 5 + \frac{5}{7} = 5 + \frac{20}{28} \text{ pööret.}$$

Kasutame jaotusketast, millel on 28 auguga jaotusring, sest 28 on jaguv 7-ga; lühidalt öeldes: «valime ringi 28».

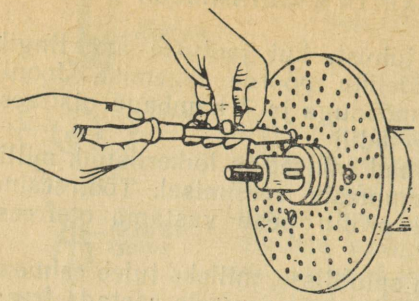
Jaotusketas tuleb paigaldada jagamispea spindlile selle küljega (joon. 226), millel on ring 28, ja jagamispea käepide seada nii, et tihvt satuks jaotusringile, millel on 28 auku, ehk, lühidalt öeldes, asetseks ringil 28 (joon. 227).

Täita ülalkirjeldatud tegevust tähendab «seada jagamispea ringile 28».

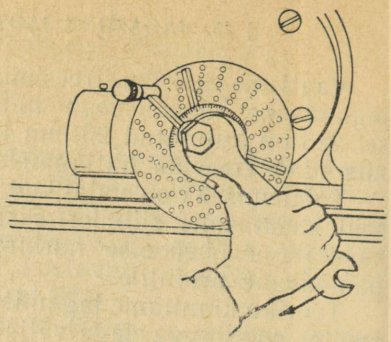
Jagamisel peab käepide tegema viis täispööret ja veel 20/28 pööret. Selleks pöörame käepidet viis täispööret ja veel 20 jaotust sama! 28 auguga jaotusringil ja asetame käepideme tihvti 21-sse




Joon. 225. Otsfreesi joonis



Joon. 226. Jaotusketta paigaldamine



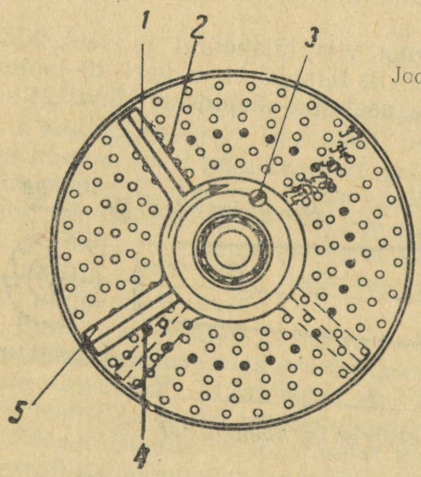
Joon. 227. Jagamispea käepideme seadmine

auku. Järgneb töökäik freesiga. Pärast iga töökäiku peab jagamispea spindlit pöörama 1/7 pöörde võrra; selleks tuleb iga kord käepidet pöörata 5 ja 20/28 pööret.

Et aukude lugemisel mitte eksida, kasutatakse jagamispea laialinihutatavate harudega sektorit (joon. 228).

Laialinihutatav sektor koosneb kahest harust *1* ja *5*, milliseid võib teineteise suhtes pöörata. Harud kinnitatakse valitud asendisse kruviga *3*.

Antud näite puhul tuleb jagamispea käepideme tihvt asetada ringil 28 meelevaldsesse auku, näiteks auku, mis on joonisel 228 tähistatud numbriga *2*, pärast seda, vabastanud kruvi *3*, viia (alt poolt) sektori haru *1* tihedalt vastu käepideme tihvti. Lugedes seejärel 20 ringi jaotust (20 auguvahet), tuua teine haru *5* 21-se augu




Joon. 228. Jagamispea laialinihutatavate harudega sektor

juurde, mis joonisel 228 on tähistatud numbriga *4*, ja kinnitada sektor kruviga *3*.

Peame meeles, et ringi 20 jaotust (auguvahet) on piiratud 21 auguga. Seega tuleb sektori nurga seadmisel lugeda jaotusringil auke, aga mitte auguvahesid. Aukude arv tuleb võtta ühe võrra suurem kui valemi (8b) järgi saadud jaotuste arv käepideme murdarvulise pöörde tegemiseks.

Osates seada sektori harusid, tuleb selgeks õppida sektori enda kasutamine. Seitsmeks osaks jagamisel peab riiv asuma augus *2* (joon. 228), haru *1* peab olema surutud vastu tihvti. Niipea kui hambavahe on freesitud ja tööfrees viidud lähteasendisse, tõmmatakse käepideme tihvt august *2* välja ja pööratakse käepidet kellaosuti liikumise suunas viis täispööret ja siis osa täispöördest kuni auguni *4*, mis on määratud sektori haruga *5*. Pärast seda pööratakse sektorit paremale poole niipalju, et haru *1* satuks augus *4* asuva tihvti vastu. Sektori teine asend on näidatud joonisel 228 kriipsjoonega.

Analoogiliselt kirjeldatuga kordub sektori kasutamine järgmiste hambavahede freesimisel kuni tooriku lõpliku töötlemiseni.

Käepideme tihvt tuleb tuua sektori haru juurde alati ühelt poolt, sest igal jagamispeal on lõtk, mida saab vältida ainult siis, kui pöörata käepidet alati ühes suunas, muidu võib detail praaki minna, sest hambad saadakse erinevate mõõtmetega.

Kui mingil põhjusel käepidet pöörati veidi rohkem edasi kui vaja, siis tuleb ta tagasi pöörata tagavaraga ja uuesti ettevaatlikult viia jaotusketta vajaliku augu juurde, nii nagu töölaua käsiettenihke käepidet limbi järgi kohale seatakse.

## Praak soonte freesimisel silindriliste toorikute välispinnale

Soonte freesimisel silindriliste toorikute välispinnale lihtjagamismeetodil võivad esineda järgmised praagi juhused.

1. Hambavahede või hammaste arv ei vasta joonisele. Praak on parandamatu. *Põhjus:* valesti valitud ring või ebaõige jagamine.

2. Hambavahed või hambad on erinevate mõõtmetega — üks hambavahe on freesitud õigesti, teine valesti. Samm on ebaühtlane. Praak on parandamatu. *Põhjus:* töölise hooletus jagamisel — tööline ei kasutanud sektorit ja käepideme pööramisel ei valinud õiget aukude arvu jaotusringil või pööras käepidet kord ühes, kord teises suunas.

3. Hambavahede sügavus või hammaste kõrgus on joonisel antud mõõtmest suurem. Praak on parandamatu. *Põhjus:* töölise tähelepanematus vertikaalettenihke käepideme limbi lugemisel töölaua tõstmisel.

4. Freesi hambad ei ole radiaalsed, nagu joonisel on nõutud.

Praak on parandamatu. *Põhjus:* freesi ebaõige ülesseadmine tooriku tsentri järgi.

5. Töödeldud pinna mitteküllaldane siledus. Praak on parandamatu. *Põhjused:* nürinenud frees, suur ettenihe, freesi või freestorni viskumine, tooriku vibreerimine mittejäiga kinnituse tõttu, jagamispea spindli lõtvumine, frees vigastas lähteasendisse viimisel töödeldud pinda, kuna pingi töölauda ei lastud pärast töökäiku alla.

**Kontrollküsimusi**

1. Loetlege lihtjagamismeetodi paremused ja puudused vahetu jagamisega võrreldes.
2. Mitu pööret tuleb teha universaaljagamispea käepidemega kümneks osaks jagamisel?
3. Kuidas jagada ringjoont 25 osaks? Millist jaotusketast tuleb selleks kasutada? Mitu täispööret tuleb käepidemega teha? Mitu auku peab haarama sektori harude vahe?
4. Millises suunas peab pöörama jagamispea käepidet?
5. Kuidas seatakse üles ühepoolset nurkfreesi tooriku tsentri järgi?
6. Milline ülesanne on jagamispea laialilükataval sektoril?

XVII PEATÜKK

# FREESIMINE DIFERENTSIAALJAGAMISMEETODIL

## § 49. DIFERENTSIAALJAGAMISMEETODI OLEMUS

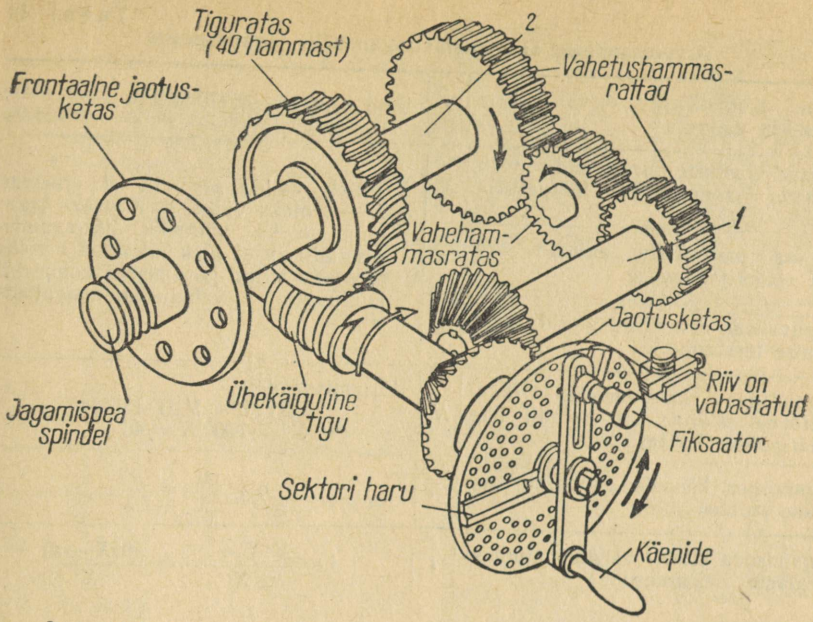
Lihtjagamismeetod, mida vaatlesime XVI peatükis, ei võimalda alati ringjoont jagada antud arvuks osadeks. Näiteks ei ole lihtjagamismeetodil võimalik jagada ringjoont 61, 79, 83, 97 osaks, s. t. osade arvuks, milledel puuduvad tegurid, mis oleksid võrdsed või kordsed aukude arvuga jaotuskettas.

Sellistel juhtudel tuleb kasutada *diferentsiaaljagamismeetodit.*

Diferentsiaaljagamise olemus seisneb järgmises.

Jagamispea spindel saab vajaliku pöörde kahe pöörleva liikumise summana. Käepidet pööratakse jaotusketta suhtes ja ketas ise saab pöörde jagamispea spindlilt hammasrataste süsteemi kaudu. (Jaotusketta riiv peab olema vabastatud.)

Liikumiste ülekande skeem diferentsiaaljagamisel on kujutatud joonisel 229. Võllide *1* ja *2* otstele on nende vastastikuseks sidumiseks asetatud vahetatavad hammasrattad. Võlli *1* teisele otsale on kinnitatud koonushammasratas, mis hambub jaotusketta




Joon. 229. Liikumiste ülekande skeem diferentsiaaljagamismeetodil jagamisel

puksile liistu abil kinnitatud samasuguse koonushammasrattaga. Võllidele *1* ja *2* asetatud hammasrataste vahele on võimalik paigutada üks või kaks vahehammasratast (parasiithammasratast).

Käepideme pööramisel saab jagamisketas spindlilt pöörlemise vahetatavate hammasrataste ja koonushammasratasülekande kaudu. Olenevalt vahetushammasrataste valikust ja vahehammasrataste arvust pöörleb jaotusketas käepideme suhtes *samas* või *vastassuunas* suurema või väiksema kiirusega. Järelikult on käepideme pööramisel mööda jaotusketast käepideme *tegelik pööre* jagamispea kere suhtes *suurem* või *väiksem* ta *näilikust* pöördest mööda jaotusketast.

Arvestuste lihtsustamiseks võetakse antud jaotuste arvu $z$ asemel, mida ei saa teostada lihtjagamisega, meelevaldne jaotuste arv $X$, milleks jagamine selle meetodiga on võimalik, ja viiakse arvutus läbi selle jaotuste arvuga $X$.

Diferentsiaaljagamiseks on vaja määrata: käepideme pöörete arv; vahetushammasrataste ülekandesuhe $i$ ja jaotusketta pöörlemissuund.

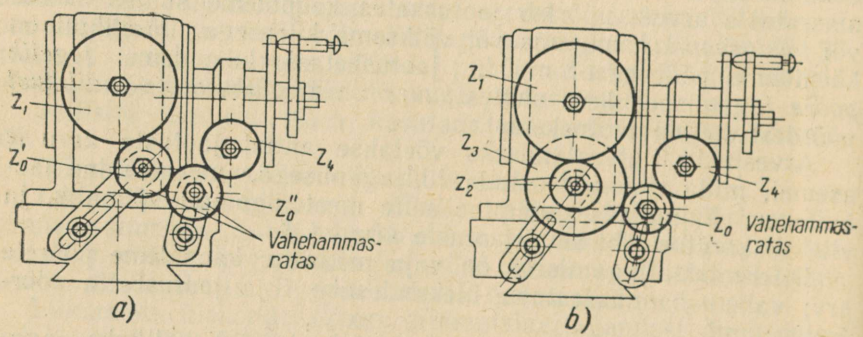
Tabelis 14 on toodud andmed jaotuste arvu $X$ valikuks, jagamispea käepideme pöörete arvu $n$ arvutamiseks ja ülekandesuhte $i$ määramiseks.

**Arvutusandmed diferentsiaaljagamiseks jagamispeaga** Tabel 14

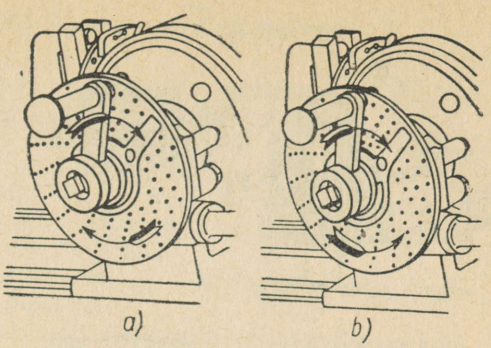
| | | |
|---|---|---|
| Antud jaotuste arv terve ümbermõõdu ulatuses | $z$ | Võib olla meelevaldne arv |
| Valitud jaotuste arv, mida võib saada olemasoleva jaotusketta abil | $X$ | $X$ tuleb valida selliselt, et erinevus $X - z$ oleks väike, et $X$ osaks jagamine oleks võimalik lintjagamismeetodil ja et ülekandesuhet $i$ võiks teostada antud jagamispea komplekti kuuluvate vahetushammasrataste abil |
| Valitud jaotusketta aukude arv $X$ osaks jagamisel | $a$ | |
| Auguvahede arv ringil antud jagamise teostamiseks | $b$ | |
| Jagamispea karakteristik (käepideme pöörete arv spindli ühe täispöörde kohta) | $N$ | Jagamispeadel УДГ-100, УДГ-135 ja УДГ-160 $N = 40$ |
| Jagamispea käepideme pöörete arv ühe jaotuse kohta | $n$ | $n = \frac{N}{X} = \frac{40}{X}$ |
| Jagamispea kitarri vahetushammasrataste ülekandesuhe | $i$ | $i = \frac{N(X-z)}{X} = \frac{40(X-z)}{X}$ |

Ülekandesuhte $i$ häälestamine teostatakse kas ühe (joon. 230, *a*) või kahe (joon. 230, *b*) paari vahetushammasratastega, kasutades ühte (joon. 230, *b*) või kahte (joon. 230, *a*) vahehammasratast, või ilma nendeta.

Vajalik vahehammasrataste arv oleneb $i$ märgist, s. t. vahe $(X - z)$ märgist ja kitarri vahetushammasrataste paaride arvust, mis on toodud tabelis 15.



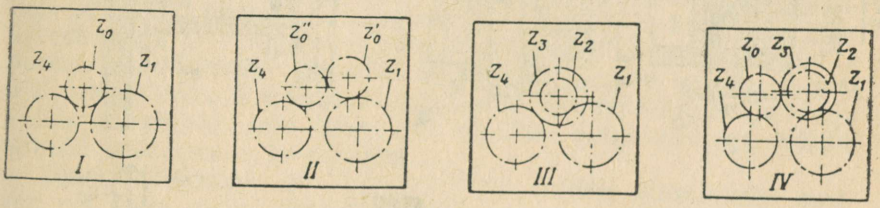

Joon. 230. Ülekandesuhte häälestusskeem:
*a* — ühe paari vahetushammasratastega (kahe vahehammasrattaga); *b* — kahe paari vahetushammasratastega (ühe vahehammasrattaga)




Joon. 231. Jaotusketta pöörlemissuund diferentsiaaljagamismeetodil jagamisel
$a - X > z$; $b - X < z$

**Vahehammasrataste arv jagamispea kitarris ülekandesuhte häälestamisel**

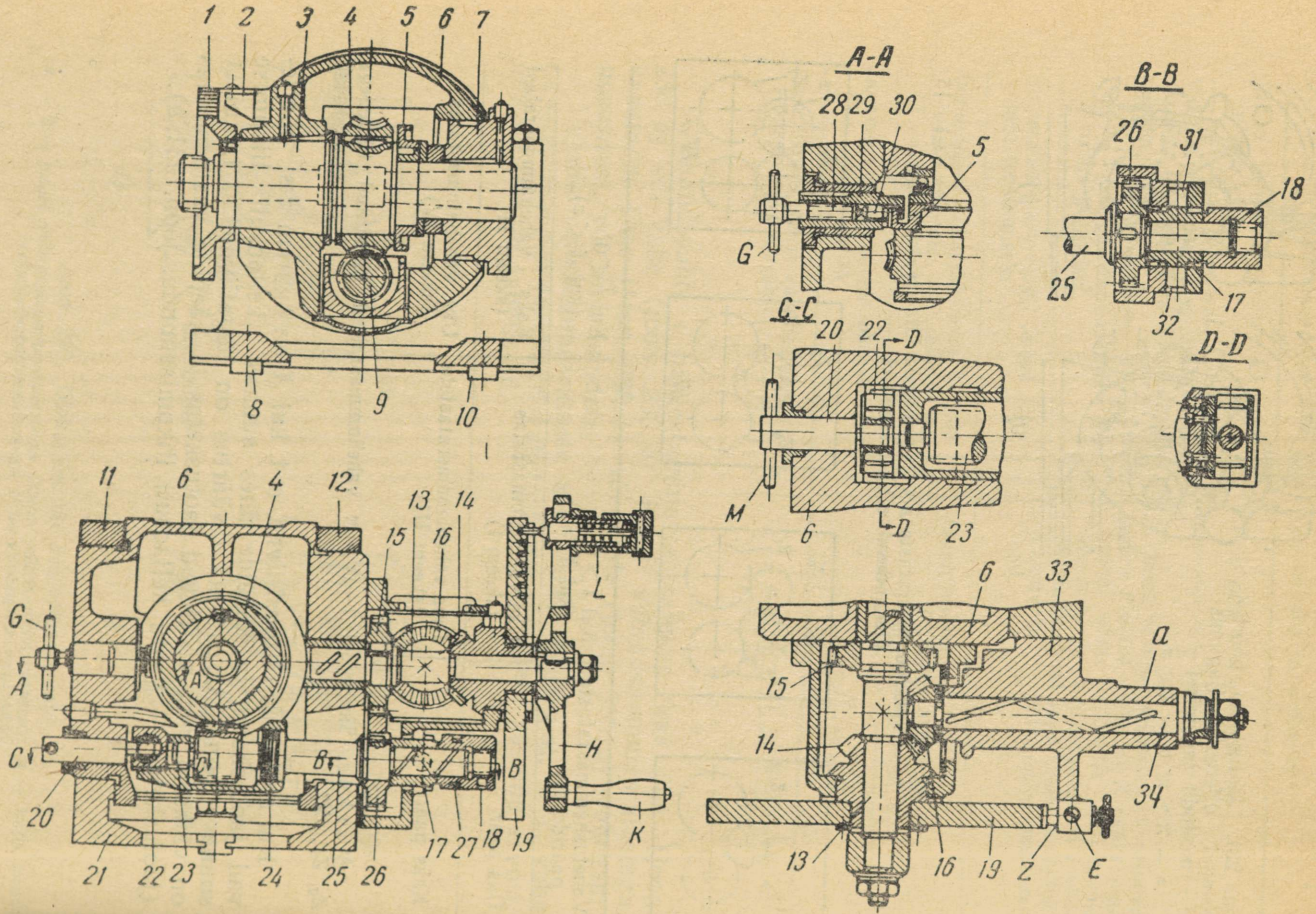
Tabel 15




| Vahetushammasrataste paaride arv | Kui $i > 0$ (kui $X > z$) | Kui $i < 0$ (kui $X < z$) |
|---|---|---|
| Üks paar | Üks vahehammasratas (skeem I) | Kaks vahehammasratast (skeem II) |
| Kaks paari | Ilma vahehammasrataste (skeem III) | Üks vahehammasratas (skeem IV) |

Märkus. Skeemidel I—IV on vahehammasrattad tähistatud tähtedega $Z_0$, $Z_0'$, $Z_0''$.

Kui $i$ väärtus on positiivne, s. t. kui $X$ on suurem $z$-st, pöörlevad jaotusketas ja käepide ühes suunas (kellaosuti liikumise suunas, joon. 231, *a*); kui $i$ väärtus on negatiivne, s. t. kui $X$ on väiksem $z$-st, pöörlevad jaotusketas ja käepide vastassuunas (jaotusketas — vastu kellaosuti liikumissuunda, joon. 231, *b*).




Joon. 232. Universaaljagamispea УДГ-135

Joonisel 232 on kujutatud universaaljagamispea УДГ-135 (П6-32), mida toodab Leningradi jagamispeade tehas.

Jagamispea keres *21* asub pööratav pakk *6*, mis kinnitatakse vajalikku asendisse vööde *11* ja *12* pingutamise teel mutrite abil. Pööratavat pakku *6* võib seada nii, et ühes äärmises asendis on spindli telg kallutatud 10° võrra allapoole horisontaaltasapinda ja teises 10° võrra üle vertikaaltasapinna.

Liistud *8 ja 10*, mis paigutuvad pingi töölaua soontesse, tagavad jagamispea õige asendi töölaual.

Pööratavas pakus *6* asub spindel *3*. Spindli esilaagriks on kooniline ava pakus *6*, tagumiseks laagriks aga ava puksis *7*. Spindlile on liistu abil jäigalt kinnitatud tiguratas *4*, mis hambub teoga *9*.

Jagamispea spindel kinnitatakse vajalikku asendisse (spindli stoperdamine pärast jagamist) seadeldisega, mis koosneb spindliga liistu abil ühendatud rõngast *5*, puksist *29* ja kruvist *28* koos käepidemega *G* ning vahetükist *30*. Pöörates kruvi *28*, surub ta paremale nihkumisel vahetüki *30* kaudu rõnga *5* seinale. Samal ajal nihkub puks *29* vasakule, surudes konksukujulise otsaga rõnga *5* teisele seinale, mis kruvi *28* lõpliku pingutamisega väldib spindli pöördumise freesimisel.

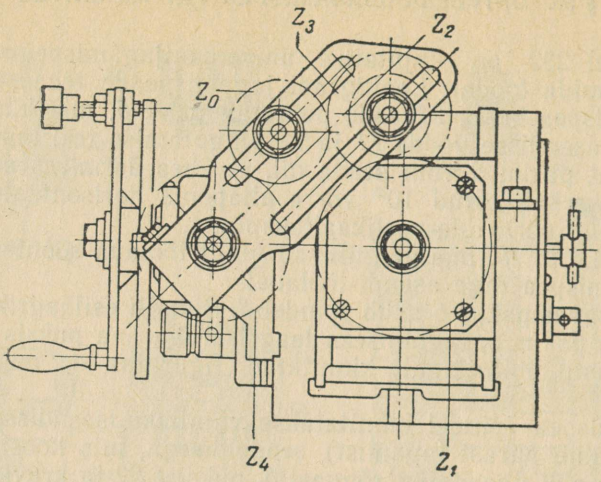
Spindli tööotsale on lõigatud keere, millele kinnitatakse padrun või mõni rakis. Spindli tööotsa sisse on töödeldud koonus, millesse toetub tsenter.

Diferentsiaaljagamise korral asetatakse spindli tööotsa vastaspoolse otsa koonilisse pessa võll (vt. joon. 229, võll *2*).

Tigu *9* asub õliga täidetud karbis *24*. Tiguvõlli *25* parempoolseks laagriks on tappidega *31* ja *32* varustatud puks *17* ja puks *18*, mis sisselõigete *27* abil on keeratav tiguvõlli *25* keermestatud otsa. Tiguvõlli teise otsa laagriks on karbi *24* vasakpoolsesse seina pressitud puks *23*. Karbi vasakpoolne ots hoitakse paigal võlliga *20*, mille ekstsentriline tapp (parempoolne ots) paigutub silindrilise juhiku *22* avasse. Võlli *20* pööramisel käepidemega *M* võib teo ja tiguratta hambumist lahutada, mis on vajalik jagamisel frontaalse jaotusketta *1* (vahetu jagamise meetod). Frontaalse jaotusketta ühele jaotusele vastab spindli pööre 1°. Spindli pöördenurka loetakse plaadile *2* kantud nooniuse järgi täpsusega 5′.

L i h t j a g a m i s e l peab jagamispea tigu hambuma tiguratta ga. Tigu (järelikult ka jagamispea spindel) pööratakse võllile *13* kinnitatud käepideme *K* abil hammasrataste *15* ja *26* kaudu. Lugemine toimub kahepoolse liikumatu jaotusketta *19* järgi, mille ühel küljel on jaotusringid 24, 25, 28, 30, 34, 37, 38, 39, 41, 42 ja 43 auguga, teisel 46, 47, 49, 51, 53, 54, 57, 58, 59, 62 ja 66 auguga.

Jaotusketta valitud ringi aukudesse käib fiksaatori *L* tihvt. Lugemise hõlbustamiseks kasutatakse laialilükatavat sektorit.




Joon. 233. Kitarr diferentsiaaljagamiseks

Kui pärast tooriku ülesseadmist fiksaatori tihvt ei satu jaotusketta augu kohale, võib jaotusketast pöörata väikese nurga võrra ühes või teises suunas. Selleks tuleb riiv *Z* välja tõmmata ja stoperdada kruviga *E* (vt. lk. 284, joon. 249).

Diferentsiaaljagamisel peab jagamispea tigu hambuma tigurattaga, jaotusketta riiv *Z* aga olema välja tõmmatud. Tooriku vajalik pööre saavutatakse jagamispea käepideme pööramisega, kusjuures tooriku nõutud pöördenurk saadakse kahe pöörleva liikumise — käepideme jaotusketta suhtes pööramise ja samaaegse jaotusketta enda pöörlemise tulemusena.

Jaotusketas saab pöörleva liikumise järgmiselt. Jagamispea ajamikarbi *33* (joon. 232) silindrilisele osale *a* paigutatakse kitarr (joon. 233), spindli tagumise otsa koonilisse pessa aga võll, mida edaspidi nimetame lihtsuse mõttes spindlivõlliks. Spindlivõlli vabale otsale kinnitatakse liistu abil hammasratas $z_1$.

Vahetushammasrattad $z_2$ ja $z_3$ ning vahehammasratas (parasiithammasratas) $z_0$ asetatakse kitarri, aga vahetushammasratas $z_4$ jagamispea ajami võllile *34* (vt. joon. 232). Koonushammasrataste *16* ja *14* kaudu antakse võlli *34* pöörlemine edasi jaotuskettale *19*.

Teisel juhul antakse jagamispea spindli pöörlev liikumine jaotuskettale edasi kahe paari vahetushammasrataste kaudu ilma vahehammasrattata (parasiithammasrattata) või ühe paari vahetushammasrataste kaudu, mis on ühenduses ühe vahehammasrattaga, või ühe paari ja kahe vahehammasratta kaudu (vt. skeeme tabelis 15).

## § 51. UNIVERSAALJAGAMISPEA УДГ-160 KONSTRUKTSIOONI ISEÄRASUSI

Leningradi jagamispeade tehase poolt toodetava universaaljagamispea УДГ-160 (П6-33) spindlile *1* kinnitatud frontaalsel jaotuskettal *2* (joon. 234) on vahetuks jagamiseks kolm jaotusringi (24, 20 ja 36 auguga). Vedru surve all olev fiksaatori *3* tihvt asub liikuvas juhikus *5*, mis on kinnitatud pööratava paku *7* külge poldiga *6*. Fiksaatori *3* tihvt surutakse jaotusringi auku vedruga ja tõmmatakse august välja fiksaatori külgpinnal oleva hammaslatiga hambuva hammasvõlli *4* küljes oleva käepideme pööramisega.

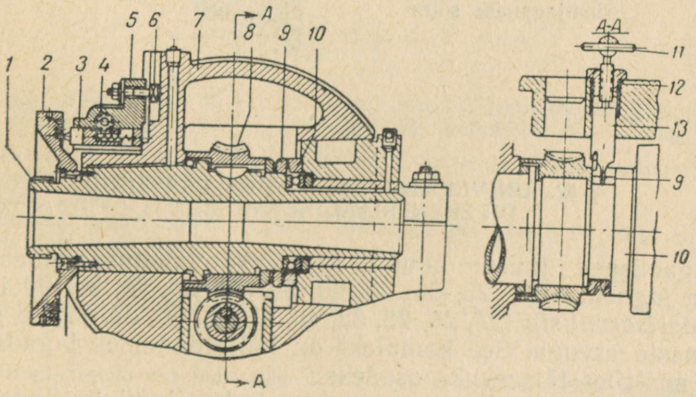
Vahetuks jagamiseks tuleb fiksaatori *3* tihvt jaotusketta *2* august välja tõmmata ja hammasvõlli *4* käepidet lahti laskmata pöörata jagamispea spindlit jaotusketta *2* või spindlile kinnitatud padruni ja töödeldava tooriku järgi.

Pärast seda, kui fiksaatori tihvti kohale on jõudnud viimane pööramisel vahelejäetav auguvahe, lastakse hammasvõlli *4* käepide vabaks. Spindli edasisel ettevaatlikul pööramisel surub vedru fiksaatori tihvti jaotusketta vajalikku auku.

Jagamispea spindel kinnitatakse tööasendisse tiguratta *8* ja tugirõnga *10* vahel asuva sisselõigetega rõnga *9* abil.

Kruvi *12* pööramisel käepidemest *11* surutakse vahetükk *13* rõnga *9* sisselõikesse. Rõngas surutakse laiali, mille tagajärjel saavutatakse jagamispea spindli küllaldane kinnitus freesimisel.

Sõlm, mida kasutatakse diferentsiaaljagamisel, on kujutatud joonisel 235. Jagamispea ajami võlli *19* otsa asetatakse diferentsiaaljagamisel kasutatavaist vahetushammasratastest vii-

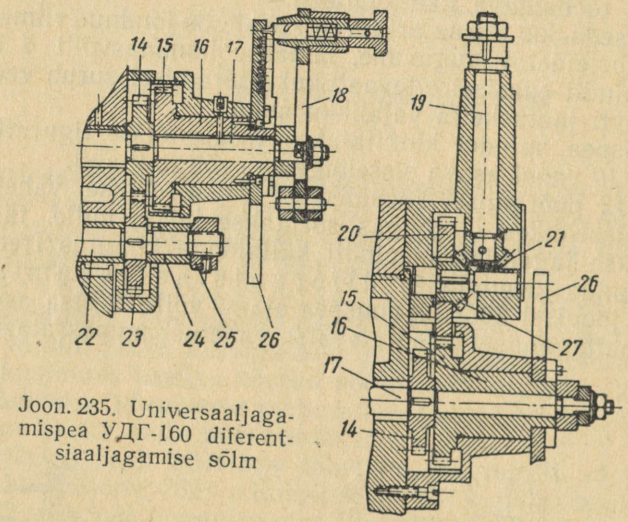



Joon. 234. Universaaljagamispea УДГ-160 lõige

mane hammasratas. Selle võlli teisele otsale on kinnitatud koonushammasratas *21*. Koonushammasrataste *21* ja *27* kaudu saab pöörleva liikumise silinderhammasratas *20*. Hammasratas *20* hammasub püsivalt hammasrattaga *15*, mis on jaotusketta *26* puksiga *16* ühest tükist.

Sel viisil kantakse jagamispea spindli pöörlemine vahetushammasrataste $z_1$, $z_2$, $z_3$ ja $z_4$ kaudu (vt. joon. 233) üle võllile *19* (joon. 235) ja võllilt hammasrataste *21* ja *27*, *20* ja *15* ning puksi *16* kaudu jaotuskettale *26*.

Jagamispea spindel saab pöörlemise käepidemelt *18* võlli *17*, silinderhammasratta *14* ja tiguvõllile *22* mutri *25* abil kinnitatud hammasratta *23* kaudu. Tiguvõlli *22* parempoolseks toeks on puks *24*.



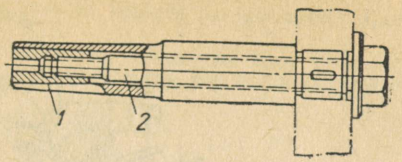

Joon. 235. Universaaljagamispea УДГ-160 diferentsiaaljagamise sõlm

## § 52. UNIVERSAALJAGAMISPEA TARVIKUD DIFERENTSIAALJAGAMISEKS

Jagamispea juurde kuulub komplekt vahetushammasrattaid *viiega jaguvate* (25, 25, 30, 35, 40, 50, 55, 60, 70, 80, 90 ja 100) või *paarisarvuliste* (24, 24, 28, 32, 40, 44, 48, 56, 64, 72, 86 ja 100) hammaste arvuga. See komplekt on küllaldane, et jagada ringjoon mistahes täisarvuks osadeks.

Vahetushammasrataste paigaldamiseks kuulub jagamispea juurde kitarr (vt. joon. 233) ja spindlivõll (joon. 236), mis kinni-

Joon. 236. Spindlivõll




tatakse spindli tagumisse otsa poldiga *2*. Kooniline puks *1* nihkub seejuures paremale ja surub laiali võlli sisselõigetega otsa, mis on paigutatud jagamispea spindlisse.

## § 53. DIFERENTSIAALJAGAMISE PRAKTIKA

Selgitame diferentsiaaljagamise reegleid mõnede näidetega.*

Näide 10. Olgu tarvis lõigata 111 hambaga hammasratas. Valida vahetushammasrattad (viielisest komplektist), jaotusketta ring ja määrata käepideme pöörete arv.

Valime abiarvu $X = 120$, milleks me tinglikult jagame ringjoone.

Määrame vahetushammasrataste ülekandesuhte tabeli 14 järgi ja valime iga ratta hammaste arvu.

$$i = \frac{40(X - z)}{X} = \frac{40(120 - 111)}{120} = \frac{40 \cdot 9}{120} = \frac{3}{1} = \frac{3000}{1000} = \frac{60 \cdot 50}{25 \cdot 40}.$$

Asetame spindlivõllile hammasratta $z_1 = 60$, kitarri vahesõrmele hammasrattad $z_2 = 25$ ja $z_3 = 50$ ning jaotusketta ajamivõllile hammasratta $z_4 = 40$.

Hammasrattad 60 ja 50 on *vedavad*, 25 ja 40 — *veetavad*.

Ülekandesuhte positiivne väärtus näitab, et käepide ja jaotusketas peavad pöörlema ühes suunas, nagu näidatud tabelis 15, skeemil III. Joonisel 237 on näidatud vahetushammasrataste paigutus ja hammasrataste, jaotusketta ja käepideme pöörlemise suunad.

Käepideme pöörete arvu leiame tabeli 14 järgi:

$$n = \frac{N}{X} = \frac{40}{120} = \frac{1}{3} = \frac{b}{a} \text{ pööret.}$$

Võtame $a = 66$, $b = 22$ ja valime jaotuskettal ringi 66; iga pöörde juures jätame vahele 22 auguvahet ja asetame tihvti jaotusketta 23-sse auku.

Näide 11. Olgu tarvis jagada toorik 61 osaks. Valida vahetushammasrattad, jaotusketta ring ja määrata käepideme pöörete arv.

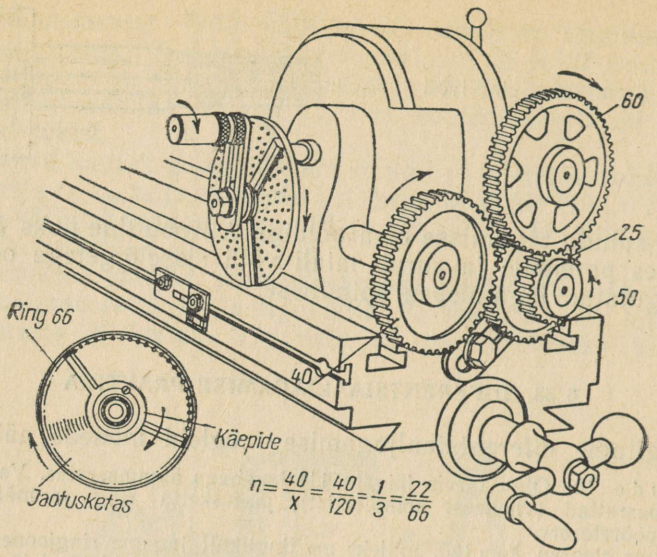
Valime abiarvu $X = 60$.

Määrame vahetushammasrataste ülekandesuhte tabeli 14 järgi ja valime iga ratta hammaste arvu.

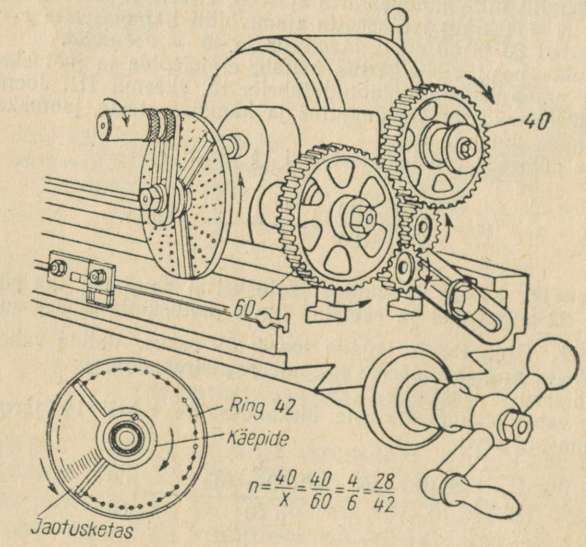
$$i = \frac{40(X - z)}{X} = \frac{40(60 - 61)}{60} = -\frac{40}{60}.$$

---

* Kursuse selle osa paremaks illustreerimiseks soovitatakse õppustel kasutada plakatit nr. 18 «Способы деления на универсальной делительной головке» seeriast «Фрезерное дело». Трудрезервиздат, 1958.




Joon. 237. Jagamispea häälestamine 111 osaks jagamisel




Joon. 238. Jagamispea häälestamine 61 osaks jagamisel

Asetame spindlivõllile hammasratta $z_1 = 40$ (vedav) ja jaotusketta ajamivõllile hammasratta $z_4 = 60$ (veetav).

Kuna ülekandesuhe on negatiivne, siis viime ülekandesse sisse kaks vahehammasratast vastavalt tabeli 15 skeemi II järgi, nagu see on näidatud joonisel 238.

Käepideme pöörete arvu leiame tabeli 14 järgi:

$$n = \frac{N}{X} = \frac{40}{60} = \frac{2}{3} = \frac{b}{a} \text{ pööret.}$$

Võtame $a = 42$, $b = 28$, valime jaotuskettal ringi 42 ja loeme selle järgi 28 auguvahet. Sektori harud tuleb laiali nihutada 29-le augule.

Näide 12. Olgu tarvis lõigata 107 hambaga hammasratas. Valida vahetushammasrattad, jaotusketta ring ja määrata käepideme pöörete arv.

Valime abiarvu $X = 100$.

Määrame vahetushammasrataste ülekandesuhte tabeli 14 järgi ja valime nende hammaste arvu.

$$i = \frac{40(X - z)}{N} = \frac{40(100 - 107)}{100} = -\frac{40 \cdot 7}{100} = -\frac{14}{5} = -\frac{2 \cdot 7}{1 \cdot 5} =$$

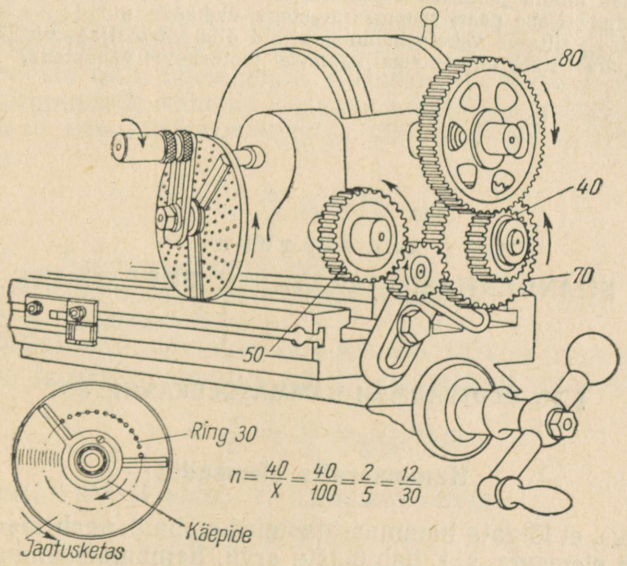
$$= -\frac{2 \cdot 40}{1 \cdot 40} \cdot \frac{7 \cdot 10}{5 \cdot 10} = -\frac{80}{40} \cdot \frac{70}{30}.$$

Hammasrattad 80 ja 70 on vedavad, 40 ja 50 — veetavad.

Negatiivne ülekandesuhe näitab, et käepide ja jaotusketas peavad pöörlema erinevates suundades.

Paigutame kitarri vahetushammasrattad ja ühe vahehammasratta tabeli 15 skeemi IV järgi, nagu on näidatud joonisel 239.

Käepidet on vaja pöörata




Joon. 239. Jagamispea häälestamine 107 osaks jagamisel

$$n = \frac{N}{X} = \frac{40}{100} = \frac{2}{5} = \frac{b}{a}$$ pööret

või 12 auguvahe võrra ringil 30. Sektori harud tuleb laiali nihutada 13-le augule.

Toodud näited diferentsiaaljagamise kohta peavad aitama omandada selle meetodi tehnikat. Praktikas tuleb kasutada tabeleid käsiraamatust С. Ш. Френкель, «Справочник молодого фрезеровщика». (Профтехиздат, 1962.)

Need tabelid aitavad ilma arvutusvalemeid kasutamata õigesti valida vahetushammasrattaid, jaotusringi ja käepideme pöörete arvu.

### Kontrollküsimusi

1. Milles seisneb diferentsiaaljagamismeetodi olemus?
2. Millistel jagamispeadel võib teostada diferentsiaaljagamist?
3. Kuidas teostatakse jaotusketta pöörlemine diferentsiaaljagamisel?
4. Missugune vahetushammasrataste komplekt kuulub universaaljagamispea juurde?
5. Kuidas seatakse üles kitarr diferentsiaaljagamiseks?
6. Kuidas seatakse üles spindlivõll, mis on vajalik diferentsiaaljagamiseks?
7. Kuidas asetsevad kitarris vahetushammasrattad diferentsiaaljagamisel? Kuhu paigutatakse esimene (vedav) hammasratas? Kuhu paigutatakse viimane (veetav) hammasratas?
8. Milleks kasutatakse vahehammasratast (parasiithammasratast)?
9. Kuidas muuta jaotusketta pöörlemissuunda ühe paari hammasratastega ülekande puhul? Kahe paari hammasratastega ülekande puhul?
10. Kuidas valitakse vahetushammasrattaid diferentsiaaljagamisel?
11. Mispärast tuleb diferentsiaaljagamisel jaotusketas vabastada?

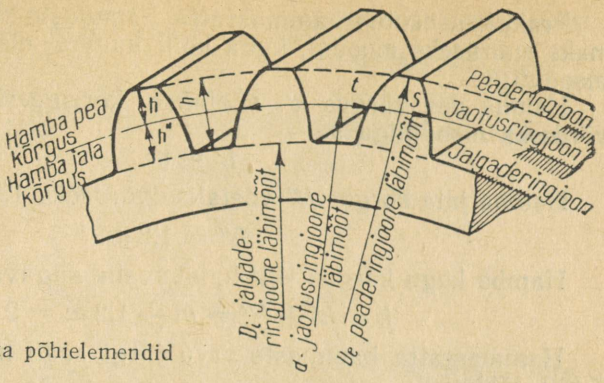
XVIII PEATÜKK

# SILINDERHAMMASRATASTE FREESIMINE

## § 54. ÜLDTEADMISI HAMMASÜLEKANNETEST

### Hammasratta elemendid

Selleks, et lõigata hammasratastele hambaid, peab teadma hammasratta elemente, s. t. hammaste arvu, hambumissammu, hamba kõrgust ja paksust, jaotusringjoone läbimõõtu ja välisläbimõõtu. Need elemendid on näidatud joonisel 240.




Joon. 240. Hammasratta põhielemendid

Vaatleme neid järjekorras.

Igal hammasrattal eristatakse kolme ringjoont, järelikult ka neile vastavat kolme läbimõõtu:

1) *peaderingjoon* — hammasratta tooriku välisringjoon; peaderingjoone läbimõõt ehk välisläbimõõt tähistatakse $D_e$;

2) *jaotusringjoon* — kujutletav ringjoon, mis jaotab iga hamba kõrguse kaheks mittevõrdseks osaks, ülemiseks — *hamba peaks* ja alumiseks — *hamba jalaks*; hamba pea kõrgus tähistatakse $h'$, hamba jala kõrgus — $h''$; jaotusringjoone läbimõõtu tähistatakse $d$;

3) *jalgaderingjoon* — ringjoon, mis läbib hambavahede põhju; jalgaderingjoone läbimõõtu tähistatakse $D_i$. Kahe naaberhamba samanimeliste (s. t. ühele poole, paremale või vasakule poole pööratud) külgpindade vahelist kaugust mööda jaotusringjoone kaart nimetatakse *hambumissammuks* ja tähistatakse $t$. Järelikult võib kirjutada:

$$t = \frac{\pi d}{z} = \frac{3{,}14d}{z} \text{ mm}, \qquad (9a)$$

kus $t$ — hambumissamm mm;
$d$ — jaotusringjoone läbimõõt mm;
$z$ — hammaste arv.

*Mooduliks m* nimetatakse suurust, mis võrdub jaotusringjoone läbimõõdu ja hammaste arvu suhtega. Järelikult võime kirjutada:

$$m = \frac{d}{z} = \frac{t}{\pi} = \frac{t}{3{,}14} \text{ mm}. \qquad (10)$$

Valemist (10) järeldub, et hambumissamm

$$t = \pi \cdot m = 3{,}14\, m \text{ mm}. \qquad (9b)$$

Hammasratta hambumissammu leidmiseks tuleb moodul korrutada $\pi$-ga.

Praktikas osutub hammasratta hammaste lõikamisel tähtsaimaks suuruseks moodul, kuna kõik hamba elemendid on seotud mooduliga.

Hamba pea kõrgus $h'$ võetakse korrigeerimata hambumisel võrdseks mooduliga $m$

$$h' = m. \tag{11}$$

Hamba jala kõrgus $h''$ võetakse võrdseks 1,2 moodulit

$$h'' = 1{,}2\,m. \tag{12}$$

Hamba kogu kõrgus ehk hambavahe sügavus

$$h = h' + h'' = m + 1{,}2\,m = 2{,}2\,m. \tag{13}$$

Hammasratta hammaste arvu järgi saab määrata jaotusringjoone läbimõõtu

$$d = z \cdot m. \tag{14}$$

Hammasratta välisläbimõõt on võrdne jaotusringjoone läbimõõdu ja hamba pea kahekordse kõrguse summaga, s t.

$$D_e = d + 2\,h' = zm + 2\,m = (z + 2)\,m. \tag{15}$$

Järelikult tuleb hammasratta tooriku läbimõõdu määramiseks hammaste arvu suurendada kahe võrra ja saadud arv korrutada mooduliga.

Tabelis 16 on toodud põhilised seosed silinderhammasratta elementide vahel.

**Hammasratta elementide vahelised põhiseosed** Tabel 16

| Nimetus | Sümbol | Arvutusvalem |
|---|---|---|
| Moodul mm | $m$ | $m = \frac{t}{\pi} = \frac{De}{z+2} = \frac{d}{z}$ |
| Hambumissamm mm | $t$ | $t = \pi m = 3{,}14m = \frac{3{,}14d}{z}$ |
| Hammaste arv | $z$ | $z = \frac{d}{m} = \frac{De - 2m}{m}$ |
| Välisläbimõõt mm | $De$ | $De = (z+2)m = d + 2\,m$ |
| Jaotusringjoone läbimõõt mm | $d$ | $d = zm = De - 2\,m$ |
| Hamba kõrgus mm | $h$ | $h = 2{,}2\,m$ |
| Hamba pea kõrgus mm | $h'$ | $h' = m$ |
| Hamba jala kõrgus mm | $h''$ | $h'' = 1{,}2\,m$ |
| Hamba paksus mm | $S$ | $S = \frac{t}{2} = \frac{\pi \cdot m}{2} = \frac{3{,}14\,m}{2}$ |
| Hammasrataste (hammaste arvuga $z_1$ ja $z_2$) tsentrite vaheline kaugus mm | $A$ | $A = \frac{(z_1 + z_2)\,m}{2}$ |

Näide 13. Määrata kõik vajalikud mõõtmed hammasratta, mille $z = 35$ ja $m = 3$, valmistamiseks.

Määrame valemi (15) järgi välisläbimõõdu ehk tooriku läbimõõdu:

$$D_e = (z + 2)\, m = (35 + 2) \cdot 3 = 37 \cdot 3 = 111 \text{ mm}.$$

Määrame valemi (13) järgi hamba kõrguse ehk hambavahe sügavuse:

$$h = 2{,}2\, m = 2{,}2 \cdot 3 = 6{,}6 \text{ mm}.$$

Määrame valemi (11) järgi hambapea kõrguse:

$$h' = m = 3 \text{ mm}.$$

## Hambalõikefreesid

Hammasrataste freesimiseks horisontaalfreespingil kasutatakse kettakujulisi kujufreese, millede profiil vastab lõigatava hammasratta hambavahe profiilile. Selliseid freese nimetatakse *ketasmoodulfreesideks* (joon. 241).

Ketasmoodulfreesid valitakse olenevalt freesitava hammasratta moodulist ja hammaste arvust, kuna kahe ühesuguse mooduliga, kuid erineva hammaste arvuga hammasratta hambavahe profiil on erinev. Sellepärast peaks teoreetiliselt hammasrataste freesimisel iga hammaste arvu ja mooduli jaoks olema oma moodulfrees. Tootmistingimustes võib küllaldase täpsusega kasutada teatud arvu freese iga mooduli jaoks. Täpsete hammasrataste freesimiseks ettenähtud freeside komplekt koosneb 15-st ketasmoodulfreesist, vähem täpsete hammasrataste freesimiseks on küllaldane komplekt 8-st freesist (tabel 17).

Tabel 17.

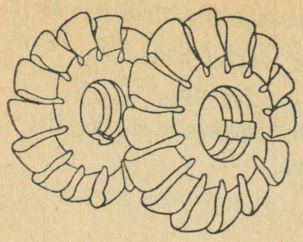
**Ketasmoodulfreeside komplekt 15-st freesist**

| Freesi number | 1 | 1½ | 2 | 2½ | 3 | 3½ | 4 | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lõigatava hammasratta hammaste arv | 12 | 13 | 14 | 15—16 | 17—18 | 19—20 | 21—22 | |
| Freesi number | 4½ | 5 | 5½ | 6 | 6½ | 7 | 7½ | 8 |
| Lõigatava hammasratta hammaste arv | 23—25 | 26—29 | 30—34 | 35—41 | 42—54 | 55—79 | 80—134 | 135 hammaslatt |

**Ketasmoodulfreeside komplekt 8-st freesist**

| Freesi number | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Lõigatava hammasratta hammaste arv | 12—13 | 14—16 | 17—20 | 21—25 | 26—34 | 35—54 | 55—134 | 135 hammaslatt |

Hambalõikefreeside mõõtmete hulga piiramiseks on Nõukogude Liidus hammasrataste moodulid standardiseeritud, s. t. pii-



Joon. 241. Ketasmoodulfreesid

ratud järgmiste moodulitega: 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,75; 0,8; 1,0; 1,25; 1,5; 1,75; 2,0; 2,25; 2,50; 3,0; 3,5; 4,0; 4,5; 5,0; 5,5; 6,0; 6,5; 7,0; 8,0; 9,0; 10,0; 11; 12; 13; 14; 15; 16; 18; 20; 22; 24; 26; 28; 30; 33; 36; 39; 42; 45; 50.

Kõik ketasmoodulfreesid on markeeritud neid iseloomustavate andmetega, mis aitavad õigesti valida vajalikku freesi.

Kõik hambalõikefreesid valmistatakse kukaldatud hammastega. Hambalõikefreesid on hinnalised lõikeriistad, seepärast tuleb nendega töötades rangelt kinni pidada lõikerežiimist.

## Hamba elementide mõõtmine

Hammasrataste hammaste paksuse ja kõrguse mõõtmiseks kasutatakse nihkhambamõõtjat (joon. 242), mille mõõteharude ehitus ja nooniuse kasutamine on sarnased täpsusnihkkaliibri (täpsusega 0,02 mm) konstruktsiooniga ja kasutamisega.

Suurus $A$, millele tuleb seada hambamõõtja kõrgusepiiraja joonlaud *2*, on võrdne

$$A = h' \cdot a = m \cdot a \text{ mm},$$

kus $m$ on mõõdetava hammasratta moodul.

Koefitsient $a$ on alati suurem ühest, kuna hamba pea kõrgus $h'$ mõõdetakse algringjoone kaare järgi, suurus $A$ aga mõõdetakse algringjoone kõõlu järgi.

Suurus $B$, millele tuleb seada hambamõõtja harud *1* ja *3*, on võrdne

$$B = m \cdot b \text{ mm},$$

kus $m$ on mõõdetava hammasratta moodul.

Koefitsient $b$ arvestab, et mõõde $B$ on algringjoone kõõlu pikkus, samal ajal kui hamba paksus on võrdne algringjoone kaare pikkusega.

$a$ ja $b$ väärtused on toodud tabelis 18.

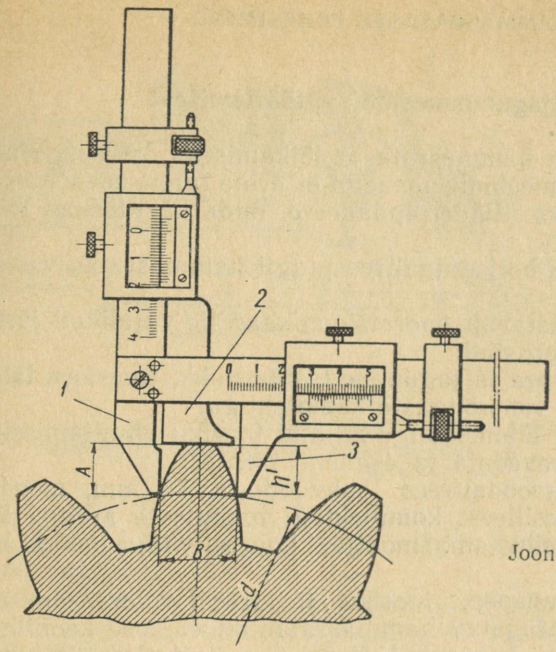
Kuna nihkhambamõõtja lugemistäpsus on 0,02 mm, siis valemite (16) ja (17) järgi saadud tulemusest heidame kõrvale kolmanda kümnendkoha ja ümardame kuni paarisarvuni.

Näide 14. Seada hambamõõtja hammasratta mooduliga 5 ja hammaste arvuga 20 hamba mõõtmete kontrollimiseks.

Valemite (16) ja (17) ning tabeli 18 järgi leiame:

$A = m \cdot a = 5 \cdot 1{,}0308 = 5{,}154$ ehk ümardatuna 5,16 mm,

$B = m \cdot b = 5 \cdot 1{,}5692 = 7{,}846$ ehk ümardatuna 7,84 mm.




Joon. 242. Nihkhamba-mõõtja

Tabel 18

**Suuruste *a* ja *b* väärtused nihkhambamõõtja seadmiseks**

| Mõõdetava hammasratta hammaste arv | Koefitsientide väärtused | | Mõõdetava hammasratta hammaste arv | Koefitsientide väärtused | |
|---|---|---|---|---|---|
| | *a* | *b* | | *a* | *b* |
| 12 | 1,0513 | 1,5663 | 31—32 | 1,0192 | 1,5701 |
| 13 | 1,0473 | 1,5669 | 33—34 | 1,0182 | 1,5702 |
| 14 | 1,0441 | 1,5674 | 35 | 1,0176 | 1,5702 |
| 15 | 1,0411 | 0,5679 | 36 | 1,0171 | 1,5703 |
| 16 | 1,0385 | 1,5682 | 37—38 | 1,0162 | 1,5703 |
| 17 | 1,0363 | 1,5685 | 39—40 | 1,0154 | 1,5704 |
| 18 | 1,0342 | 1,5688 | 41—42 | 1,0146 | 1,5704 |
| 19 | 1,0324 | 1,5690 | 43—44 | 1,0141 | 1,5704 |
| 20 | 1,0308 | 1,5692 | 45 | 1,0137 | 1,5704 |
| 21 | 1,0293 | 1,5693 | 46 | 1,0134 | 1,5705 |
| 22 | 1,0281 | 1,5694 | 47—48 | 1,0128 | 1,5706 |
| 23 | 1,0268 | 1,5695 | 49—50 | 1,0123 | 1,5707 |
| 24 | 1,0257 | 1,5696 | 51—55 | 1,0112 | 1,5707 |
| 25 | 1,0246 | 1,5697 | 56—60 | 1,0103 | 1,5708 |
| 26 | 1,0237 | 1,5697 | 61—70 | 1,0088 | 1,5708 |
| 27 | 1,0228 | 1,5698 | 71—80 | 1,0077 | 1,5708 |
| 28 | 1,0221 | 1,5699 | 81—127 | 1,0063 | 1,5708 |
| 29 | 1,0212 | 1,5700 | 128—135 | 1,0046 | 1,5708 |
| 30 | 1,0206 | 1,5700 | hammaslatt | 1,0000 | 1,5708 |

## Näide lihtjagamismeetodiga töötlemisest

Pingi seadistamine hammasrataste lõikamiseks ketasmoodulfreesidega lihtjagamismeetodil peaaegu ei erine pingi seadistamisest soonte freesimiseks silinderpindadesse, mida käsitlesime XVI peatükis.

Olgu tarvis lõigata horisontaalfreespingil hammasratas vastavalt joonisele 243.

Töötlemiseks on vastavalt operatsioonikaardile vajalikud järgmised rakised ja lõikeriistad:

*rakised* — jagamispea ja tagumine tsenterpukk, freestorn läbimõõduga 27 mm koos vaherõngaste komplektiga;

*tööabinõud* — torn läbimõõduga 25 mm tooriku kinnitamiseks, kaasaveopadrun, kaasavedaja ja esimene tsenter;

*lõikeriist* — ketasmoodulfrees läbimõõduga 75 mm, moodul $m = 3$, nr. $5^1/_2$ 15-freesilisest komplektist, hammaste arvuga 22;

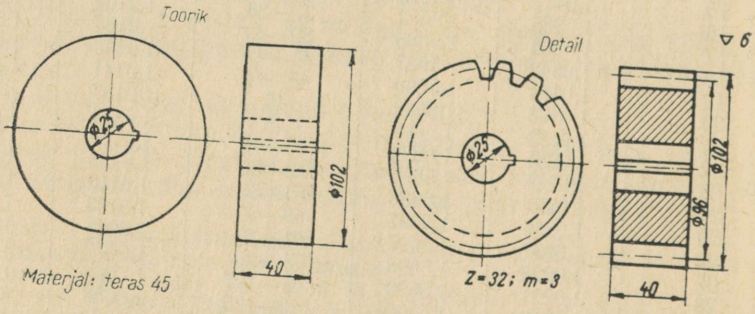
*mõõteriistad* — nihkhambamõõtja, kontrollvõll, indikaator, šabloon.

Ettekujutuse jagamispea, tooriku ja freesi ülesseadmisest annab joonis 244, *a*. Lõigatav hammasratas on väikese koonilisusega tornile tihedalt peale surutud. Torni üks ots toetub esimesele tsentrile, mis on asetatud jagamispea spindli pessa, teine tagumisele tsentrile. Jagamispea spindli otsale on kinnitatud kaasaveopadrun, mis tornile kinnitatud kaasavedaja abil pöörab tornile kinnitatud detaili.

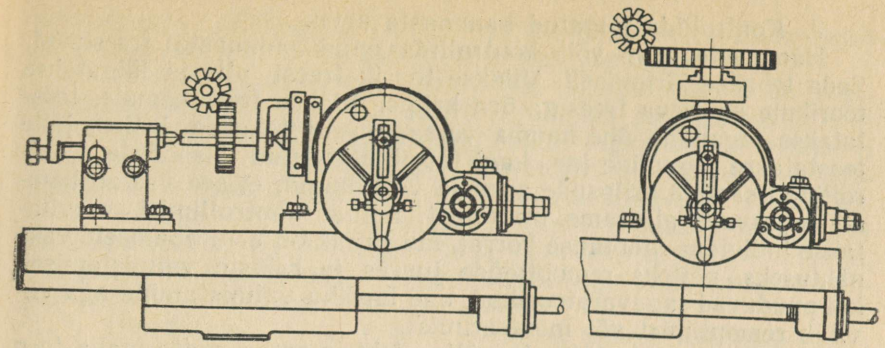
Freesi asendit jagamispea telgjoone suhtes reguleeritakse meile juba tuntud viisil.

Freesimissügavus $t$ on võrdne hamba kõrgusega $h$. Määrame hamba kõrguse valemi (13) järgi:

$$h = 2{,}2\,\text{m} = 2{,}2 \cdot 3 = 6{,}6\ \text{mm}.$$




Joon. 243. Hammasratta joonis




Joon. 244. Hammasrataste freesimine:
*a* — jagamispea spindel asetseb horisontaalselt; *b* — jagamispea spindel asetseb vertikaalselt

Häälestame pingi lõikekiirusele $v = 20$ m/min ja ettenihkele 0,05 mm/hambale.

Hammasratta hammaste freesimise järjekord on järgmine.

1. Asetada kohale käigupiirajad pikiettenihke automaatseks väljalülitamiseks.
2. Käivitada pink.
3. Viia toorik käsitsi vertikaal- ja pikiettenihkega kergesse kokkupuutesse freesiga (pärast freesi jagamispea tsentri järgi ülesseadmist ristkelk stoperdatakse). Viia töölaud pikiettenihkega lähteasendisse. Tõsta töölauda freesimissügavuse võrra vertikaalettenihke limbi järgi. Stoperdada konsool.
4. Viia töölaud freesi juurde, lülitada sisse jahutus, aeglaselt alustada lõikamist ja lülitada sisse mehaaniline pikiettenihe. Freesida esimene hambavahe. Seisata pink ja lülitada välja jahutus. Kontrollida šablooniga hambavahe profiili. Mittevastavuse korral parandada töölaua asukohta.
5. Vabastada konsool, lasta töölaud veidi alla. Viia töölaud lähteasendisse, vabastada jagamispea spindel ja teostada jagamine, milleks pöörata käepidet ühe täispöörde ja sektoriga piiratud ringi osa võrra, riivistada käepide ja pöörata sektorit edasi kuni käepideme tihvtini. Stoperdada jagamispea spindel. Tõsta töölaud lähteasendisse, stoperdada konsool ja freesida teine hambavahe, seisata pink ja lülitada välja jahutus.

Kontrollida nihkhambamõõtjaga mõõtmeid $A$ ja $B$ valemi (16), (17) ja tabeli 18 järgi vastavalt hammaste arvule 32 ja moodulile $m = 3$ mm.

6. Teostada uuesti jagamine ja freesida kolmas hambavahe jne.

7. Kontrollida lõigatud hammaste arvu.

Hammaste arvu võib kontrollida enne hammaste freesimist. Seda tehakse järgmiselt. Viiakse toorik freesi alla ja lõigatakse toorikule pöörleva freesiga õrn kriips, viiakse frees eemale, teostatakse jagamine ühe hamba võrra, uuesti tehakse kriips, jälle teostatakse jagamine jne., kuni toorik on teinud täispöörde. Kontrollinud saadud kriipsude arvu ja veendunud, et see vastab hammaste arvule, alustame freesimist. Sellist kontrollimist soovitatakse individuaaltootmise korral, kui praak on eriti ebameeldivaks nähtuseks, näiteks remonttööde juures ja rakiste valmistamisel, kui puuduvad tagavaratoorikud, uue tooriku valmistamine aga viivitab remontimist või monteerimist.

8. Seisata pink, lülitada välja elektrimootor, võtta maha torn koos detailiga ja kontrollida hoolikalt kõiki mõõtmeid.

## Näide töötlemisest diferentsiaaljagamismeetodil

Olgu tarvis lõigata horisontaalfreespingil hammasratas hammaste arvuga 111 ja mooduliga $m = 2$ mm.

Jaotuste arvu 111 ei saa lihtjagamismeetodil, kuna valemi (8b) järgi jagamispea käepideme pöörete arv

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{111}$$

kujutab endast lõpmatut murdu, mille nimetaja ei vasta ühelegi ringidest, mida omavad jaotuskettad. Seepärast sooritame jagamise diferentsiaalmeetodil. 111-ks osaks jagamise sooritasime näites 10, lk. 267 vahetushammasrataste komplekti 60 : 25 ja 50 : 40 ning jagamispea käepideme ühe kolmandiku pöörde abil.

Et hammaste arvuga $z = 111$ ja mooduliga $m = 2$ hammasratta välisläbimõõt

$$D_e = (z + 2)\, m = (111 + 2) \cdot 2 = 226 \text{ mm},$$

siis jagamispea УДГ-160 tsentrite kõrgus võimaldab toorikut kinnitada tsentritesse joonisel 244, *a* näidatud viisil.

Lõikeriista valik, pingi seadistamine ja freesimisrežiim ning töötlemismeetod on analoogilised hammasratta freesimisega lihtjagamismeetodil.

## Praak hammasrataste freesimisel

Hammasrataste freesimine nõuab tähelepanelikkust ja täpsust. Töötlemisreeglite mittetäitmise tõttu võivad esineda järgmised praagi juhud.

1. Hammaste arv ei vasta joonisele või näidisele. Praak on

parandamatu. *Põhjused:* valesti valitud jaotusring, valesti laiali nihutatud sektori harud, valesti teostatud jagamine.

2. Hambumissamm on erinev: ühe hamba paksus on õige, teisel väiksem, kolmandal suurem. Praak on parandamatu. *Põhjused:* töölise hooletu aukude lugemine jagamisel. Freesija ei kasutanud sektorit ja käepideme pööramisel ei saavutanud õiget aukude arvu jaotusringil või pööras vänta erinevates suundades.

3. Hambavahe laius ja sügavus (hamba paksus ja kõrgus) on valed. Kui hambavahe sügavus on joonisel ettenähtust väiksem, siis praak on parandatav, vastasel korral aga parandamatu. *Põhjus:* vale freesimissügavusele seadmine.

4. Hambad on ühest küljest pikemad, teisest lühemad. Praak on parandamatu. *Põhjus:* freesi ebaõige ülesseadmine jagamispea telgjoone suhtes.

5. Hambavahe sügavuse, hamba paksuse, hamba sammu või kõigi kolme ebaõiged mõõtmed. Praak on parandamatu. *Põhjus:* vale mooduliga või komplektinumbriga valitud ketasmoodulfrees.

6. Mitteküllaldane pinnasiledus. Praak on parandamatu. *Põhjused:* nürinenud ketasmoodulfrees, suur ettenihe, freesi või freestorni viskumine, tooriku vibreerimine (värisemine) mittejäiga kinnituse tõttu, väike lõikekiirus, lõtv jagamispea spindel, tooriku eemaleviimisel polnud töölaud alla lastud.

### Kontrollküsimusi

1. Mida nimetatakse hammasratta mooduliks? Kuidas valitakse hammasratta lõikamisel hambalõikefreeside komplektist freesi number?
2. Kuidas seatakse sektori harud olenevalt ringi jaotuste arvust, millised peavad jääma sektori sisse?
3. Kuidas ketasmoodulfreesi hammaste freesimisel õigesti üles seada?
4. Jutustage, missugune on hambalõikamise järjekord hammaste arvuga $z = 25$ ja mooduliga $m = 3$ hammasratta freesimisel? Missugust ringi tuleb kasutada? Mitu auku peab olema sektori harude vahel?
5. Jutustage hambalõikamise järjekord hammaste arvuga 119 ja mooduliga $m = 3$ hammasratta freesimisel? Missugused vahetushammasrattad tuleb paigutada kitarri? Mitu pööret tuleb teha jaotusketta käepidemega?
6. Kuidas kontrollitakse hammasratta hamba mõõtmeid?
7. Kuidas suurendada tootlikkust ühesuguste hammasrataste partiiviisilisel valmistamisel?
8. Missugustel juhtudel on vaja hammasratta toorik üles seada jagamispea vertikaalselt ülesseatud teljele (joon. 244, *b*)?

# KEERULISED FREESIMISTÖÖD

## § 56. SOONTE FREESIMINE KOONUSELE

### Nurkfreesi hammaste freesimine

Joonisel 245 on kujutatud hambalõikamise skeem ühepoolse nurkfreesi koonilisele pinnale. Sel juhul pole jagamispea spindel mitte horisontaalasendis, nagu hammaste lõikamisel silindrilistele pindadele, vaid on nurga all, kusjuures spindli kaldenurk $\alpha$ oleneb tooriku telje ja lõigatava hambavahe vahelisest nurgast. Toorik peab olema üles seatud nii, et hambavahe $ab$ (joon. 245) oleks paralleelne töölaua tööpinnaga, s. t. oleks horisontaalne.

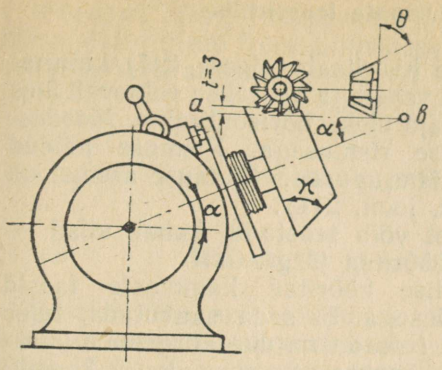
Selleks, et määrata ühepoolse nurkfreesi hammaste freesimise järjekorda, lähtume järgmistest tingimustest: freesi tooriku läbimõõt on 60 mm; $t = 3$ mm; hammaste arv $z = 16$; freesi kaldenurk $\varkappa = 70°$; materjal — tööriistateras.

Tööfreesi valik. Kuna valmistatava freesi hambad on radiaalse esipinnaga (esinurk on võrdne nulliga), valime tööfreesiks ühepoolse nurkfreesi kaldenurgaga $\Theta = 75°$, läbimõõduga 75 mm ja baasava läbimõõduga 22 mm, hammaste arvuga $z = 22$, materjal — kiirlõiketeras P18.

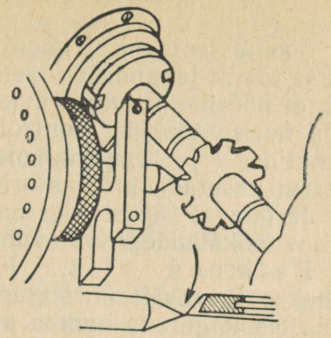
Pingi häälestamine freesimisrežiimile. Tööriistaterase töötlemiseks on antud ettenihe freesi ühe hamba kohta 0,03 mm. Lõikekiirus on antud 30 m/min, millele vastab freesi läbimõõdu 75 mm juures pöörete arv 125 p/min. Ettenihe minutis hammaste arvu $z = 22$, ettenihke 0,03 mm/hambale ja pöörete arvu 125 p/min juures $s = 0{,}03 \cdot 22 \cdot 125 = 82{,}5$ mm/min. Häälestame pingi pöörete arvule $n = 125$ p/min ja ettenihkele $s = 80$ mm/min.

Tööfreesi ülesseadmine tooriku tsentri järgi. Seadnud jagamispea spindli nurga alla $\alpha = 20°$ (nii, et freesi tooriku kooniline pind oleks paralleelne töölauaga) ja kinnitanud ta sellesse asendisse, alustame tööfreesi ülesseadmist ja kinnitamist pingi spindlisse.

Sellele järgneb tööfreesi õige ülesseadmine tooriku suhtes. Selleks asetame jagamispea spindli pessa tsentri. Pöörates järjekorras vertikaal-, piki- ja ristettenihke käepidemeid, nihutame pingi töölauda nii, et freesi hamba tipp ühtiks jagamispea spindli pessa asetatud tsentri teravikuga (joon. 246) ning kinnitame ristkelgu sellesse asendisse. Nüüd laseme pingi töölaua koos sellele kinnitatud jagamispeaga alla, võtame tsentri spindli pesast välja ja asetame sinna torni koos sellele kinnitatud toorikuga.




Joon. 245. Hammaste freesimine nurkfreesiga



Joon. 246. Tööfreesi ülesseadmine tooriku tsentri järgi

Ettevalmistus töötlemiseks. Tööfreesi seadmine vajalikule freesimissügavusele teostatakse proovitöökäikude abil. Pärast esimese hambavahe freesimist tuleb toorikut pöörata $^1/_{16}$ pöörde võrra.

Määrame valemi (8b) järgi jagamispea käepideme vajalike pöörete arvu:

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{16} = 2\,\frac{1}{2}\ \text{pööret.}$$

Järelikult tuleb jagamispea käepidet pöörata kaks täispööret ja veel pool pööret jaotusketta meelevaldse ringi järgi, millel on paarisarv auke.

Kui alustada tooriku töötlemist jagamispea spindli valitud kaldenurga $\alpha = 20°$ all, siis pärast mõningaid töökäike avastame, et hamba faas ei ole ühesuguse laiusega, vaid on tooriku suurema läbimõõduga osas laiem, aga freesidel, nagu teada, peavad faasid olema ühesuguse laiusega kogu hamba ulatuses. Järelikult freesitakse valesti ja tulemuseks on praak.

Selleks, et faasi laius oleks ühesugune kogu hamba ulatuses, peab hambavahe põhi (mitte aga tooriku pind) olema töötlemise ajal paralleelne töölauaga, s. t. asetsema horisontaalselt. Selleks tuleb jagamispea spindlit pöörata natuke vähem kui 20°. Seda nurka saab määrata arvutuse teel freesi joonise andmete põhjal, lihtsam aga on seda määrata proovikäikudega. Meie näite jaoks on see nurk võrdne 16°33′.

Jagamispea spindli kaldenurga $\alpha$ määramiseks olenevalt valmistatava freesi hamba tipunurgast $\varkappa$, ta hammaste arvust $z$ ja tööfreesi hamba tipunurgast $\Theta$ on antud tabel 62 käsiraamatus «Справочник молодого фрезеровщика».

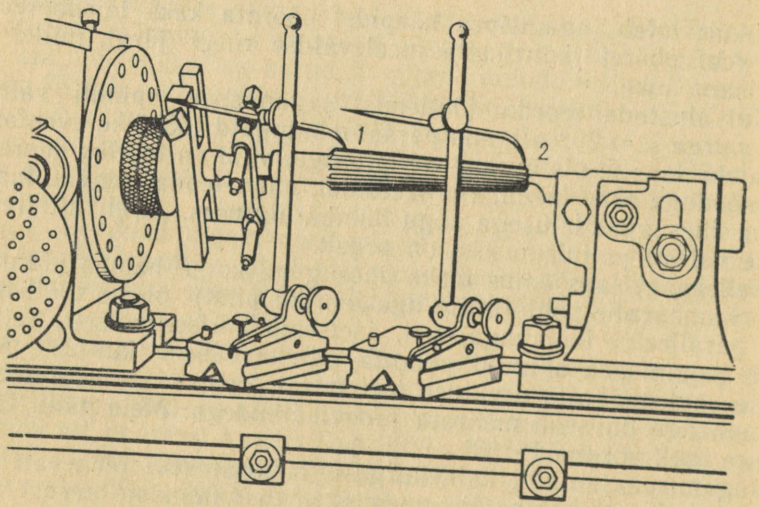
## Koonilise hõõritsa soonte freesimine

Soonte freesimisel koonilisele hõõritsale (joon. 247) kinnitatakse toorik jagamispea tsentrite vahele ja seatakse eelnevalt üles nii, et hõõritsa koonuse moodustaja oleks horisontaalne. Moodustaja horisontaalsust kontrollitakse rismusega. Rismuse näidud punktides *1* ja *2* peavad olema ühesugused. Rismuse asemel on parem kasutada indikaatorit (vt. joon. 211).

Järgnevat täpset ülesseadmist võib teostada kahel viisil — proovitöökäikudega või valmis hõõritsa järgi.

E s i m e n e  v i i s. Koonilise hõõritsa hammaste faasid tehakse tavaliselt ühesuguse laiusega. Et seda saavutada, tuleb hõõritsa lõigatava hamba punkt *1* seada natuke kõrgemale punktist *2*. Nende punktide vahelise kõrguse erinevus oleneb koonilisuse suurusest, soonte arvust jne. Seepärast tehakse mõned proovitöökäigud punktide *1* ja *2* erinevate asendite puhul ja leitakse selline asend, kus faas saadakse ühesuguse laiusega kogu hamba ulatuses.

T e i n e  v i i s. Võetakse valmis hõõrits samade mõõtmetega, mis kuulub valmistamisele, ja selle järgi seatakse rismuse või indikaatori abil üles tagumine tsenterpukk. Pärast seda, kui jagamispea on nõutud viisil üles seatud, võetakse näidishõõrits maha ja tema asemele kinnitatakse jagamispea tsentrite vahele töödeldav toorik.




Joon. 247. Koonilise hõõritsa ülesseadmine jagamispea tsentrite vahele

Seadnud üles ja kinnitanud nii freesi kui ka tooriku, häälestatakse pink valitud freesimisrežiimile, valitakse vajalik ring jaotuskettal ja määratakse jagamispea käepideme pöörete arv.

## § 57. SOONTE FREESIMINE OTSPINNALE

### Hammaste freesimine freesi otsale

Joonisel 248 on kujutatud tooriku ja tööfreesi ülesseade skeem freesi otshammaste freesimiseks. Freesi otshammastel peab faas olema ühesuguse laiusega kogu hamba pikkuse ulatuses, selleks peab joon *ab* olema horisontaalne. Selle tagamiseks tuleb lõigatava freesi telg asetada pingi töölaua horisontaaltasapinna suhtes kindla nurga $\alpha$ alla (joon. 248).

Tabelis 19 on toodud praktikas kõige sagedamini kasutatavamad nurga $\alpha$ väärtused.

Freesi ja tooriku ülesseadmine, kinnitamine ja kontrollimine, jagamismeetodid ja lõikerežiimid hammaste freesimisel freesi otsale ei erine eespool käsitletud näidetest, seepärast siin neid ei kirjeldata.

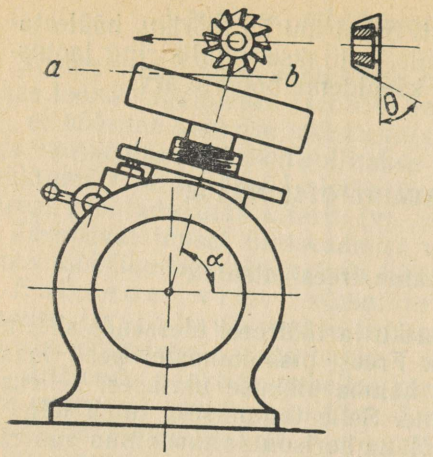
Tabel 19

**Jagamispea spindli kaldenurk $\alpha$ laup-, nurk- ja otsfreeside ning kolmepoolsete ketasfreeside otshammaste freesimisel**

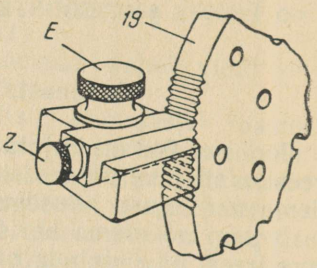
| Lõigatava freesi hammaste arv | Tööfreesi hamba tipunurk $\Theta$ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 85° | 80° | 75° | 70° | 65° |
| 10 | 86°21′ | 82°38′ | 78°46′ | 74°40′ | 70°12′ |
| 12 | 87°06′ | 84°09′ | 81°06′ | 77°52′ | 74°23′ |
| 14 | 87°35′ | 85°08′ | 82°35′ | 79°54′ | 77°01′ |
| 16 | 87°55′ | 85°49′ | 83°38′ | 81°20′ | 78°52′ |
| 18 | 88°11′ | 86°17′ | 84°24′ | 82°23′ | 80°13′ |
| 20 | 88°22′ | 86°43′ | 85° | 83°13′ | 81°17′ |
| 22 | 88°31′ | 87°02′ | 85°29′ | 83°52′ | 82°08′ |
| 24 | 88°39′ | 87°18′ | 85°53′ | 84°24′ | 82°49′ |
| 26 | 88°45′ | 87°30′ | 86°12′ | 84°51′ | 83°33′ |
| 28 | 88°51′ | 87°42′ | 86°29′ | 85°14′ | 83°53′ |
| 30 | 88°56′ | 87°51′ | 86°44′ | 86°34′ | 84°18′ |
| 32 | 89° | 88° | 87° | 86° | 85° |

Ainsaks erinevuseks, millele tuleb pöörata erilist tähelepanu, on ülesseade täpsus, mis peab tagama silindrilise või koonilise pinna hambavahede kokkusattumise hambavahedega otspinnal.

Seepärast pärast tööfreesi kinnitamist freespingi spindlisse ja jagamispea ülesseadmist vajaliku kaldenurga alla, pärast freesi seadmist jagamispea spindli tsentri järgi ja tooriku kinnitamist




Joon. 248. Otshammaste freesimine




Joon. 249. Jagamispea tagumine riiv

jagamispeasse, tuleb jagamispea spindel koos sinna kinnitatud toorikuga seada nii, et freesi esimene töökäik (õigemini esimene freesitud hambavahe) langeks täpselt kokku lõigatava freesi silindrilisel või koonilisel pinnal oleva hambavahega.

Jagamispea spindli pööramiseks väikese nurga võrra on jagamispeadel УДГ-135 ja УДГ-160 tagumine riiv (vt. joon. 232, riiv *Z*).

Joonisel 249 on kujutatud jagamispea tagumine riiv, kusjuures tähistus vastab joonisele 232. Jaotusketta *19* silindrilisel pinnal on ühes kohas riivi *Z* vastas mõned hambakesed. Samasugused hambakesed on riivi *Z* väljatõmmatava varda otsal. Vabastades stoppkruvi *E*, võib riivi kettast eemale tõmmata, pöörata jaotusketast natuke ühes või teises suunas, lasta riiv tagasi ja kinnitada uuesti stoppkruviga *E*.

Teistel jagamispea tüüpidel koosneb jaotusketta asendi korrigeerimise seadeldis kahest kruvist, mis asuvad jagamispea käepidemel. Kruvide reguleerimisega võib jagamispea käepidet koos teo, tigurattaga ning jagamispea spindliga natuke pöörata ühes või teises suunas.

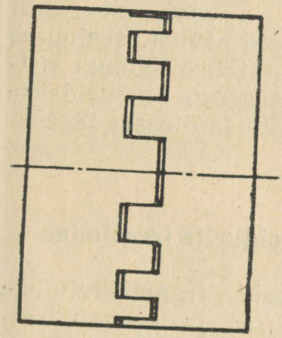
Kui on saavutatud freesi pinna ja otspinna hambavahede ühtimine, tuleb jagamispead pöörata alates esimesest hambavahest. Järelikult võib jagamispea laialilükatava sektori kohale seada alles pärast seda, kui on saavutatud otspinna esimese hambavahe ühtimine silindrilisel või koonilisel pinnal oleva hambavahega.

## Sirgete hammastega hammassiduri freesimine

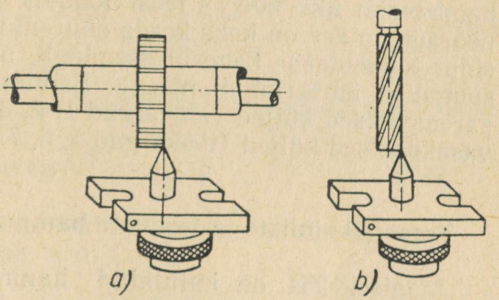
Joonisel 250 on kujutatud masinaehituses sageli kasutatav sirgete hammastega hammassidur. Tihti nimetatakse neid sidureid nukksiduriteks.

Hammassidurite freesimise järjekord on paarituarvuliste ja paarisarvuliste hammastega sidurite puhul erinev, kuid olenemata freesitava siduri hammaste arvust, tuleb ketasfrees üles seada nii, et ta otspind läbiks jagamisabinõud või jagamispea tsentrit (joon. 251, *a*); otsfreesi ülesseade on näidatud joonisel 251, *b*.

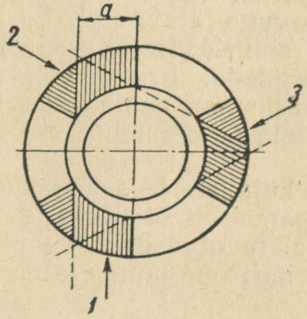
P a a r i t u  h a m m a s t e  a r v u g a  s i d u r i  f r e e s i m i n e. Joonisel 252 on kujutatud paaritu hammaste arvuga (näiteks kolm) siduri freesimise skeem, kus pikiettenihke suund on näidatud noolega.



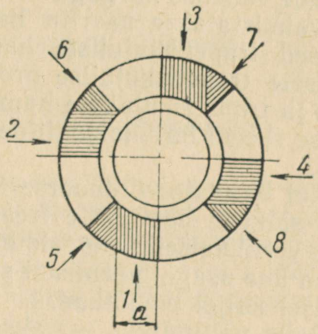
Joon. 250. Hammassidur




Joon. 251. Ketasfreesi (*a*) ja otsfreesi (*b*) ülesseade hammassiduri soonte freesimiseks




Joon. 252. Paaritu hammaste arvuga hammassiduri soonte freesimise skeem




Joon. 253. Paaris hammaste arvuga hammassiduri soonte freesimise skeem

Skeemilt on näha, et hambavahed freesitakse ketas- või otsfreesiga, mille laius või läbimõõt on võrdne hambavahe vähima laiusega *a*. Iga töökäiguga (skeemil 1, 2, 3) töödeldakse kahe vastastikku asetseva hambavahe üks külg. Freesi töökäikude arv ja vastavalt siduri pööramiste arv on võrdne hammaste (või hambavahede) arvuga. Järelikult freesitakse kolmehambalist sidurit kolme töökäiguga, viiehambalist — viie töökäiguga jne.

Paaris hammaste arvuga siduri freesimine. Joonisel 253 on kujutatud paaris hammaste arvuga (näit. neli) siduri freesimise skeem, kus ettenihke suund on näidatud nooltega.

Paaris hammaste arvuga sidurite freesimisel ei ole võimalik freesi läbiulatuv töökäik ja hambavahed freesitakse ühelt küljelt ketas- või otsfreesiga, mille laius või läbimõõt on võrdne hambavahe vähima laiusega *a*.

Skeemilt joonisel 253 on näha, et antud juhul töödeldakse freesi iga töökäiguga (skeemil — 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8) ainult ühe hambavahe üks külg. Freesi töökäikude arv ja vastavalt siduri pööramiste arv on kaks korda suurem hammaste arvust. Seejuures sidur töödeldakse kahe ülesseadega, mis teostatakse töölaua ristsuunalise ümbernihutamisega. Esimese ülesseadega töödeldakse parempoolsed küljed (töökäigud 1, 2, 3 ja 4), teise ülesseadega — vasakpoolsed küljed (töökäigud 5, 6, 7 ja 8).

### Trapetsikujuliste ja teravate hammastega sidurite freesimine

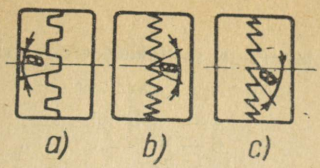
Joonisel 254 on kujutatud hammassidurid trapetsikujuliste (*a*), teravate võrdhaarse kolmnurga kujuga (*b*) ja teravate saehambakujuliste (*c*) hammastega.

Sirgete hammastega nukksidureid on ebamugav sisse lülitada, seepärast tehakse hamba külgpinnad natuke kaldu, hamba külgpindade vahelise nurgaga $\Theta = 2 - 8°$ (parem 5°), kusjuures sidurid valmistatakse paaritu hammaste arvuga (tavaliselt 5—11). Sellised trapetsikujuliste hammastega sidurid freesitakse spetsiaalsete trapetsikujulise profiiliga freesidega. Freesi ülesseadmine ja trapetsikujuliste hammastega nukksiduri hambavahe freesimise skeem on analoogiline sirgete hammastega siduri freesimisega.

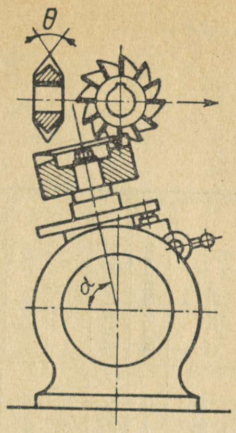
Kui teravate võrdhaarse kolmnurga kujuliste ja saaghammastega sidurite hammaste freesimisel jagamispea spindli telg asetada vertikaalselt, siis siduri kaks poolt puutuvad kokku ainult pinna ühe osaga, peamiselt siduri välisringjoone juures ja tsentripoolsel küljel on lõtkud.

Selle vältimiseks seatakse jagamispea spindel koos toorikuga kaldu.

Jagamispea spindli kaldenurk (joon. 255) teravate võrdkülgsete hammaste freesimisel määratakse valemiga:




Joon. 254. Trapetsikujuliste ja teravate hammastega hammassidurid




Joon. 255. Siduri hammaste freesimine

$$\cos \alpha = \operatorname{tg} \frac{90^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \frac{\Theta}{2} \quad . \qquad (18)$$

Jagamispea spindli kaldenurk saaghammaste freesimisel määratakse valemiga:

$$\cos \alpha = \operatorname{tg} \frac{180^\circ}{z} \cdot \operatorname{ctg} \Theta, \qquad (19)$$

kus $\alpha$ — jagamispea spindli kaldenurk;
$z$ — siduri hammaste arv;
$\Theta$ — freesi nurk.

Jagamispea spindli kaldenurga väärtused on antud käsiraamatus A. H. Оглоблин, «Справочник фрезеровщика» (Машгиз 1962, lk. 363).

## § 58. JAGAMINE MITTEVÕRDSETEKS OSADEKS

### Üldmõisteid mittevõrdseteks osadeks jagamisest

Senini käsitlesime kõikides näidetes ringjoone jagamist võrdseteks osadeks, kuid freesimisel esineb ka juhuseid, kus tooriku ringjoon on vaja jagada *mittevõrdseteks* osadeks, näiteks ebaühtlase sammuga hõõritsate hammaste freesimine. ГОСТ 8237-57 järgi valmistatud otsfreesid omavad samuti ebaühtlase sammuga hambaid.

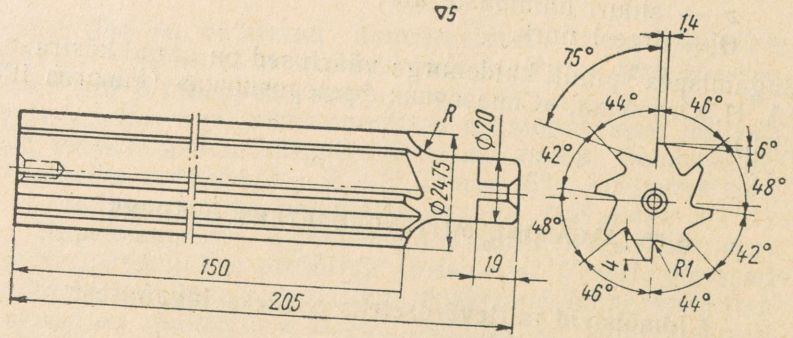
Joonisel 256 on kujutatud ebaühtlase sammuga kaheksahambaline hõõritsa. Nagu jooniselt nähtub, on hõõritsa kesknurgad vastastikku võrdsed.

## Ringjoone jagamine mittevõrdseteks osadeks

Jagamispea karakteristik 40

4 — 5 hamba korral võtta
6 — 16 „ „ „
18 — 22 „ „ „

| Jaotuste (hammaste) arv | 1. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 2. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 3. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 4. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 5. nurk | Pöörete arv | Aukude arv |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 4 | 87°55′ | 9 | 30 | 92°05′ | 10 | 9 | | | | | | | | | |
| 5 | 71°32′ | 7 | 37 | 73°51′ | 8 | 8 | 70°23′ | 7 | 32 | 74°18′ | 8 | 10 | 69°56′ | 7 | 30 |
| 6 | 58°02′ | 6 | 22 | 59°53′ | 6 | 32 | 62°05′ | 6 | 44 | | | | | | |
| 8 | 42° | 4 | 32 | 44° | 4 | 44 | 46° | 5 | 6 | 48° | 5 | 16 | | | |
| 10 | 33° | 3 | 34 | 34°30′ | 3 | 41 | 36° | 4 | — | 37°30′ | 4 | 8 | 39° | 4 | 15 |
| 12 | 27°30′ | 3 | 3 | 28°30′ | 3 | 8 | 29°30′ | 3 | 14 | 30°30′ | 3 | 19 | 31°30′ | 3 | 24 |
| 14 | 23°30′ | 2 | 30 | 24°15′ | 2 | 34 | 25° | 2 | 38 | 25°45′ | 2 | 43 | 26°30′ | 2 | 46 |
| 16 | 20°30′ | 2 | 14 | 21° | 2 | 17 | 21°30′ | 2 | 20 | 22°15′ | 2 | 23 | 22°45′ | 2 | 26 |
| 18 | 17°20′ | 1 | 50 | 18° | 2 | — | 18°40′ | 2 | 4 | 19°20′ | 2 | 8 | 20° | 2 | 18 |
| 20 | 15° | 1 | 36 | 15°40′ | 1 | 40 | 16°20′ | 1 | 44 | 17° | 1 | 48 | 17°40′ | 1 | 52 |
| 22 | 13° | 1 | 24 | 13°40′ | 1 | 28 | 14°20′ | 1 | 32 | 15° | 1 | 36 | 15°40′ | 1 | 40 |




Joon. 256. Ebaühtlase sammuga hõõrits

Tooriku mittevõrdseteks osadeks jagamisel kasutatakse tavaliselt tabeleid.

Tabelis 20 on toodud jagamispea käepideme täispöörete arv ja jaotusringi aukude arv, mille võrra tuleb pöörata käepidet mittevõrdseteks osadeks jagamisel.



Tabel 20

## ebaühtlase sammuga hõõritsate hammaste freesimisel

jaotusring 39 auguga
„ 49 „
„ 54 „

| 6. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 7. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 8. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 9. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 10. nurk | Pöörete arv | Aukude arv | 11. nurk | Pöörete arv | Aukude arv |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 32°30′ | 3 | 30 | | | | | | | | | | | | | | | |
| 27° | 3 | — | 28° | 3 | 5 | | | | | | | | | | | | |
| 23°15′ | 2 | 29 | 24° | 2 | 32 | 24°45′ | 2 | 35 | | | | | | | | | |
| 20°40′ | 2 | 16 | 21°20′ | 2 | 20 | 22° | 2 | 24 | 22°40′ | 2 | 28 | | | | | | |
| 18°20′ | 2 | 2 | 19° | 2 | 6 | 19°40′ | 2 | 10 | 20°20′ | 2 | 14 | 21° | 2 | 18 | | | |
| 10°20′ | 1 | 44 | 17° | 1 | 48 | 17°40′ | 1 | 52 | 18°20′ | 2 | 2 | 19° | 2 | 6 | 20° | 2 | 12 |

Tabelite kasutamine on väga lihtne. Kaheksahambalise hõõritsa freesimisel joonise 256 järgi lõigatakse esimene hambavahe meelevaldselt. Seejärel pööratakse käepidet neli täispööret ja veel 32 augu võrra jaotusketta ringil 49 ning freesitakse teine hambavahe. Edasi pööratakse käepidet neli täispööret ja veel 44 augu võrra samal ringil 49 ning freesitakse kolmas hambavahe. Siis pööratakse käepidet viis täispööret ja veel 6 augu võrra ringil 49 ning freesitakse neljas hambavahe, pärast seda pööratakse käepidet viis täispööret ja veel 16 augu võrra ringil 49 ning freesitakse viies hambavahe. Edasi jagamine kordub, s. t. pööratakse käepidet $4 + \frac{32}{49}$ pööret, siis $4 + \frac{44}{49}$ pööret, siis $5 + \frac{6}{40}$ pööret ja lõpuks $5 + \frac{16}{40}$ pööret, kuni on freesitud kõik kaheksa hambavahet.

## Ebaühtlase sammuga hõõritsa hammaste freesimine

Olgu tarvis freesida ebaühtlase sammuga kaheksahambaline hõõrits (joon. 256). Hõõritsa hambavahesid võib freesida meile varem tuntud töövõtetega, nagu tooriku ülesseadmine jagamispea

tsentrite vahele, freesi kinnitamine ning jagamispea häälestamine, võttes arvesse ringjoone mittevõrdseteks osadeks jagamise reegleid ja tabelit 20.

Ebaühtlase sammuga hõõritsate hambavahede freesimisel võivad hammastel tekkida konstantse lõikesügavuse juures erineva laiusega juhtribad. Selle puuduse vältimiseks tuleb freesida hambavahed erineva sügavusega; kui kesknurk on suurem, siis freesida sügavamalt, aga kui kesknurk on väiksem, freesida madalamalt. Vajalik freesimissügavus tuleb igal erijuhul leida proovitöökäikudega.

#### Kontrollküsimusi

1. Mispärast tuleb jagamispea spindli pööramisel spindel vabastada ja siis uuesti stoperdada?
2. Kuidas tuleb asetada tooriku telg selleks, et freesida sooni koonuspinnale? Milliseid meetodeid võib kasutada tooriku õigeks ülesseadmiseks?
3. Kuidas freesida hambavahesid paaritu hammaste arvuga nukksiduri toorikule? Paaris hammaste arvuga? Millisel juhul ei tohi paaris hammaste arvuga nukksidurite hambavahede freesimisel kasutada ketasfreesi?
4. Missuguse kaldenurga alla tuleb asetada teravate hammastega hammassiduri toorik, et saada õige hammaste pind?
5. Kuidas teostatakse ebaühtlase sammuga hõõritsa freesimisel jagamist? Kuidas määratakse kindlaks jaotusketta käepideme pöörete arv?
6. Määrata tabeli 20 alusel jagamise teostamiseks vajalikud jaotusketta käepideme pöörete arvud ebaühtlase sammuga 12 hambaga hõõritsa freesimisel.
7. Kuidas vältida erineva laiusega juhtribade tekkimist ebaühtlase sammuga hõõritsate freesimisel?
8. Määrake lõikerežiim (ettenihe hamba kohta, freesi pöörete arv, ettenihe minutis, freesimissügavus), valige frees ja abinõud joonisel 256 toodud ebaühtlase sammuga hõõritsa hammaste freesimiseks.

XX PEATÜKK

## KRUVISOONTE FREESIMINE

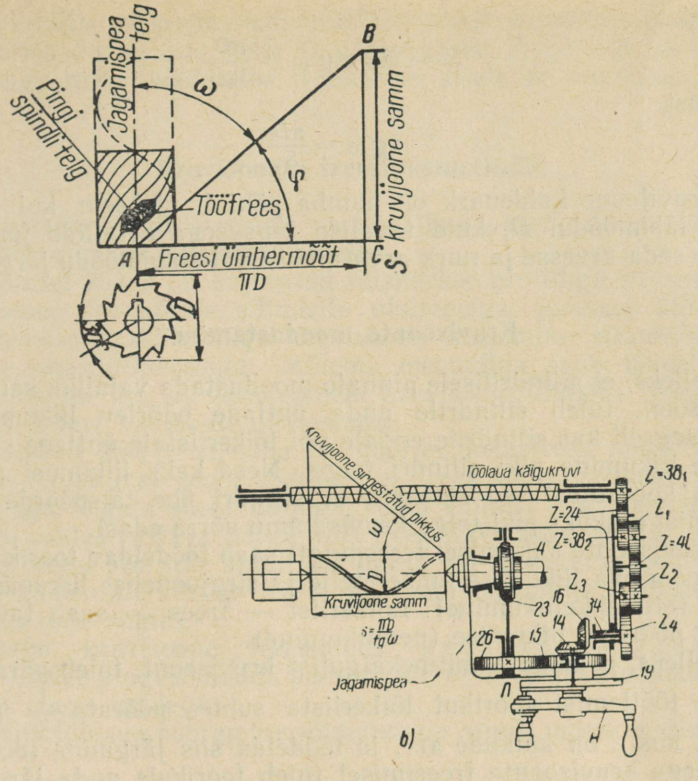
### § 59. ÜLDTEADMISI KRUVIJOONEST

#### Kruvijoone elemendid

Kruvijoone põhielemendiks on tema samm, mida tähistatakse tähega *S*.

Kujutleme kruvihammastega silinderfreesi (joon. 257, *a*), mida võib vaadelda kui mitmekäigulist kruvi sammuga *S*.

Võtame kolmnurgakujulise paberilehe, mille üks kaatet *BC* on




Joon. 257. Kruvijoone moodustumine freesinnisel

võrdne freesi kruvijoone sammuga ja teine kaatet $AC$ — freesi (läbimõõduga $D$) ümbermõõduga. Keerame paberist kolmnurga ümber freesi. Kaatet $AC$ pöördub ümber freesi silindri põhja, aga hüpotenuus $AB$ keerdub freesi silindril hamba kruvijoont mööda (näidatud silindril kriipsjoonega). Kui freesil (joon. 257, *a*) on 12 hammast, võib teda vaadelda kui 12-käigulist kruvi, mille iga keermeniit moodustab iseseisva kruvijoone, mis on naaberniidi suhtes nihutatud 360° : 12 = 30° võrra.

Kruvijoon moodustab silindri teljega nurga ω, mida nimetatakse *kruvijoone kaldenurgaks.**

Täisnurkse kolmnurga $ABC$ (joon. 257, *a*) kaatetite ja nurga ω vahel kehtib trigonomeetriline seos:

$$BC = AC \operatorname{ctg} \omega = \frac{AC}{\operatorname{tg}\omega}$$

* Täiendusnurka (90° — ω) nimetatakse kruvijoone tõusunurgaks ja tähistatakse tähega ψ.

ehk

$$S = \pi D \operatorname{ctg} \omega = \frac{\pi D}{\operatorname{tg}\omega}, \qquad (20)$$

kust

$$\operatorname{tg} \omega = \frac{\pi D}{S}. \qquad (21)$$

Kruvijoone kaldenurk on hamba põhjal väiksem kui hamba tipul läbimõõdul $D$, kuid tavalise täpsusega detailide juures ei võeta seda arvesse ja nurk arvutatakse välisläbimõõdu järgi.

## Kruvisoonte moodustamine*

Selleks, et silindrilisele pinnale moodustada vajaliku sammuga kruvisoon, tuleb silindrile anda ühtlane pöörlev liikumine ja samaaegselt kas silindrile endale või lõikeriistale ühtlane sirgjooneline liikumine piki silindri telge. Need kaks liikumist peavad olema kooskõlastatud selliselt, et silindri ühe täispöörde vältel lõikeriist nihkuks piki telge kruvisammu võrra edasi.

Kruvisoonte lõikamisel freespingil saab töödeldav toorik (silinder) pöörleva liikumise ümber telje ja sirgjoonelise liikumise piki telge (ettenihkeliikumine). Lõikeriist — frees — saab tavaliselt ainult pöörleva liikumise (pealiikumine).

Selleks, et lõigata mitmekäigulist kruvisoont, tuleb pärast iga soone töötlemist toorikut lõikeriista suhtes pöörata $\frac{1}{z}$ pöörde võrra, kus $z$ on käikude arv, ja töödelda siis järgmine soon.

Seega kruvisoonte freesimisel tuleb toorikule anda järgmised liikumised:

1. Ühtlane pöörlev liikumine ümber tooriku telje, mis saavutatakse jagamispea spindli pöördumisega. Toorik on kinnitatud jagamispea tsentrite vahele või padrunisse.
2. Ühtlane sirgjooneline liikumine piki telge, mis saavutatakse pingi töölaua pikiettenihkega. Töölauale on üles seatud jagamispea koos töödeldava toorikuga.
3. Pööramine pärast iga töökäiku $\frac{1}{z}$ pöörde võrra jaotusketta abil.

Selleks, et jagamispea spindel saaks ühtlase pöörleva liikumise, ühendatakse ta vahetushammasrataste komplekti kaudu töölaua pikiettenihkekruviga. Joonisel 257, *b* on kujutatud skemaatiliselt jagamispea spindli ja töölaua pikiettenihkekruvi vaheline seos. Skeemi hõlpsamaks lugemiseks on jagamispea üksikud detailid tähistatud samade tähistega nagu joonisel 232.

---

* Kursuse selle osa paremaks illustreerimiseks soovitatakse õppustel kasutada plakatit nr. 19 «Фрезерование винтовых канавок» seeriast «Фрезерное дело», Трудрезервиздат, 1958.

Tänu sellele seosele saab freesitav toorik vajalikud liikumised; ta pöörleb ümber oma telje ja samaaegselt liigub sirgjooneliselt piki telge, mille tulemusena freesimisel saadakse kruvisoon.

## Kruvisoonte freesimismeetodid

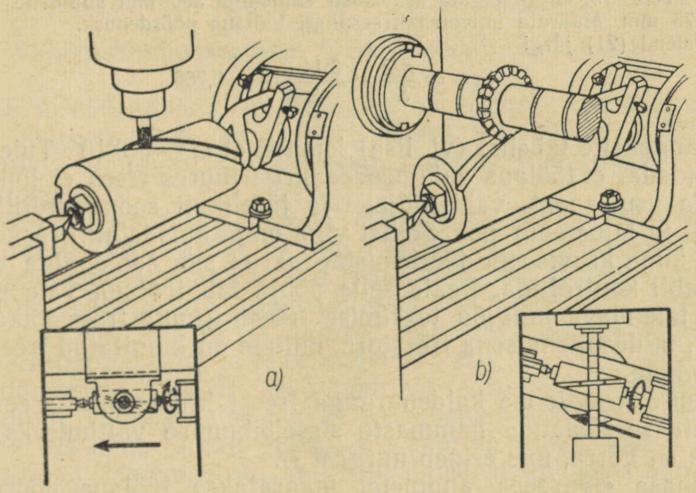
Kruvisooni võib freesida vertikaalfreespingil otsfreesiga või horisontaalfreespingil ketasfreesiga.

Joonisel 258, *a* on kujutatud täisnurkse profiiliga parempoolse kruvisoone freesimine silindrile otsfreesiga, joonisel 258, *b* — vasakpoolse nurkprofiiliga kruvisoone freesimine silindrile kahepoolse ketasnurkfreesiga. Mõlema meetodiga saab töödelda nii parempoolset kui ka vasakpoolset kruvisoont, milleks tuleb jagamispea kitarr vastavalt häälestada.

Jooniselt 258, *b* on näha, et pöörlev ketasfrees nagu veereks mööda freesitavat soont. Selleks, et frees võiks soones veereda, mitte aga lõigata soont küljega, tuleb silindri telg pöörata pingi spindli suhtes vastava nurga alla. Freesitava soone profiil silindril vastab freesi profiilile ainult sel juhul, kui freesitava soone kruvijoone kaldenurk võrdub freesi pöörlemistasapinna kaldenurgaga tooriku telje suhtes.

Seega kruvisoone freesimisel k e t a s f r e e s i g a (joon. 258, *b*) tuleb pingi töölauda pöörata nii, et freesi pöörlemistasapind ühtiks soone kaldega.

Kuna töölaua pööramise võimalus on ainult universaalfreespin-




Joon. 258. Kruvisoone freesimine:
*a* — otsfreesiga; *b* — ketasfreesiga

kidel, siis saab kruvisooni ketasfreesiga freesida ainult nendel pinkidel.

Kruvisoone freesimisel otsfreesiga (joon. 258, *a*) pingi töölauda ei pöörata, kuna freesi pöörlemistasapind ühtib soone kaldega. Kuid seejuures tuleb arvesse võtta, et otsfreesiga saab freesida ainult täisnurkseid või sümmeetrilise V-kujulise profiiliga sooni, kuna otsfreesi lõikeservad võivad olla kas silindrilised või koonilised.

Profiilsete kruvisoonte saamise põhiliseks viisiks on freesimine kujuketasfreesiga universaalfreespingil.

Eespool käsitletust selgub, et freespingi seadistamine kruvisoonte freesimiseks toimub järgmiste arvestuste järgi:

1) universaalfreespingi töölaua pöördenurga määramine ketasfreesiga töötlemisel;

2) jagamispea spindlit ja töölaua pikiettenihkekruvi ühendavate vahetushammasrataste ülekandesuhte määramine;

3) jaotusringi valimine ja jagamispea käepideme pöörete arvu määramine.

## Töölaua pöördenurga arvutamine

Pingi töölaua pöördenurk on võrdne kruvijoone kaldenurgaga $\omega$ ja arvutatakse valemi (21) järgi:

$$\operatorname{tg}\omega = \frac{\pi D}{S}.$$

Näide 15. Olgu lõigata kruvisoon sammuga 300 mm silindrile läbimõõduga 75 mm. Määrata universaalfreespingi töölaua pöördenurk.

Valemi (21) järgi

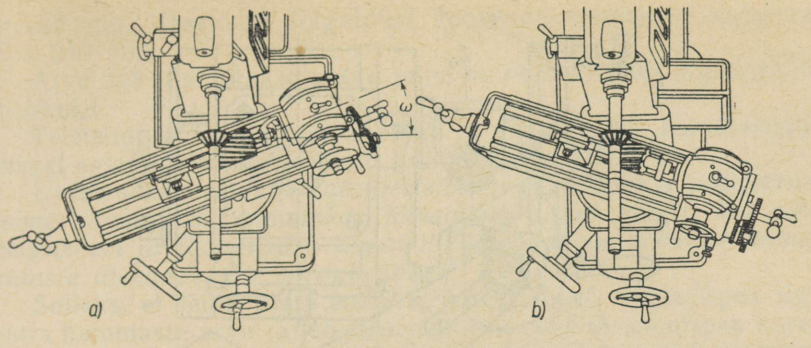
$$\operatorname{tg}\omega = \frac{\pi D}{S} = \frac{3{,}14 \cdot 75}{300} = 0{,}786.$$

Tangensite tabelist (vt. lisa) leiame, et $\omega = 38°10'$. Tuleb meeles pidada, et töölaua vale pöördenurga juures frees ei lõika otse mööda kruvisoont, vaid küljega ja järelikult soone profiil muutub — ta laius suureneb. Sellist viga on valmisdetailil raske avastada, kuna kruvisoone töötlemistäpsust ei saa šablooniga valguspilu abil kontrollida. Peale selle põhjustab töölaua vale pöördenurk täiendava külgjõu tekkimise freesil (kuna frees lõikab küljega), mille tulemusena freestorn, millele on kinnitatud frees, võib kõverduda.

Suure kruvijoone kaldenurgaga freesi kruvisoonte freesimisel pööratakse töölauda hammaste sisselõikumise vältimiseks mingi nurga $\omega_1$ võrra, mis erineb nurgast $\omega$.

Tehase «Фрезер» andmetel määratakse töölaua pöördenurk $\omega_1$ valemiga

$$\operatorname{tg}\omega_1 = \operatorname{tg}\omega \cdot \cos(\delta + \gamma_1), \qquad (22)$$




Joon. 259. Töölaua pööramise suund freesimisel:
*a* — parempoolsete kruvisoonte freesimisel; *b* — vasakpoolsete kruvisoonte freesimisel

kus $\omega_1$ — pingi töölaua pöördenurk;
$\delta$ — kahepoolse nurkfreesi (tööfreesi) nurk, mis moodustab freesitava tooriku kujundatavate hammaste esipinna;
$\gamma_1$ — töödeldava freesi normaalesinurk.

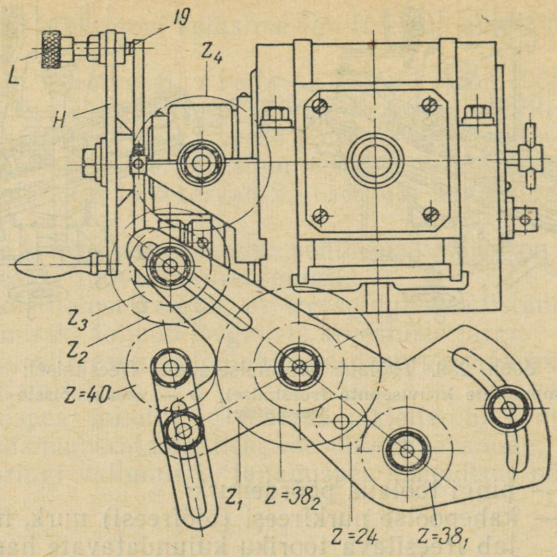
Töölaua pööramisel tuleb arvestada töödeldava tooriku kruvisoone suunda. Joonisel 259, *a* on kujutatud töölaua asend parempoolsete, joonisel 259, *b* — vasakpoolsete kruvisoonte freesimiseks universaalfreespingil.

## Vahetushammasrataste ülekandesuhte arvutamine

Tuleb meeles pidada, et lõigatava kruvisoone samm ei olene töölaua pöördenurgast, vaid ainult jagamispea spindlit ja töölaua pikiettenihke käigukruvi ühendavate vahetushammasrataste ülekandesuhtest.

Jagamispeades УДГ-100, УДГ-135 ja УДГ-160 saadakse kruvisoonte freesimiseks vajalik tooriku pöörlemine pikiettenihke käigukruvilt rea hammasrataste kaudu (joon. 260), mis ühendavad pingi käigukruvi jagamispea ajamvõlliga. Hammasrattad $z = 38_1$, $z = 24$, $z = 38_2$, $z = 40$ on *alalised* (asuvad alaliselt kitarris); hammasrattad $z_1$, $z_2$, $z_3$ ja $z_4$ on *vahetatavad*.

Hammasratas $z = 38_1$ saab pöörlemise töölaua pikiettenihke käigukruvilt; hammasratas $z = 24$ on vahehammasratas; hammasratas $z = 38_2$ istub jäigalt puksil, mis pöörleb vabalt kitarri *liikumatul* sõrmel. Hammasratas $z_1$ istub ühisel liistul koos hammasrattaga $z = 38_2$. Hammasratas $z = 40$ on vahehammasratas. Hammasrattad $z_2$ ja $z_3$ istuvad ühisel puksil, mis pöörleb vabalt kitarri




Joon. 260. Kitarr kruvisoonte freesimiseks

ümberpaigutataval sõrmel. Hammasratas $z_4$ istub jagamispea ajamvõllil *34* (vt. joon. 232).

Võlli *34* pöörlemine kantakse koonushammasrataste *16* ja *14* kaudu üle jaotuskettale *19*, jaotuskettalt aga temaga ühenduses oleva fiksaatori *L* tihvti kaudu käepidemele *H*, silinderhammasrataste *15* ja *26*, teo *23* ja tiguratta *4* kaudu aga edasi jagamispea spindlile, milline pöörleb koos tsentrite vahele kinnitatud toorikuga.

Joonisel 261, *a* on kujutatud vahetushammasrataste asetus parempoolse, joonisel 261, *b* aga vasakpoolse kruvisoone freesimiseks. Parempoolsete kruvisoonte freesimisel hammasratas $z = 40$ lülitatakse välja ja $z_1$ viiakse hambumisse $z_2$. Kuna kitarri häälestamisel tuleb vahetada ainult hammasrattad $z_1$, $z_2$, $z_3$ ja $z_4$, siis edaspidi lihtsuse mõttes loeme, et hammasratas $z_1$ asetatakse käigukruvile, aga hammasratas $z_4$ jagamispea ajamvõllile.

Kui vahetushammasrataste ülekandesuhe on võrdne ühega, siis nihkub töölaud pikiettenihke käigukruvi ühe pöördega edasi käigukruvi sammu võrra, aga jagamispea spindel pöördub $^1/_{40}$ pöörde võrra. Et jagamispea spindel teeks ühe täispöörde, peab käigukruvi tegema 40 pööret. Selle aja jooksul liigub töölaud edasi käigukruvi neljakümne sammu võrra. Oletame, et töölaua pikiettenihke käigukruvi samm on 6 mm, siis liigub töölaud tooriku täispöörde puhul (kui vahetushammasrataste ülekandesuhe on üks) edasi $6 \cdot 40 =$

= 240 mm. Järelikult lõigatakse toorikule kruvisoon sammuga $S$ = 240 mm.

Arvu 240 nimetatakse antud juhul universaalfreespingi karakteristikuks.

Teistsuguse käigukruvi sammu ja jagamispea karakteristiku korral saame teistsuguse pingi karakteristiku väärtuse.

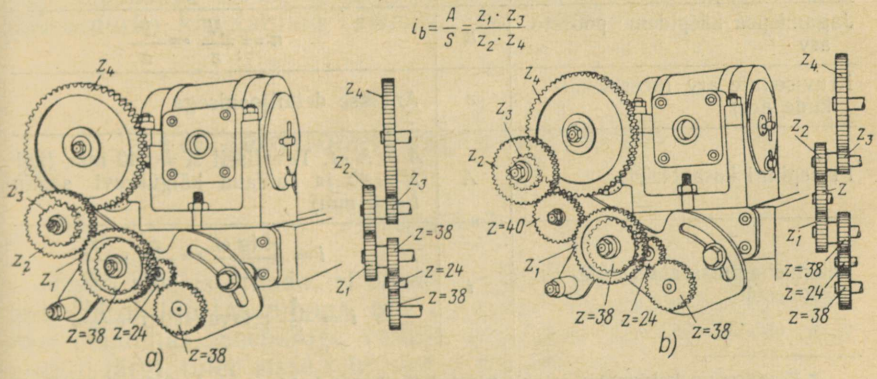
*Universaalfreespingi karakteristikuks nimetatakse seda kruvijoone sammu, mis saadakse lõikamisel antud pingil, kui pingi käigukruvi ja jagamispea ajamvõlli ühendavate vahetushammasrataste ülekandesuhe võrdub ühega.*

Selleks, et leida pingi karakteristikut, tuleb jagamispea tiguratta hammaste arvu ja teo käikude arvu suhe (jagamispea karakteristik, vt. lk. 235) korrutada pikiettenihke käigukruvi sammuga.

Vahetushammasrataste ülekandesuhte $i$ määramiseks kasutatakse lihtsat valemit.

Oletame, et on vaja lõigata kruvisoon sammuga 480 mm pingil, mille karakteristik on 240 mm. Kui võtta ülekandesuhe $i$ võrdseks ühega, s. t. panna jagamispea ajamvõll pöörlema samasuguse kiirusega nagu töölaua käigukruvi, siis saame kruvisoone sammuga 240 mm: vajalik kruvisoone samm on aga 480 mm, s. t. kaks korda suurem pingi karakteristikust. Siit on selge, et jagamispea ajamvõll peab tegema ühe pöörde, samal ajal kui töölaua käigukruvi teeb kaks pööret, mis on võimalik siis, kui käigukruvil olev vahetushammasratas $z_1$ on kaks korda suurem jagamispea ajamvõllil olevast vahetushammasrattast $z_4$ ning hammasrattad $z_2$ ja $z_3$ on ühesugused, s. t. kui $i = 1 : 2$.

Kui on vaja lõigata kruvisoon sammuga 120 mm pingil, mille karakteristik on 240 mm, siis ülekandesuhe $i = 2 : 1$.




Joon. 261. Universaaljagamispea häälestus:
a — parempoolsete kruvisoonte freesimisel; b — vasakpoolsete kruvisoonte freesimisel

Üldvalem vahetushammasrataste ülekandesuhte määramiseks kruvisoonte lõikamisel kirjutatakse järgmiselt:

$$i = \frac{A}{S}, \qquad (23)$$

kus $A$ — pingi karakteristik mm;
$S$ — lõigatava kruvisoone samm mm.

### Jagamispea käepideme pöörete arvu arvutamine

Kõik arvutused, mis on seotud jagamispea häälestamisega $z$ osaks jagamisel, teostatakse lihtjagamise reeglite alusel.

### Valemid jagamispea häälestamiseks kruvisoonte freesimisel

Tabelis 21 on toodud valemid jagamispea häälestamise arvutusteks kruvisoonte freesimisel. Need valemid ei olene soonte freesimise meetodist, ainult otsfreesiga freesimisel ei ole vaja pöörata pingi töölauda.

Tabel 21

**Valemid jagamispea häälestuse arvutusteks kruvisoonte freesimisel**

| | | |
|---|---|---|
| Kruvijoone* kaldenurk | $\omega°$ | $\operatorname{tg}\omega = \frac{\pi D}{S}$ |
| Kruvijoone tõusunurk | $\varphi°$ | $\varphi = 90° - \omega$ |
| Kruvijoone samm mm | $S$ | $S = \pi D \cdot \operatorname{ctg}\omega = \frac{\pi D}{\operatorname{tg}\omega}$ |
| Detaili läbimõõt mm | $D$ | Antakse detailjoonisega |
| Jagamispea käepideme pöörete arv | $n$ | $n = \frac{N}{z} = \frac{b}{a}$ |
| Kruvisoonte arv (keermekäikude arv) | $z$ | Antakse detailjoonisega |
| Freespingi karakteristik | $A$ | $A = N \cdot t$. Tavaliselt $A = 240$ mm (kui $N = 40$ ja töölaua käigukruvi samm $t = 6$ mm) |
| Vahetushammasrataste ülekandesuhe | $i$ | $i = \frac{A \operatorname{tg}\omega}{\pi D} = \frac{z_1}{z_2} \cdot \frac{z_3}{z_4}$<br>$i = \frac{A}{S}$; tavaliselt $i = \frac{240}{S}$ |

* Kruvisoone kaldenurk erineb pisut kruvijoone kaldenurgast silindril läbimõõduga $D$, kuna soone põhja läbimõõt on väiksem kui harja läbimõõt. Kuid tavalise täpsusega detailide puhul seda ei arvestata ja kruvisoone kaldenurk võetakse detaili välisläbimõõdu $D$ järgi.

Näide 16. Olgu tarvis freesida freesi toorikule parempoolsed kruvihambad. Tooriku läbimõõt $D = 75$ mm, hammaste arv $z = 8$, kruvihamba kaldenurk $\omega = 30°$, freespingi karakteristik $A = 240$ mm.

Määrame vahetushammasrataste ülekandesuhte valemi (23) järgi:

$$i = \frac{A}{S},$$

Antud juhul $A = 240$ mm ja $S = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} \omega}$,

$$S = \frac{3{,}14 \cdot 75}{\operatorname{tg} 30°} = \frac{235{,}62}{0{,}577} \approx 408 \text{ mm},$$

seega

$$i = \frac{240}{408}.$$

Seda ülekandesuhet saab jagamispea УДГ-135 abil järgmiste vahetushammasratastega:

$$i = \frac{60}{70} \cdot \frac{55}{80}.$$

Hammasrattad 60 ja 65 hambaga on vedavad, 70 ja 80 hambaga — veetavad. Asetame hammasratta $z_1 = 60$ käigukruvile, hammasratta $z_4 = 80$ — jagamispea ajamvõllile, $z_2 = 70$ ja $z_3 = 55$ — kitarri ümberpaigutatavale sõrmele. Vahehammasratas $z = 40$ on kitarris välja lülitatud.

Töölauda tuleb pöörata kruvisoone kaldenurga $\omega = 30°$ võrra.

Jagamispea käepideme pöörete arvu 8 osaks ($z = 8$) jagamisel määrame valemiga

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{8} = 5 \text{ pööret}.$$

Tavaliselt valitakse vahetushammasrattad kruvisoonte freesimiseks tabelite järgi käsiraamatutest.*

Need tabelid võimaldavad ligikaudselt, kuid tootmises küllaldase täpsusega valida vahetushammasrattaid ja määrata töölaua pöördenurka, kasutamata valemeid (20) ja (23).

## § 60. KRUVISOONTE FREESIMISE PRAKTIKA

### Üldjuhised

Tuleb meeles pidada, et freesi profiil vastab freesitava kruvisoone profiilile tasapinnas, mis on risti soonega, mitte aga tooriku otspinnas. Seepärast, valides kujufreesi profiili detaili otsa profiili järgi, tuleb sisse viia vastav korrektuur.

* Френкель С. Ш. Справочник молодого фрезеровщика. Профтехиздат, 1962.

## Kruvihammastega silinderfreesi freesimine

Joonisel 262 on kujutatud parempoolne kruvihammastega silinderfrees. Kruvisoone kaldenurk $\omega = 30°$. Hammaste esinurk $\gamma = 15° + 3°$. Freesi materjal — kiirlõiketeras P18.

Kolmnurkse profiiliga kruvisooni saab freesida ainult kahepoolsete ketasnurkfreesidega. Töötlemisel ühepoolse nurkfreesiga, mille ühe külje kõik lõikeservad asuvad telje risttasapinnas, tekivad freesitava soone seintele sisselõiked.

Seepärast valime vastavalt valmistatava freesi soone tipunurgale tööfreesiks kahepoolse nurkfreesi (ebasümmeetrilise) nurgaga 55°, mis koosneb kahest mittevõrdsest nurgast — suuremast 40° ja väiksemast 15°; väiksem nurk vastab lõigatava freesi esinurgale.

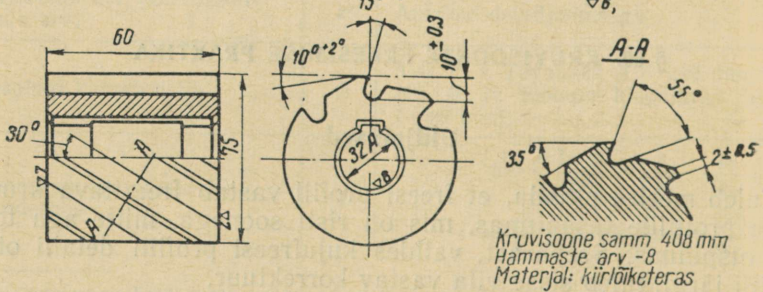
Kahepoolne nurkfrees valitakse selliselt, et toorik pöörleks väiksema nurgaga lõikeserva poolt eemale.

Joonisel 263 on näidatud, millises suunas tuleb pöörata toorikut (pingi töölauda) ja kuidas tuleb valida ja üles seada kahepoolset nurkfreesi parempoolse (joon. 263, *a*) ja vasakpoolse (joon. 263, *b*) freesi hammaste lõikamisel. Freesi ja tooriku pöörlemissuunad on tähistatud nooltega.

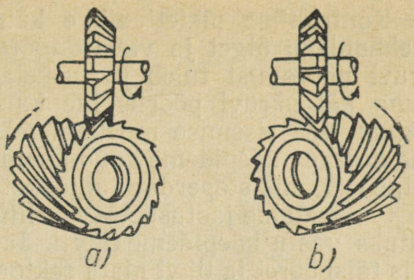
Toorik seatakse kruvisoonte freesimiseks üles tornile jagamispea tsentrite vahele. Kõike varem käsitletut tooriku ülesseadmise ja jagamispea tsentrite kontrollimise kohta tuleb rakendada ka antud töötlemise juures.

Töölaua õige paigutuse kindlaksmääramiseks kuluva aja kokkuhoiuks kruvihammastega freesi töötlemisel märgitakse toorikule tihti eelnevalt ühe esipinna asend või kogu hambavahe asend.

Mida suurem on kruvisoone kaldenurk $\omega$, s. t. mida suurem on töölaua pöördenurk, seda kaugemale pingi kerest tuleb nihutada töölaud, et teda saaks pöörata vajaliku nurga alla. Frees tuleb üles seada võimalikult täpselt töölaua pöördetelje kohale. Kuna




Joon. 262. Kruvihammastega silinderfreesi joonis




Joon. 263. Kahepoolse nurkfreesi ülesseade ja tooriku pöörlemise suund:
*a* — parempoolse kruvisoone freesimisel;
*b* — vasakpoolse kruvisoone freesimisel

freesi asukoha määramine freestornil võtab palju aega, siis toimime järgmiselt:

1. Kinnitame tornile pressitud tooriku jagamispea tsentrite vahele ja kinnitame kaasavedaja kruviga.
2. Pöörame töölauda nurga $\omega = 30°$ võrra (kruvisoone kaldenurk), vastavalt joonisele 259, *a*.
3. Nihutame töölauda ristsuunas, kuni töölaua ja pingi kere vahele jääb vahe 10—15 mm.
4. Seame üles ja kinnitame tööfreesi freestornile ligilähedaselt tooriku tsentri kohale.
5. Pöörame pingi töölaua tagasi lähteasendisse (pöördenurk 0°) ja nihutame teda ristettenihkega edasi, kuni tooriku tsenter on täpselt kahepoolse freesi hambatipu (teraviku) all, nagu näidatud joonisel 224, ja seejärel, pöörates jagamispea käepidet, viime freesi hamba ligilähedaselt kohakuti toorikul märgitud hamba soonega.
6. Käivitame pingi ja lõikame freesiga kergelt toorikusse, valides esimese soone alguse täpselt märkimise järgi, kasutades selleks rist- ja vertikaalettenihet ja jagamispea käepideme pööramist; veendunud, et kahepoolne nurkfrees on soone freesimiseks õiges asendis, stoperdame töölaua rist- ja vertikaalkelgud ja alustame jagamispea häälestamist kruvisoonte freesimiseks.
7. Määrame valemi (8a) järgi jagamispea käepideme pöörete arvu

$$n = \frac{40}{z} = \frac{40}{8} = 5.$$

8. Määrame valemi (23) järgi vahetushammasrataste ülekandesuhte.

Antud juhul $A = 240$, ja $S = \frac{\pi D}{\operatorname{tg} 30°} = \frac{235{,}62}{0{,}577} \approx 408$ mm;

$$i = \frac{A}{S} = \frac{240}{408} = \frac{60}{70} \cdot \frac{55}{80}.$$

Kuna kruvisoon on parempoolne, siis paigutame vahetushammasrattad joonisel 261, *a* toodud skeemi järgi.

Kontrollime pikiettenihke käigukruvi pööramisega ülekandemehhanismi õiget ja vabalt töötamist. Enne pikiettenihke käigukruvi pööramist tuleb jaotusketas vabastada tagumisest riivist, kuna käigukruvi pöörlemine kantakse vahetushammasrataste ja jagamispea sisemise mehhanismi kaudu üle jaotuskettale ning sealt jagamispea käepideme kaudu spindlile, muidu võib puruneda tagumine riiv, mis stoperdab jaotusketast tavalise jagamise juures.

9. Asetame jaotusketta laialilükatava sektori nii, et ta üks haru satuks vastu käepideme tihvti. Jagamisel tuleb teha käepidemega viis täispööret ja tihvt pista sektori haru juures asuvasse auku.

10. Seame pingi töölaua vajaliku nurga — 30° alla (kruvisoone kaldenurk) ja kinnitame poltidega.

11. Freesime esimese soone täissügavusega täpselt märkimise järgi ja kontrollime šablooniga. Laseme töölaua alla ja toome tooriku tagasi lähteasendisse.

12. Teostame jagamise $^1/_8$ osa võrra ringjoonest. Tõstame töölaua lähteasendis üles, viime tooriku käsiettenihkega freesi alla ja freesime teise soone, siis kolmanda jne., kuni kõik hambad on freesitud.

Kruvisoonte freesimisel tuleb eriti silmas pidada, et toorik, freestorn ja kaasavedaja oleksid tugevasti kinnitatud. Kaasavedaja peab pöörlema selliselt, et ta ei riivaks töökäigu lõpul freestorni.

Hamba kukal freesitakse horisontaalfreespingile ülesseatud vertikaalpea abil. Jagamispea häälestamine ja töölaua pööramine toimub siin samuti nagu kahepoolse nurkfreesiga töötamisel.

## Praak kruvisoonte freesimisel

1. Vale kruvisoonte suund. Praak on parandamatu. *Põhjus:* valesti paigutatud vahetushammasrattad. (Kasutatakse vahehammasratast või vastupidi, vahehammasratas tuleb maha võtta.)

2. Vale kruvisoone samm. Praak on parandamatu. *Põhjused:* valesti valitud vahetushammasrattad või vedav ja veetav hammasratas on ümber vahetatud (kohad ära vahetatud).

3. Kruvisoonte arv ei vasta joonisele. Praak on parandamatu. *Põhjused:* valesti valitud jaotusring; jagamisel on jaotusringi valesti loetud.

4. Hammaste samm on ebaühtlane: ühe hamba paksus on õige, teisel vähem, kolmandal suurem; hambumissamm on erinev. Praak on parandamatu. *Põhjused:* hooletu aukude lugemine jagamisel; käepidet on pööratud mõlemas suunas.

5. Valed soone mõõtmed laiuse ja sügavuse suhtes ning soone profiil ei vasta šabloonile. Praak on parandamatu. *Põhjused:* valesti valitud kahepoolne nurkfrees, frees on valesti seatud lõikesügavusele või ristsuunas, valesti pööratud pingi töölaud.

6. Mitteküllaldane pinnasiledus. Praaki võib parandada täiendava töökäiguga. *Põhjused:* valesti pööratud pingi töölaud, suur ettenihe, väike lõikekiirus, mittejäigalt kinnitatud toorik, freesi sisselõiked tagasikäigul.

### Kontrollküsimusi

1. Mida nimetatakse kruvijooneks? Missugune seos kehtib silindri läbimõõdu, sammu ja kruvijoone kaldenurga vahel?
2. Kuidas eraldada parempoolset ja vasakpoolset kruvijoont?
3. Missuguste liikumistega tuleb varustada toorik kruvisoonte lõikamiseks?
4. Mispärast tuleb pöörata pingi töölauda kruvisoonte lõikamisel ketasfreesiga?
5. Mispärast saab kruvisooni lõigata ketasfreesiga ainult universaalfreespingil?
6. Milleks kasutatakse kruvisoonte lõikamisel vahetushammasrattaid?
7. Mida nimetatakse freespingi karakteristikuks ja kuidas seda määratakse?
8. Jutustage pingi ja jagamispea seadistamise korrast kruvisoonte freesimisel otsfreesiga.
9. Mispärast tuleb kruvisoonte freesimisel vabastada jagamisketta tagumine riiv?
10. Millises suunas tuleb pöörata pingi töölauda parempoolsete kruvisoonte lõikamisel jagamispeaga УДГ-160?
11. Kas muutub kruvisoone samm, kui muuta vedavate rataste asukohta?
12. Mispärast ebasümmeetrilised kahepoolsed nurkfreesid on parempoolsed ja vasakpoolsed?
13. Millal on kergem freesi tooriku suhtes õigesse asendisse üles seada, kas enne või pärast töölaua pööramist?
14. Mispärast seatakse toorik üles töölauale ja pööratakse töölauda antud nurga võrra enne freesi ülesseadmist ja kinnitamist?
15. Loetlege võimalikud praagi juhud ja nende põhjused kruvisoonte lõikamisel.

VIIES OSA

# FREESPINKIDE EHITUS

XXI PEATÜKK

## ÜLDTEADMISI FREESPINKIDEST

### § 61. KODUMAISTE FREESPINKIDE PÕHITÜÜBID*

#### Freespinkide klassifikatsioon

NSV Liidus markeeritakse metallilõikepingid numbritega või numbrite ja tähtede kombinatsiooniga. Numbriline markeerimisviis on üles ehitatud kümnendsüsteemi järgi. Metallilõikepingid liigitatakse töötlemisviisi järgi üheksasse rühma: 1 — treipingid, 2 — puur- ja sisetreipingid, 3 — lihvimis-, poleerimis-, soveldus- ja terituspingid, 4 — spetsiaalsed pingid, 5 — hamba- ja keermelõikepingid, 6 — freespingid, 7 — höövel-, tõuke- ja kammlõikepingid, 8 — mahalõikepingid, 9 — mitmesugused pingid.

Selle markeerimisviisi järgi tähistab esimene number pinkide rühma ja sellepärast algabki freespinkide markeering numbriga 6.

Iga pinkide rühm jaguneb omakorda üheksaks tüübiks. Pingi margi teine number tähistab pingi tüüpi.

Freespingid kuuluvad kuuendasse rühma ja jagunevad üheksaks tüübiks: 1 — konsooliga vertikaalfreespingid, 2 — pideva toimega freespingid, 3 — vaba rühm, 4 — kopeer- ja graveerfreespingid, 5 — konsoolita vertikaalfreespingid, 6 — pikifreespingid, 7 — konsooliga operatsioonfreespingid, 8 — konsooliga universaalfreespingid, 9 — mitmesugused freespingid.

Pingi margi kolmas number (suuregabariidilistel freespinkidel ka neljas number) tähistab tinglikult pingi põhimõõtmeid. Näiteks pingil mark 612 kolmas number 2 tähistab konsooliga vertikaalfreespingi teist suurust ehk töölaua mõõtmeid 320 × 1500 mm. Pikifreespingil mark 6662 on töölaud mõõtmetega 1800 × 6000 mm; selle pingi töölaua mõõtmed on tähistatud kahe numbriga.

---

* Materjali selle osa läbitöötamisel soovitatakse kasutada Kiievi populaarteaduslike filmide stuudio poolt toodetud filmi «Freespinkide põhitüübid», 1961. a. väljalase.

Koos numbritega kasutatakse pinkide markeerimiseks ka tähti. Kui täht on esimese ja teise numbri vahel, siis see näitab, et pingi konstruktsiooni on eelmise mudeliga võrreldes täiustatud. Näiteks pingi mark 682 mudelit on rea aastate jooksul täiustatud, kuigi töölaua põhimõõtmed on jäänud endisteks. Paljudes tehastes leidub veel pinke 6Б82; 6К82; 6Н82. 1961. aastal alustas Gorki freespinkide tehas moderniseeritud mudeli 6М82 tootmist.

Täht markeeringu lõpul näitab, et põhi- ehk baasmudeli konstruktsiooni on muudetud. Nii näiteks täht *Г* margi 682 lõpul näitab, et see on horisontaalfreespink (erinevalt universaalfreespingist ei ole siin töölaud pööratav). Pingi markeeringus 6М82Ш täht Ш tähistab laiendatud tööpiirkonnaga ja konsooliga horisontaalfreespinki, millel peale horisontaalse spindli on veel vertikaalpea.

## Konsoolfreespingid

Konsoolfreespingid on kõige levinenumad freespingid. Käesolevas raamatus käsitletud töötlemisnäidetes on samuti kasutatud konsooliga universaal-, horisontaal- või vertikaalfreespinke.

Konsool loob pinkide teenindamisel küll terve rea mugavusi, kuid vähendab konsooli ja pingi kere ühenduskohas mõningal määral pingi jäikust. Seepärast on kaasaegsete pinkide konstruktsioonides tunduvalt pikendatud konsooli juhtpindu, loodud seadmed pingi liikuvate osade kinnitamiseks ja tõstetud korpuste jäikust.

Mõõtmete poolest on suuremat osa masinaehituses kasutatavaist detailidest võimalik töödelda üldotstarbelistel konsoolfreespinkidel. Sellepärast on mehaanikatsehhid komplekteeritud peamiselt konsooliga horisontaal- ja vertikaalfreespinkidega, tööriista- ja remont-mehaanikatsehhid peale nende veel universaal- ja laiendatud tööpiirkonnaga freespinkidega.

Käesoleval ajal toodetakse konsoolfreespinke viies suuruses: nr. 0; nr. 1; nr. 2; nr. 3 ja nr. 4, kusjuures iga mõõdet toodetakse täieliku mõõtmegamma ulatuses — horisontaal-, vertikaal- ja universaalfreespinkidena.

Peale selle toodetakse mõningate põhimudelite baasil veel modifikatsioone. Näiteks vertikaalfreespinkide 6М12П ja 6М13П baasil toodetakse kiirekäigulisi konsooliga vertikaalfreespinke 6М12ПБ ja 6М13ПБ. Horisontaalfreespingi 6М82Г baasil toodetakse kiirekäigulist mudelit 6М82ГБ. Universaalfreespinkide 6Н81 ja 6Н82 baasil toodetakse laiendatud tööpiirkonnaga freespinke 6Н81А ja 6М82Ш. Laiendatud tööpiirkonnaga freespinke kasutatakse käesoleval ajal individuaal- ja väikeseeriatootmises mitmesugustel freesimis-, sisetreimis- ja puurimistöödel. Nendel pinkidel võib valmistada metallmudeleid, stantsimisvorme, šabloone, nukk-kettaid jne.

Laiendatud tööpiirkonnaga freespingil 6H81A (joon. 264, *a*) on spindelpea, mis asub ülatalal ja on pööratav ümber horisontaaltelje piirides 0 kuni 115°. Kui spindelpea on horisontaalasendis (joon. 264, *c*), töötab pink horisontaalfreespingina, kui vertikaalasendis (joon. 264, *b*), siis vertikaalfreespingina.

Laiendatud tööpiirkonnaga freespingil 6M82Ш (vt. joon. 11) ja analoogilise konstruktsiooniga suuremõõtmelisel freespingil 6M83Ш on kaks spindlit: üks on horisontaalne, nagu tavalisel horisontaalfreespingil, teine on paigutatud ülatalale ja teda võib seada meelevaldse nurga alla. Jagamispea ja ümmarguse pöördlaua kasutamine laiendab veelgi nende pinkide tööpiirkonda. Mitmesuguste pindade, samuti suuremõõtmeliste toorikute, millede mõõtmed on töölaua pinnast suuremad, töötlemiseks on vertikaalne spindlipukk monteeritud väljaliikuvale ülatalale ja teda võib pöörata meelevaldse nurga alla kahes vastastikku ristuvas tasapinnas. Seejuures on võimalik samaaegselt töötada horisontaalse ja vertikaalse spindliga.

## Pikifreespingid*

Pikifreespinke kasutatakse suurte ja raskete detailide pindade töötlemisel.

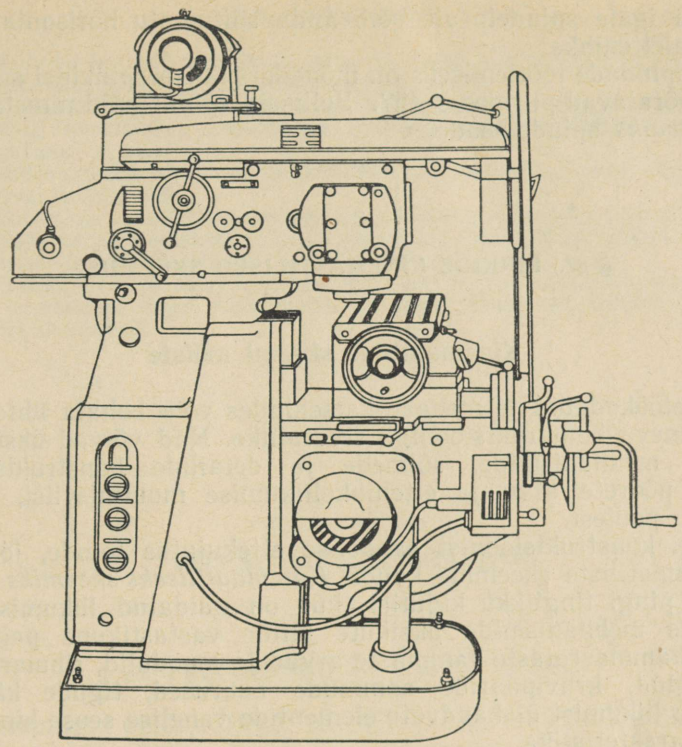
Lihtsaimate pikifreespinkide — ühesambaline pikifreespink, mudel A662B (vt. joon. 13) ja kahesambaline pikifreespink, mudel A662 (vt. joon. 14) — töölaud omab mehaanilist pikiettenihkeliikumist, spindelpeade nihutamine üles-alla nende seadmisel mööda sambaid ja spindli ristettenihe edasi-tagasi mööda spindlipukki toimub käsitsi.

Keerukama konstruktsiooniga pikifreespinkide (mis on sarnased joonisel 15 kujutatud neljaspindlilise pikifreespingiga 6682) spindelpeade nihutamine vertikaal- ja ristsuunas toimub mehaaniliselt.

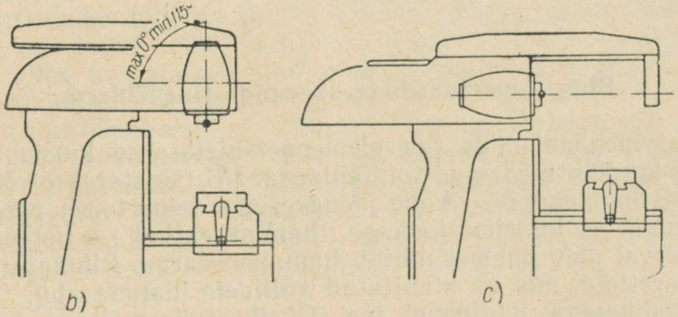
Pikifreespingid on kas ühe- või mitmespindlilised (ühe või mitme spindelpeaga). Spindelpead on kas horisontaalsed või vertikaalsed. *Horisontaalsed* spindelpead asuvad parempoolsel ja vasakpoolsel sambal ning neid nimetatakse vastavalt parempoolseks ja vasakpoolseks spindelpeaks. *Vertikaalsed* spindelpead asuvad traaversil (risttalal). Mitmespindlilise pikifreespingi igal spindelpeal on spindlile pöörleva liikumise andmiseks iseseisev

---

* Parema ettekujutuse saamiseks pikifreespinkide konstruktsioonist, mida käesolevas raamatus peaaegu ei käsitleta, soovitatakse kasutada Kiievi populaarteaduslike filmide stuudio poolt toodetud filmi «Pikifreespingid», 1961. a. väljalase.



a)




b) c)

Joon. 264. Laiendatud tööpiirkonnaga freespink 6H81A:
*a* — üldvaade; *b* — vertikaalpeaga; *c* — horisontaalpeaga

ajam ja igale spindelpeale võib anda sõltumatu horisontaal- ja vertikaalettenihke.

Kaldpindade töötlemiseks on mõnedel pikifreespinkidel spindelpead pööratavad piirides ±45°. Selliseid spindelpäid nimetatakse *pööratavaiks* spindelpeadeks.

## § 62. PINKIDE KINEMAATILISED SKEEMID

### Kinemaatilise skeemi mõiste

Õppetöökodades ja mehaanikatsehhides võib kohata ühte liiki, kuid erineva konstruktsiooniga freespinke. Nad võivad üksteisest erineda mehhanismide, sõlmede ja detailide konstruktsiooni, spindli pöörete arvu ja ettenihkeliikumise muutmisviisi, ajami liigi jm. poolest.

Pingi konstruktsioonist saadakse ettekujutus fotode, jooniste ja kinemaatiliste skeemide kaudu. *Kinemaatiliseks skeemiks* nimetatakse pingi tinglikku kujutist, kus on näidatud liikumisi ülekandvate mehhanismide üksikute lülide vastastikune paigutus, samuti hammasrataste hammaste arvud ja moodulid, rihmarataste läbimõõdud, kruvipaaride sammude suurused, tigude käikude arvud ja liikumist ülekandvate elementide vahelise seose kinemaatiline karakteristika.

Kinemaatilised skeemid aitavad lahti mõtestada pingi konstruktsiooni ning teha õigesti arvestusi pingi seadistamisel ja häälestamisel. Vaatamata freespinkide erinevate mudelite konstruktiivsetele erinevustele on nende kinemaatilised skeemid sarnased. Tutvumine tüüpilise freespingi skeemiga võimaldab orienteeruda ka mõne teise sama tüüpi, kuid teise konstruktsiooniga freespingi ehituses.

### Pingi kinemaatiliste skeemide tingtähised

Pingi mehhanismide iga element tähistatakse kinemaatilises skeemis kindlaksmääratud tingtähisega. Nii tähistatakse võll sirgjoonega, liugelaager — kahe joonekesega, teine teisel pool võlli, käigukruvi — lainelise joonega, hammasrattad — ristkülikuga, mille kõrval olev number näitab hammaste arvu. Rihmarattaid ja hammasrattaid, mis on kinnitatud võllidele liistude abil, tähistatakse ristikesega telgjoonel jne. Üksikasjalisemalt vt. tabel 42 käsiraamatus «Справочник молодого фрезеровщика» («Algaja freesija käsiraamat»).

### Kontrollküsimusi

1. Milliseid konsoolfreespinkide tüüpe te teate? Milline vahe on konsooliga horisontaal-, universaal- ja vertikaalfreespingi vahel?
2. Kuidas dešifreerida pinkide marke 6M82, 6M12П, 6M12ПБ, 6M82Ш?
3. Mida nimetatakse freespinkide mõõtmegammaks? Millist freespinkide mõõtmegammat te teate?
4. Milles seisneb laiendatud tööpiirkonnaga konsoolfreespinkide eelis detaili kaaspindade freesimisel?
5. Kuidas on võimalik suurendada konsooliga horisontaalfreespingi jäikust?
6. Milliseid pikifreespinke te olete kohanud tsehhis? Mille poolest nad erinevad konsoolfreespinkidest?
7. Milleks on vaja pingi kinemaatilist skeemi? Milliseid lihtsustatud tingtähiseid kasutatakse pingi mehhanismide üksikute elementide kujutamisel kinemaatilistel skeemidel?

XXII PEATÜKK

## KONSOOLFREESPINGID

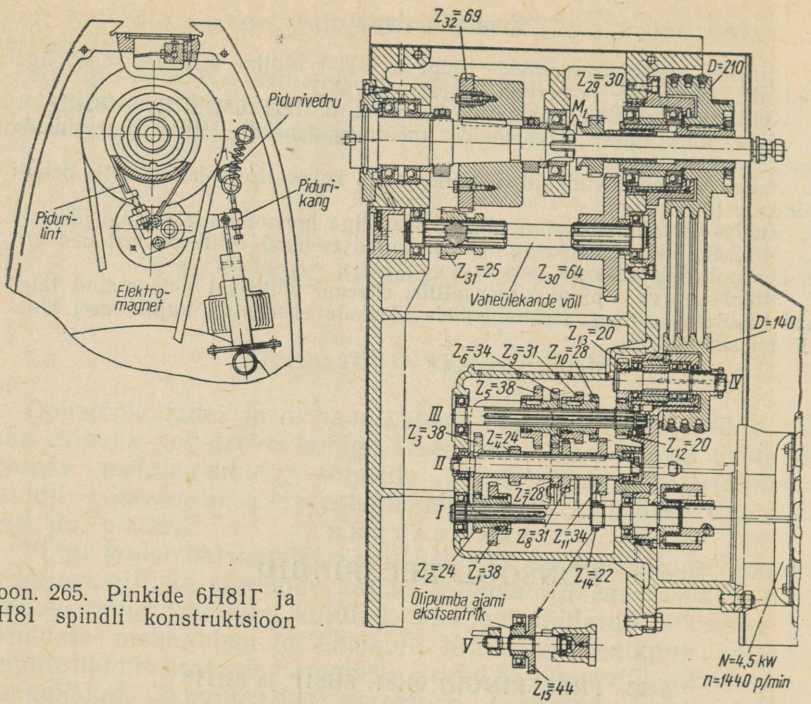
### § 63. FREESPINGID 6H81, 6H81Г ja 6H11*

Freespingid 6H81, 6H81Г ja 6H11 kuuluvad esimese mõõtmegamma pinkide hulka. Nagu juba varem käsitletud (vt. lk. 17), on selle mõõtmegamma pinkide töölaua tööpinna mõõtmed 250 × 1000 mm. Neid pinke valmistatakse Dmitrovski freespinkide tehases ja nende pealiikumise ajami elektrimootori võimsus on 4,5 kW ning ettenihke ajami elektrimootori võimsus 1,7 kW. Suur pöörete arvu diapasoon võimaldab neid pinke edukalt kasutada nii mustadest kui ka värvilistest metallidest toorikute töötlemisel. Võimaldades töötada suurte lõikekiirustega, omades küllaldast jäikust, mis tagab töödeldud pinna nõutava täpsuse ja pinnakvaliteedi, olles automatiseeritud ning mugavad teenindada, töötavad need pingid, olenevalt töö iseloomust, keskmiselt 50% tootlikumalt kui olemasolevad väikesed freespinkide mudelid.

Horisontaalfreespingi 6H81Г ning vastavalt universaalfreespingi 6H81 üldvaade ja põhisõlmed on kujutatud joonisel 23, vertikaalfreespingi 6H11 — joonisel 25. Vertikaalfreespingi 6H11 põhimehhanismid, välja arvatud kere, on unifitseeritud koos universaal- ja horisontaalfreespinkidega 6H81 ja 6H81Г.

---

* Freespinkide 6H81Г, 6H81 ja 6H11 tundmaõppimisel soovitatakse kasutada Kiievi populaarteaduslike filmide stuudio poolt toodetud õppefilmi «Esimese mõõtmegamma konsoolfreespingid», 1961. a. väljalase.

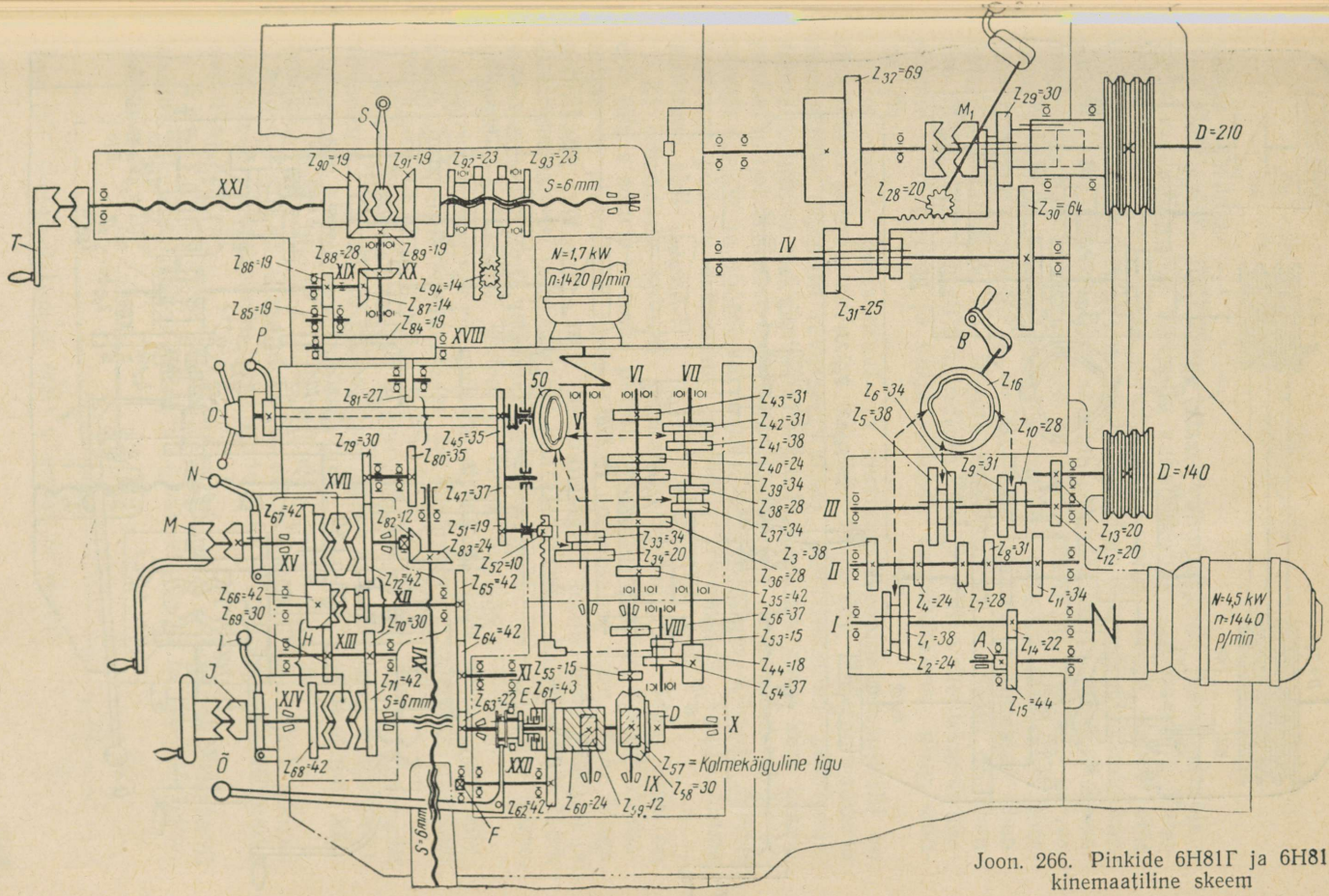



Joon. 265. Pinkide 6H81Г ja 6H81 spindli konstruktsioon

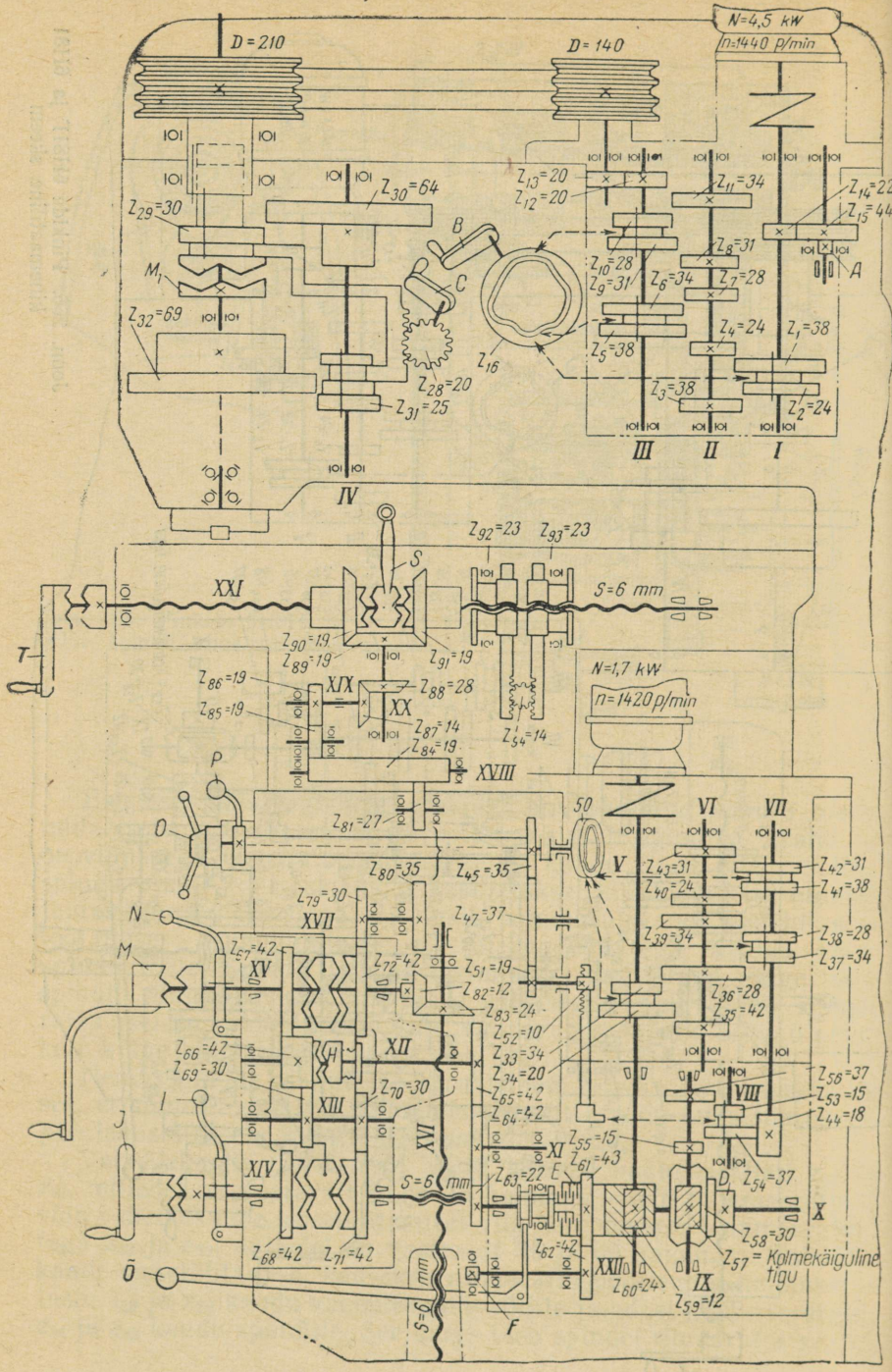
Esimese mõõtmegamma pinkidel on *lahutatud spindli ajam*, mida iseloomustab see, et kiiruste kast asub spindlist eraldi ja on viimasega ühendatud rihmülekande kaudu (joon. 265). Sellist spindli ajami konstruktsiooni kasutatakse kiirekäiguliste pinkide juures, kuna vibratsioon, mis tekib hammasülekande ebaühtlasest töötamisest, summutatakse rihmülekandega ega avalda mõju spindli tööle. Spindli jäikuse tõstmiseks ning rihma pinge tõttu spindli võimaliku läbipaindumise vältimiseks pole ajami rihmaratas asetatud vahetult spindlile, vaid laagritele, mis asuvad pingi kere külge kinnitatud puksis (joon. 265).

Nende pinkide ajamite konstruktsiooni teiseks iseärasuseks on see, et spindli madalalt pöörlemiskiiruselt üleminekuks suuremale pöörlemiskiirusele kasutatakse *vaheülekannet*.

Vaheülekande (joon. 265) võllil istuvad hammasrattad $z_{30}$ ja $z_{31}$, milledel on vastavalt 64 ja 25 hammast. Neid hammasrattaid võib vaheülekande sisselülitamisel viia hambumisse hammasratastega $z_{29}$ ja $z_{32}$, milledel on vastavalt 30 ja 69 hammast. Vaheülekande sisselülitamisel kantakse rihmaratta pöörlemine hammasrataste $z_{29}$ ja $z_{30}$ kaudu vaheülekande võllile ja edasi hammasrataste $z_{31}$ ja $z_{32}$ kaudu spindlile. Seejuures teeb spindel rihmaratta suhtes




Joon. 266. Pinkide 6H81Г ja 6H81 kinemaatiline skeem



N=4,5 kW
n=1440 p/min
D=210
D=140
Z30=64
Z29=30
M1
Z32=69
Z28=20
Z31=25
Z16
B
C
Z13=20
Z12=20
Z11=34
Z14=22
Z15=44
Z10=28
Z9=31
Z8=31
Z6=34
Z7=28
Z5=38
Z4=24
Z1=38
Z3=38
Z2=24
A
III
II
I
IV
Z92=23
Z93=23
S
XXI
S=6 mm
T
Z90=19
Z89=19
Z91=19
Z86=19
Z85=19
XIX
XX
Z88=28
Z87=14
Z84=19
Z54=14
N=1,7 kW
n=1420 p/min
XVIII
P
O
Z81=27
50
VI
VII
V
Z80=35
Z45=35
Z43=31
Z40=24
Z42=31
Z41=38
Z79=30
XVII
Z47=37
Z39=34
Z38=28
Z37=34
N
M
Z67=42
XV
Z72=42
Z51=19
Z82=12
Z83=24
Z36=28
Z35=42
Z52=10
Z33=34
Z34=20
Z66=42
Z69=30
XII
Z70=30
Z65=42
Z64=42
Z56=37
Z53=15
Z44=18
VIII
I
J
XIII
XVI
XI
Z55=15
Z61=43
XIV
S=6 mm
Z63=22
E
D
Z54=37
X
Z58=30
Z57 = Kolmekäiguline tigu
Z68=42
Z71=42
Z62=42
XXII
Z60=24
IX
Z59=12
Õ
S=6 mm
F

$$\frac{z_{31}}{z_{29}} \cdot \frac{z_{30}}{z_{32}} = \frac{30 \cdot 25}{64 \cdot 69} = \frac{750}{4415} \approx \frac{1}{6}$$ , s. t. 6 korda

vähem pöördeid.

Vaheülekanne lülitatakse sisse vaheülekande hammasrataste $z_{31}$ ja $z_{30}$ nihutamise teel piki vaheülekande hammasvõlli. Vaheülekande hammasrattaid nihutatakse võllil asuva kahvli abil. Võll kujutab endast hammaslatti, mis hambub vaheülekande käepideme *C* (vt. kinemaatilist skeemi joonistel 266 ja 267, kus skeemi mugavama kasutamise mõttes on horisontaal-, universaal- ja vertikaalfreespinkide ühesugused sõlmed ja detailid tähistatud ühtemoodi) hammasrattaga $z_{28} = 20$. Peale selle on hammaslatt ühendatud veel kahvliga, mis liigutab nukksidurit $M_1$. Sidur $M_1$ ühendab ajami võlli vahetult spindliga. Seega võib vaheülekande käepideme *C* abil sisse ja välja lülitada vaheülekannet ning sidurit $M_1$.

Universaal-, horisontaal- ja vertikaalfreespinkide spindlil on 16 erinevat pöörete arvu (vt. tabeleid 22 ja 23). Pöörlemissuunda muudetakse (spindlit reverseeritakse) elektrimootori pöörlemissuuna muutmise teel ümberlüliti abil, mis asub pingi kere vasakpoolsel küljel. Kiiruste kast saab pöörlemise elektrimootorilt võimsusega 4,5 kW ja pöörete arvuga $n = 1440$ p/min; kiiruste kastist kantakse pöörlev liikumine spindliile rihmajami kaudu kolme kiilrihma abil.

Et lühendada spindli seiskamiseks kuluvat aega, mis on eriti tähtis suurte kiiruste puhul, on spindlil *pidur*. Spindli rihmarattale on pidurilindi jaoks treitud spetsiaalne soon. Kahe õlaga pidurikang (vt. joon. 265) tõmbab vedru toimel lindi pingule ja elektrimootori väljalülitamisel peatab spindli. Käivitamisel läbib vool elektromagneti mähist, elektromagnet ületab vedru toime, nõrgendab pidurilindi survet ja vabastab rihmaratta.

Konsooli sisse on paigutatud ettenihete kast reduktoriga, ettenihke ümberlülitusmehhanism ja reverseeriva mehhanismi kast (vt. jooniseid 23 ja 25).

Ettenihete kast saab pöörlemise äärikelektrimootorilt võimsusega 1,7 kW ja pöörete arvuga $n = 1420$ p/min ning annab reduktorile 16 erinevat pöörete arvu, mis lülitatakse ümber käepideme *O* abil hoova *P* kahe erineva asendi juures.

Reduktori ülesandeks on ettenihete kastile antava pöörlemiskiiruse vähendamine ja kiirendatud ettenihke sisselülitamine vajalikul hetkel.

Reverseeriva mehhanismi ülesandeks on reduktorilt saadud liikumise ülekandmine käigukruvidele ja nende pöörlemissuuna muutmine.

---

Joon. 267. Vertikaalfreespingi 6H11 kinemaatiline skeem

Tabel 22

**Pinkide 6H81, 6H81Г ja 6H11 spindli pöörete arvud p/min**

| Kiirus | Pealiikumise ahelad |
|---|---|
| 1 | $n_1 = 1440 \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} = 65$ |
| 2 | $n_2 = 1440 \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{28}{34} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} = 80$ |
| 3 | $n_3 = 1440 \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{31}{31} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} = 100$ |
| 4 | $n_4 = 1440 \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} = 125$ |
| 5 | $n_5 = 1440 \cdot \frac{38}{24} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} = 160$ |
| 6 | $n_6 = 1440 \cdot \frac{38}{24} \cdot \frac{28}{34} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} = 210$ |
| 7 | $n_7 = 1440 \cdot \frac{38}{24} \cdot \frac{31}{31} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} = 255$ |
| 8 | $n_8 = 1440 \cdot \frac{38}{24} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 \cdot \frac{30}{64} \cdot \frac{25}{69} = 300$ |
| 9 | $n_9 = 1440 \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 = 380$ |
| 10 | $n_{10} = 1440 \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{28}{34} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 = 490$ |
| 11 | $n_{11} = 1440 \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{31}{31} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 = 590$ |
| 12 | $n_{12} = 1440 \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 = 725$ |
| 13 | $n_{13} = 1440 \cdot \frac{38}{24} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 = 945$ |
| 14 | $n_{14} = 1440 \cdot \frac{38}{24} \cdot \frac{28}{34} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 = 1225$ |
| 15 | $n_{15} = 1440 \cdot \frac{38}{24} \cdot \frac{31}{31} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 = 1500$ |
| 16 | $n_{16} = 1440 \cdot \frac{38}{24} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{20}{20} \cdot \frac{140}{210} \cdot 0{,}985 = 1800$ |

Märkus. Koefitsient 0,985 võtab arvesse rihmülekande libisemist.

Universaal-, horisontaal- ja vertikaalfreespinkide töölaual on 16 piki-, rist- ja vertikaalettenihet (tabel 23).

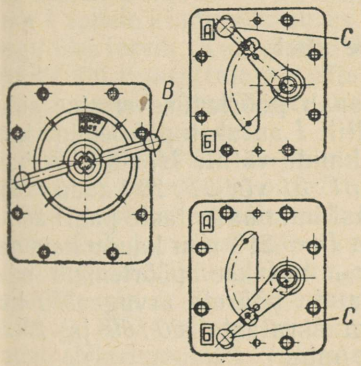
Peale selle on töölaual kiirendatud ettenihe (kiirkäik) —

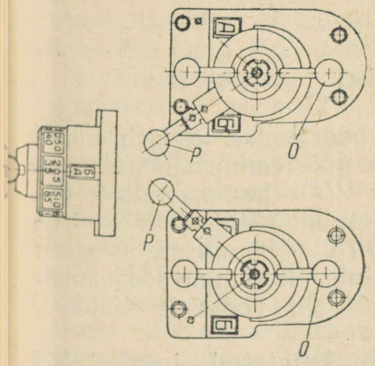
2900 mm/min piki-, 2300 mm/min rist- ja 1150 mm/min vertikaalsuunas.

Spindli elektrimootor ja ettenihke elektrimootor lülitatakse sisse eraldi asuvatelt käivitusnuppudelt «пуск» («käik»), mis on

Tabel 23

**Konsoolfreespinkide 6H81, 6H81Г ja 6H11 kiiruste ja ettenihete häälestamine**

| Spindli häälestamine antud pöörete arvule | |
|---|---|
| Käepidemete asendid | Pöörete arv pöörlemisel pärisuunas ja vastupidiselt |
|  | 65, 80, 100, 125, 160, 210, 255, 300 |
| | 380, 490, 590, 725, 380, 490, 590, 725 |

| Häälestamine antud ettenihkele | | | |
|---|---|---|---|
| Käepidemete asendid | Töölaua ettenihe mm/min | | |
| | piki | risti | vertikaalne |
|  | 30, 40, 50, 65, 85, 105, 125, 165 | 25, 30, 40, 50, 65, 80, 100, 130 | 12, 15, 20, 25, 33, 40, 50, 65 |
| | 205, 250, 300, 390, 510, 620, 755, 980 | 160, 190, 230, 32, 400, 480, 585, 765 | 80, 95, 115, 160, 200, 240, 290, 380 |

paigutatud pingi konsooli esiküljele vasakule poole. Pink lülitatakse välja nupuga «стоп» («seis»), mis asub samuti pingi esiküljel.

Kiiruste kasti ümberlülitamise kergendamiseks asub kere vasakul poolel vaheülekande sisselülituskäepideme kõrval nupp pealkirjaga «толчок» («tõuge»). Kui vajutada lühiajaliselt sellele nupule, lülitub hetkeks sisse spindli ajami elektrimootor.

Pinkide kõik mehhanismid on täielikult üksteisest eraldatud, mis lihtsustab remondi ajal nende lahtivõtmist ja koostamist.

Pinkidel 6H81Г, 6H81 ja 6H11 on kaks eraldi kinemaatilist ahelat: pealiikumise ahel (spindli pöörlemine) ja töölaua ettenihete ahel piki-, rist- ja vertikaalsuunas.

## Pealiikumise ahel

Võll *I* (joon. 265, 266 ja 267) saab pöörlemise elastse siduri kaudu vahetult elektrimootorilt. Võllilt *I* antakse pöörlemine hammasrataste paari *38 : 24* või *24 : 38* kaudu võllile *II*, võllilt *II* hammasrataste paaride *24 : 38*; *28 : 34*; *31 : 31* või *34 : 28* kaudu võllile *III*. Võllilt *III* antakse liikumine edasi hammasrataste paari *20 : 20* ja kiilrihm-ülekande $D = 140$ mm ja $D = 210$ mm kaudu hammasrattale $z_{29} = 30$. Hammasrattalt $z_{29}$ antakse pöörlemine edasi spindlile kas vahetult nukksiduri kaudu pöörete arvuga 380 kuni 1800 p/min või vaheülekande hammasrataste *30 : 60* ja *25 : 69* kaudu pöörete arvuga 65 kuni 300 p/min.

Tabelis 22 on toodud spindli pöörete arvud hammasrataste erinevate ülekannete korral vaheülekande kaudu või otse (ilma vaheülekandeta).

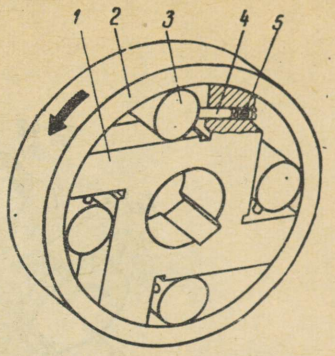
Spindli kaheksa kiirust lülitatakse sisse käepideme *B* abil, mille pöörlemine antakse hammasratas- ja kettülekande (skeemil ei ole näidatud) kaudu nukk-kettale $z_{16}$.

Tabelis 23 on toodud käepideme *B* ja hoova *C* asendid spindli häälestamiseks antud pöörete arvule.

## Ettenihete ahel

Võll *V* (joon. 266 ja 267) saab pöörlemise elektrimootorilt elastse siduri kaudu. Võllile *VI* antakse pöörlemine hammasrataste paaride 34 : 28 ja 20 : 42 kaudu; võllile *VII* — hammasrataste paaride 28 : 34; 34 : 28; 24 : 38 või 31 : 31 kaudu; võllile *VIII* — hammasrataste paari 18 : 37 kaudu; võllile *IX* — hammasrataste paari 37 : 15 või 15 : 37 kaudu. Võllilt *IX* antakse liikumine edasi kolmekäigulise teoga $z_{57}$ ja tigurattaga $z_{58} = 30$ vedavale võllile *X* vabajooksusiduri *D* kaudu.

Vabajooksusidur on skemaatiliselt kujutatud joonisel 268.




Joon. 268. Vabajooksusidur

Siduri välisrõngas *2* on ühendatud tigurattaga $z_{58}$ (joon. 266 ja 267) ja pöörleb viimasega koos. Siduri kere *1* (joon. 268) on liistuga kinnitatud võllile *X*. Kere väljalõigetesse on paigutatud rullid *3*, milledele suruvad vedrudega *5* koormatud tihvtid *4*. Rõnga *2* pöörlemisel noolega näidatud suunas kiiluvad rullid rõnga *2* ja kere *1* vahele kinni; seejuures mõlemad siduri osad pöörlevad koos nagu üks tervik. Kui võllile *X* anda suurema nurkkiirusega pöörlemine kui tigurattale $z_{58}$, siis rõngas *2* jääb kerest *1* maha ja rullid *3* satuvad väljalõigete laiemasse ossa, mille tulemusena rõngas ja kere lahutatakse.

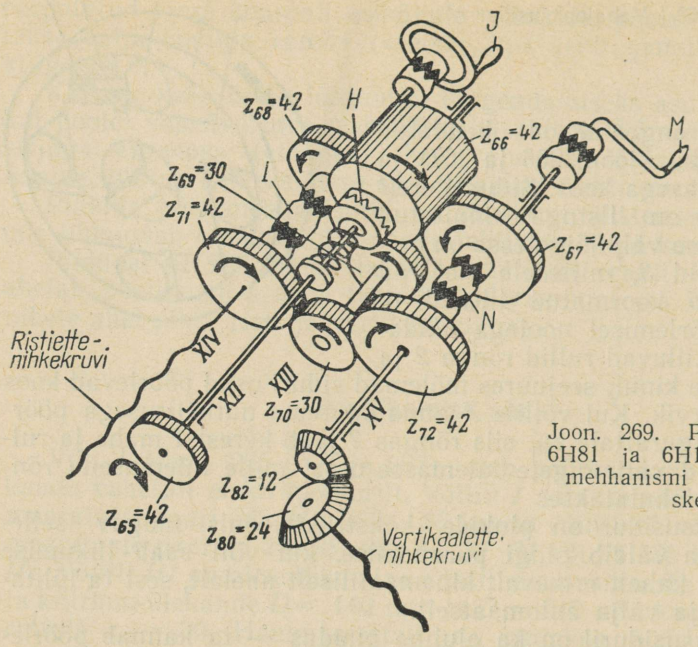
Vabajooksusidur on pinkide konstruktsioonis mugav sellepärast, et ta väldib pingi purunemise, kui võll saab liikumise samaaegselt kahelt erinevalt kinemaatiliselt ahelalt, sest ta lülitatakse sisse ja välja automaatselt.

Vahejooksusiduril on ka oluline puudus — ta kannab pöörlemist üle ainult ühes suunas. Seepärast ei tohi pinkide 6H81Г, 6H81 ja 6H11 ettenihke suuna muutmiseks kasutada reverseeritavat elektrimootorit (nagu pinkidel 6M82, 6H82Г ja 6M12П), vaid tuleb kasutada spetsiaalset reverseerivat mehhanismi.

Jälgime joonisel 269 toodud skeemi järgi reverseeriva mehhanismi tööd. Reverseeriv mehhanism on paigutatud kasti (vt. joon 23 ja 25). Paremaks jälgimiseks on joonistel 266, 267 ja 269 kujutatud võllide, sidurite ja hammasrataste tähised identsed.

Reverseeriva mehhanismi peavõll *XII* saab pöörlemise võllilt *X* hammasrataste $z_{63} = 22$, $z_{64} = 42$ ja $z_{65} = 42$ kaudu. Võllil *XII* istub lai hammasratas $z_{66} = 42$, mis on ühendatud võlliga vetruva kaitsesiduri *H* kaudu; siduri ülesandeks on lülitada pöörlemine välja juhul, kui ettenihkeahel töötab ülekoormusega.

Hammasratas $z_{66} = 42$ pöörab korraga kolme hammasratast: hammasratast $z_{67} = 42$ võllil *XV*, hammasratast $z_{69} = 30$ võllil *XIII* ja hammasratast $z_{68} = 42$ võllil *XIV*. Hammasrattad $z_{67}$ ja $z_{68}$ istuvad võllidel vabalt, hammasratas $z_{69}$ on kinnitatud võllile liikumatult. Hammasratas $z_{69}$ pöörab võlli *XIII*, mille vasakpoolsel otsal istub samasugune hammasratas $z_{70} = 30$, mis hambub võllidel *XIV* ja *XV* vabalt pöörlevate hammasratastega $z_{71} = 42$ ja $z_{72} = 42$. Jooniselt 269 ja joonistel 266 ja 267 kujutatud kinemaatilistelt skeemidelt järgneb, et mehaanilise ristettenihke sisselülitamiseks tuleb sisse lülitada sidur *I*, kusjuures ettenihke suund sõltub sellest, kumma hammasrattaga, kas hammasrattaga $z_{68}$ või $z_{71}$




Joon. 269. Pinkide 6H81Г, 6H81 ja 6H11 reverseeriva mehhanismi kinemaatiline skeem

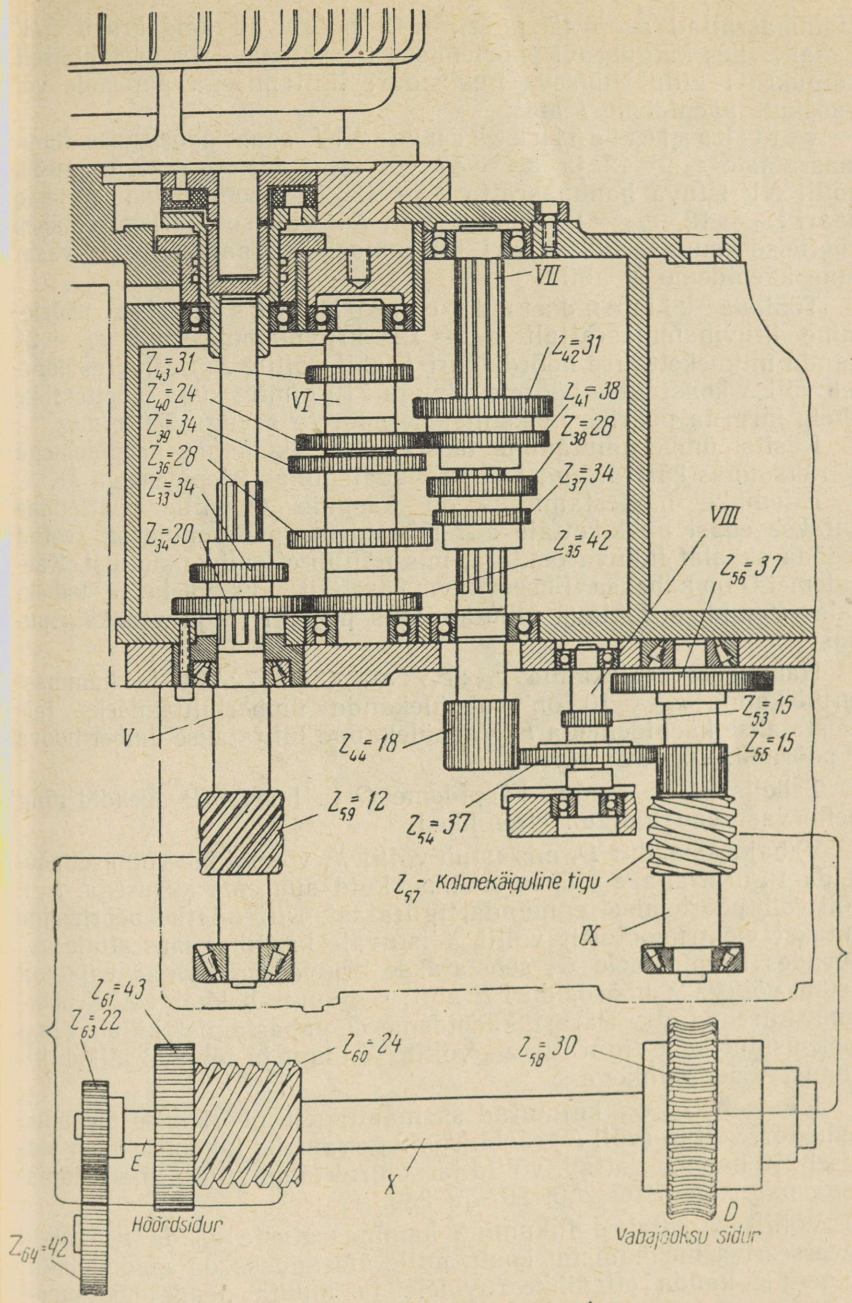
(vasak- või parempoolsega) on sidur ühendatud. Analoogiliselt võib siduri *N* abil sisse lülitada ja reverseerida ka mehaanilist vertikaalettenihet. Reverseeriv mehhanism annab reduktori võllilt *X* ülekantud pöörlemise hammasrataste $z_{63}$, $z_{64}$ ja $z_{65}$ kaudu edasi kas pärisuunas või vastupidiselt, pöörete arvu muutmata. Seepärast ei võeta ettenihete kinemaatilise ahela arvutamisel arvesse reverseeriva mehhanismi hammasrataste hammaste arvu.

Jälgime kinemaatilistelt skeemidelt (vt. joon. 266 ja 267) pöörlemise ülekannet piki-, rist- ja vertikaalettenihke käigukruvidele:

p i k i e t t e n i h k e k r u v i *XXI* saab pöörlemise hammasrataste $z_{70} : z_{72} : z_{79}$ (30 : 32 : 30), võlli *XVII*, hammasrataste $z_{80} : z_{81} : z_{84}$ (35 : 27 : 19), võlli *XVIII*, hammasrataste $z_{85} : z_{86}$, võlli *XIX*, koonusülekande $z_{87} : z_{88}$ ja koonushammasrataste trensli 19 : 19 : 19 kaudu. Koonushammasrattalt $z_{89}$ antakse pöörlemine edasi koonushammasratta $z_{90}$ või $z_{91}$ kaudu käigukruvile *XXI* piki käigukruvi liistu libiseva nukksiduri lülitamisega ühele või teisele poole.

Sidur lülitatakse ümber käepidemega *S* käsitsi või töölaua käigupiirajate abil automaatselt;

r i s t e t t e n i h k e k r u v i *XIV* saab pöörlemise hammasrataste $z_{66} = 42$ ja $z_{68} = 42$ kaudu ühes suunas või hammasrataste $z_{66} = 42$, $z_{69} = 30$, $z_{70} = 30$ ja $z_{71} = 42$ kaudu teises suunas.




Joon. 270. Reduktori lülitusskeem

Hammasrattad $z_{68} = 42$ ja $z_{71} = 42$ pöörlevad käigukruvil *XIV* vabalt, viies käigukruvi pöörlemisse pärisuunas või vastupidiselt käigukruvi kiilul libiseva nukksiduri lülitamisega paremale või vasakule käepideme *I* abil;

vertikaalettenihkekruvi *XVI* saab pöörlemise hammasrataste $z_{66} = 42$ ja $z_{67} = 42$ või $z_{66} = 42$, $z_{69} = 30$, $z_{70} = 30$, võllil *XV* istuva hammasratta $z_{72} = 42$ ja koonushammasrataste paari $z_{82} = 12$, $z_{83} = 24$ kaudu. Võll *XV* viiakse pöörlemisse ühes või teises suunas nukksiduri lülitamisel kas paremale või vasakule käepideme *N* abil.

Töölaua kiirendatud ettenihkeks antakse pöörlemine kruvihammasrattalt $z_{59} = 12$ kruvihammasratta $z_{60} = 24$ kaudu mitmekettalise hõõrdsiduri *E* abil võllile *X*. Seejuures pöörleb võll *X* konstantse pöörete arvuga 710 p/min, kuna tööettenihke ahela järgi ta pöörleb maksimaalse pöörete arvuga 250 p/min.

Käsitsi ümbernihutamine teostatakse pikisuunas käepidemega *T*, ristsuunas käsirattaga *J* ja vertikaalsuunas käepidemega *M*.

Ettenihke häälestamiseks on käepide *O*, mille pöörlemine antakse edasi nukk-kettale $z_{50}$. Käepideme pöörlemine on seotud mööda skaalat liikuva osutiga, mis näitab ettenihke suurust. Käepidemel *O* on kaheksa fikseeritavat asendit, mis vastavad kaheksale ettenihkele töölaua nihutamiseks piki-, rist- ja vertikaalsuunas.

Hammasratasülekanne $z_{45} : z_{47} : z_{51}$ (35 : 37 : 19) ja hammaslattülekanne $z_{32} = 10$ on vaheülekande ümberlülitamiseks, mis teostatakse käepidemega *P*. Vaheülekanne lülitatakse ümber hoova *P* pööramisega 180° võrra.

Tabelis 23 on toodud käepideme *O* ja hoova *P* asendid ning neile vastavad töölaua ettenihked.

Vabajooksusidur *D*, mis istub võllil *X*, võimaldab viimasel pöörelda tigurattaga $z_{58}$ ühes suunas, kuid suurema kiirusega, s. t. võll võib pöörlemisel ennetada tiguratast. Kiirendatud pöörlemine antakse elektrimootorilt võllil *X* istuvale kruvihammasrattale $z_{60}$. Surudes käepidemele *O*, seostatakse kruvihammasratas vajalikul hetkel võlliga *X* hõõrdsiduri *E* abil; seejuures hakkab võll *X* pöörlema kiirendatult. Pärast käepideme *O* vabastamist kiilub vabajooksusidur kohe tiguratta $z_{58}$ võllile *X* kinni ja töölaud jätkab liikumist tööettenihkega.

Joonisel 270 on kujutatud skemaatiliselt pöörlemise ülekanne reduktori võllile (võll *X*). Joonise mugavamaks lugemiseks on joonisel 270 hammasrattad, võllid ja sidurid tähistatud samade tähistega nagu joonistel 266, 267 ja 269.

Võllilt *X* antakse liikumine hammasrataste $z_{63}$ ja $z_{64}$ kaudu reverseeriva mehhanismi kasti, mille ülesandeks on saadud liikumine üle kanda ettenihkekruvidele ja muuta nende pöörlemissuunda (vt. eespool käsitletut).

Töökäigu pikiettenihked ja kiirendatud ettenihke arvutame joonistel 266 ja 267 toodud skeemide järgi (tabel 24).

Tabel 24

**Pinkide 6H81, 6H81Г ja 6H11 töölaua pikiettenihked mm/min**

| Pikiettenihe | Pikiettenihete ahelad |
|---|---|
| 1 | $s_1 = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 35$ |
| 2 | $s_2 = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{28}{34} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 40$ |
| 3 | $s_3 = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{31}{31} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 50$ |
| 4 | $s_4 = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 65$ |
| 5 | $s_5 = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{10} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 85$ |
| 6 | $s_6 = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{28}{34} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 105$ |
| 7 | $s_7 = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{31}{31} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 135$ |
| 8 | $s_8 = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 165$ |
| 9 | $s_9 = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 205$ |
| 10 | $s_{10} = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{28}{34} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{25}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 250$ |
| 11 | $s_{11} = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{31}{31} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 300$ |
| 12 | $s_{12} = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 390$ |
| 13 | $s_{13} = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 510$ |
| 14 | $s_{14} = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{10} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 620$ |
| 15 | $s_{15} = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{31}{31} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 755$ |
| 16 | $s_{16} = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 980$ |
| Kiirkäik | $s_{kk} = 1420 \cdot \frac{12}{24} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{30} \cdot \frac{35}{19} \cdot \frac{14}{28} \cdot \frac{19}{19} \cdot 6 = 2900$ |

Kuna töölaua ristettenihete häälestamisel kasutatakse samu ettenihete kasti käepidemeid, siis ristettenihked arvutame ainult kahe äärmise ristettenihke, s. t. $s_1$ ja $s_{16}$ kohta, kasutades joonistel 266 ja 267 toodud skeeme (tabel 25).

Tabel 25

**Pinkide 6H81, 6H81Г ja 6H11 ristkelgu ettenihked $s_1$, $s_{16}$ ja $s_{kk}$ mm/min**

| Rist-ettenihe | Ristettenihete ahelad |
|---|---|
| 1 | $s_1 = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot 6 = 25$ |
| 16 | $s_{16} = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{10} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot 6 = 765$ |
| kiirkäik | $s_{kk} = 1420 \cdot \frac{12}{24} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot 6 = 2300$ |

Analoogiliselt määrame vertikaalettenihete väärtused, arvutades ainult kaks äärmist ettenihet $s_1$ ja $s_{16}$ (tabel 26).

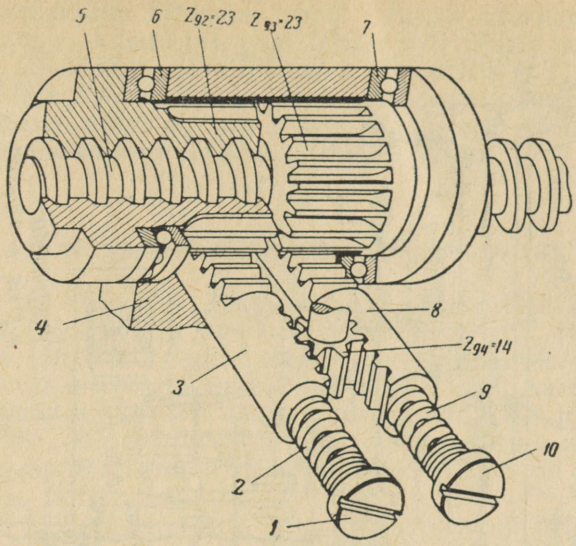
Tabel 26

**Pinkide 6H81, 6H81Г ja 6H11 konsooli vertikaalettenihked $s_1$, $s_{16}$ ja $s_{kk}$ mm/min**

| Vertikaal-ettenihe | Vertikaalettenihete ahelad |
|---|---|
| 1 | $s_1 = 1420 \cdot \frac{20}{42} \cdot \frac{24}{38} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{15}{37} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{12}{24} \cdot 6 = 12$ |
| 16 | $s_{16} = 1420 \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{34}{28} \cdot \frac{18}{37} \cdot \frac{37}{15} \cdot \frac{3}{30} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{12}{24} \cdot 6 = 380$ |
| kiirkäik | $s_{kk} = 1420 \cdot \frac{12}{24} \cdot \frac{22}{42} \cdot \frac{42}{42} \cdot \frac{12}{24} \cdot 6 = 1150$ |

Selle mõõtmegamma konsoolfreespinkidel on seade (joon. 271) käigukruvi ja mutri keermeniitide vahelise lõtku automaatseks reguleerimiseks, mis võimaldab freesida ettenihke suunas.

Käigukruvi *5* saab pöörlemise ettenihete kastist ja läbib kahest poolest $z_{92}$ ja $z_{93}$ koosneva pronksmutri, millel on välishambumiseks 23 hammast (vt. joon. 266 ja 267). Mõlemad poolmutrid võivad vabalt pöörelda töölaua kronsteini *4* avas, olles omavahel ühendatud hammaslattide *3* ja *8* ning hammasratta $z_{94} = 14$ kaudu.



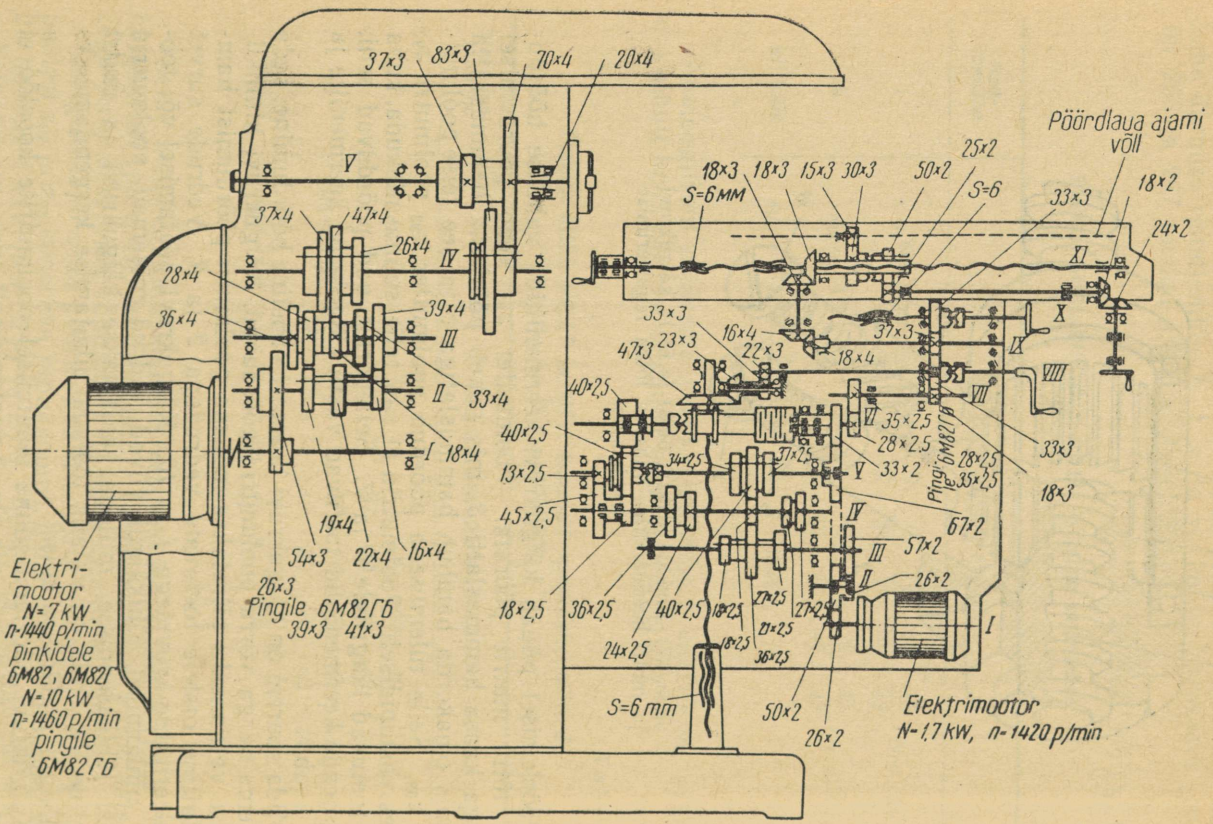

Joon. 271. Pinkide 6H81Г, 6H81 ja 6H11 käigukruvi ja mutri keermeniitide vahelise lõtku reguleerimise mehhanism

Pöörlemisel püüab käigukruvi keermeniitide vahelise hõõrdumise tõttu mutrit pöörata. Poolmutter $z_{92}$ veab pöördumisel endaga kaasa hammaslatti *3*, mis paneb pöörlema hammasratta $z_{94}$, mis omakorda hambub hammaslatiga *8* ja see teise poolmutriga $z_{93}$. Selle tulemusena pöördub poolmutter $z_{93}$ poolmutri $z_{92}$ suhtes vastupidiselt. Poolmutrid ei saa telje suunas nihkuda, kuna nad toetuvad laagritele *6* ja *7*. Sellepärast nad pöörduvad seni, kuni nende keermeniidid toetuvad vastu käigukruvi keermeniite ja lõtk kaob.

Mida suurem on käigukruvi ja mutri vaheline hõõrdumine, seda suurema nurga võrra poolmutrid pöörduvad. Käigukruvi kinnikiilumise vältimiseks piiratakse mõlema poolmutri pöördumist hammaslattide otstele toetuvate vedrudega *2* ja *9*. Vedrude survet reguleeritakse kruvidega *1* ja *10*. Käigukruvi peatamisel või töölaua nihkumisel tühikäigul viivad vedrud mõlemad poolmutrid tagasi lähteasendisse, millega taastatakse käigukruvi ja mutri vaheline lõtk, mis on vajalik töölaua nihutamise kergendamiseks tühikäigul ja ülesseadmisel.

Käigukruvi pöörlemissuuna muutmisel poolmutrite koostöö ei muutu, nad pöörduvad siis ainult vastupidiselt.

Mehhanismide õlitamiseks on kolm kolbpumpa. Pump kiiruste kasti õlitamiseks saab liikumise ekstsentrikult *A*,




Joon. 272. Universaalfreespingi 6M82 kinemaatiline skeem

mis saab omakorda liikumise võllil *I* istuva hammasratta $z_{14}$ ja hammasratta $z_{15}$ kaudu (vt. joon. 266 ja 267). Pump konsooli mehhanismide õlitamiseks saab liikumise ekstsentrikult *F*, mis on kinnitatud võllile *XXII*, viimane saab omakorda liikumise võllilt *X* hammasrataste paari $z_{61} : z_{62}$ kaudu. Käsipump töölaua ja ristkelgu õlitamiseks kinnitatakse ristkelgu külge.

## § 64. FREESPINGID 6M82, 6M82Г JA 6M12П*

Teises peatükis oli lahti mõtestatud horisontaalfreespingi 6M82Г (vt. joon. 26) ja vertikaalfreespingi 6M12П (vt. joon. 27) sõlmede ja juhtimisorganite ehitus ja antud üldteadmisi spindli pöörete arvust ja töölaua edasiliikumise kiirusest, samuti käepidemete ülesannetest kiiruste kasti ja ettenihete kasti häälestamisel (vt. joon. 28). Allpool tutvume selle mõõtmegamma pinkide mehhanismidega põhjalikumalt. Neid pinke toodab Gorki freespinkide tehas alates 1961. aastast.

Joonisel 272 on kujutatud universaalfreespingi 6M82 kinemaatiline skeem, mis täielikult vastab horisontaalfreespingi 6M82Г kinemaatilisele skeemile; hammasrattad on skeemil tähistatud hammaste arvuga ja mooduliga.

Teise mõõtmegamma pinkidel on kaks eraldi kinemaatilist ahelat — pealiikumise ahel ja töölaua ettenihete ahel.

### Pealiikumise ahel

Spindel saab pöörlemise äärikelektrimootorilt võimsusega 7 kW ja pöörete arvuga 1440 p/min elastse siduri ja viie võlliga kiiruste kasti hammasratasmehhanismi kaudu, mis annab spindlile 18 erinevat pöörete arvu piirides 31,5 — 1600 p/min.

Võllilt *I* antakse liikumine võllile *II* hammasrataste paariga *26:54*, edasi võllile *III* hammasrataste paariga *16:39* või *19:36* või *22:33*, võllile *IV* hammasrataste paariga *18:47* või *28:37* või *39:26*, võllile *V* (spindlile) hammasrataste paariga *20:70* või *83:37*. Tabelis 27 on toodud hammasrataste ülekanded ja saavutatavad spindli pöörete arvud igale kiirusastmele, mis vastavad joonisel 54 kujutatud kiirte diagrammile.

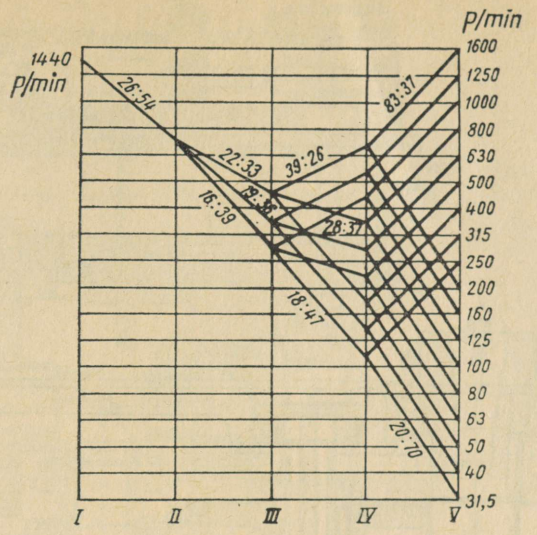
Joonisel 273, *a* on kujutatud pinkide 6M82 ja 6M82Г, joonisel 273, *b* pingi 6M12П spindli pöörete arvude struktuurvõrk. Selliseid struktuurvõrke koostatakse tavaliselt mitmevõlliliste ülekannete

---

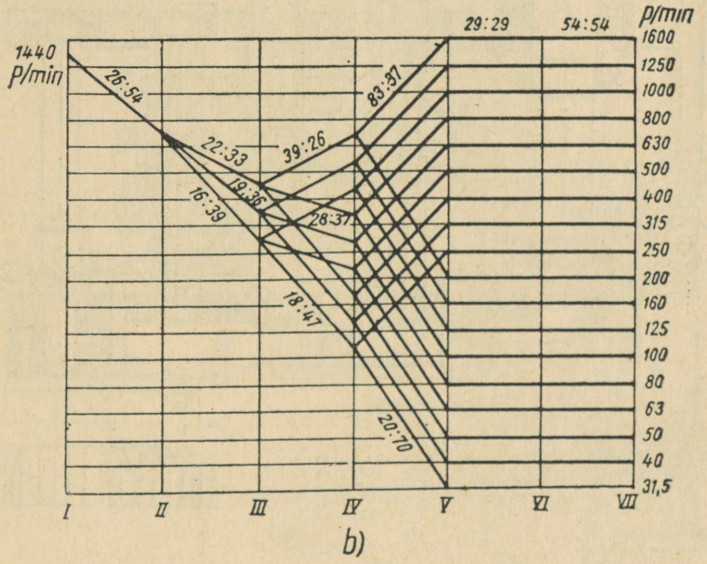
* Kursuse selle osa läbivõtmisel soovitatakse kasutada Kiievi populaarteaduslike filmide stuudio poolt toodetud õppefilmi «Esimese ja teise mõõtmegamma konsoolfreespingid», 1961. a. väljalase.

## Pinkide 6M82 ja 6M82Г spindli pöörete arvud p/min

| Kiirusaste | Pealiikumise ahelad |
|---|---|
| 1 | $n_1 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{20}{70} = 31{,}5$ |
| 2 | $n_2 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{20}{70} = 40$ |
| 3 | $n_3 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{20}{70} = 50$ |
| 4 | $n_4 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{20}{70} = 63$ |
| 5 | $n_5 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{20}{70} = 80$ |
| 6 | $n_6 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{20}{70} = 100$ |
| 7 | $n_7 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{20}{70} = 125$ |
| 8 | $n_8 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{20}{70} = 160$ |
| 9 | $n_9 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{20}{70} = 200$ |
| 10 | $n_{10} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{83}{37} = 250$ |
| 11 | $n_{11} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{83}{37} = 315$ |
| 12 | $n_{12} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{83}{37} = 400$ |
| 13 | $n_{13} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{83}{37} = 500$ |
| 14 | $n_{14} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{83}{37} = 630$ |
| 15 | $n_{15} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{83}{37} = 800$ |
| 16 | $n_{16} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{83}{37} = 1000$ |
| 17 | $n_{17} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{83}{37} = 1250$ |
| 18 | $n_{18} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{83}{37} = 1600$ |




a)

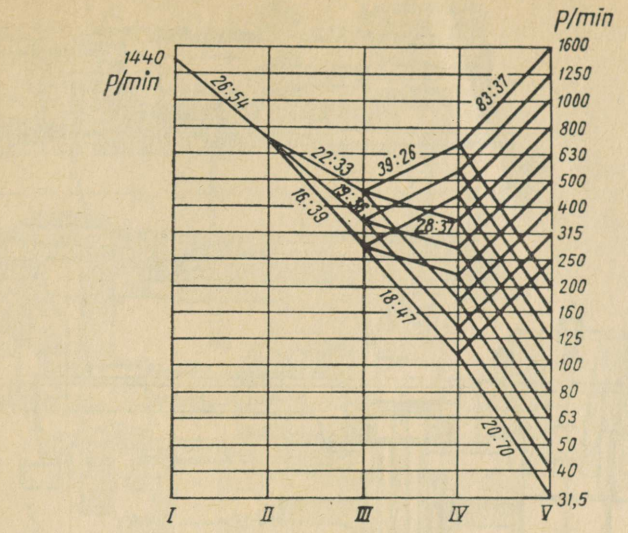



b)

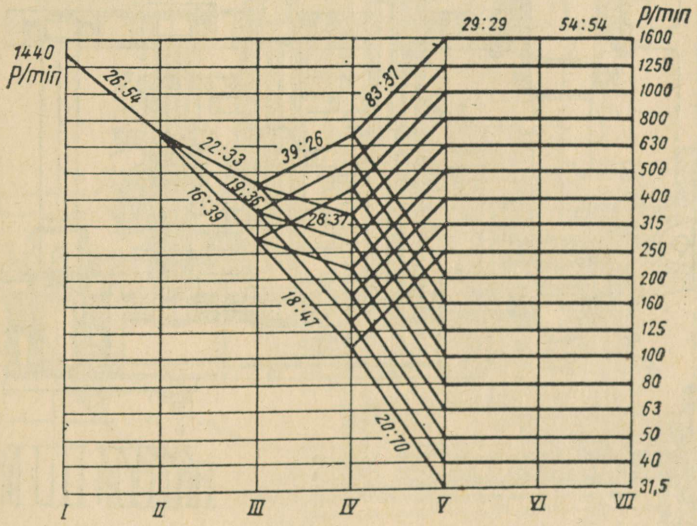
Joon. 273. Spindli pöörete arvude struktuurvõrk:
*a* — pinkidele 6M82 ja 6M82Г; *b* — pingile 6M12П

## Pinkide 6M82 ja 6M82Г spindli pöörete arvud p/min

| Kiirusaste | Pealiikumise ahelad |
|---|---|
| 1 | $n_1 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{20}{70} = 31{,}5$ |
| 2 | $n_2 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{20}{70} = 40$ |
| 3 | $n_3 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{20}{70} = 50$ |
| 4 | $n_4 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{20}{70} = 63$ |
| 5 | $n_5 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{20}{70} = 80$ |
| 6 | $n_6 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{20}{70} = 100$ |
| 7 | $n_7 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{20}{70} = 125$ |
| 8 | $n_8 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{20}{70} = 160$ |
| 9 | $n_9 = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{20}{70} = 200$ |
| 10 | $n_{10} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{83}{37} = 250$ |
| 11 | $n_{11} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{83}{37} = 315$ |
| 12 | $n_{12} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{18}{47} \cdot \frac{83}{37} = 400$ |
| 13 | $n_{13} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{83}{37} = 500$ |
| 14 | $n_{14} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{83}{37} = 630$ |
| 15 | $n_{15} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{28}{37} \cdot \frac{83}{37} = 800$ |
| 16 | $n_{16} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{16}{39} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{83}{37} = 1000$ |
| 17 | $n_{17} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{19}{36} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{83}{37} = 1250$ |
| 18 | $n_{18} = 1440 \cdot \frac{26}{54} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{39}{26} \cdot \frac{83}{37} = 1600$ |

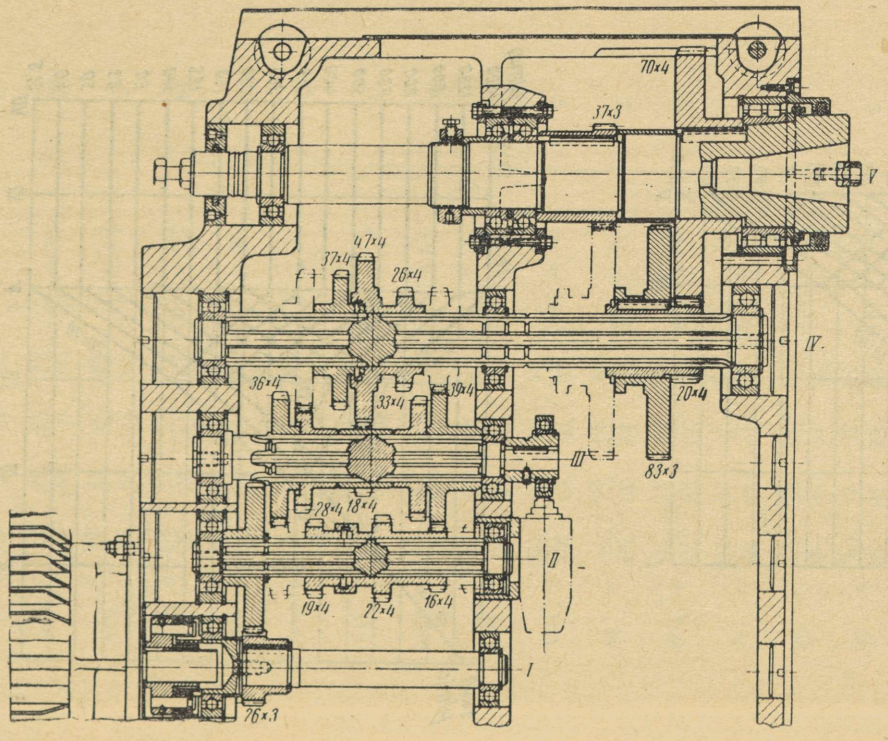



a)

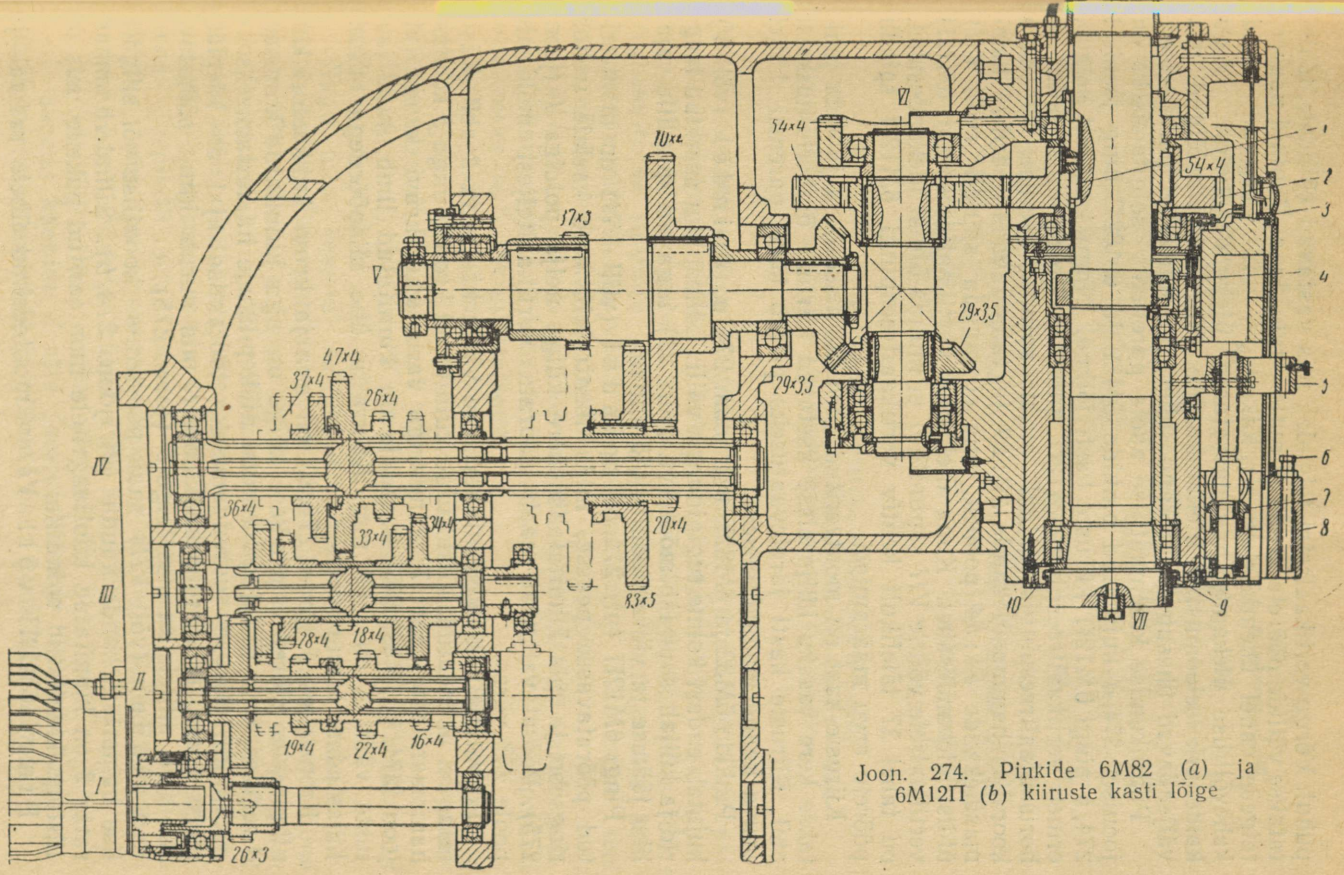



b)

Joon. 273. Spindli pöörete arvude struktuurvõrk:
*a* — pinkidele 6M82 ja 6M82Г; *b* — pingile 6M12П


70×4
57×3
V
47×4
37×4
26×4
IV
36×4
33×4
39×4
70×4
III
83×3
28×4
18×4
II
19×4
22×4
16×4
I
76×3

а)




Joon. 274. Pinkide 6M82 (*a*) ja 6M12П (*b*) kiiruste kasti lõige

*b)*

puhul. Võrgu vertikaalsetel telgedel, mis vastavad võllidele, tähistatakse võllide pöörete arvud minutis punktidega. Punktid naabertelgede vahel ühendatakse sirglõikudega, mis vastavad antud kahevõllilise ülekande hammasrataste ülekandesuhetele. Lõigu kaldenurk iseloomustab ülekandesuhte suurust; kõik lõigud, mis väljendavad ühesugust ülekandesuhet, on omavahel paralleelsed.

Pikiliikumise kinemaatilise ahela paremaks selgitamiseks on joonisel 274, *a* kujutatud pinkide 6M82 ja 6M82Г ning joonisel 274, *b* pingi 6M12П kiiruste kasti lõiked. Nagu jooniselt selgub, erineb vertikaalfreespink 6M12П universaalfreespingist 6M82 ja horisontaalfreespingist 6M82Г ainult spindli asetuse, täiendava koonilise hammasülekande *29* : *29* ja täiendava silindrilise hammasülekande *54* : *54* poolest, mis ei muuda spindli (võll *VII*) üldist ülekandesuhet. Kuna ülekanne vertikaalfreespingi 6M12П vertikaalsele võllile *VII* (spindlile) ei muuda üldist ülekandesuhet, on tabel 27 täielikult kehtiv vertikaalfreespingi 6M12П spindli pöörete arvu määramisel.

Kiiruste kast on monteeritud kere ülemisse ossa ja teda juhitakse kere vasaku külje sisse asetatud kiiruste ümberlülituskasti abil. Kiiruste kasti järelevaatuseks piisab kere paremal küljel asuva kaane mahavõtmisest.

Pinkide 6M82 ja 6M82Г (vt. joon. 274, *a*) spindel (võll *V*) kujutab endast kolme tugipinnaga võlli. Lähestikku asetatud laagrid ja küllalt suur läbimõõt (vt. joon. 21) tagavad spindlile vajaliku jäikuse ja vibratsioonita töötamise.

Pingi 6M12П (vt. 274, *b*) spindel (võll *VII*) on monteeritud pööratavasse peasse, mida tsentreerib kere kaelale treitud ringsoon ja mis kinnitatakse kere külge nelja poldiga *1* (joon. 275). Pööratavat pead saab pöörata vertikaalteljest mõlemale poole 45° võrra.

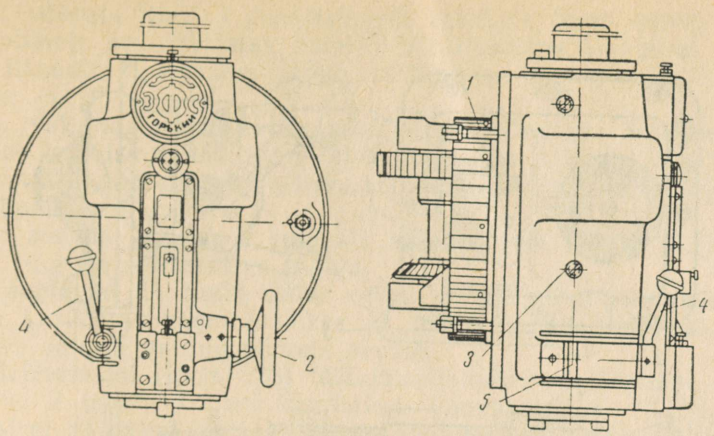
Pööratava pea hülss nihutatakse välja käsiratta *2* abil. Käsiratas on ühendatud hülsi külge kinnitatud kronsteiniga *5* koonushammasrataste paari *7* ja mutriga varustatud kruvi kaudu (vt. joon. 274, *b*). Käsiratta *2* võllile on kinnitatud limb, mille jaotuste väärtus on 0,05 mm. Käsiratta ühe täispöördega nihkub hülss edasi 4 mm võrra.

Kronsteinis *5* (joon. 274, *b*) on ava ja kruvi indikaatori kinnitamiseks, pööratava pea kere külge on aga kinnitatud kronstein *8* reguleeritava piirajaga *6* hülsi nihkepikkuse häälestamiseks.

Spindli jäikuse suurendamiseks töötamise ajal on käepidemega *4* varustatud pingutusklamber, mis surub kinni pööratava pea kere, millele on sisselõige *5* (joon. 275).

Spindel (võll *VII*) saab pöörlemise koonilise või silindrilise hammasülekande kaudu (vt. joon. 274, *b*). Silinderhammasratas *2* on kinnitatud kuullaagritele monteeritud puksile, mis on liistuga kinnitatud spindlile.

Pingi 6M12П võll *VI* on monteeritud ühele radiaal- ja




Joon. 275. Pingi 6M12П pööratava spindelpea üldvaade:
*1* — kruvid pööratava spindelpea kinnitamiseks pingi külge; *2* — käsiratas; *3* — kork; *4* — pingutusklambri käepide; *5* — sisselõige

kahele radiaal-tugikuullaagrile. Radiaal-tugikuullaagrid on paigutatud äärikuga puksi ja kokku tõmmatud seibiga, mis kinnitab ääriku kere ristseina külge. Radiaal-tugikuullaagrite lõtku reguleeritakse lihvitud vaherõngaga. Koonushammasratta hambumist reguleeritakse võlli *VI* teljesuunalise nihutamise teel puksi äärikusse keeratud kruvide abil (joon. 274, *b*).

Võll *V* on samuti monteeritud ühele radiaal- ja kahele radiaal-tugikuullaagrile. Lõtku reguleeritakse võlli *V* vasakpoolsel otsal oleva mutri pingutamisega.

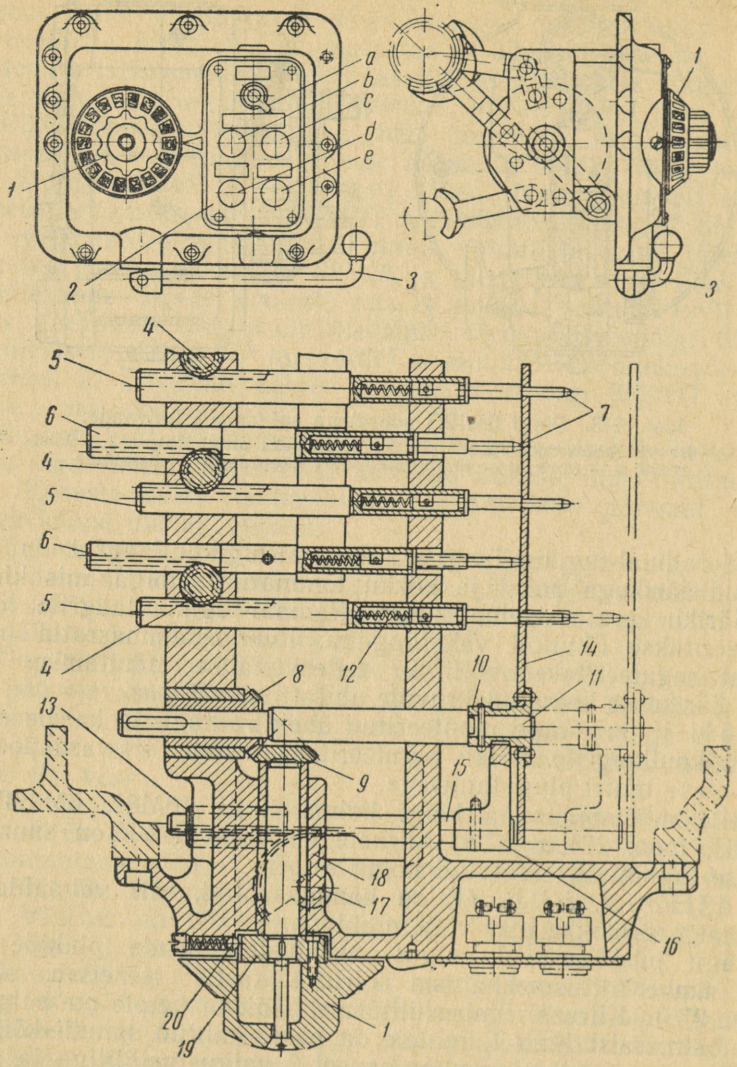
Selle mõõtmegamma kõigi kolme pingi (6M82, 6M82Г ja 6M12П, joon. 274, *a* ja *b*) kiiruste kasti võll *IV* on suurema jäikuse tagamiseks asetatud kolmele toele.

Võllid *II*, *III* ja *IV* on hammasvõllid, mis võimaldavad hammasratasplokke piki võlli nihutada.

Nagu juba eespool selgus, moodustab nende pinkide kiiruste ümberlülitusmehhanism kiiruste kastis iseseisva sõlme (joon. 276). Kiiruste ümberlülitusmehhanismi kerele on paigutatud plastmassist limb *1*, millele on peale kantud spindli kõik 18 pöörete arvu, osuti ning nupp-paneel *2* valgustuslülitiga ja nuppudega: «пуск шпинделя» («spindli käivitamine»), «стоп шпинделя» («spindli seiskamine»), «толчок шпинделя» («spindli tõuge»), «быстро стол» («töölaud kiiresti»). Ümberlülitusmehhanismi kasti alumisel küljel asub käepide *3*.

Kiirused lülitatakse ümber järgmiselt:

1. suruda käepide *3* alla (seejuures teda fikseeriv tapp väljub fikseerivast soonest) ja pöörata enda poole kuni lõpuni;




Joon. 276. Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П kiiruste kasti ümberlülitusmehhanism:

*a* — valgustuslüliti «включено-выключено»; *b* — nupp «пуск шпинделя»; *c* — nupp «стоп шпинделя»; *d* — nupp «толчок шпинделя»; *e* — nupp «быстро стол»

2. pöörata limbi *1* paremale või vasakule, kuni spindli valitud pöörete arvu tähistav number ühtib osutiga, seejuures kuuldav fiksaatori plõksatus näitab, et limb on seatud valitud asendisse;

3. vajutada nupule «толчок» («tõuge»), millega antakse lühiajaline impulss spindli ajami elektrimootorile kiiruste kasti hammasrataste pööramiseks selleks, et hammasratasplokke sujuvalt hambumisse viia;

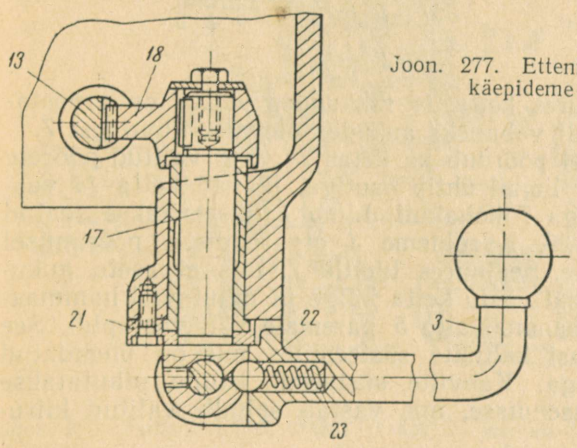
4. suruda käepide *3* sujuvalt algasendisse tagasi ja lukustada tingimata fikseeriva tapiga.

Käepideme ja limbi nende operatsioonidega nihutatakse kiiruste kasti hammasratasplokke ja seatakse nad asendisse, mis vastab spindli valitud pöörete arvule.

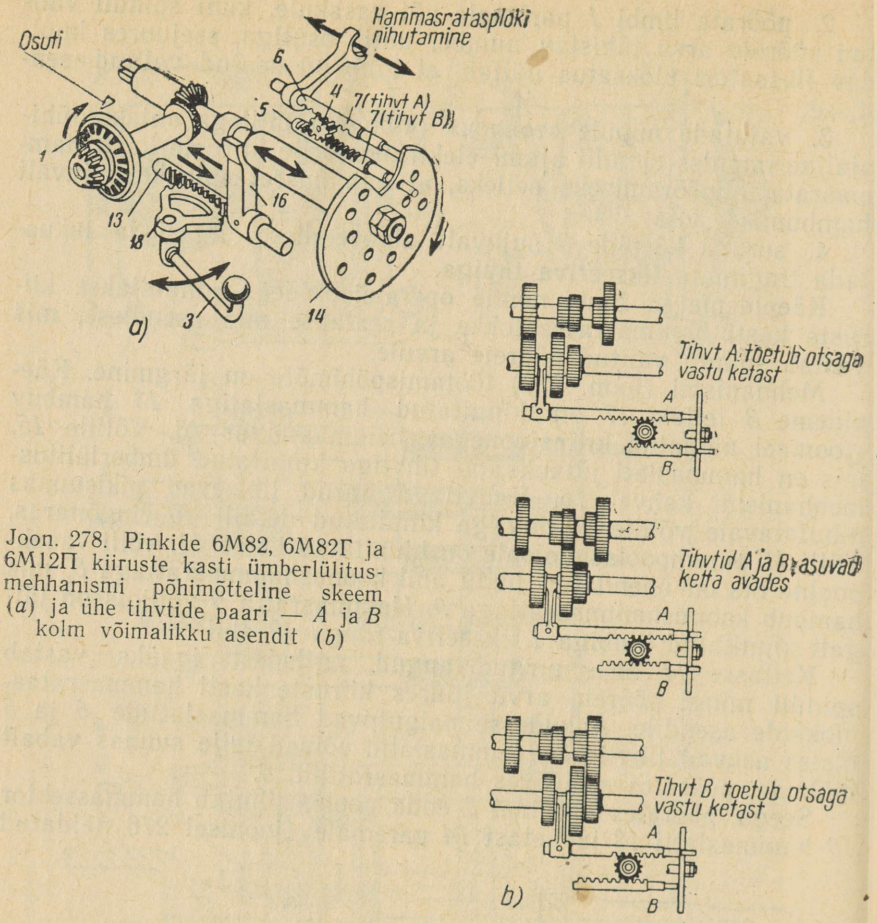
Mehhanismi (joon. 276) töötamispõhimõte on järgmine. Käepideme *3* teljele *17* on kinnitatud hammaslatiga *13* hambuv (joonisel näidatud kriipsjoonega) hammassektor *18*. Võllile *15*, mis on hammaslati jätkuks, on tihvtiga kinnitatud ümberlülitusmehhanismi kahvel *16*. Kahvli *16* harud libisevad pikisuunas nihutatavale võllile *11* tihvtiga kinnitatud detaili *10* ringõnaras. Võlli *11* parempoolsele otsale on kinnitatud ketas *14*, võlli vasakpoolne ots on ühendatud liistu abil koonushammasrattaga *8*, mis hambub koonushammasrattaga *9*. Hammasratta *9* võlliots on jäigalt kinnitatud limbiga *1* fikseeriva rõnga *19* abil.

Kettasse *14* on puuritud augud, milledest igaüks vastab spindli mingi pöörete arvu juures kiiruste kasti hammasratasplokkide asendile. Aukudesse paigutuvad hammaslattide *6* ja *5* otstes asuvad tihvtid *7*. Hammaslatid võivad telje suunas vabalt nihkuda, pöörates seejuures hammasrattaid *4*.

Seega, pöörates käepidet *3* enda poole, nihutab hammassektor *18* hammaslatti *13* ja ketast *14* paremale (joonisel 276 näidatud




Joon. 277. Ettenihete ümberlülituskäepideme fikseerimine




Joon. 278. Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П kiiruste kasti ümberlülitusmehhanismi põhimõtteline skeem (*a*) ja ühe tihvtide paari — *A* ja *B* kolm võimalikku asendit (*b*)

kriipsjoonega); seejuures ketta *14* nihkumise ulatus on arvestatud nii, et ta täielikult vabaneks aukudes olevaist tihvtidest *7*.

Limbi *1* pööramisel pöördub ka ketas *14*. Kui valitud pöörete arvu tähistav number limbil ühtib osutiga, jäävad ketta *14* vastavad augud tihvtidega *7* kohakuti. Limb *1* fikseeritakse seatud asendis fiksaatoriga *20*. Käepideme *3* algasendisse pööramisel nihkub ketas vasakule. Seejuures tihvtid *7*, mis ei asetu aukudega kohakuti, toetuvad vastu ketta külge ja nihutavad hammaslatte *6* vasakule ja hammaslatte *5* paremale või vastupidi. See nihutus kantakse edasi kahvlite süsteemile, mis on ühendatud hammasratasplokkidega. Kahvlite süsteemi kaudu nihutatakse hammasratasplokid asendisse, mis vastab spindli valitud kiirusele.

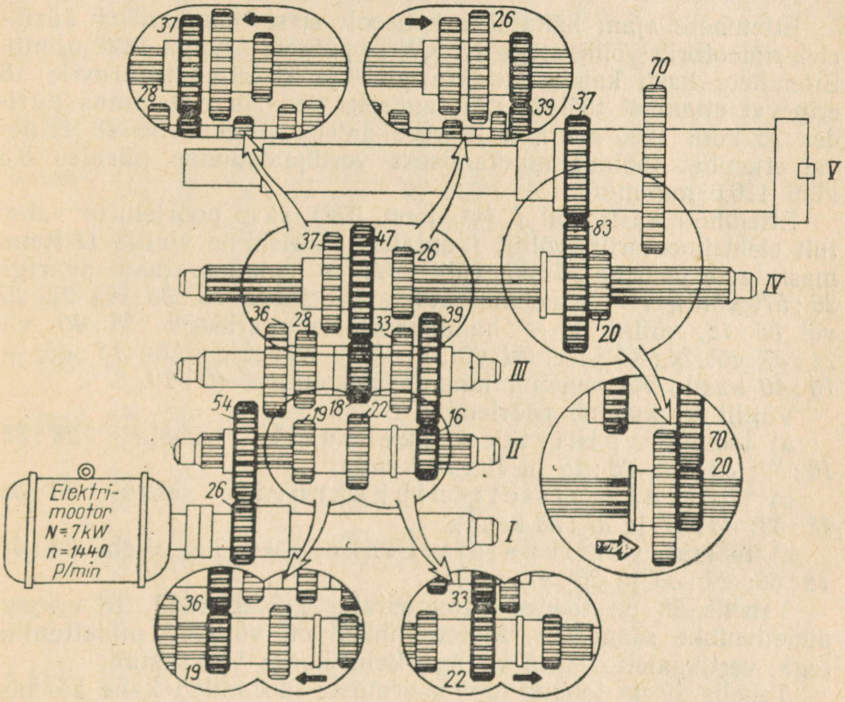
Hammaslattide *5* ja *6* otstes olevatesse avadesse on paigutatud survevedrud *12*, mis arendavad jõudu 5—10 kG.

Kui ümberlülitatavate rataste hambad satuvad vastamisi, pehmendavad vedrud lööki. Kui hammas satub hambavahesse, vabaneb vedru pinge alt, sundides ühe hammasratta hambaid kiiremini minema teise hammasratta hambavahedesse.

Käepidet *3* hoitakse sisselülitatud asendis vedruga *23* koormatud kuuli *22* abil (joon. 277); seejuures käepidet fikseeriv tapp asub rõnga *21* soones. Joonisel 277 on kõikide detailide numeratsioon analoogiline joonise 276 numeratsiooniga.

Joonisel 278 on kujutatud piltlikult kiiruste ümberlülitusmehhanismi töötamisskeem ja ühe tihvtide paari — *A* ja *B* (vt. joon. 276, tihvtid *7*) kolm võimalikku asendit.

Joonisel 278, *a* on skemaatiliselt kujutatud joonisel 276 toodud kiiruste ümberlülitusmehhanism. Käepideme *3* pööramisel enda poole nihutatakse hammassektoriga *18* hammaslatti *13* ja viimase kaudu kahvlit *16* koos kettaga *14* paremale. Ketas vabas-




Joon. 279. Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П kiiruste kasti hammasrataplokkide võimalikud asendid

tab tihvtide *7* paari (*A* ja *B*), mis on omavahel ühendatud hammaslattide *6* ja *5* ning hammasratta *4* kaudu ja paigutuvad ketta *14* vastavatesse aukudesse. Limbi *1* pööramisel ja vastavat pöörete arvu tähistava arvu osuti vastu seadmisel pöördub ketas nii, et tihvtide *A* ja *B* vastu satuvad kas augud või aukude vahed. Pöörates käepidet *3* endast eemale, nihkub ketas *14* tagasi algasendisse, aga tihvtid *A* ja *B* võtavad ühe kolmest asendist, mis on kujutatud joonisel 278, *b* ja seavad kahvlite abil nihutatava hammasrataploki ühte asendisse kolmest võimalikust. Kuna kiiruste kastis on üks kahest ja kaks kolmest hammasrattast koosnevat hammasrataplokki, on nende nihutamiseks vaja kolm kahvlit ja kolm paari tihvte *A* ja *B*.

Joonisel 279 on kujutatud kiiruste kasti hammasrataplokkide võimalikud asendid vastavalt spindli *18*-le pöörete arvule (tabel 27).

## Ettenihete ahel

Ettenihete ajam käitatakse konsooli sisse monteeritud äärikelektrimootorilt võimsusega 1,7 kW ja pöörete arvuga 1420 p/min. Ettenihete kasti kaudu antakse piki- ja ristettenihkekruvile 18 erinevat ettenihet töölaua nihutamiseks piki- ja ristsuunas piirides 25 kuni 1250 mm/min ja vertikaalettenihkekruvile 18 erinevat ettenihet töölaua nihutamiseks vertikaalsuunas piirides 8,3 kuni 416,6 mm/min.

Ettenihete kasti võll *I* (vt. joon. 272) saab pöörlemise vahetult elektrimootorilt; võllilt *I* antakse pöörlemine võllile *II* hammasrataste paariga *26* : *50*, võllile *III* — hammasrataste paariga *26* : *57*, võllile *IV* — hammasrataste paaridega *18* : *36* või *27* : *27* või *36* : *18*, võllile *V* — hammasrataste paaridega *18* : *40* või *21* : *37* või *24* : *34* ja edasi võllile *VI* — vaheülekande *13* : *45* — *18* : *40* kaudu või vahetult hammasülekandega *40* : *40*.

Võllilt *VI* kandub pöörlemine edasi:

a) töölaua pikiettenihkekruvile ahela *28* : *35*; *18* : *33*; *33* : *37*; *18* : *16* ja *18* : *18* kaudu;

b) töölaua ristettenihkekruvile ahela *28* : *35*; *18* : *33*; *33* : *37* ja *37* : *33* kaudu.

c) töölaua vertikaalettenihkekruvile ahela *28* : *35*; *18* : *33*; *22* : *33* ja *23* : *47* kaudu.

Tabelis 28 on toodud hammasrataste ülekanded 18 erineva pikiettenihke saamiseks. Ristettenihked on võrdsed pikiettenihetega, vertikaalettenihked on aga kolm korda väiksemad.

Tabelis 29 on toodud hammasrataste ülekanded kahe äärmise ristettenihke — $s_1$ ja $s_{18}$ kohta, tabelis 30 — kahe äärmise vertikaalettenihke — $s_1$ ja $s_{18}$ kohta.

**Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П töölaua pikiettenihked mm/min**

| Pikiettenihe | Pikiettenihke ahel | |
|---|---|---|
| 1 | $s_1 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 25 |
| 2 | $s_2 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{21}{37} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 31,5 |
| 3 | $s_3 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 40 |
| 4 | $s_4 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 50 |
| 5 | $s_5 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{21}{37} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{}{18} \cdot 6 =$ | 63 |
| 6 | $s_6 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 80 |
| 7 | $s_7 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 100 |
| 8 | $s_8 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{27} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{21}{37} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 125 |
| 9 | $s_9 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 160 |
| 10 | $s_{10} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 200 |
| 11 | $s_{11} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{21}{37} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 250 |
| 12 | $s_{12} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 315 |
| 13 | $s_{13} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 400 |
| 14 | $s_{14} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{21}{37} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 500 |
| 15 | $s_{15} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{27}{27} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 630 |
| 16 | $s_{16} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 800 |
| 17 | $s_{17} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{21}{37} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 1000 |
| 18 | $s_{18} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{18}{16} \cdot \frac{18}{18} \cdot 6 =$ | 1250 |

Tabel 29

**Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П ristkelgu ettenihked $s_1$ ja $s_{18}$ mm/min**

| Rist-ettenihe | Ristettenihete ahelad |
|---|---|
| 1 | $s_1 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{37}{33} \cdot 6 = 25$ |
| 18 | $s_{18} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{33}{37} \cdot \frac{37}{33} \cdot 6 = 1250$ |

Tabel 30

**Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П konsooli ettenihked $s_1$ ja $s_{18}$ mm/min**

| Vertikaal-ettenihe | Vertikaalettenihete ahelad |
|---|---|
| 1 | $s_1 = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{18}{36} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{13}{45} \cdot \frac{18}{40} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{23}{47} \cdot 6 = 8{,}3$ |
| 18 | $s_{18} = 1420 \cdot \frac{26}{50} \cdot \frac{26}{57} \cdot \frac{36}{18} \cdot \frac{24}{34} \cdot \frac{40}{40} \cdot \frac{28}{35} \cdot \frac{18}{33} \cdot \frac{22}{33} \cdot \frac{23}{47} \cdot 6 = 416{,}6$ |

Töölaua kiirendatud ettenihke puhul on ettenihete kast välja lülitatud ja elektrimootori pöörlemine antakse ahela *26 : 50*; *50 : 67*; *67 : 33* kaudu võllile *VI* ja sealt edasi piki-, rist- või vertikaalettenihkekruvile eespool kirjeldatud viisil. Kiirendatud piki- ja ristettenihke kiirus on 3000 mm/min, kiirendatud vertikaalettenihke kiirus aga 1000 mm/min.

Ettenihete kast kujutab endast iseseisvat sõlme, mis on monteeritud konsooli vasakpoolsele küljele. Teise mõõtmegamma pinkide (6M82, 6M82Г, 6M12П) ettenihete kastid on kõik ühesugused.

Ettenihete ahela kinemaatilise skeemi paremaks mõistmiseks on joonisel 280 toodud ettenihete kasti laotatud lõige,* kusjuures võllide ja hammasrataste tähised on identsed joonisel 272 toodud skeemi tähistega.

Elektrimootorilt (joonisel 280 ei ole näidatud) antakse pöörlemine hammasrataste $z = 26$ ja $z = 50$ kaudu võllile *II*, sealt hammasrataste paari *26 : 57* kaudu võllile *III* ja edasi hammas-

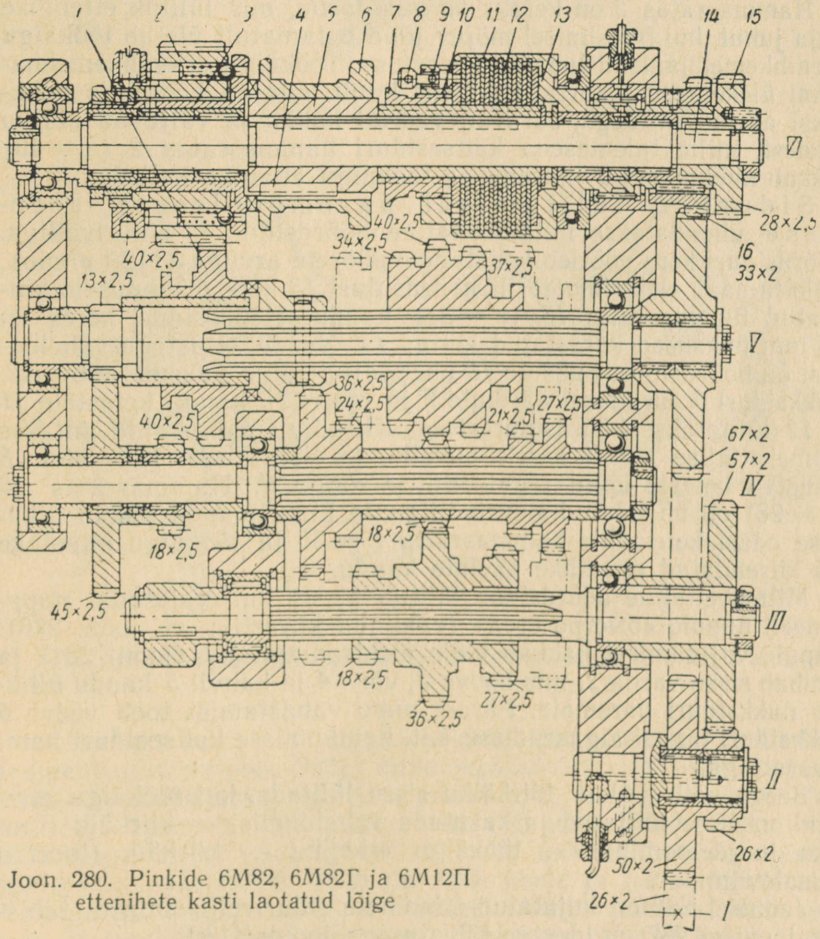
* Laotatud lõikeks nimetatakse sõlme või mehhanismi tinglikku kujutist, millel erinevates tasapindades asuvad detailid on laotatud joonise tasapinnale.

ratasplokkide kaudu võllidele *IV*, *V* ja *VI*. Võll *VI* saab 18 erinevat pöörete arvu — 10 kuni 480 p/min töölaua, ristkelgu ja konsooli töökäigu ettenihke sooritamiseks.

Kiirendatud ettenihke sooritamiseks antakse elektrimootori (joonisel 280 ei ole näidatud) pöörlemine hammasrataste $z = 50$ ning $z = 67$ kaudu, minnes mööda ettenihete kastist, hammasrattale *16* ($z = 33$). Selle ülekande kaudu saab võll *VI* konstantse pöörete arvu 1120 p/min.

Võlli *VI* nimetatakse ettenihete kasti *sidurivõlliks* ja ta on joonisel 280 tähistatud numbriga *14*.

Sidurivõll *14* annab pöörlemise, mille ta saab hammasratta




Joon. 280. Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П ettenihete kasti laotatud lõige

$z = 40$ või $z = 67$ kaudu, konsooli võllile *VII* (vt. joon. 272) hammasrataste $z = 28$ ja $z = 35$ kaudu töökäigu ettenihke või kiirendatud ettenihke sooritamiseks; selleks on sidurivõllil kaks sidurit — *nukksidur 6* ja *mitmekettaline hõõrdsidur 13* (joon. 280). Töökäigu ettenihke andmiseks konsoolile lülitatakse sisse sidur *6*, kiirendatud ettenihke andmiseks aga sidur *13*.

Sidurit *6* saab nihutada liistul *4* piki puksi *5*, mis on liistu abil sidurivõlliga liikumatult ühendatud.

Siduri *6* lülitamisel vasakpoolsesse asendisse ühendatakse ta ettenihete kasti vaheülekande hammasrattaga *1* ($z = 40$) pidevas hambumises oleva hammasratta *2* ($z = 40$) nukkpuksiga *3*. Seega sidurivõll saab ettenihete kastist, olenevalt selle hammasrataste asendist, 18 erinevat kiirust.

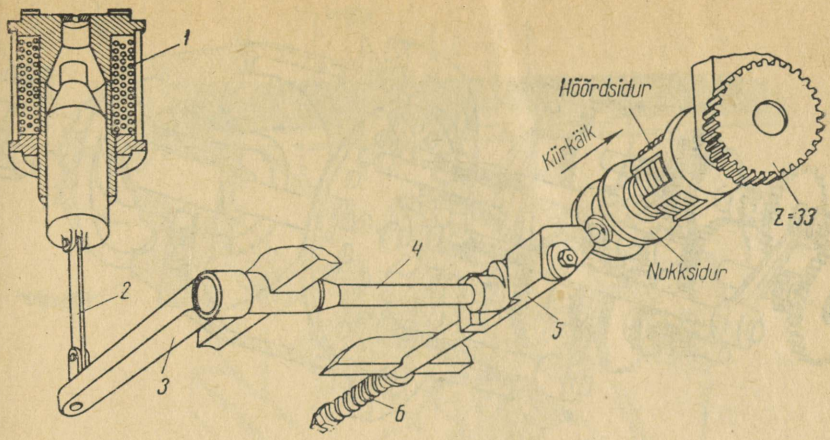
Hammasratas *2* on kereks *kaitsesidurile*, mis lülitab ettenihke välja juhul, kui freesimisel mõjuv jõud ootamatult ületab töökäigu ettenihkemehhanismi lubatud koormuse. Töökäigu ettenihkemehhanismi ülekoormuse korral kaksteist kuuli, mis on kontaktis nukkpuksi ääriku avadega, suruvad vedrud kokku ja väljuvad ääriku avadest, mille tulemusena kaitsesiduri hammasratas *2* ($z = 40$) hakkab nukkpuksil *3* libisema ja töökäigu ettenihe katkeb.

Siduri *6* lülitamisel parempoolsesse asendisse ühendatakse mitmekettaline hõõrdsidur *13* sidurivõlliga. Hõõrdsiduri kere pöörleb konstantse pöörete arvuga (1120 p/min), mille ta saab elektrimootorilt hõõrdsiduri *13* kere pikendusele kinnitatud hammasratta *16* ($z = 33$) kaudu. Hõõrdsiduri keres on 1,5 mm paksused karastatud kettad *11*. Nende ketastega vaheldumisi on hõõrdsiduri puksiga *13* ühendatud sama paksud kettad *12*. Nukksiduri *6* surumisel ääriku *7* ja mutri *10* kaudu ketastele *11* ja *12* lülitatakse hõõrdsidur sisse. Kiirkäigu pöörlemine antakse mitmekettalise siduri kerelt puksile ja võllile *14*. Fiksaator *8* lukustab ketaste lõtku reguleerimise rõnga *9*. Hammasratas *15* ($z = 28$) on ühendatud sidurivõlliga *14* liistu abil ja annab liikumise edasi konsoolile hammasratta $z = 35$ ja töökäigu ettenihke või kiirendatud ettenihke ahelate kaudu.

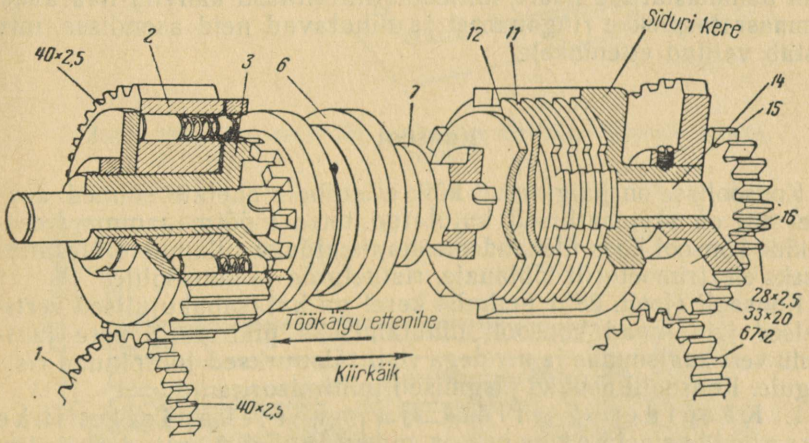
Mitmekettaline hõõrdsidur lülitub sisse, kui vajutada nuppaneeli nupule «быстро стол» («töölaud kiiresti»; vt. joon. 276). Nupule vajutamisel hakkab tööle elektromagnet *1* (joon. 281) ja tõmbab sisse varda *2*, mis hoova *3*, võlli *4* ja kahvli *5* kaudu nihutab nukksiduri paremale. Pärast nupu vabastamist toob vedru *6* nukksiduri tagasi algasendisse, s. t. hambumisse kaitsesiduri hammasrattaga.

Seega võib töölaua kiirkäiku sisse lülitada, kui töökäigu ettenihe on sisse lülitatud ja kasutada vaheldumisi — kiirkäik (tooriku juurdetoomine) — töökäigu ettenihe — kiirkäik (tooriku eemaleviimine).

Joonisel 282 on kujutatud ettenihete sidurivõlli sidurid; tähistus joonisel 282 on identne tähistusega joonisel 280.

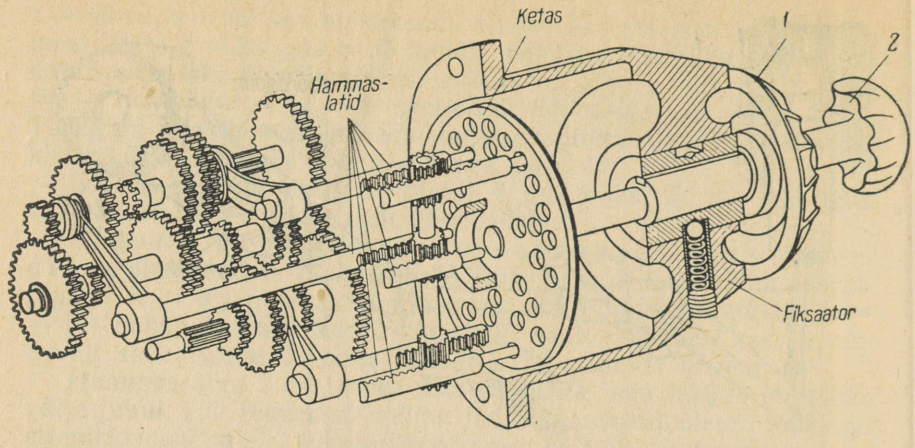



Joon. 281. Töölaua kiirendatud ettenihke lülitusskeem




Joon. 282. Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П ettenihete sidurivõlli sidurid

Ettenihete kasti kere külge on kinnitatud ettenihete ümberlülitusmehhanism (joon. 283), mille esiosas on limb seenekujulise käsiratta seadmiseks vajalikule ettenihkele; limbi ja käsiratta ülesannetega tutvusime lähemalt lk. 41 (vt. joon. 28, *b*). Ettenihked lülitatakse ümber analoogiliselt kiiruste ümberlülitamisega. Antud juhul tuleb käsiratast tõmmata enda poole ja teda pöörata koos limbiga seni, kuni vajalikku ettenihet tähistav number ühtib osutiga ja seejärel lükata ta tagasi. Seejuures nihutab ketas ümber




Joon. 283. Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П ettenihete ümberlülitusmehhanism

kolm hammaslattide paari, milledele kinnitatud kahvlid haaravad hammasratasplokke ringõnarast ja nihutavad neid asendisse, mis vastab valitud ettenihkele.

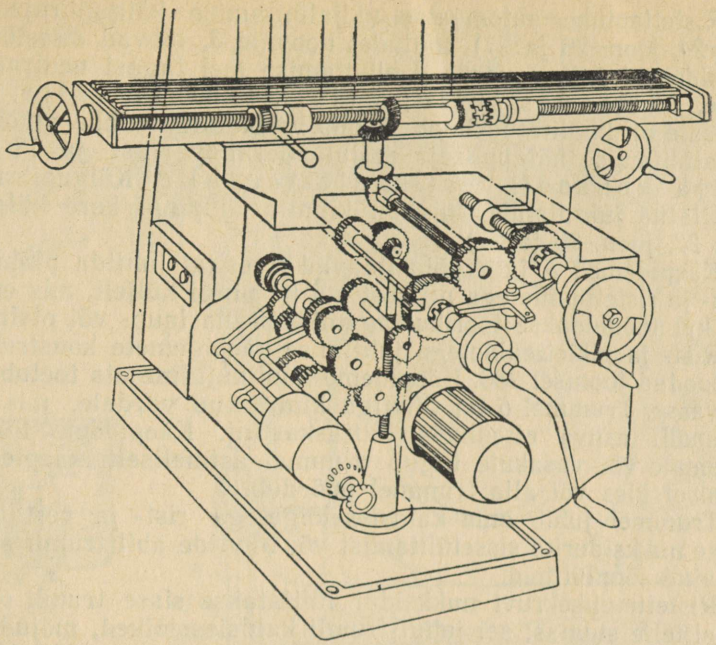
## Konsool

Konsoolisse on paigutatud kõik ettenihete ahelate sõlmed. Joonisel 284 on skemaatiliselt kujutatud teise mõõtmegamma freespinkide konsool koos ülekandemehhanismidega liikumiste ülekandmiseks elektrimootorilt töölauale, ristkelgule ja konsoolile.

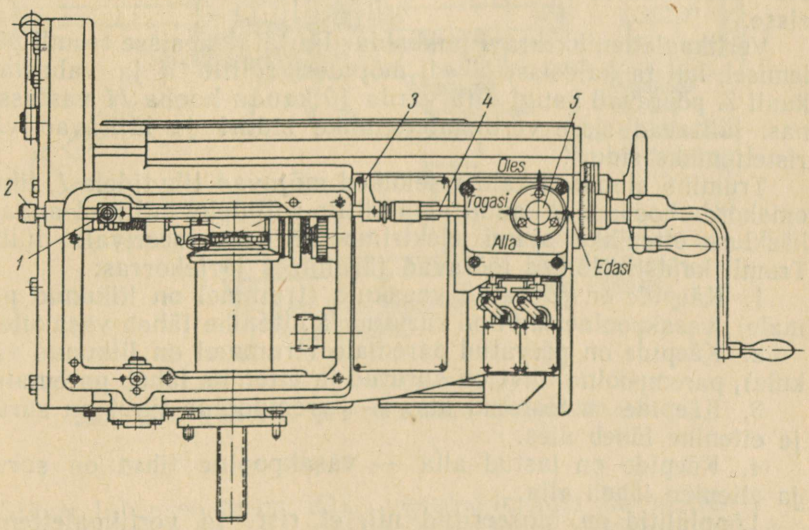
Konsooli (joon. 285) malmist kerel on kalasabakujulised vertikaalsed juhtpinnad konsooli nihutamiseks piki pingi kere juhtpindu vertikaalsuunas ja nendega risti täisnurksed juhtpinnad ristkelgule. Konsoolil asuvad järgmised juhtimisorganid:

1. Käepide *5* rist- ja vertikaalettenihke sisselülitamiseks, mis on mnemooniliselt seotud ristkelgu ja konsooli nihutussuunaga. See tähendab, et käepideme *5* pöördumissuund ühtib nihutatava sõlme liikumissuunaga. Käepidemel *5* on viis fikseeritavat asendit: konsooli töökäigu ettenihe või kiirendatud ettenihe üles, konsooli töökäigu ettenihe või kiirendatud ettenihe alla, ristkelgu töökäigu ettenihe või kiirendatud ettenihe enda poole, ristkelgu töökäigu ettenihe või kiirendatud ettenihe endast eemale, vertikaal- ja ristettenihke seiskamine.

2. Dubleeriv käepide *1* rist- ja vertikaalettenihke sisselülitamiseks, mis on paigutatud konsooli vasakul küljel asuva ettenihete kasti kerele. Dubleeriv käepide *1* töötab analoogiliselt käepidemega *5* ja dubleerib ta liikumisi.



Joon. 284. Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П ettenihete mehhanismid




Joon. 285. Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П konsooli üldvaade

Ristettenihke automaatse väljalülitamise käigupiirajad (vt. pos. *24*, joon. 26 ja 27), mõjudes hoovale *3*, toovad sisselülitatud käepidemed *5* ja *1* varda *4* nihutamise teel tagasi neutraalasendisse, lülitades sellega ristettenihke välja. Varda *4* otsale on kinnitatud hoob *2*, mis vertikaalettenihke automaatse väljalülitamise käigupiiraja mõjul pöörab varrast ja lülitab välja konsooli vertikaalettenihke. Käigupiirajad on kinnitatud juhtliistule, mis on kinnitatud pingi kere külge (vt. pos. *23*, joon. 26 ja 27).

Käepidemed *5* ja *1* võimaldavad freesijal juhtida pinki vertikaal- ja ristettenihetega nii eest kui ka pingi küljelt, mis on vajalik, kui töödeldakse tooriku tagumist pinda laup- või otsfreesiga.

Rist- ja pikiettenihetega juhtimise käepidemete konstruktsioon on toodud joonisel 286. Käepideme kuulikujuline ots toetub trumli *6* avasse. Trummel *6* on tihvtiga kinnitatud vardale, mis ulatub konsoolil asuva ettenihete lülituskastini. Käepideme liikumisel paremale või vasakule liigub trummel astmeliselt, käepideme liikumisel üles või alla trummel pöördub.

Trummel juhib oma kaldsisselõigetega rist- ja vertikaalettenihke nukksidurite sisselülitamist või tihvtide abil trumli alla paigutatud lõpplüliteid.

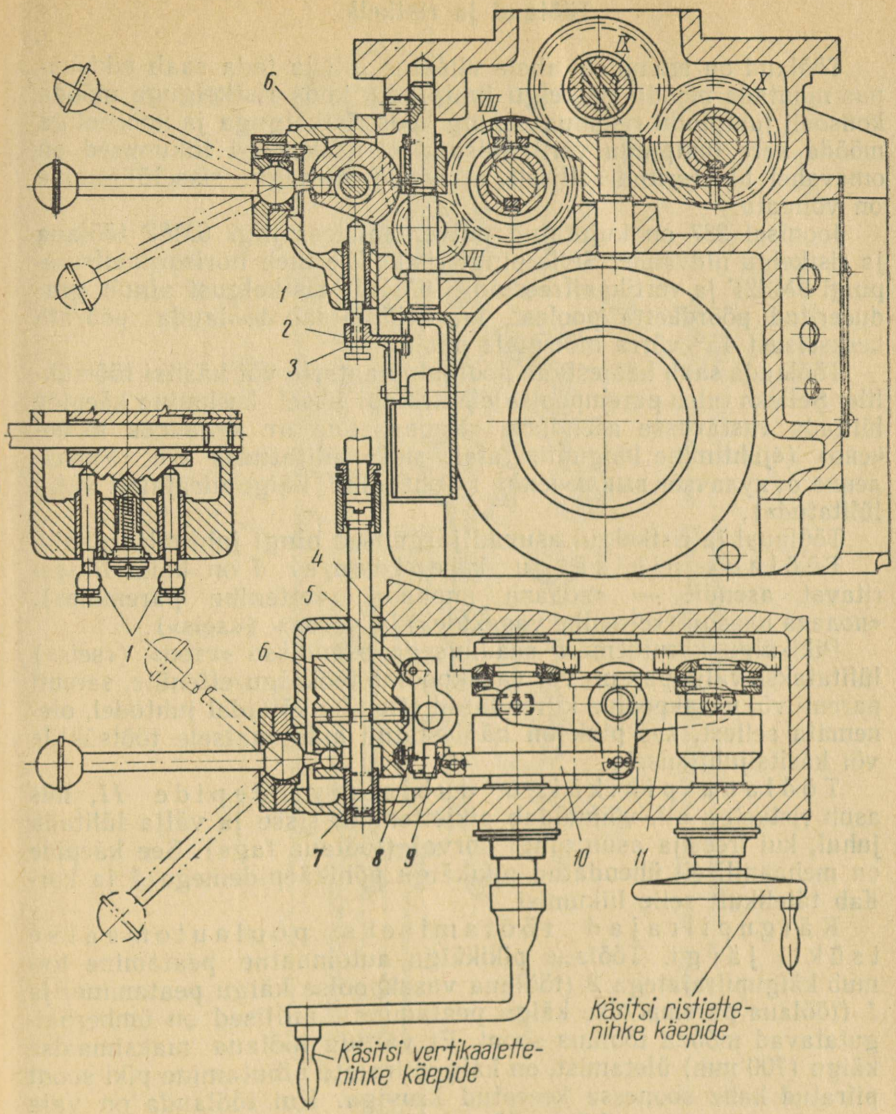
Ristettenihkekruvi nukksidur lülitatakse sisse trumli *6* nihkumisel telje suunas; sel juhul trumli kaldsisselõiked, mõjudes kuulile *7* ja vabastades rulli *5*, pööravad kangi *4* ja varda *10* kaudu hooba *11* vastu kellaosuti liikumise suunda, mille tulemusena parempoolne vahedetail, mis on kinnitatud hoovale tihvtiga ja libiseb ristettenihke nukksiduri rõngassoones, lülitab nukksiduri sisse.

Vertikaalettenihkekruvi nukksidur lülitatakse sisse trumli pöörlemisel, kui ta kaldsisselõiked, mõjudes rullile *5* ja vabastades kuuli *7*, pööravad kangi *4* ja varda *10* kaudu hooba *11* vastassuunas, lülitavad sisse vertikaalettenihke siduri ja lülitavad välja ristettenihke siduri.

Trumli *6* alumised kaldsisselõiked mõjuvad tihvtidele *1*, tihvtid omakorda hoobade *2* kaudu lõpplülitite rullidele, millised annavad käskluse ettenihke ajami elektrimootori reverseerivale lülitile. Trumli kaldsisselõiked töötavad järgmises järjekorras:

1. Käepide on pööratud vasakule (trummel on liikunud paremale), vasakpoolne tihvt on surutud ja ettenihe läheb vasakule.
2. Käepide on pööratud paremale (trummel on liikunud vasakule), parempoolne tihvt on surutud ja ettenihe läheb paremale.
3. Käepide on tõstetud üles — parempoolne tihvt on surutud ja ettenihe läheb üles.
4. Käepide on lastud alla — vasakpoolne tihvt on surutud ja ettenihe läheb alla.

Lõpplülitid on blokeeritud nii, et rist- ja vertikaalettenihke sisselülitamisel ei saa pikiettenihet sisse lülitada ja vastupidi.




Joon. 286. Vertikaal- ja ristettenihke lülitusmehhanism

Siduri lülitussüsteemi lõtku reguleerimiseks on mutter *9* ja kruvi *8*; lõpplüliti tihvti *1* reguleeritakse tema pööramisega ja fikseeritakse kontramutriga *3*.

Töölaud on ettenihete ahela viimane lüli ja teda saab pikisuunas nihutada mööda ristkelgu juhtpindu, koos ristkelguga mööda konsooli juhtpindu ristsuunas ning koos ristkelguga ja konsooliga mööda kere juhtpindu vertikaalsuunas. Kõik need liikumised on omavahel blokeeritud selliselt, et nende üheaegne sisselülitamine on võimatu.

Joonisel 287 on kujutatud universaalfreespingi 6M82 töölaua ja ristkelgu üldvaade. Selle pingi ristkelk erineb horisontaalfreespingi 6M82Г ja vertikaalfreespingi 6M12П ristkelgust ainult gradueeritud pöördketta poolest, mis võimaldab töölauda pöörata keskseisust 45° võrra mõlemale poole.

Töölauda saab häälestada poolautomaatsele või käsitsi töötsüklile. Selleks tuleb parempoolse elektrikapi uksel keskmine käepide lülitada vastavasse asendisse «Управление от кулачков включено» («juhtimine käigupiirajatelt sisse lülitatud») või «Управление от кулачков выключено» («juhtimine käigupiirajatelt välja lülitatud»).

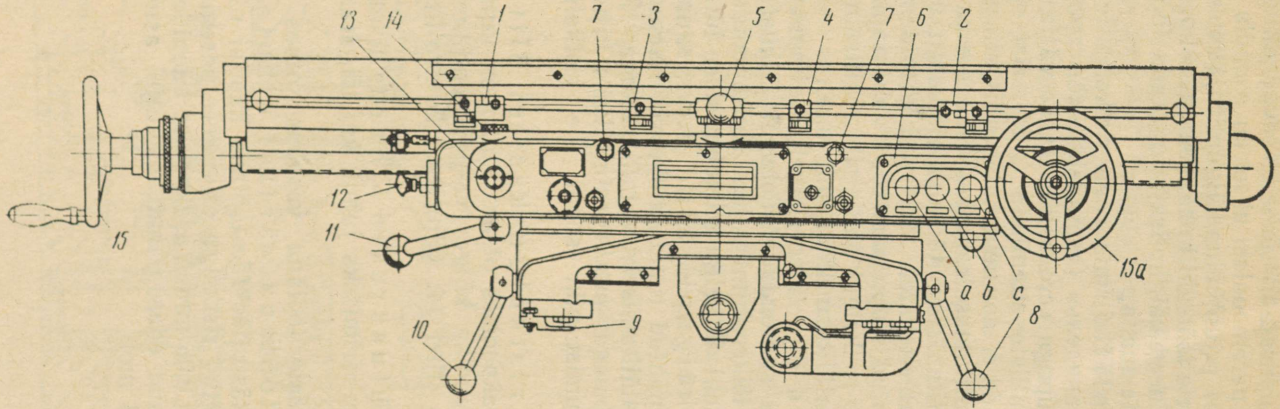
Töölaual ja ristkelgul asuvad järgmised pingi juhtimisorganid. Töölaua pikikäigu käepidemel *5* on kolm fikseeritavat asendit — «подача вправо» («ettenihe paremale»), «подача влево» («ettenihe vasakule») ja «стоп» («seis»).

Pikikäigu käepideme *5* seadmisega asendisse «стоп» («seis») lülitatakse välja parem- või vasakpoolne töökäigu ettenihe, samuti parem- või vasakpoolne kiirendatud ettenihe kõikidel juhtudel, olenemata sellest, kas pink on häälestatud automaatsele töötsüklile või käsitsijuhtimisele.

Töölaua pikikäigu dubleeriv käepide *11*, mis asub ristkelgu all, võimaldab pikiettenihet sisse ja välja lülitada juhul, kui freesija asub pingi kõrval (töölaua taga). See käepide on mehaaniliselt ühendatud pikikäigu põhikäepidemega *5* ja kordab täielikult selle liikumisi.

Käigupiirajad töötamiseks poolautomaatse tsükli järgi. Töölaua pikikäigu automaatne peatamine toimub käigupiirajatega *2* (töölaua vasakpoolse käigu peatamine) ja *1* (töölaua parempoolse käigu peatamine), millised on ümberpaigutatavad mööda töölaua soont. Et vältida töölaua maksimaalse käigu (700 mm) ületamist, on käigupiirajate nihutamine piki soont piiratud kahe soonesse keeratud kruviga. Kui töölauda on vaja peatada mitte ta pikikäigu äärmistes asendites, vaid mujal, seatakse ja kinnitatakse käigupiirajad *1* ja *2* vajalikku kohta. Käigupiirajaid *1* ja *2* ei tohi kunagi maha võtta, kuna nad kaitsevad töölauda ülejooksu eest juhul, kui freesija ei peata käsitsijuhtimisel töölauda õigeaegselt.

Käigupiirajad *3* ja *4* lülitavad töökäigu ettenihke kiirkäigule või kiirkäigu töökäigu ettenihkele töölaua parem- või vasakpoolse




Joon. 287. Universaalfreespingi 6M82 töölaua ja ristkelgu üldvaade:
*a* — nupp «быстро»; *b* — nupp «шпиндель»; *c* — nupp «стоп»

käigu juures. Käigupiirajad *3* ja *4* töötavad ainult sel juhul, kui käepide elektrikapi parempoolsel uksel on asendis «Управление от кулачков включено» («juhtimine käigupiirajatelt sisse lülitatud»), s. t. poolautomaatsele töötsüklile häälestamise korral. Käsitsijuhtimisel soovitatakse need käigupiirajad asetada töölaua mittetöötavale osale või võtta maha.

Nupp-paneelil *6*, mis asub ristkelgu esiküljel paremal pool, on nupud «шпиндель» («spindel»), «быстро» («kiiresti») ja «стоп» («seis»). Nupuga «стоп» lülitatakse välja kõik pingi liikumised. Kui mehaaniliste ettenihete (piki-, rist- ja vertikaalettenihke) lülituskäepide ei asu neutraalasendis, siis nupu «шпиндель» sisselülitamisega lülitatakse samaaegselt sisse ka vastav ettenihe. Nupp «быстро» lülitab sisse töölaua, ristkelgu või konsooli kiirkäigu tingimusel, et ettenihete vastavad käepidemed on vajalikus suunas sisse lülitatud. Nupu «быстро» vabastamisel kiirkäik katkeb. Nupp-paneel *6* ristkelgul dubleerib põhilist nupp-paneeli, mis asub kiiruste ümberlülitusmehhanismi kerel.

Käepidemed *8* ja *10* on ristkelgu kinnitamiseks konsoolil, võimaldades suurendada süsteemi jäikust töötamisel pikiettenihkega raske lõikerežiimi puhul. Kui käepidemed *8* ja *10* on kinni keeratud, ei tohi ristkelgu ettenihet sisse lülitada.

Ristkelgu käigupiirajad *9* (vt. samuti pos. *24*, joon. 26 ja 27) on ette nähtud ristettenihke või ristsuunalise kiirkäigu automaatseks väljalülitamiseks vajalikus kohas. Ristkelgu soonde, analoogiliselt töölauaga, on keeratud kaks kruvi, mis piiravad käigupiirajate liikumist piki soont üle ristkelgu maksimaalse käigu (240 mm).

Käepide *12* ristkelgu käsitsi õlitamiseks asub ristkelgu kere vasakpoolses otsas. Pump on kinnitatud ristkelgu sisemise valukõrgendiku külge; valukõrgendikus on õõs, kuhu valatakse õli läbi filtri *14*. Õlinivood kontrollitakse nivoonäitajaga *13*.

Kiilu pingutuskruvid *7* on ette nähtud töölaua juhtpindade lõtku reguleerimiseks juhul, kui lõigatakse suure ristlõikega laastu.

Käigukruvi otsale töölaua vasakus otsas on monteeritud käsiratas *15* töölaua käsitsi nihutamiseks pikisuunas. Teine käsiratas *15a* töölaua käsitsi nihutamiseks pikisuunas on paigutatud ristkelgu esiküljele paremale poole. Limbi jaotuse väärtus on 0,05 mm. Vasakpoolse käepideme ühe täispöördega nihkub töölaud edasi 6 mm, esiküljel asuva käsiratta ühe täispöördega — 4 mm.

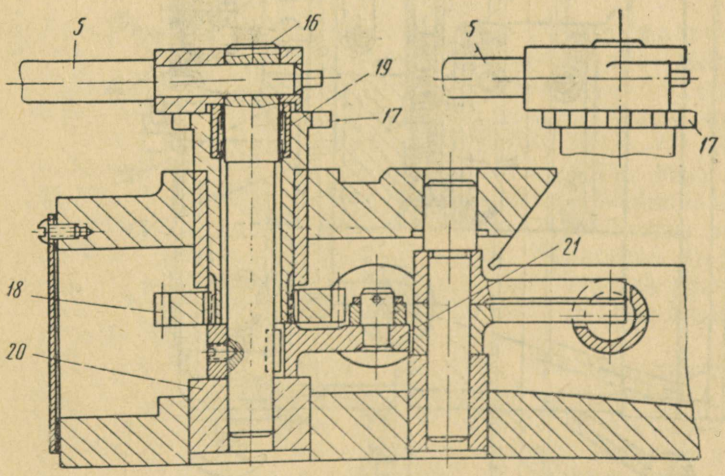
## Töökäigu pikiettenihke lülitusmehhanism

Pikikäigu käepidemel *5* (joon. 288) on töölauapoolsel küljel kaks erineva kõrgusega nukki; nukkidele mõjuvad käigupiirajad *1* ja *2* (vt. joon. 287), mis pööravad pikikäigu käepidet ja seavad ta asendisse «стоп» («seis»). Sellega tagatakse töölaua parempoolse või vasakpoolse käigu automaatne väljalülitamine nii käsitsi kui ka poolautomaatse töötsükli korral.

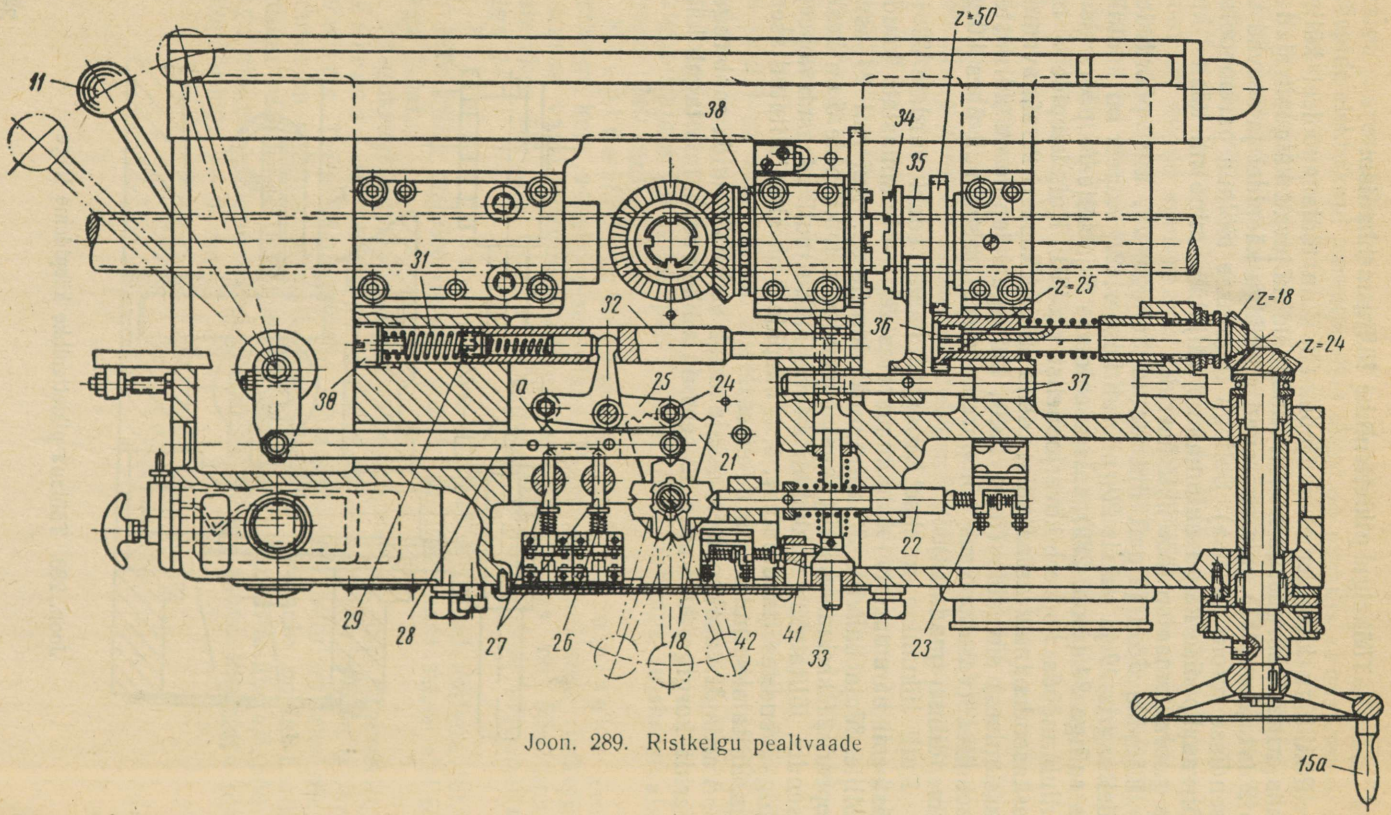
Käepide *5* on jäigalt ühendatud teljega *16*, mis pöördudes nõellaagris *19* ja puksis *20*, pöörab kopeeri *21*. Kopeer on kontaktis rulliga *24* (joon. 289), mis käepideme *5* ja telje *16* pööramisel rullub mööda kopeeri kõverjoonelist profiili. Kui käepide *5* on keskasendis (neutraalasendis), asub rull *24* kopeeri *21* sügavamas (keskmises) süvendis (joon. 289), kui aga käepide on äärmistes asendites (vasakpoolses või parempoolses), asub rull ühes külgsüvenditest (madalas).

Rulli liikumine antakse hoova *25* kaudu edasi vardale *32* ja süsteemi hammaslatt — hammasratas *38* — hammaslatt kaudu võllile *37* ja kahvlile *35* ning nukksidurile *34*. Kui rull *24* asub kopeeri *21* keskmises (sügavas) süvendis, s. t. käepide *5* on keskasendis, lülitatakse nukksidur *34* välja. Kui rull *24* asub kopeeri külgsüvendites (madalates), s. t. käepide *5* on sisselülitatud asendis, lülitatakse nukksidur *34* sisse.

Varda *32* vasakpoolsele otsale surub vedru *31*, mida saab reguleerida korgiga *30*. Varda *32* sees on väike vedru, mis tagab käe-




Joon. 288. Töölaua pikiettenihke käepideme lõige




Joon. 289. Ristkelgu pealtvaade

pideme *5* sisselülitamise võimaluse juhul, kui nukksiduris *34* hammas satub hambale. Väikest vedru reguleeritakse korgiga *29* võtme abil, mis pistetakse läbi korgis *30* oleva ava.

Dubleeriv käepide *11* on hoobade süsteemi ja varda *28* kaudu ühendatud kopeeriga *21* ja kopeeri kaudu põhikäepidemega *5*. Vardal *28* on nukk *a*, mis on kontaktis hoova *25* vasakpoolse õlaga. Kui rull *24* paigutub kopeeri *21* parempoolsesse madalasse süvendisse (käepideme *5* sisselülitamisel parempoolseks pikikäiguks), surub hoob *25* varda *28* nukile *a*, laseb vabaks vasakpoolse lõpplüliti *26* sõrme *27* ja lülitab sisse ettenihke ajami elektrimootori pärisuunas.

Kui käepide *5* on seatud keskasendisse (käsitsi või käigupiirajatelt *1* ja *2*), asub rull kopeeri sügavamas süvendis ja lõpplüliti sõrm lülitab vedru mõjul elektrimootori välja. Elektrimootor lülitub välja pärast nukksiduri *34* väljalülitamist.

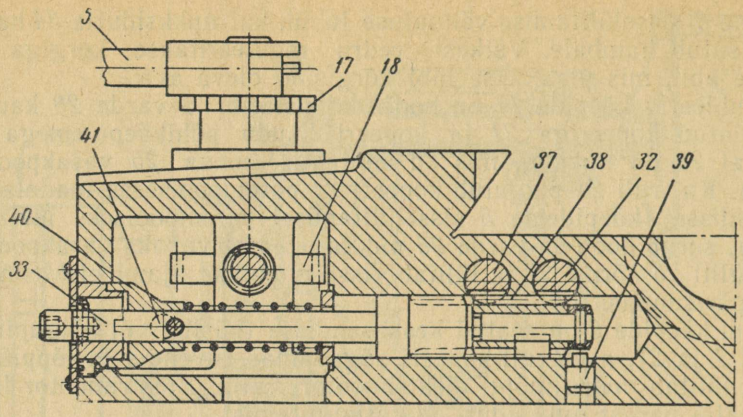
Käepideme *5* sisselülitamisel vasakule paigutub rull *24* kopeeri vasakpoolsesse madalasse süvendisse, varras *28* laseb vabaks parempoolse lõpplüliti *26* sõrme *27* ja reverseerib ettenihke ajami elektrimootori pöörlemise.

Ristkelgu esikülje paremale poolele on kinnitatud töölaua pikiettenihke käsiratas *15a*. Käsiratas on koonusratasülekande *24* : *18* ja silinderratasülekande *25* : *50* kaudu ühendatud käigukruvi mutriga. Nukksiduri sisselülitamisel (töölaua mehaanilise ettenihke puhul) on käsiratas *15a* välja lülitatud.

### Pikiettenihke automaatse töötsükli mehhanism

Pikikäigu käepideme *5* teljele *16* (vt. joon. 288) on monteeritud tähekujulised kettad kiirkäigu sisselülitamiseks, mis töötavad ainult automaatse töötsükli puhul. Ülemine tähekujuline ketas *17* töötab käigupiirajatelt *3* või *4*, mis kinnitatakse töölaua soones (vt. joon. 287) vajalikule kohale. Tähekujuline ketas *17* pöörab oma puksi kaudu tähekujulist ketast *18*. Kettal *18* (vt. joon. 289) on neli sügavat ja 4 madalat süvendit, mis ketta pöördumisel 45° võrra annavad vardale *22* erineva pikkusega käigu. Varras mõjub lõpplülitile *23*, mille kontaktide sulgemisel lülitatakse magnetkäiviti kaudu sisse kiirkäigu elektromagnet, mis hoobade süsteemi kaudu lülitab välja töökäigu ettenihke nukksiduri ja sisse kiirkäigu siduri (vt. joon. 281).

Lõpplülitil *23* (joon. 289) on kaks paari kontakte, mis tagavad automaatse ümberlülitamise töökäigu ettenihkelt kiirkäigule ja vastupidi. Töölaua töötamisel kiirkäigul läheb varda *22* ots tähekujulise ketta *18* ühte sügavasse süvendisse, fikseerib mõlemad kettad (*17* ja *18*) ja tagab lõpplüliti *23* ühe kontaktide paari sulgemise.




Joon. 290. Siduri lukustusmehhanism

Käigupiirajate *3* või *4* (joon. 287) mõjul pööratakse tähekujulist ketast *17* (joon. 288), mis omakorda kannab pöörlemise edasi kettale *18*, mille tulemusena varras *22* (joon. 289) väljub sügavast süvendist ketta *18* pidevale kõverjoonelise profiiliga osale. Sel hetkel suletakse lõpplüliti *23* teine kontaktide paar. Pärast seda kargab varda *22* ots ühte madalatest süvenditest, fikseerides mõlemad kettad (*17* ja *18*) uude asendisse. Selles asendis on mõlemad kontaktid avatud ja töölaud liigub töökäigu ettenihkega.

Pikikäigu käepide *5* (joon. 287) lülitab asendis «стоп» (keskasend) välja töökäigu ettenihke või kiirkäigu kõikidel juhtudel, olenemata sellest, kas pink on häälestatud automaatsele töötsüklile või käsitsijuhtimisele, välja arvatud pikikäigu käepideme *5* (joon. 287) teljel *16* istuva tähekujulise ketta *17* (joon. 288) pöördumishetk automaatse töötsükli käigupiiraja *3* või *4* survel. Sel juhul saab töölauda peatada ainult vajutamisega nupule «стоп» nupp-paneelil. Kui pärast sellist peatamist lülitada töölaud sisse nupuga «шпиндель», tuleb enne sisselülitamist kontrollida, kas tähekujuline ketas on fikseeritud.

Töölaua automaatseks reverseerimiseks (üleminek parempoolselt töökäigu ettenihkelt vasakpoolsele kiirkäigule või vastupidi) tuleb nukksidur lukustada spetsiaalse mehhanismi abil (joon. 290). Siduri lukustamiseks tuleb spetsiaalse otsvõtmega suruda võll-hammasrattale *33*, lükata ta sisse ja pöörata kuni fikseerimiseni kriipsuga «автоматическое управление столом» («töölaua automaatne juhtimine») ristkelgu esiküljel. Vajutades võllhammasrattale *33*, lahutatakse hammaslatt *37* hammasrattast *38* ja ühendatakse võll-hammasrattaga *33*. Võll-hammasratta pööramisel nihutatakse nukksidur *34* (vt. joon. 289) vasakule ja lülitatakse

sisse pikiettenihe. Sellest hetkest alates ei saa sidurit *34* välja lülitada pikikäigu põhikäepidemelt *5*, s. t. käepide on lukustatud.

Siduri lukustusmehhanism on blokeeritud pikikäigu käepidemega *5*; sidurit saab lukustada ainult siis, kui käepide on keskasendis. See tagatakse hammasrattas *38* (joon. 290) oleva T-kujulise soone ja ristkelgu keresse paigutatud tihvti *39* abil.

Võll-hammasrattale *33* surumisel lahutab koonus *40* sõrme *41* abil (vt. joon. 289) lõpplüliti *42* kontakti, mis blokeeris rist- ja vertikaalettenihke lülitusahelat. See on vajalik sellepärast, et lukustatud siduri korral ei saaks üheaegselt sisse lülitada kahte liikumist: töölaua ja ristkelgu või töölaua ja konsooli liikumist, mis võib põhjustada pingi purunemist.

## Pingi häälestamine automaatsele töötsüklile

Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П töölaua häälestamisel poolautomaatsele või automaatsele töötsüklile tuleb:

1. Lülitada pink välja, seada keskmine lüliti parempoolse elektrikapi uksel asendisse «автоматический цикл» («automaatne tsükkel»).

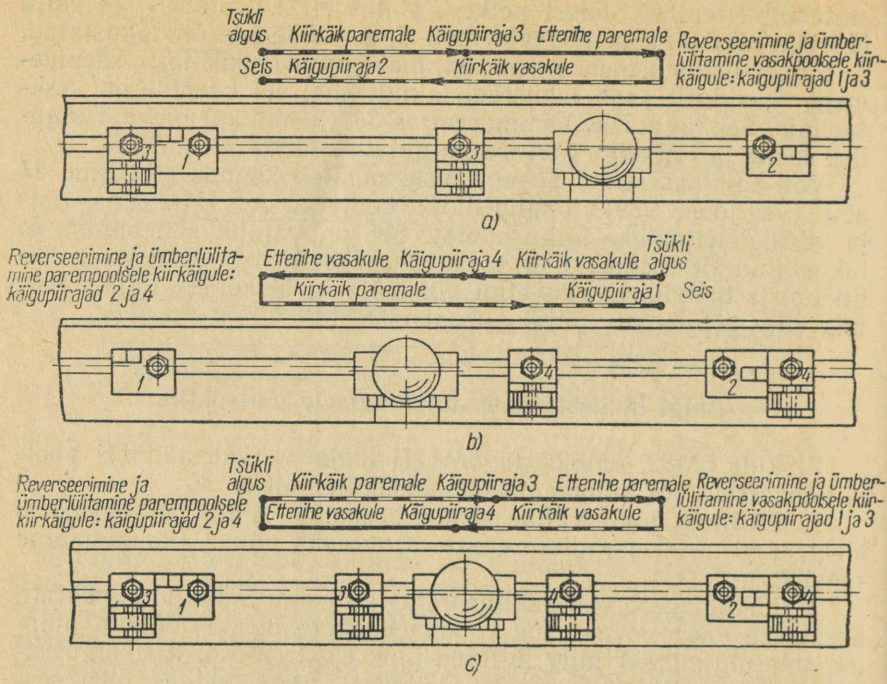
2. Lükata sisse võll-hammasratas ristkelgu esiküljel ja pöörata asendisse «автоматическое управление столом» («töölaua automaatne juhtimine») ning lülitada pink elektrivõrku. Ristkelgu esiküljel oleva võll-hammasratta seadmisel, nagu selgus juba eespoolt, peab pikikäigu käepide *5* olema keskasendis. Võll-hammasratta seadmisel võib juhtuda, et töölaua pikikäigu nukksiduris satub hammas hambale, mille tulemusena võll-hammasratast ei fikseerita antud asendisse. Sel juhul tuleb töölaua käigukruvi käsiratast 15 või 15*a* veidi pöörata.

3. Seame kohale käigupiirajad vastavalt täidetavale operatsioonile.

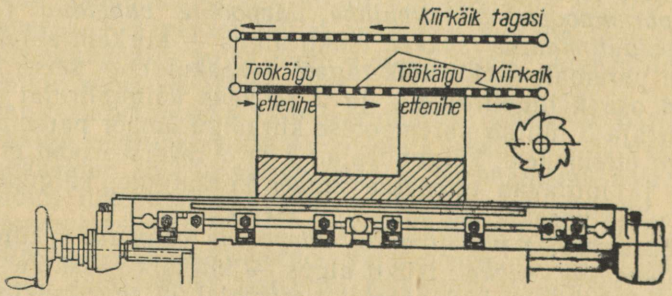
Joonisel 291 on toodud käigupiirajate ülesseade häälestamisel järgmistele töötsüklitele:

a) *parempoolse pikiettenihke ühepoolne vahelduv (hüppeline) poolautomaatne tsükkel:* tsükli algus — kiirkäik paremale — ettenihe paremale — kiirkäik tagasi (vasakule) — seis; tsüklist võtavad osa käigupiirajad *1* ja *2* ja kaks käigupiirajat *3*. Üks käigupiiraja *3* lülitab parempoolse kiirkäigu ümber parempoolsele töökäigu ettenihkele; käigupiirajad *1* ja *3* reverseerivad ettenihke suunda ja lülitavad ettenihke ümber kiirkäigule; käigupiiraja *2* lülitab välja vasakpoolse kiirkäigu (seis);

b) *vasakpoolse pikiettenihke ühepoolne vahelduv (hüppeline) poolautomaatne tsükkel:* tsükli algus — kiirkäik vasakule — ettenihe vasakule — kiirkäik tagasi (paremale) — seis; tsüklist võtavad osa käigupiirajad *1* ja *2* ja kaks käigupiirajat *4*. Üks käigupiiraja *4* lülitab vasakpoolse kiirkäigu ümber vasakpoolsele töö-




Joon. 291. Pinkide 6M82, 6M82Г, 6M12П häälestamine:
*a* — parempoolse pikiettenihke ühepoolne poolautomaatne vahelduv (hüppeline) tsükkel; *b* — vasakpoolse pikiettenihke ühepoolne poolautomaatne vahelduv tsükkel; *c* — pikiettenihke pidev automaatne pendeldav tsükkel




Joon. 292. Töölaua pikiettenihke vahelduva (hüppelise) tsükliga freesimise skeem

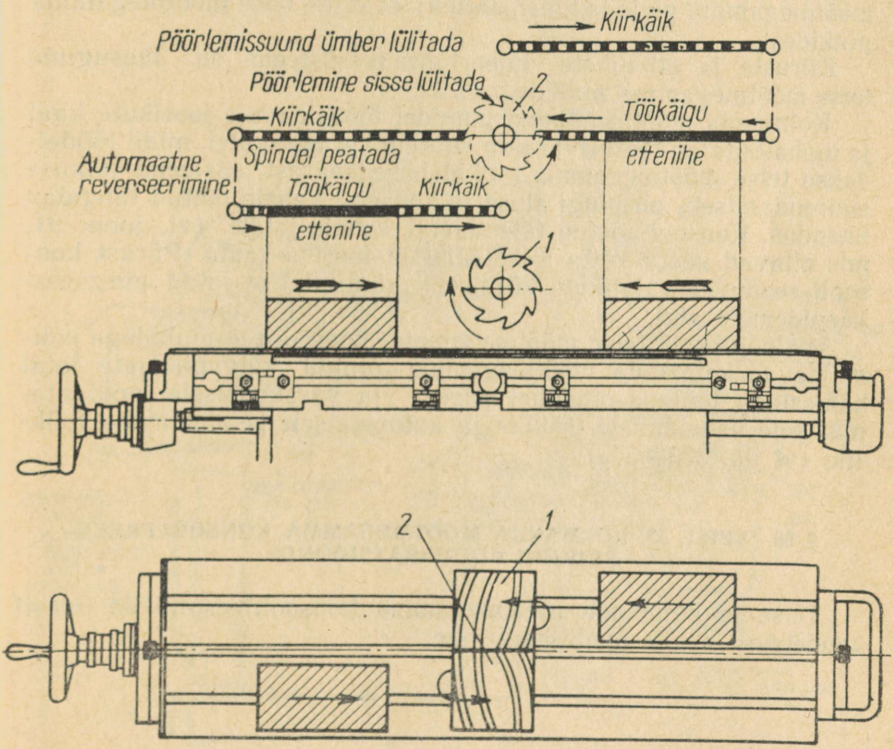
ettenihkele; käigupiirajad *2* ja *4* reverseerivad ettenihke suunda ja lülitavad ettenihke ümber kiirkäigule; käigupiiraja *1* lülitab välja parempoolse kiirkäigu (seis);

c) *pikiettenihke pidev pendeldav automaatne tsükkel:* tsükli algus — kiirkäik paremale — ettenihe paremale — kiirkäik vasakule — ettenihe vasakule — kiirkäik paremale — ettenihe paremale jne.

Siin võtavad tsüklist osa käigupiirajad *1* ja *2*, kaks käigupiirajat *3* ja kaks käigupiirajat *4*.

Täiendavate käigupiirajate *3* või *4* abil võib parem- või vasakpoolset pikiettenihke vahelduvat tsüklit dubleerida, näiteks: tsükli algus — kiirkäik paremale — ettenihe paremale — kiirkäik paremale — ettenihe paremale — kiirkäik tagasi (vasakule) — seis või sama vasakule. Selline freesimisskeem on toodud joonisel 292.

Kasutades pikiettenihke pendeldava tsükli puhul täiendavaid




Joon. 293. Töölaua pikiettenihke pendeldava tsükliga ja tagasikäigu kasutamisega freesimise skeem

käigupiirajaid *3* või *4*, võib töölaua tagasikäiku kasutada freesimiseks. Selline freesimisskeem on toodud joonisel 293: tsükli algus — kiirkäik paremale — ettenihe paremale — reverseerimine — kiirkäik vasakule — ettenihe vasakule — reverseerimine — kiirkäik paremale jne. Parempoolse tsükli korral töötab frees nr. 1, vasakpoolse tsükli korral — frees nr. 2; seejuures spindli pöörlemist reverseeritakse vastavate teekonnalülitite abil.

### § 65. FREESPINGID 6M83, 6M83Г, 6M13П

Kolmanda mõõtmegamma konsoolfreespinkide 6M83, 6M83Г ja 6M13П, mida toodab Gorki freespinkide tehas, töölaua mõõtmed on 400 × 1600 mm ja nad on teise mõõtmegamma pinkidega (6M82; 6M82Г ja 6M12П) võrreldes suurendatud võimsusega.

Nende pinkide pealiikumise ajami elektrimootori võimsus on 10 kW ja ettenihke ajami elektrimootori võimsus 2,8 kW.

Spindli pöörete arvud ja töölaua ettenihete suurused (selle mõõtmegamma pinkide kinemaatika) ei erine teise mõõtmegamma pinkidest.

Kiiruste ja ettenihete ümberlülitamissüsteem on ühesugune teise mõõtmegamma pinkidega.

Kolmanda mõõtmegamma pinkidel töödeldavate toorikute kaal ja mahalõigatav töötlusvaru on suurem kui toorikutel, mida töödeldakse teise mõõtmegamma pinkidel, sellepärast süsteemi jäikuse suurendamiseks on pingi aluse ja konsooli vahele tehtud täiendav ühendus. Konsool toetub täiendavalt kahele jalale (vt. joon. 9), mis aitavad vastu võtta lõikejõudu ja tooriku kaalu. Pärast konsooli seadmist vajalikule kõrgusele kinnitatakse jalad pingutuskäepidemete abil.

Analoogiliselt teise mõõtmegamma konsoolfreespinkidega võimaldavad kolmanda mõõtmegamma pingid käigupiirajate abil häälestada töölaua ettenihet parem- ja vasakpoolsele poolautomaatsele vahelduvale tsüklile ja automaatsele pendeldavale tsüklile (vt. lk. 353—356).

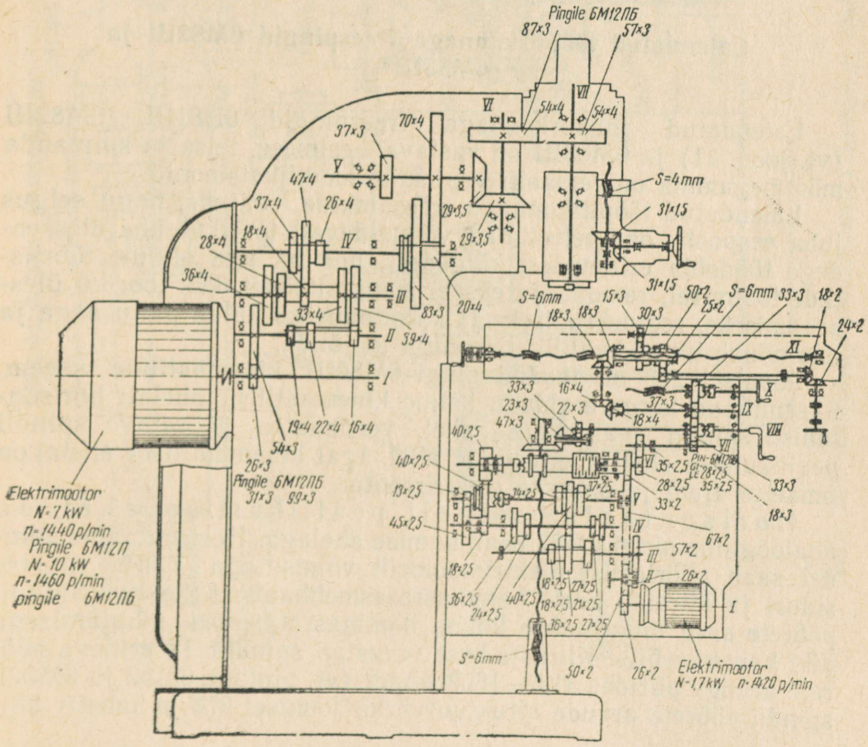
### § 66. TEISE JA KOLMANDA MÕÕTMEGAMMA KONSOOLFREESPINKIDE MODIFIKATSIOONID

Teise ja kolmanda mõõtmegamma konsoolfreespinkide baasil toodetakse nende modifikatsioone.

## Konsoolfreespinkide kiirekäigulised mudelid

Kergetest sulamitest toorikute töötlemiseks, millede puhul kasutatakse suuremat lõikekiirust kui malmist ja terasest toorikute töötlemisel, toodetakse konsoolfreespinkide 6M82Г, 6M12П ja 6M13П baasil suurendatud pöörete arvuga ja ettenihetega modifikatsioone: nende markeeringus on täht Б (kiirekäiguline) ja nad markeeritakse: 6M82ГБ; 6M12ПБ ja 6M13ПБ. Kiirekäiguliste mudelite spindli pöörete arvud on 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600; 2000; 2500 ja 3150 p/min ja ettenihked 40; 50; 63; 80; 100; 125; 160; 200; 250; 315; 400; 500; 630; 800; 1000; 1250; 1600 ja 2000 mm/min, kiirkäigu kiirus on 4600 mm/min piki- ja ristsuunas. Vertikaalsuunas on ettenihked ja kiirkäik kolm korda väiksemad.

Joonisel 294 on toodud vertikaalfreespinkide 6M12П ja 6M12ПБ kinemaatiline skeem, millest on näha, et kiirekäiguli-




Joon. 294. Vertikaalfreespinkide 6M12П ja 6M12ПБ kinemaatiline skeem

ses modifikatsioonis, s. t. pingis 6M12ПБ on pealiikumise elektrimootori võimsus 7 kW asemel 10 kW; ülekandes võllilt *I* võllile *II* on asendatud kaks hammasratast (*26* : *54* on asendatud hammasratastega *31* : *49*); samuti on asendatud kaks hammasratast ülekandes spindlile (*54* : *54* on asendatud hammasratastega *87* : *57*); on asendatud kaks hammasratast ülekandes sidurivõllilt konsoolile (*28* : *35* on asendatud hammasratastega *35* : *28*).

Kiirekäigulisel vertikaalfreespingil 6M13ПБ on samasugune kinemaatiline skeem, ainult pealiikumise elektrimootori võimsus on 14 kW.

Kiirekäigulistes horisontaalfreespinkides 6M82ГБ on pealiikumise elektrimootori võimsus 7 kW asemel 10 kW; ülekandes võllilt *I* võllile *II* on asendatud kaks hammasratast (*26* : *54* on asendatud hammasratastega *31* : *49*); ülekandes sidurivõllilt konsoolile on asendatud kaks hammasratast (*28* : *35* on asendatud hammasratastega *35* : *28*).

## Laiendatud tööpiirkonnaga freespingid 6M82Ш ja 6M83Ш*

Laiendatud tööpiirkonnaga freespingid 6H81Ш, 6M82Ш (vt. joon. 11) ja 6M83Ш on vastavalt esimese, teise ja kolmanda mõõtmegamma universaalfreespinkide modifikatsioonid.

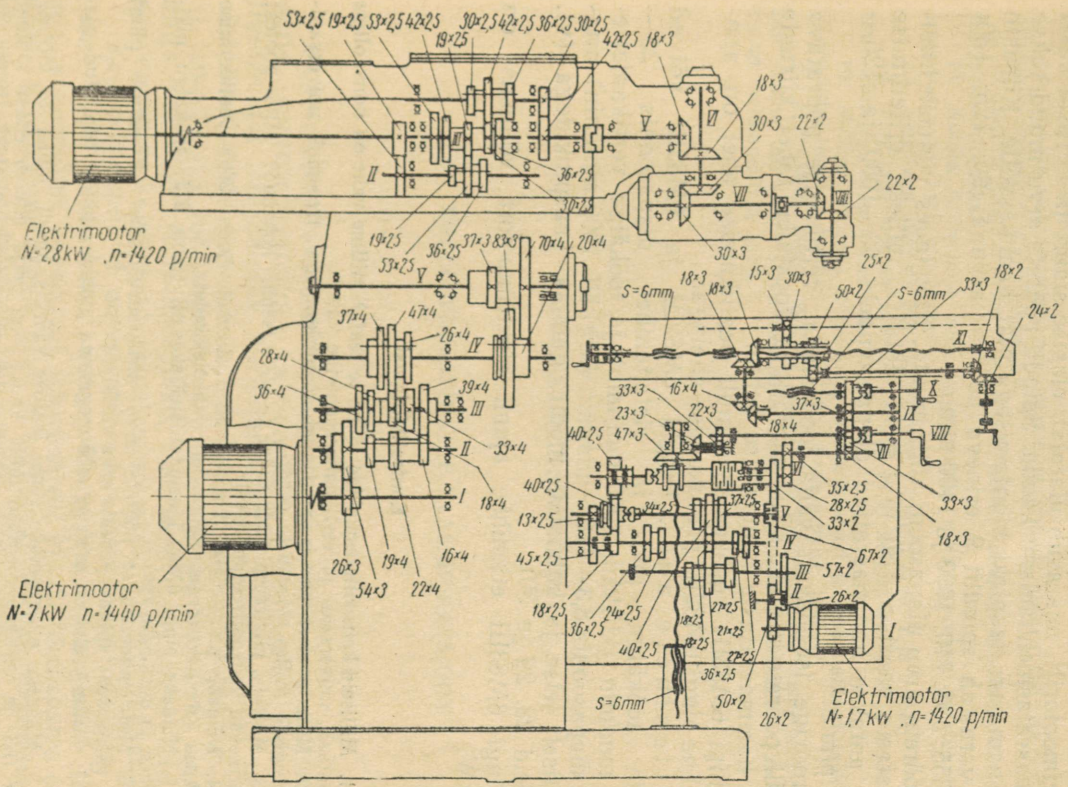
Laiendatud tööpiirkonnaga freespinkide eeliseks, nagu selgus juba eespoolt, on see, et nad võimaldavad toorikut ühe ülesseadega töödelda erinevatest külgedest, mis on aga oluline tööriistade tootmisel, remont- ja eksperimentaaltöödel, kus tooriku ülesseadmiseks, reguleerimiseks ja kinnitamiseks kulub palju aega ja mis nõuab kõrge kvalifikatsiooniga tööjõudu.

Joonisel 295 on toodud pingi 6M82Ш kinemaatiline skeem. Skeemilt on kerge eraldada kolme kinemaatilist ahelat: horisontaalse spindli pealiikumise ahel, vertikaalse pööratava spindli pealiikumise ahel ja ettenihete ahel. Igal kinemaatilisel ahelal on omaette ajam ja omaette elektrimootor.

Horisontaalse spindli pealiikumise ahel on analoogiline pingi 6M82 pealiikumise ahelaga. Horisontaalne spindel saab pöörlemise elektrimootorilt võimsusega 7 kW elastse siduri ja kiiruste kasti hammasratasmehhanismi kaudu. Spindli pöörete arvu muudetakse kolme hammasratasploki nihutamisega piki hammasvõlle. Kiiruste kast varustab spindlit 18 erineva pöörete arvuga piirides 31,5—1600 p/min (vt. pinkide 6M82 ja 6M82Г spindli pöörete arvude struktuurvõrku joonisel 273 ja tabelis 28).

---

* Laiendatud tööpiirkonnaga freespinkide konstruktsiooni õpetamisel soovitatakse kasutada Kiievi populaarteaduslike filmide stuudio poolt toodetud õppefilmi «Laiendatud tööpiirkonnaga freespingid», 1961. a. väljalase.




Joon. 295. Laiendatud tööpiirkonnaga freespingi 6M82III kinemaatiline skeem

Pinkide 6M83Ш elektrimootori võimsus on 7 kW asemel 10 kW.

Vertikaalse pööratava spindli pealiikumise ahel on omaette ja asub ülatalas. Spindel saab pöörlemise 2,8 kW elektrimootorilt, mis asub ülatalal, elastse siduri ja kiiruste kasti hammasratasmehhanismi kaudu. Spindli pöörete arvu muudetakse kahe hammasratasploki nihutamisega piki hammasvõlle. Kiiruste kast varustab spindlit 9 erineva pöörete arvuga: 90; 125; 180; 250; 355; 500; 710; 1000 ja 1400 p/min.

Pöörete arvu diapasooni võib muuta, asendades viimase hammasrataste paari $z = 30$ ja $z = 42$ ülatalas, milleks eritellimise järgi antakse hammasrattad diapasoonidele 63—1000 ja 125—2000 p/min.

Proovige iseseisvalt välja joonestada vertikaalse pööratava spindli pöörete arvude struktuurvõrk ja koostada tabel kiiruste kasti hammasrataste hambumise kohta.

Pingi 6M83Ш vertikaalse spindli pealiikumise ahel on analoogiline pingi 6M82Ш pealiikumise ahelaga.

Ettenihete ahel. Pingid 6M82Ш ja 6M83Ш võivad omada töökäigu piki- ja ristettenihet diapasoonis 25—1250 mm/min (kiirkäik 3000 mm/min) ja töökäigu vertikaalettenihet diapasoonis 8,3—416,6 mm/min (kiirkäik 1000 mm/min) analoogiliselt teise ja kolmanda mõõtmegamma baaspinkidega (vt. tabeleid 28, 29 ja 30).

Pingi 6M83Ш ettenihke ajami elektrimootori võimsus on 2,8 kW.

### Kontrollküsimusi

1. Milliseid konsoolfreespinkide tüüpe te teate? Milline vahe on konsooliga horisontaal-, universaal- ja vertikaalfreespinkide vahel?
2. Mille poolest erineb laiendatud tööpiirkonnaga freespink universaalfreespingist? Milles seisneb ta eelis?
3. Milliseid pikifreespinkide tüüpe te olete tsehhis kohanud? Mille poolest nad erinevad konsoolfreespinkidest?
4. Näidake pingi 6H81 kinemaatilisel skeemil (joon. 266) pealiikumise ahel koos vaheülekandega. Sama ilma vaheülekandeta.
5. Näidake pingi 6M82 kinemaatilisel skeemil (joon. 272) töökäigu pikiettenihke ja kiirkäigu ahel.
6. Mida nimetatakse pöörete arvu struktuurvõrguks? Koostage pingi 6H81 (joon. 266) spindli pöörete arvu struktuurvõrk.
7. Milline eelis on esimese mõõtmegamma pinkide spindli lahutatud ajamil?
8. Määrake pikiettenihke limbi jaotuse väärtus pingil, millel te töötate. Sama rist- ja vertikaalettenihke limbi kohta. Kui palju nihkub edasi töölaud ning vastavalt ristkelk ja konsool piki-, rist- või vertikaalettenihke limbi ühe täispöörde puhul?
9. Mispärast ei tohi kiiruste kasti ja ettenihete kasti hammasrattaid ümber lülitada, kui elektrimootor on sisse lülitatud? Milleks kasutatakse pingi juhtimise nupp-paneelil nuppu «толчок» («tõuge»).
10. Kuidas muuta pingi 6M82Г spindli pöörlemissuunda (reverseerida)?

11. Milleks kasutatakse pinkide juures vabajooksusidurit? Selgitage vabajooksusiduri tööd pingi 6H81 võlli pöörlemisel pärisuunas ja vastupidi.
12. Jutustage joonise 269 järgi, kuidas toimub esimese mõõtmegamma pinkide ettenihke reverseerimine.
13. Jutustage joonise 272 järgi, kuidas toimub teise mõõtmegamma pinkide ettenihke reverseerimine.
14. Kuidas vältida teise mõõtmegamma pinkide juures rist- ja vertikaalettenihke üheaegset sisselülitumist?
15. Millist pingi kiiruste ja ettenihete lülitus-süsteemi nimetatakse mnemoonilseks süsteemiks?
16. Kuidas häälestada teise ja kolmanda mõõtmegamma pinkide töölaua ettenihet automaatsele tsüklile?
17. Selgitage jooniste 288 ja 289 järgi käigupiirajate *1* ja *2* tööd.
18. Selgitage jooniste 288, 289 ja 290 järgi käigupiirajate *3* ja *4* tööd töölaua kiirkäigu sisselülitamisel.
19. Millised töölaua ettenihke poolautomaatsed ja automaatsed tsüklid on võimalikud teise ja kolmanda mõõtmegamma pinkide juures?
20. Häälestage pingi töölaua pikiettenihe parempoolsele vahelduvale tsüklile joonise 291 järgi. Sama vasakule. Selgitage joonistel 288, 289 ja 290 kujutatud mehhanismide tööd.

XXIII PEATÜKK

# KOPEERFREESPINGID

## § 67. KOPEERFREESPINKIDE KLASSIFIKATSIOON

### Üldmõisted

Kopeerfreespinke* kasutatakse kõverjoonelise kontuuriga pindade (*kontuurfreesimine*) ja ruumiliste kujupindade (*ruumiline freesimine*) freesimiseks. Neid pinke kasutatakse lahtiste ja kinniste kontuuride (kepsud, lamedad nukid, lõikestantside matriitsid ja templid jt.) töötlemiseks ja mitmesuguste ruumilise kujupinnaga detailide (turbiinilabidad, laevakruvid, pumba tiivikud, pressvormide kujupinnad, sepistamisstantsid jt.) valmistamisel.

Kopeerfreespingid on varustatud *juhtseadisega* (kopeer, šabloon, mudel, näidisdetail), mis on ühenduses *kopeerseadise* (kombits, kopeersõrm, kopeerrull, fotoelement) kaudu *täidesaatva organiga*. Täidesaatev organ koos lõikeriistaga kordab kopeerseadise liikumist ja reprodutseerib juhtseadise kuju toorikule.

---

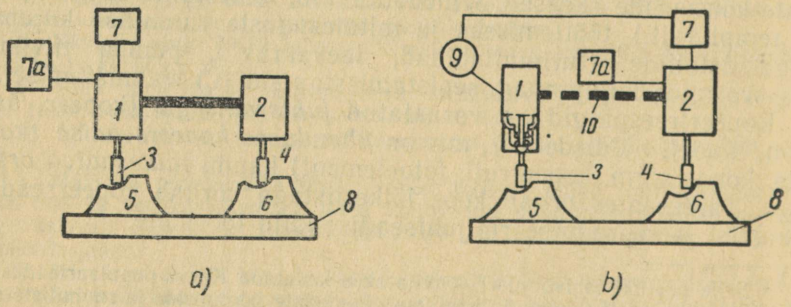
* Selle peatüki läbivõtmisel soovitatakse kasutada Kiievi populaarteaduslike filmide stuudio poolt toodetud õppefilme «Lamedate kontuuride ja ruumiliste pindade kopeerfreesimise meetodid» ja «Kopeerfreespingid jälgiva kopeerseadisega», 1962. a. väljalase.

Kopeerfreespinke toodetakse kahe põhimõtteliselt erineva skeemi järgi: *ilma jälgivsüsteemita* ja *jälgivsüsteemiga*. Esimese skeemi järgi töötavatel pinkidel toimub kombitsa (kopeersõrme) ja lõikeriista asendite vastastikune koordineerimine juhtseadise ja täidesaatva organi vahelise jäiga ühenduse abil. Teine skeem erineb esimesest automaatsüsteemi poolest, mis kontrollib kombitsa ja lõikeriista vastastikust asendit ja jälgib nende asendite koordineerimist. Jälgivsüsteemiga kopeerfreespingid on varustatud võimendiga, mis puudub ilma jälgivsüsteemita pinkidel.

## Põhimõttelised skeemid

Joonisel 296, *a* on kujutatud ilma jälgivsüsteemita kopeerfreespingi põhimõtteline skeem. Kopeerpead *1* nihutatakse kahes vastastikku ristuvas suunas ajamite *7* ja *7a* abil nii, et kombits *3*, mis on kopeerpeasse kinnitatud jäigalt, oleks kopeeriga *5* pidevalt kontaktis. Ajamid *7* ja *7a* on kas käsi- või mehaanilised ajamid. Ajam *7* rakendub töösse ka kopeeri *5* poolt tekitatavast survest. Kopeerpea *1* nihkumine kantakse üle spindelpeale *2* jäiga ühenduse abil, mis on joonisel 296, *a* tähistatud pideva jämeda joonega, või vahetult. Lõikeriist *4* töötleb toorikut *6*, mis koos kopeeriga *5* on üles seatud pingi töölauale *8*.

Joonisel 296,*b* on kujutatud jälgivsüsteemiga kopeerfreespingi põhimõtteline skeem. Kopeerspindel on šarniirselt kinnitatud kopeerpea keresse *1*. Spindli alumisse otsa on kinnitatud kombits *3*, spindli ülemine ots aga nihutab kopeerpea tundliku elemendi (elektrikontaktid, induktsioonpooli ankur, hüdrauliline jaotussiiber) liikuvat osa. Kopeerpea tundlik element on konstrueeritud nii, et juhul kui kombits (ühelt poolt kopeeri *5* survel, teiselt poolt kopeerpea vedru toimel) seatakse keskseisule lähedasse asendisse, on ta asend koordineeritud lõikeriista *4* asendiga ja




Joon. 296. Kopeerfreespinkide põhimõttelised skeemid:
*a* — ilma jälgivsüsteemita; *b* — jälgivsüsteemiga

ajam *7* peatub. Kombitsa sellest asendist kõrvalekaldumist iseloomustab nn. *koordineerimatuse* tekkimine kopeerile *5* toetuva kombitsa *3* otsa ja lõikeriista *4* asendite vahel. Ajam *7* saab käskluse koordineerimatuse kõrvaldamiseks.

Kuna lõikeriist peab asendit muutma kombitsa väikeste paigutiste ja nõrkade jõudude juures, millele ajam *7* ei reageeri, kasutatakse vahevõimendit *9*. Juhtimine toimub selliselt, et kombits *3* mõjub võimendi *9* kaudu ajamile *7*, mis kutsub esile spindelpea *2* nihkumise ja kontrollib freesi asendit kombitsa suhtes tagasisidestussüsteemi abil.

Seega, kui kombits *3* nihkub kontuuri tõusva osa töötlemisel keskseisust ülespoole kopeeri *5* survel, tõuseb kopeerpea *1* koos freesiga *4* ülespoole; kui kombits kopeerpea vedru toimel langeb oma keskseisust allapoole (kontuuri langeva osa töötlemisel), langevad kopeerpea *1* ja frees *4* samuti allapoole.

Sellise juhtimissüsteemi juures, kus spindelpea saab jälgiva (vertikaalse) liikumise ajamilt *7* ja horisontaalsuunalise liikumise ajamilt *7a*, töödeldakse kontuuri pind antud kopeeri järgi automaatselt.

## § 68. ILMA JÄLGIVSÜSTEEMITA KOPEERFREESPINGID

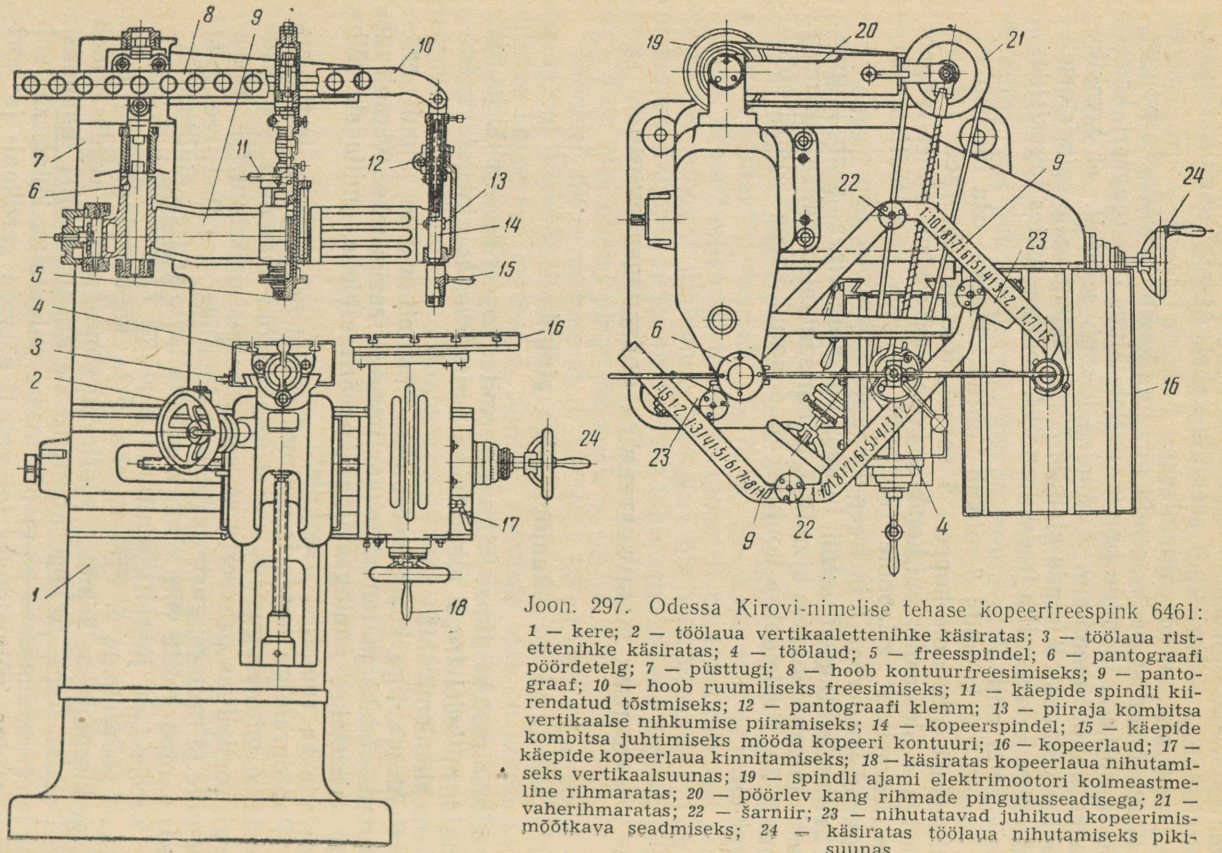
### Pantograafiga pingid

Lihtsaimateks ilma jälgivsüsteemita kopeerfreespinkideks on pingid, milledel freesi nihutatakse *pantograafiks* nimetatava šarniirmehhanismi abil.

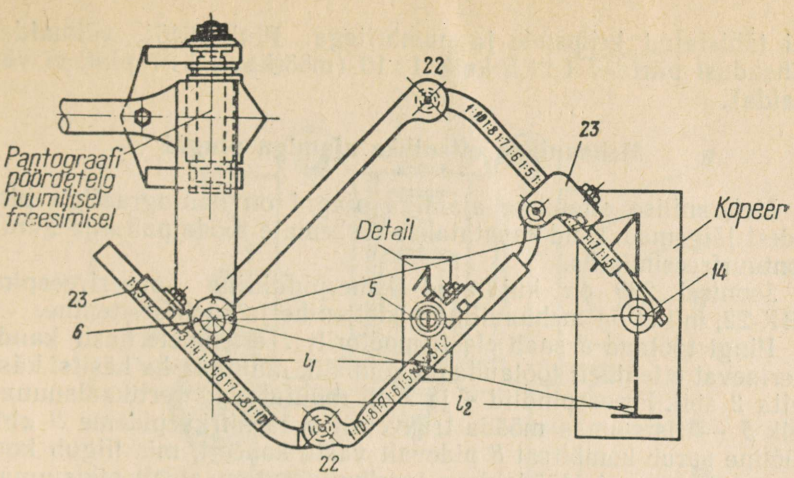
Pantograafiga kopeerfreespinke kasutati varem ainult graveerimistöödeks ja lamedate kontuuride freesimiseks. Käesoleval ajal toodetakse pantograafiga kopeerfreespinke, milledel võib teostada ka ruumilist freesimist.

Pantograafiga kopeerfreespingil mudel 6461 (joon. 297) võib teostada mitmesuguseid kopeerfreesimistöid lamedate kopeeride järgi, sealhulgas graveerimist, samuti sepistamisstantside, pressvormide ja mitmesuguste reljeefsete detailide ruumilist freesimist. Ilma pantograafita võib pinki kasutada tavalise freespingina.

Kerele *1* on jäigalt kinnitatud püsttugi *7*, mis kannab pantograafi pöördetelge *6*. Freesspindel *5* ja kopeerspindel *14*, mille külge kinnitatakse kombits, pöörlevad pantograafi *9* avades. Hoob *10* ühendab frees- ja kopeerspindlite vertikaalsuunalisi nihkumisi. Hooba *10* suunatakse pingi püsttoesse paigutatud kolme radiaalkuullaagriga, võimaldades tal vabalt õõtsuda vertikaal- ja horisontaaltelje ümber ja samal ajal nihkuda vabalt ristsuunas. Seega säilitavad pingi mõlemad spindlid ruumilisel kopeerimisel alati




Joon. 297. Odessa Kirovi-nimelise tehase kopeerfreespink 6461:
*1* — kere; *2* — töölaua vertikaalettenihke käsiratas; *3* — töölaua ristettenihke käsiratas; *4* — töölaud; *5* — freesspindel; *6* — pantograafi pöördetelg; *7* — püsttugi; *8* — hoob kontuurfreesimiseks; *9* — pantograaf; *10* — hoob ruumiliseks freesimiseks; *11* — käepide spindli kiirendatud tõstmiseks; *12* — pantograafi klemm; *13* — piiraja kombitsa vertikaalse nihkumise piiramiseks; *14* — kopeerspindel; *15* — käepide kombitsa juhtimiseks mööda kopeeri kontuuri; *16* — kopeerlaud; *17* — käepide kopeerlaua kinnitamiseks; *18* — käsiratas kopeerlaua nihutamiseks vertikaalsuunas; *19* — spindli ajami elektrimootori kolmeastmeline rihmaratas; *20* — pöörlev kang rihmade pingutusseadisega; *21* — vaherihmaratas; *22* — šarniir; *23* — nihutatavad juhikud kopeerimismõõtkava seadmiseks; *24* — käsiratas töölaua nihutamiseks piksuunas




Joon. 298. Pingi 6461 pantograafi skeem

ristseisu pingi töölauaga. Piirajad *13* on kombitsa vertikaalse nihkumise piiramiseks.

Lamedate kontuuride töötlemiseks kinnitatakse kopeerspindel *14* pantograafi klemmiga *12*, seejuures hoob *10* võetakse maha koos seadeldisega, mis ühendab teda spindliga. Hoovale *8* asetatakse pakk, mida mööda libiseb freesspindli *5* juhttapp.

Töölaud *4* ja kopeerlaud *16* on nihutatavad horisontaal- ja vertikaalsuunas piki kere juhtpindu.

Freesspindel saab pöörlemise elektrimootorilt võimsusega $N = 0{,}4$ kW ja pöörete arvuga $n = 1480$ p/min. Elektrimootori võllile on kinnitatud kolmeastmeline rihmaratas *19*. Rihmarattalt antakse pöörlemine edasi viieastmelisele vaherihmarattale *21*, mis istub õõtsuval hooval *20*, ja sealt freesspindli *5* kaheastmelisele rihmarattale. Seega saab pingi spindel 6 erinevat pöörete arvu piirides 1750—9600 p/min.

Pingi 6461 pantograafi skeem on kujutatud joonisel 298. Pantograafi kopeerimismõõtkava

$$i = \frac{l_1}{l_2},$$

kus $l_1$ — freesspindli telje ja pantograafi pöördetelje vaheline kaugus;

$l_2$ — kombitsa telje (kopeerspindli telje) ja pantograafi pöördetelje vaheline kaugus.

Kopeerimismõõtkava saab muuta juhikute *23* nihutamisega mööda pantograafi õlgu. Enamkasutatavamad mõõtkavad on õlga-

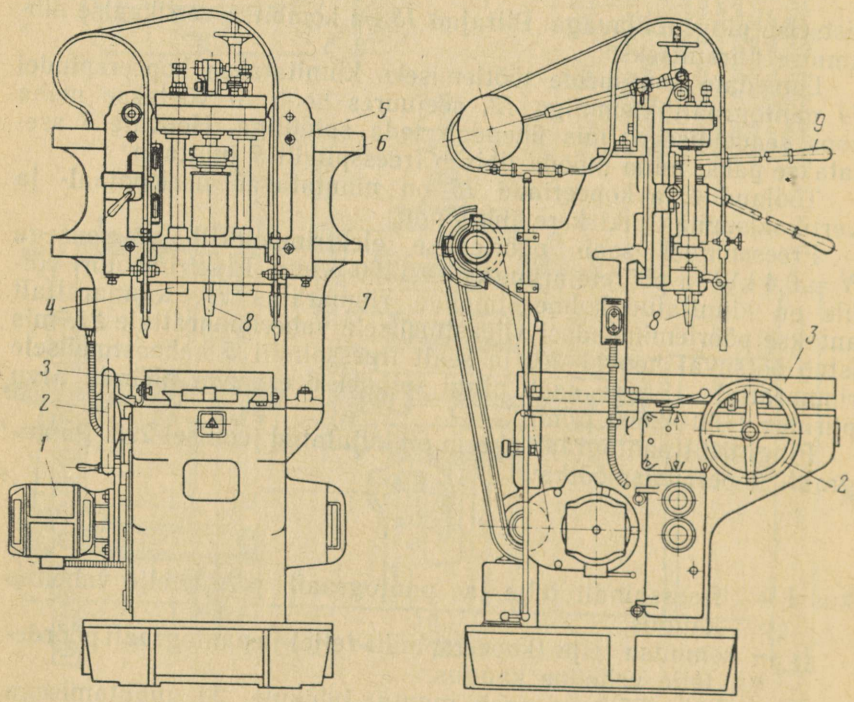
del tähistatud kriipsude ja numbritega. Pink 6461 võimaldab vähendusi piirides 1 : 1,5 kuni 1 : 10 (mõõtkava 1 : 1 pink ei võimalda).

### Mehaanilise ettenihke ajamiga pingid

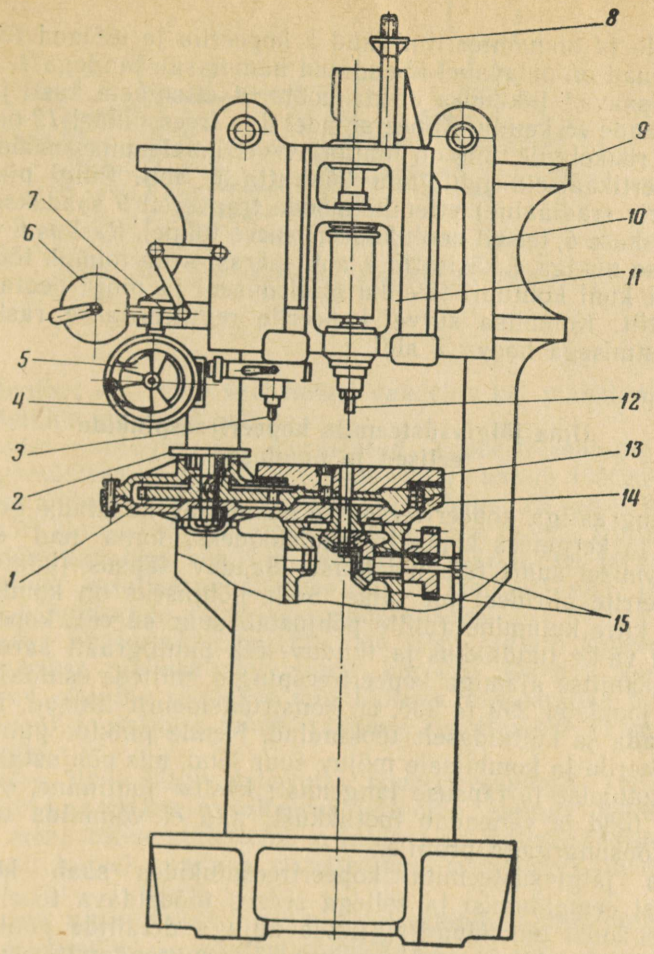
Mehaanilise ettenihke ajamiga pingid on pantograafiga pinkidest jäigemad. Neid kasutatakse raskemate tööde puhul ja ainult kontuurfreesimiseks.

Joonisel 299 on kujutatud kahespindliline kopeerfreespink TBK-22, millel on mehaaniline pikiettenihe ja käsiristettenihe.

Pingi töölaud *3* saab elektrimootorilt *1* ettenihete kasti kaudu 6 erinevat ettenihet; töölauda on võimalik nihutada ka käsitsi käsiratta *2* abil. Freesspindlid *4* ja *7* on nihutatavad vertikaalsuunas, kelk *5* — ristsuunas mööda traaversit *6* šarniirkäepideme *9* abil. Tööline surub kombitsat *8* pidevalt vastu kopeeri, mis liigub koos pingi töölauaga ja töödeldava toorikuga automaatselt pikisuunas, andes samal ajal kombitsa kaudu kelgule *5* profileeriva ristettenihke mööda traaversit. Kuna lõikeriist ja kombits on kinnitatud




Joon. 299. Kahespindliline kopeerfreespink TBK-22




Joon. 300. Moderniseeritud kopeerfreespink TBK-2

ühte ja samasse kelku *5*, vastavad freesi nihkumised töödeldava tooriku suhtes täpselt kombitsa nihkumistele kopeeril.

Neid pinke valmistatakse ühe või kahe spindliga (ühespindliline mudel TBK-2).

Sellest tüübist arenes välja raskuse toimel töötav mehaanilise piki- ja ristettenihkega kopeerfreespink. Selle pingitüübi esindajaks on moderniseeritud pink TBK-2 (joon. 300), mis on ette nähtud nukkide poolautomaatseks freesimiseks.

Kerele *14* on monteeritud laud *2* kopeerile ja töölaud *13* toorikule. Lauad on omavahel ühendatud hammasülekandega *1*. Lauad *2* ja *13* saavad liikumise elektrimootorilt ettenihete kasti ja koonusülekande *15* kaudu. Kopeerspindel *3* ja freesspindel *12* on monteeritud ristkelgule, mis on nihutatav vertikaalsuunas mööda pikikelgu vertikaalseid juhtpindu käsiratta *8* abil. Pingi pikikelgu profileeriv (radiaalne) ettenihe mööda traaversit *9* saadakse ühelt poolt raskuse *6*, teiselt poolt kopeeri surve toimel. Raskus *6* viiakse tegevusse nukiga *5* käsiratta *4* abil, pärast seda toimub töö automaatselt kuni kontuuri täieliku töötlemiseni ja pingi peatamiseni lõpplülitilt. Kombitsa survet kopeerile reguleeritakse raskuse *6* õla muutmisega hoova *7* abil.

### Ilma jälgivsüsteemita kopeerfreespinkide eelised ja puudused

Pantograafiga kopeerfreespinke on mugav kasutada graveerimiseks ja kergeteks kopeerfreesimistöödeks, kuna nad ei vaja teenindamisel suurt füüsilist jõudu. Saadav täpsus (kümnendikmillimeetrite piirides) on väike. Selle põhjuseks on kombitsa ja kopeeri kiire kulumine (mille põhjustab suur surve), kopeermehhanismi väike tundlikkus ja tunduv lõtk pantograafi šarniirides.

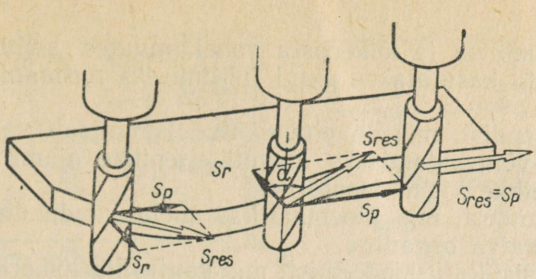
Mehaanilise ajamiga kopeerfreespingid, millede esindajad olid toodud joonistel 299 ja 300, on konstruktsioonilt lihtsad, hõlpsad teenindada ja küllaldaselt töökindlad. Nende pinkide puudusteks on: kopeerile ja kombitsale mõjuv suur jõud, mis põhjustab nende kiiret kulumist ja täpsuse langemist; käsitsi juhtimine, mis raskendab tööd ja vähendab tootlikkust; nad ei võimalda töödelda suure tõusunurgaga profiile.

Ilma jälgivsüsteemita kopeerfreespinkides saab kombitsa kopeerist eemaldumist ja sellega seoses töödeldava tooriku profiili tõenäolist moondumist (lihtsa kujuga detailide puhul) vältida ainult kombitsale mõjuva survejõu suurendamisega; mingisuguseid täiendavaid sõlmi koordineerimatuse parandamiseks täidesaatva organi ja juhtseadise vahele pole vaja.

## § 69. JÄLGIVSÜSTEEMIGA KOPEERFREESPINGID

### Kõverjooneliste pindade freesimise meetodid

Et töödelda freespingil kõverjoonelist pinda, tuleb pingi töölauale anda samaaegselt nii piki- kui ka ristettenihe. Joonisel 301 on näidatud, kuidas pikiettenihke $s_p$ ja ristettenihke $s_r$ ühendamisest saadakse resulteeruv ettenihe $s_{res}$ mööda kontuuri. Resultee-



Joon. 301. Kõverjoonelise kontuuri freesimise skeem

ruvat ettenihet $s_{res}$ võib igal hetkel vaadelda kui pikiettenihke $s_p$ ja ristettenihke $s_r$ resultanti.

Freesides pantograafiga varustatud kopeerfreespingil, s. t. ilma jälgivsüsteemita pingil (vt. joon. 297), annab tööline kombitsa suunamisega mööda kopeeri käepideme *15* abil freesile pantograafi kaudu kohe resulteeruva ettenihke mööda kontuuri.

Freesides tavalisel vertikaalfreespingil märkimise järgi, saadakse vajalik resulteeruv ettenihe mööda kontuuri piki- ja ristettenihke käepidemete samaaegse pööramisega.

Freesides kopeerrakisega (vt. joon. 165), jälgib kopeersõrm, mida surutakse raskuse abil vastu kopeeri, kopeeri kontuuri. Resulteeruv ettenihe saadakse siin töölaua mehaanilise pikiettenihke (pidev) ja raskuse toimel saadava ristettenihke (vahelduv) ühendamisel.

Freesides ilma jälgivsüsteemita kopeerfreespingil (vt. joon. 299 ja 300), saadakse resulteeruv ettenihe samuti kahe ettenihke — mehaanilise pikiettenihke (pidev) ja töölise füüsilise jõu või raskuse toimel saadava ristettenihke (vahelduv) ühendamisel.*

Tavaliselt nimetatakse pingi pidevat ettenihet *juhtettenihkeks*, vahelduvat ettenihet — *jälgivettenihkeks*.

Jälgivsüsteemiga kopeerfreespinkides võivad juhtettenihke ja jälgivettenihke kiirused olla erinevad.

## Jälgivsüsteemi üldine iseloomustus

Jälgivsüsteem, mis ühendab juhtseadist täidesaatva organiga, koosneb:

1. Kopeerseadisest, mis kompab kopeeri ja mõõdab koordinee-

* Mõnedes pinkides on jälgivettenihkeks lõikeriista vertikaalsuunaline liikumine kui kombitsa vertikaalsuunalise nihkumise resultaat. Sel juhul saadakse resulteeruv ettenihe piki- ja vertikaalettenihke liitmisel.

rimatust kombitsa ja lõikeriista vahel, muutes selle käsklussignaaliks, mida kasutatakse pingi juhtimiseks mehaanilise ettenihkega.

2. Võimendist, mis on ette nähtud kombitsalt saadava käsklussignaali võimendamiseks, samuti ettenihke ajami juhtimiseks.

3. Ettenihke ajami mootoritest.

4. Ülekandest, mis kinemaatilise ahela kaudu ühendab mootorit täidesaatva organiga.

5. Tagasisidestussüsteemist, mis kontrollib lõikeriista ja kombitsa nihkumist, andes kopeerseadisele informatsiooni.

Kopeerfreespinkide jälgivat süsteemi iseloomustatakse kopeerseadise tüübiga (elektriline, hüdrauliline jne.) ja ettenihke ajami mootoriga (elektrimootor, hüdrauliline mootor jne.).

Jälgivsüsteemiga kopeerfreespingid võivad olla:

a) *elektrilised* (kopeerpea ja ettenihke ajam on elektrilised);

b) *fotoelektrilised* (kopeerpea on fotoelektriline, ettenihkeajam elektriline);

c) *hüdraulilised* (kopeerpea ja ettenihke ajam on hüdraulilised);

d) *elektrohüdraulilised* (kopeerpea on elektriline, ettenihke ajam hüdrauliline);

e) *pneumohüdraulilised* (kopeerpea on pneumaatiline, ettenihke ajam hüdrauliline);

f) *pneumoelektriline* (kopeerpea on pneumaatiline, ettenihke ajam elektriline).

Et elektrilise ja hüdraulilise jälgivsüsteemiga kopeerfreespingid on kõige rohkem levinud, vaatleme lähemalt ainult neid pinke.

## Elektrilise jälgivsüsteemiga kopeerfreespingid

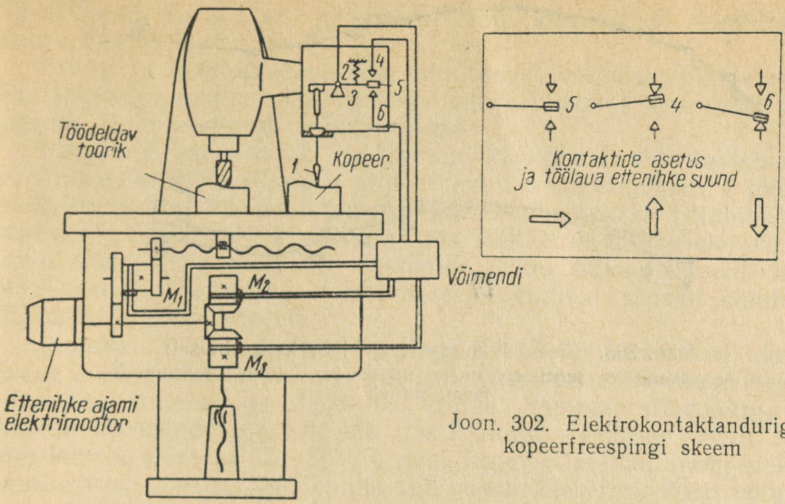
Käesoleval ajal on kopeerfreespinkide juures enamlevinenumad järgmised elektrilised juhtimissüsteemid:

1) katkendlik juhtimissüsteem elektrokontaktanduriga ja elektromagnetiliste siduritega ettenihke ajamis;

2) pidev juhtimissüsteem induktsioonanduriga reguleeritavate alalisvoolu elektrimootoritega varustatud ettenihke ajamiga.

K a t k e n d l i k u j u h t i m i s s ü s t e e m i g a p i n g i d (joon. 302), s. t. elektrokontaktanduriga ja elektromagnetiliste siduritega pingid on konstruktsioonilt lihtsad, mugavad teenindada ja ekspluateerimisel töökindlad. Nende eeliste tõttu on need pingid võitnud endale teiste metallilõikepinkide hulgas kindla koha.

Elektrokontaktanduril *5* on kaks kontakti *4* ja *6*, mis lülitavad sisse täidesaatva organi (mehaanilise ettenihete kasti) elemente. Horisontaal- ja vertikaaletteniihe lülitatakse sisse elektromagnetiliste sidurite $M_1$, $M_2$ ja $M_3$ abil. Töö alguseks seatakse pingi töölaud selliselt, et kombits *1* asuks kopeeri kohal ja frees tooriku




Joon. 302. Elektrokontaktanduriga kopeerfreespingi skeem

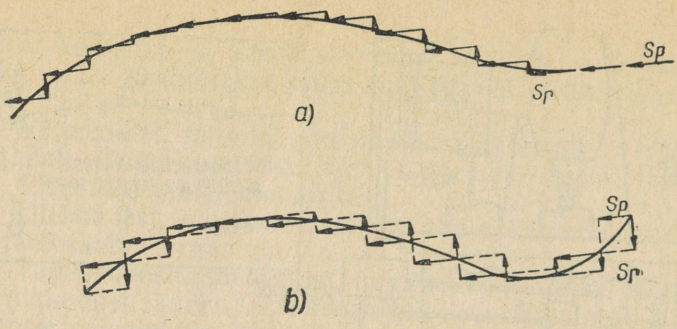
kohal. Seejuures on kombits *1* vedru *2* toimel alla lastud. Anduri hoob *3* on pööratud ja sulgeb kontakti *4*, lülitades sisse elektromagnetilise siduri $M_2$, mis juhib töölaua vertikaalettenihkega üles.

Vertikaalettenihke sisselülitamisel tõuseb töölaud üles seni, kuni kombits *1* toetub vastu kopeeri. Kombits tõmbab ülesliikumisel vedru *2*, pöörab hooba *3*, lahutab kontakti *4* ning lülitab siduri $M_2$, järelikult ka vertikaalettenihke välja. Sel hetkel lülitub automaatselt sisse elektromagnetiline sidur $M_1$ ja töölaud saab pikiettenihke. Kombitsa liikumisel mööda kopeeri horisontaalset pinda on vertikaalettenihe välja lülitatud. Kui kombits satub kopeeri tõusvale osale, nihkub ta üles ja pöörab hooba *3* kuni kokkupuuteni kontaktiga *6*. Sel hetkel lülitatakse sisse elektromagnetiline sidur $M_3$ ja pingi töölaud saab vertikaalettenihke alla. Samaaegselt lülitatakse välja töölaua pikiettenihe.

Seega toimub kopeerfreesimine vaadeldud skeemi järgi töölaua vertikaal- ja pikiettenihke vahelduva sisselülitamisega. Seejuures on töölaua liikumiskiirus ebaühtlane ja freesi liikumise trajektoor astmeline (joon. 303, *a*). Mida sagedamini ettenihet ümber lülitatakse, seda ühtlasem on freesi trajektoor.

Ümberlülitamise kiirus, järelikult kopeerimise täpsus, oleneb elektromagnetiliste sidurite töötamise kiirusest. Kaasaegsed elektrokontaktsed juhtimissüsteemid võimaldavad saada ettenihke 250 mm/min juures peaaegu astmeteta freesi trajektoori ja töödelda stantse, pressvorme ja teisi keeruka kujuga detaile suure täpsusega.

Selle skeemi järgi toodab Dmitrovski freespinkide tehas kopeerfreespinke 6H11K.




Joon. 303. Freesi liikumise trajektoor kopeerimisel:
*a* — katkendliku juhtimissüsteemi puhul; *b* — pideva juhtimissüsteemi puhul

Pideva juhtimissüsteemiga pinkides kasutatakse induktsioonandureid, mis võimendite abil juhivad ettenihke reguleeritavaid elektrimootoreid; elektrimootorid töötavad alalisvooluga. Elektrimootorite pöörete arvu automaatse muutmisega tagatakse freesi sujuv ja pidev liikumine piki tooriku kontuuri (joon. 303, *b*). Pidev juhtimissüsteem on katkendlikust juhtimissüsteemist keerukam ja tagab kõrge kopeerimistäpsuse ainult sujuvalt muutuva kontuuriga toorikute töötlemisel. Pidev juhtimissüsteem ei ole rakendatav toorikute töötlemisel, millede kontuuril on järsud üleminekud, kuna järskude kontuuriosade töötlemiseks tuleks ka ettenihke ajami elektrimootorite pöörete arvu järsult muuta, mis on aga võimatu rootorite suure inertsi tõttu.

Joonisel 304 on kujutatud T. N. Sokolovi poolt konstrueeritud ja Leningradi Sverdlovi-nimelises pingiehitustehases toodetud kontaktideta induktsioonanduriga ja reguleeritavate elektrimootoritega kopeerfreespingi üldvaade.

Induktsioonanduri tööpõhimõte seisneb transformaatori pooli induktiivtakistuse muutumises vastavalt südamiku ja ankru vahelise õhupilu muutumisele, mida põhjustab ankru nihkumine kombitsa kõrvalekaldumiste puhul.

Seda tüüpi kopeerfreespinke kasutatakse auto- ja traktoritehaste tööriistatsehhides suurte stantside valmistamisel.

Piki kere *1* juhtpindu liigub pikisuunas töölaud *2* mõõtmetega 630 × 1200 mm ja käiguga 900 mm. Töölauale on seatud nurgik *4*, mille ülemisele osale kinnitatakse kopeer ning alumisele osale *3* töödeldav toorik. Kerest paremal pool asub kerega ühes tükis valatud sammas *5*, mille vertikaalsetel juhtpindadel liigub spindlipukk *8* kandev traavers *7*. Spindlipukk koos freesspindliga *9* liigub mööda traaversit *7* horisontaalsuunas piki spindli telge.

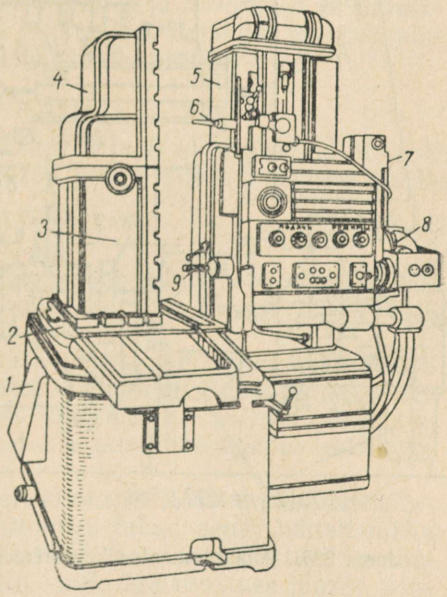
Spindlipuki kerele on kronsteini abil kinnitatud kombitsaga kopeerpea *6*.

Freesi ja kombitsa suhtelist nihutamist vertikaalsuunas reguleeritakse kopeerpea nihutamisega piki kronsteini juhtpindu, telje suunas — freesspindli nihutamisega.

Pingi töötamise ajal, kui töölaud *2* liigub horisontaalsuunas, surutakse kombits *6* vedru abil pidevalt vastu nurgiku *4* tööpinnale kinnitatud kopeeri. Kopeeri survel nihutatakse kombitsat ja tegevusse astub jälgiv süsteem, mis lülitab ettenihke elektrimootorid sisse pärisuunas või vastupidi. Tänu sellele muudab frees oma asendit töödeldava pinna suhtes, jälgides täpselt kombitsa liikumist mööda kopeeri.

Joonisel 305 on kujutatud pingi 6441Б kinemaatiline skeem. Frees saab pöörlemise kahe kiirusastmega vahelduvvoolu elektrimootorilt võimsusega 2,6/3 kW kolme hammasratasplokiga ja üheksa kiirusastmega kiiruste kasti kaudu. Pöörete arvu saab reguleerida piirides 63—3150 p/min. Pingi ettenihke ajami elektrimootoritena kasutatakse kolme alalisvoolu elektrimootorit võimsusega 0,37 kW, pöörete arvuga $n = 1000$ p/min ja reguleerimispiirkonnaga 1 : 15, mis võimaldab töölaua pikiettenihet ja traaversi vertikaalettenihet piirides 25—400 mm/min ja spindlipuki ristettenihet piirides 25—250 mm/min.

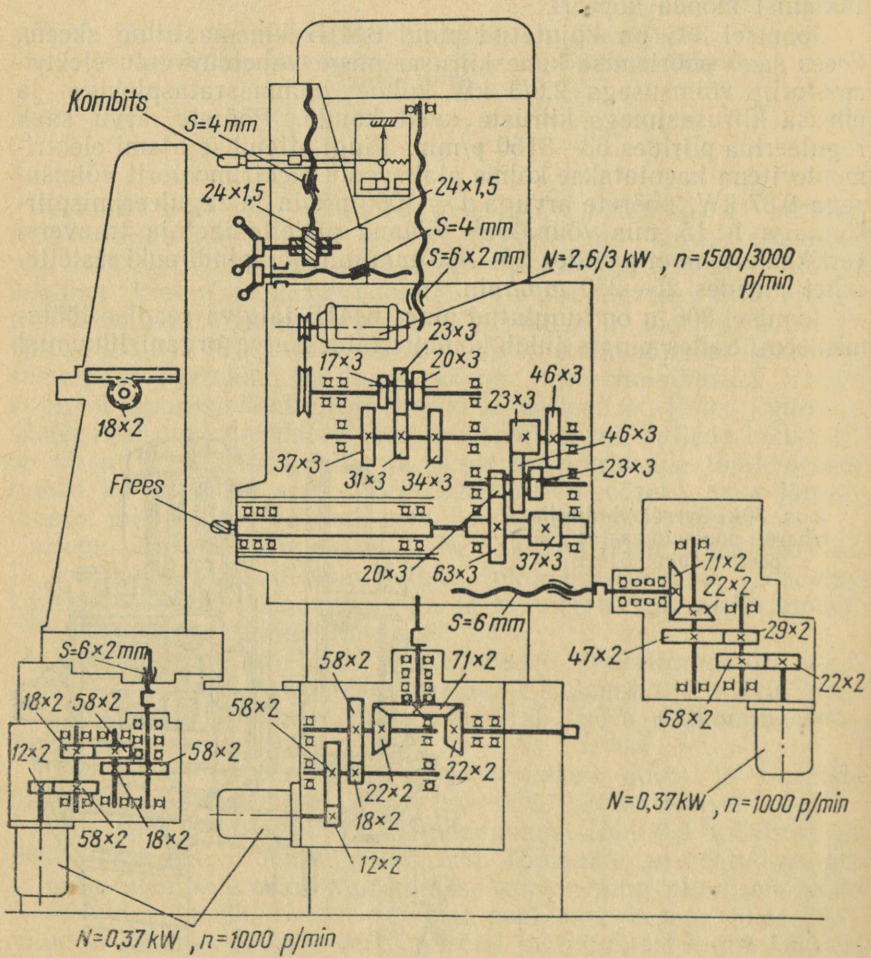
Joonisel 306, *a* on kujutatud pingi 6441Б jälgiva seadise töötamiskeem. Selles pingis juhib kombits täidesaatva organi liikumist



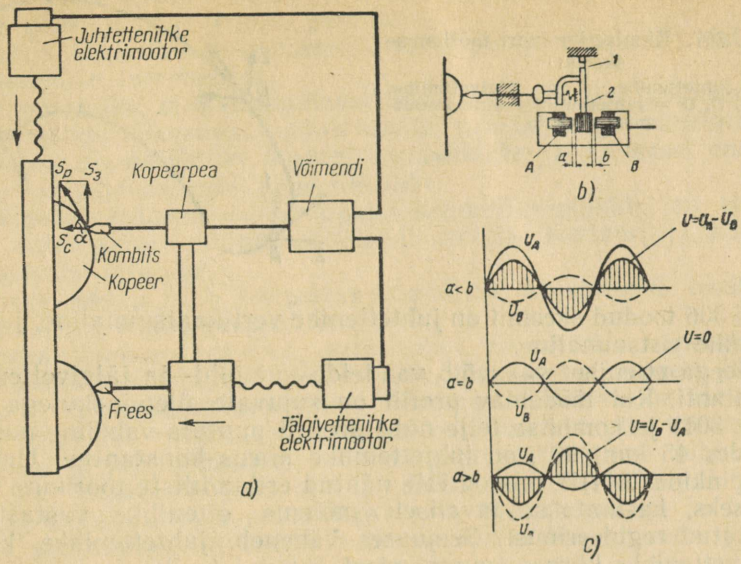

Joon. 304. Sverdlovi-nimelise tehase poolautomaatne kopeerfreespink 6441Б

mitte kontaktide katkendliku sulgemisega ja avamisega, vaid nn. Leonardo süsteemi järgi, kus ettenihke elektrimootorite pöörete arvu muudetakse ergutusvoolu pinge muutmisega.

Jälgivsüsteemi tundlikuks elemendiks on induktsioonkopeerpea (joon. 306, *b*), mis koosneb kahest induktsioonpoolist *A* ja *B*, millede vahel ripub lehtvedru *1* otsa kinnitatud ankur *2*. Ankur *2* on ühendatud kombitsaga, mis nihkub mööda kopeeri. Ankru *2* asendi igasugune muutus põhjustab õhupilude *a* ja *b* muutuse ja vastavalt sellele pinge muutuse poolides *A* ja *B*. Ankru *2* kesk-




Joon. 305. Poolautomaatse kopeerfreespingi 6441Б kinemaatiline skeem




Joon. 306. Pingi 6441Б jälgiva seadise töötamisskeem:
*a* — ajami skeem; *b* — induktsioonkopeerpea skeem; *c* — pinge muutus erinevate õhupilude puhul ankru ja pooli vahel

asendi puhul (joon. 306, *c*) on õhupilud *a* ja *b* võrdsed ja induktsioonvoolu pinge $U = 0$; ankru nihkumisel vasakule muutub pilu *a* pilust *b* väiksemaks ja induktsioonvoolu pinge

$$U = U_A - U_B ,$$

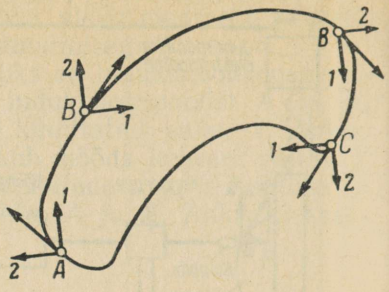
kus $U_A$ ja $U_B$ on vastavalt poolides *A* ja *B* indutseeritud pinged; ankru nihkumisel paremale muutub pilu *a* pilust *b* suuremaks ja induktsioonvoolu pinge

$$U = U_B - U_A .$$

Kombitsa järkjärguline teljesuunaline nihkumine kopeeril tekitab pinge *U* sujuva muutmise, mis kantakse üle võimendile (vt. joon. 306, *c*).

Kopeerpea võimendist kantakse pinge üle ergutusvõimendile, mis alaldab vahelduvvoolu ja tõstab ta pinget. Edasi mõjub pinge elektrimootorite võimendite ergutusmähisele, millede väljumisklemmidel tekkivat pinget kasutatakse ettenihke ajami elektrimootorite toiteks.

Kombits nihkub mööda kopeeri kontuuri töölaua kahe ristliikumise (ettenihke) geomeetrilise liitumise tulemusena. Juhtettenihke $s_j$ suund on püsiv. Jälgivettenihke $s_{jä}$ (mis on juhtettenihke suunaga risti) suurus muutub profiili kalde iga muutuse juures. Joo-




Joon. 307. Kinnise kontuuri töötlemise skeem:
*1* — juhtettenihe; *2* — jälgivettenihe, *A, B, C, D* — juhtettenihke suunamuutmise punktid

nisel 306 toodud skeemil on juhtettenihe vertikaalsuunaline, jälgivettenihe ristsuunaline.

Seega ettenihet $s_{res}$ võib vaadelda kui juht- ja jälgivettenihke resultanti. Kui töödeldav profiil on sujuvate üleminekutega (vt. joon. 301) ja kombitsa telje ning profiili puutuja vaheline nurk on piirides 45 kuni 90°, on juhtettenihke kiirus konstantne. Universaalpinkides 6441Б, mis on ette nähtud erilaadiliste toorikute töötlemiseks, kasutatakse tavaliselt mõlema ettenihke vastastikku seostatud reguleerimist. Seejuures väheneb juhtettenihke kiirus jälgivettenihke kiiruse suurenemisel automaatselt.

Kinnise kontuuri töötlemisel tuleb juhtettenihke s u u n d a perioodiliselt muuta. Joonisel 307 on toodud pideva piirjoonega kinnise kontuuri skeem. Juhtettenihke suund muutub punktides *A*, *B*, *C* ja *D*. Tänu sellele moodustab juhtettenihke suund kontuuri puutujaga kogu piirjoone ulatuses teravnurga.

Igasugust ruumilist pinda võib vaadelda pinnana, mis koosneb reast õhukestest tasastest kihtidest, milledest igaüht võib töödelda kahe ühendatud ettenihkega (näit. vertikaal- ja ristettenihkega). Sellele põhimõttele ongi rajatud ruumiliste pindade töötlemine kopeerfreespinkidel lõikepindade järgi.

Ruumilisi (kolmemõõtmelisi) pindu töödeldakse *ridahaaval*. Selleks on pingis ette nähtud perioodiline ettenihe tasapinnas, mis on juht- ja jälgivettenihke tasapinnaga risti. Pink 6441Б võimaldab perioodilist ettenihet piirides 0,16—16 mm/reale. Ridahaaval freesimise põhimõte on järgmine. Pärast seda, kui kombits läbib vertikaalsuunas teekonna, mis on võrdne kopeeri laiusega, ja frees töötleb toorikus ühe rea vastavalt lõikepinnale *1—1* (joon. 308), nihutatakse pingi töölauda automaatselt pikisuunas ühe rea võrra; seejärel antakse spindlipukile koos kombitsaga ja freesiga vertikaalettenihe vastassuunas. See on juhtettenihe; jälgivettenihkeks on siin ristettenihe.

Seejuures töötleb kombitsa poolt juhitav frees toorikul teise rea, mis vastab kopeeri lõikepinnale *2—2*. Seejärel nihutatakse pingi töölauda jälle automaatselt rea laiuse võrra ning spindlipukk koos kombitsa ja freesiga saab liikumise otsesuunas, mille juures frees töötleb rea vastavalt lõikepinnale *3—3* jne., kuni kombits on

läbinud kogu kopeeri pinna ja frees on ridahaaval reprodutseerinud kopeeri profiili tooriku pinnale.

Seega töödeldakse kolmemõõtmelisi pindu vertikaal-, rist- ja pikiliikumise tulemusena.

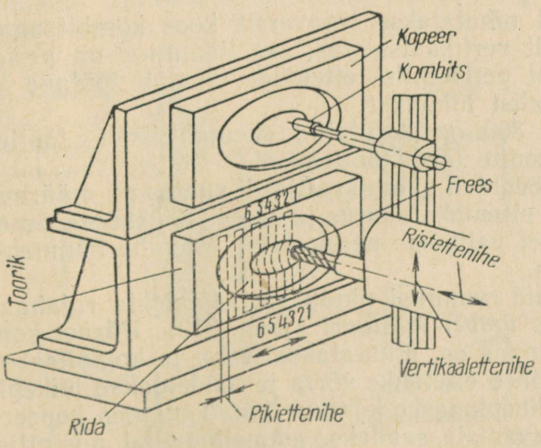
Kopeerpinke, mis võimaldavad töödelda ruumilisi (kolmemõõtmelisi) pindu lõikeriista kolmes suunas nihutamisega, nimetatakse *kolmekoordinaadilisteks kopeerfreespinkideks* ja protsessi ennast *kolmekoordinaadiliseks kopeerimiseks.*

Mõnedel kolmekoordinaadilistel kopeerfreespinkidel on ainult kaks automaatset ettenihkeliikumist mööda kontuuri ja käsitsi perioodiline ettenihe.

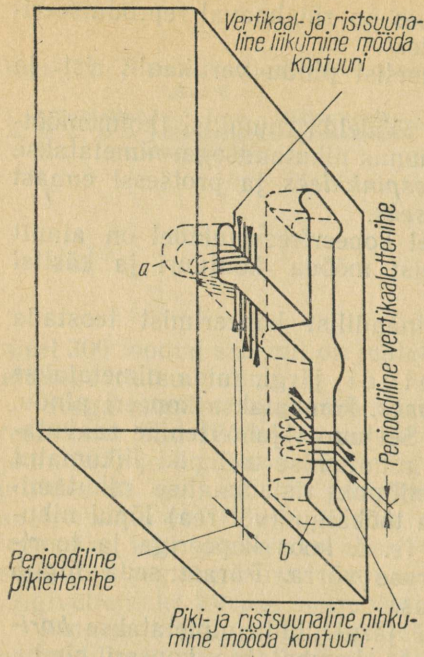
Pingil 6441Б võib kolmekoordinaadilist kopeerimist teostada automaatselt kahel meetodil.

Freesimisel e s i m e s e m e e t o d i järgi, mida nimetatakse *vertikaalseks ridahaaval töötlemiseks,* kombatakse kopeeri pindu, mis on risti töölaua tööpinnaga. Seejuures juhtettenihe saavutatakse traaversi vertikaalsuunalise nihutamise teel piki liikumatut sammast ja jälgivettenihe — spindlipuki ristsuunalise nihutamisega piki traaversit. Traaversi iga töökäigu (või rea) lõpul nihutatakse töölauda koos nurgikuga (s. t. koos kopeeriga ja toorikuga) perioodilise ettenihke suuruse võrra. Pärast seda liigub traavers automaatselt vastassuunas.

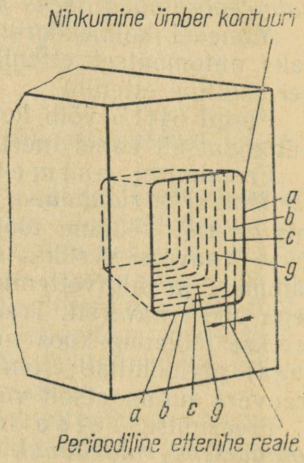
Freesimisel t e i s e m e e t o d i järgi, mida nimetatakse *horisontaalseks ridahaaval töötlemiseks,* kombatakse kopeeri pindu, mis on paralleelsed töölaua tööpinnaga. Juhtettenihe saavutatakse töölaua pikisuunalise nihutamise teel piki keret ja jälgivettenihe — spindlipuki ristsuunalise nihutamisega piki traaversit. Iga töö-




Joon. 308. Kolmemõõtmelise pinna ridahaaval töötlemise skeem




Joon. 309. Kolmemõõtmeliste pindade freesimise kaks meetodit pingil 6441Б:
*a* — vertikaalne ridahaaval töötlemine;
*b* — horisontaalne ridahaaval töötlemine




Joon. 310. Kolmemõõtmelise pinna töötlemine ridahaaval ümber kontuuri

käigu lõpul nihutatakse traaversit koos kombitsaga ja freesiga automaatselt vertikaalsuunas; see liikumine on perioodiline ettenihe. Pärast perioodilist ettenihet alustab töölaud automaatselt vastassuunalist liikumist.

Joonisel 309 on kujutatud skemaatiliselt töötlemisjärjekord nende meetodite järgi töötlemisel.

Kuna töödeldud pinna kvaliteedi suhtes on määrava tähtsusega perioodilise ettenihke suurus ja freesi lõikeserva ümardusraadius, siis silumisel valitakse perioodiline ettenihe kümnendikmillimeetrite piirides.

Mõningaid ruumilisi pindu saab töödelda ridahaaval, *liikudes lõikeriistaga ümber kontuuri* (joon. 310). Pärast kontuuri töötlemist lõikepinnas *aa,* nihutatakse freesi ja kombitsat vertikaalsuunas perioodilise ettenihke võrra ja töödeldakse lõikepinna *bb* kontuur, siis lõikepinna *cc* kontuur jne. Tungides kopeeri järgi järkjärgult sügavamale, saadakse astmeline pind, mis hiljem silutakse. Lihtsate, kuid sügavate profiilide töötlemine on selle meetodi järgi väga tootlik.

## Hüdraulilise jälgivsüsteemiga kopeerfreespingid

Hüdraulilise jälgivsüsteemiga kopeerfreespingi töötamise põhimõtteline skeem on toodud joonisel 311, *a*.

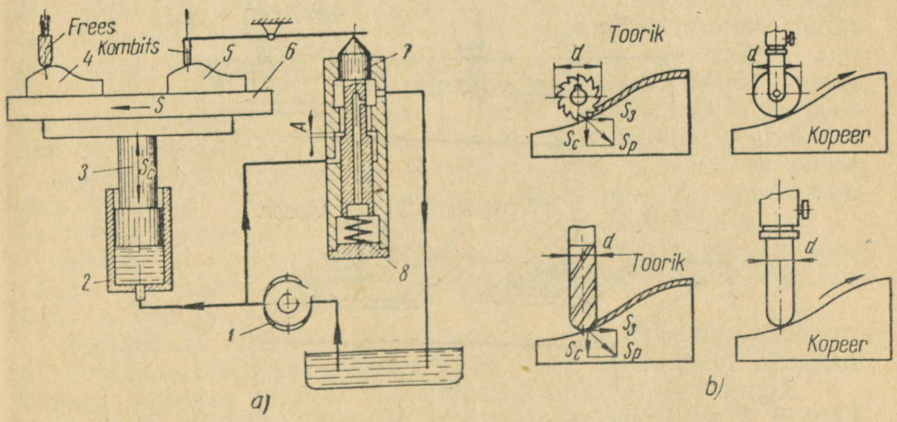
Jälgivajam koosneb jaotussiibrist *7*, mis juhib hüdraulilise silindri *2* kaudu pingi töölaua vertikaalettenihet. Jaotussiiber on omakorda ühendatud hoova kaudu kombitsaga ja kordab kombitsa liikumist mööda kopeeri *5*. Pingi töölauale *6* on kinnitatud toorik *4* ja kopeer *5*. Töölaud saab püsiva kiirusega pikisuunalise juhtettenihke *s* hüdrauliliselt silindrilt (joonisel 311, *a* ei ole näidatud); vertikaalsuunaline jälgivettenihe $s_c$ saadakse silindris *2* liikuvalt kolvilt *3*, mis on ühendatud pingi konsooliga. Elektrimootoriga (skeemil ei ole näidatud) käivitatavast pumbast *1* suunatakse õli silindrisse *2* (süsteemi täidesaatvale organile) ja samaaegselt jaotussiibrisse *7* (kopeerpea tundlikule elemendile).

Vaatleme hüdraulilise jälgivsüsteemi tööd.

Algul, kui kombits pole veel kopeeriga kontaktis, sulgeb jaotussiiber *7* vedru *8* survel ringpilu *A*. Kogu pumbast *1* tulev õli surutakse silindrisse *2* ja kolb *3* tõstab konsooli üles.

Töölaua tõusmisel puutub temale kinnitatud kopeer *5* kokku kombitsaga, mis hoova kaudu surub jaotussiibrit allapoole. Seejuures avaneb ringpilu *A*, mille kaudu õli voolab välja reservuaari. Surve silindris *2* väheneb ja töölaud hakkab langema. See kestab seni, kuni kombits liigub ülespoole mööda kopeeri tõusvat pinda.

Kui kombits väljub kopeeri horisontaalsele osale, vähendab hoob survet jagajale ja ta nihkub vedru *8* toimel ülespoole. Jagaja katab osaliselt ringpilu *A* ja õli väljumine pumbast reservuaari muutub raskemaks. Surve hüdrosilindris tõuseb ning ta tasakaa-




Joon. 311. Hüdraulilise jälgiva kopeerseadisega kopeerfreespingi töötamisskeem (*a*) ja töötlemise näited (*b*)

lustab töölaua. Saabub tasakaaluolukord, mille juures jälgivettenihe on null.

Kombitsa liikumisel kopeeri langevale pinnaosale tõuseb jaotussiiber *7* vedru *8* toimel veelgi kõrgemale, ringpilu *A* väheneb ja surve silindris *2* tõuseb. Töölaud tõuseb üles, viies töödeldava tooriku kokkupuutesse freesiga. Vastavalt ringpilu *A* vähenemisele suureneb jälgivettenihke silindrisse mineva õli hulk ning koos sellega ka jälgivettenihe ja vastupidi — ringpilu *A* suurenemisel jälgivettenihe väheneb.

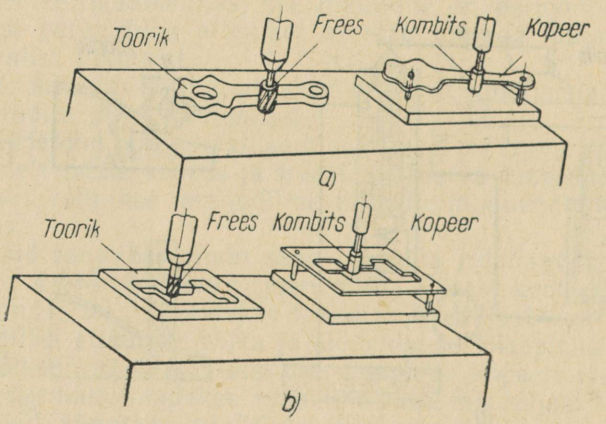
Hüdrauliline silinder, juhituna jaotussiibri poolt, sunnib töölauda sooritama vertikaalsuunalist liikumist vastavalt kopeeri kontuurile. Järelikult on jaotussiiber jälgiva kopeerseadise anduriks.

Hüdraulilise jälgivsüsteemiga kopeerfreespingid on konstruktsioonilt lihtsad ja ekspluateerimisel töökindlad. Neid kasutatakse laialdaselt nii suur- kui ka väikeseeriatootmises.

Hüdrokopeerfreespinkidel, mis töötavad joonisel 311, *a* toodud skeemi kohaselt, on üks vahelduv jälgivettenihe ja üks pidev juhtettenihe; neid pinke nimetatakse *ühekoordinaadilisteks*. Ühekoordinaadilisi hüdrokopeerfreespinke kasutatakse lihtsa kujuga lahtiste kontuuride töötlemiseks.

Kui on vaja töödelda kinniseid kontuure (sellist freesimist nimetatakse kopeerimiseks 360° ulatuses, vt. joon. 307), tuleb muuta juhtettenihke suurust ja suunda, s. t. ta muudetakse vahelduvaks ja ühendatakse jälgiva seadisega.

Hüdrokopeerfreespinke, milledel mõlemad ettenihked on vahel-




Joon. 312. Kinnise kontuuri kahekoordinaadilise freesimise skeem

duvad ja kumbki neist on seotud oma jaotussiibriga (anduriga), nimetatakse *kahekoordinaadilisteks* ehk *kontuur-kopeerfreespinkideks*.

Kontuur-kopeerfreespinkides toimuvad mõlemad ettenihked tavaliselt horisontaaltasapinnas. Joonisel 312 toodud skeemil on kujutatud kinnise kontuuri (väline ja sisemine) freesimine, kusjuures siin toimub nihkumine mööda kopeeri kahe vastastikku ristioleva ettenihke (piki- ja ristettenihke) summana.

Joonisel 313 on toodud Lvovi freespinkide tehase poolt toodetava kontuur-kopeerfreespingi 6M42K üldvaade. Pink on ette nähtud keerukate kinniste ja lahtiste kontuuridega detailide töötlemiseks kopeeri järgi automaatsel kahekoordinaadilisel kopeerimismeetodil. Kopeerimise mõõtkava on 1 : 1.

Töödeldav toorik kinnitatakse pingi töölauale (vahetult või kinnitusrakisega) ja kopeer kinnitatakse kopeerlauale, mis on üles seatud pingi töölauale.

Töölaua mõõtmed on 320 × 1250 mm; osa sellest pinnast (320 × 800 mm) kasutatakse tooriku kinnitamiseks; ülejäänud osale paigutatakse kopeerlaud tööpinna mõõtmetega 320 × × 400 mm.

Kopeeri ja töödeldava tooriku täpseks ühtesobitamiseks, vastavalt freesi ja kombitsa asendeile, nihutatakse kopeerlauda kruviga *20* pikisuunas ja kruviga *21* ristsuunas.

Pink koosneb alusest ja alusele kinnitatud kerest. Kere vertikaalsetel juhtpindadel liigub spindlipukk koos spindliga, mis saab elektrimootorilt võimsusega 2,8 kW ja pöörete arvuga 1420 p/min reduktori ja vahetushammasrataste kaudu 15 erinevat pöörete arvu piirides 80—1945 p/min. Reduktorit lülitatakse ümber kahe käepidemega *9*.

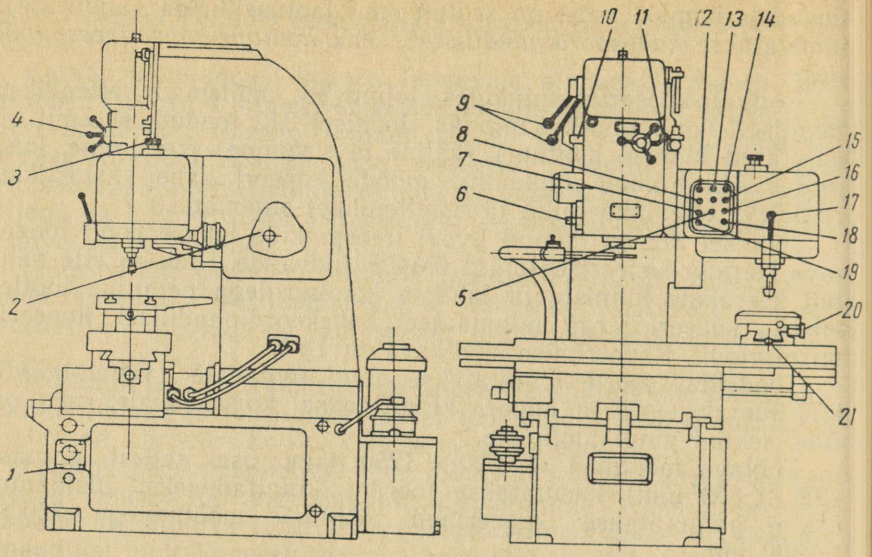
Töölauda nihutatakse piki- ja ristsuunas hüdrauliliste silindrite abil. Töökäigu astmeteta ettenihet piirides 30—450 mm/min reguleeritakse käsirattaga *3*; kiirkäik kiirusega 1000 mm/min lülitatakse sisse nupuga *18*. Töölauda saab juhtida meelevaldses suunas käepideme *17* abil, kusjuures töölaud nihkub selles suunas, kuhupoole käepide on kallutatud. Lastes käepidemest lahti, pöördub ta automaatselt tagasi keskasendisse ja töölaud peatub.

Spindlipukki nihutatakse vertikaalsuunas hüdraulilise silindriga. Töökäigu astmeteta ettenihet piirides 20—100 m/min reguleeritakse käsirattaga *2*. Kiirkäigu kiirus on 1000 m/min.

Spindli laskumine lülitatakse sisse käsitsi nupuga *16*, tõusmine — nupuga *7*. Töökäigu ettenihe on suunatud ainult alla, kiirkäik — alla ja üles.

Spindlipuki allalaskumist piiratakse jäiga tõkestiga, mis seatakse kohale käepideme *4* abil limbi järgi. Spindlipuki ülesseade täpsust alumises asendis kontrollitakse indikaatorseadisega.

Spindlipuki kõiki liikumisi juhitakse ümberlülitiga *5*. Spindlipuki ülemises asendis lülitab lõpplüliti *6* automaatselt välja




Joon. 313. Lvovi freespinkide tehase kontuur-kopeerfreespink 6M42K:
*1* — pealüliti; *2* — käsiratas spindlipuki töökäigu ettenihke reguleerimiseks; *3* — käsiratas töölaua töökäigu ettenihke reguleerimiseks; *4* — käsiratas spindlipuki kontaktpiiraja nihutamiseks; *5* — ümberlüliti spindlipuki liikumiste juhtimiseks; *6* — spindlipuki ülemise asendi lõpplüliti piiraja; *7* — nupp «вверх» spindelpea tõstmiseks; *8* — tumbler spindli pöörlemise sisselülitamiseks; *9* — reduktori ümberlülitushoob; *10* — lõpplüliti piiraja spindlipuki kiirkäigu lülitamiseks töökäigu ettenihkele; *11* — käepide kontakttõkesti käsiratta stoperdamiseks; *12* — nupp «пуск»; *13* — signaallamp «станок включен»; *14* — nupp «стоп»; *15* — nupp kohtvalgustuse sisselülitamiseks; *16* — nupp «вниз» spindelpea allalaskmiseks; *17* — käepide töölaua käsitsi nihutamiseks; *18* — nupp töölaua kiirkäigu sisselülitamiseks; *19* — nupp töölaua ettenihke hüdraulilise mehhanismi elektrimootori sisselülitamiseks; *20* ja *21* — kruvid kopeerlaua nihutamiseks piki- ja ristsuunas

spindli pöörlemise ja jahutuse. Spindlipuki soonde asetatakse vajalikule kõrgusele piiraja *10*, mis lülitab kiirkäigu automaatselt ümber alla suunatud töökäigu ettenihkeks. Olenemata ümberlüliti *5* häälestusest, võib spindlipuki ettenihet meelevaldsel hetkel ümber lülitada või peatada.

Töökäigu vertikaalettenihke olemasolu võimaldab kopeerimismeetodil töödelda kujuprofiiliga sooni ja pesi vertikaalsuunas järkjärgulise sisselõikamise teel.

Spindlipukk stoperdatakse hüdraulilise silindri abil, mida saab juhtida automaatselt ja käsitsi käepidemega *11*.

Pink lülitatakse elektrivõrku pealülitiga *1*. Nupp-paneeli nupuga *8* lülitatakse sisse spindli elektrimootor; nupuga *19* — töölaua ettenihke hüdraulilise mehhanismi elektrimootor; nupuga *18* — töölaua kiirkäik; nupuga *15* — kohtvalgustus; nupp *12* —

«пуск» («käik») koos signaallambiga *13* on pingi käivitamiseks ja nupp *14* — «стоп» («seis») pingi seiskamiseks.

Pingist paremal asub elektriaparatuuri kapp. Ölipaak koos paagile paigutatud elektrimootoriga ja hüdroaparatuuriga on kinnitatud kere tagumisele küljele. Jahutusvedeliku pump asub kerest vasakul.

Kahekordsete labidatega pumpa (survega 60 at ja pöörete arvuga $n = 930$ p/min) käivitatakse 1,7 kW elektrimootoriga. Pumbast läheb õli kopeerpaneeli kaudu silindritesse töölaua nihutamiseks.

Kopeerpaneeli juhitakse kombitsa kaudu. Kopeer kallutab kombitsat suunas, mis on risti kopeeri kontuuri puutujaga. Kombitsa kõrvalekaldumine kantakse üle kopeerpaneeli jagajale, mis kutsub esile töölaua nihkumise risti kombitsa kõrvalekaldumise suunaga ja võimaldab lõikeriistal reprodutseerida toorikul kombitsa liikumist mööda kopeeri, analoogiliselt skeemiga joonisel 301.

Et hoida resulteeruvat ettenihkekiirust mööda kontuuri püsivana, peavad piki- ja ristettenihete kiirused profiili kaldenurga muutumise korral rahuldama järgmist tingimust:

$$s_p = s_{res} \cdot \sin \alpha; \; s_r = s_{res} \cdot \cos \alpha,$$

milleks pingil on siinusjagaja, mis võimaldab need parandused piki- ja ristettenihkele sisse viia.

Kinemaatiliste ahelate ja hüdraulilise süsteemi abil toimuvad pingis järgmised liikumised: spindli pöörlemine, töökäigu ettenihe mööda kontuuri, kiirendatud ettenihe mööda kontuuri, spindlipuki töökäigu ettenihe (sisselõikamine), spindlipuki kiirendatud ettenihe üles ja alla, spindlipuki stoperdamine, kopeerlaua seadenihkumine (piki- ja ristsuunas), spindlipuki kontaktpiiraja seadenihkumine, kombitsa seadenihkumine.

Joonisel 314 on toodud kopeerfreespingi 6M42K hüdraulilise jälgivsüsteemi põhimõtteline skeem.

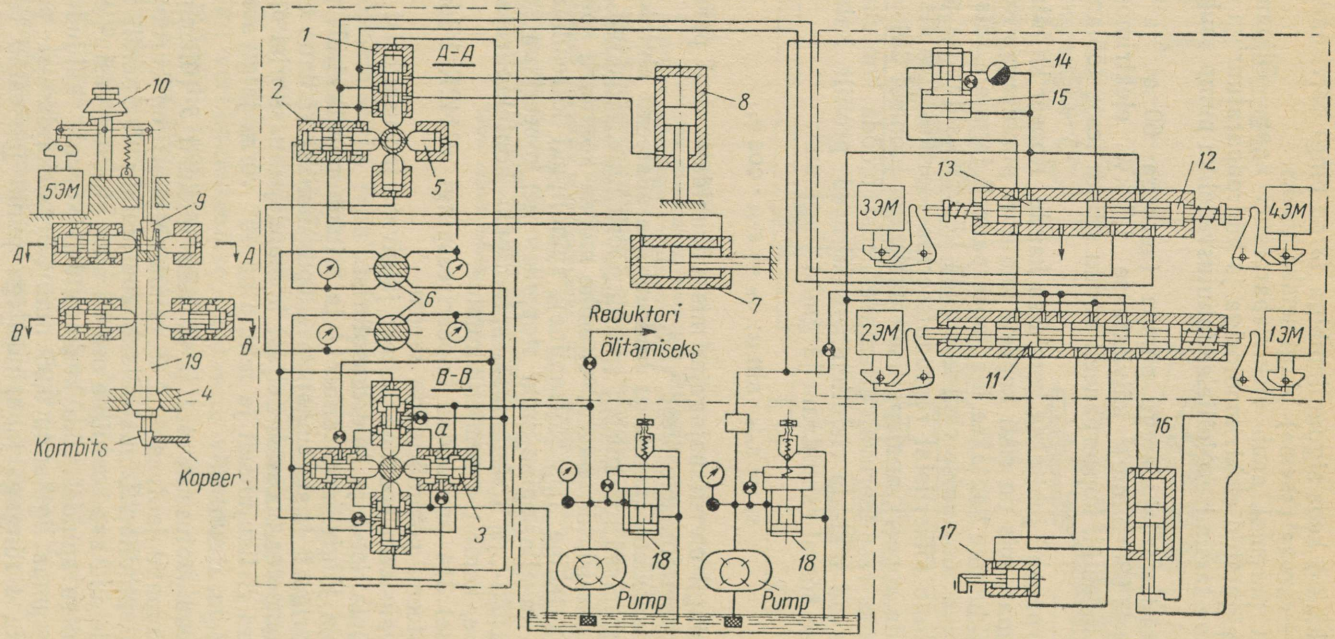
Jälgivsüsteem koosneb kahest jälgivast jaotussiibrist *1* ja *2*, kahest tõukurist *5* ja hüdromootorist.

Kumbki jälgiv jaotussiiber *1* ja *2* juhib paralleelselt paigutatud silindriga *8* (ristsuunas) ja *7* (pikisuunas) töölaua ettenihet.

Hüdromootor koosneb neljast komandojaotussiibrist *3*, mis on paigutatud ristikujuliselt ja nihutatud 45° võrra jälgivate jaotussiibrite *1* ja *2* suhtes.

Jälgivad jaotussiibrid *1* ja *2*, kaks tõukurit *5* (ülemine pool) ja neli komandojaotussiibrit *3* (alumine pool) on surutud vastu kombitsa spindlit *19*, mis õõtsub kuuljuhikus *4*. Spindli ülemisse otsa töödeldud ava kooniline osa on alati surutud vastu koonust *9*.

Kombitsa spindel võib keskasendist kõrvale kalduda meelevaldses suunas ligikaudu 0,05 mm. Kõrvalekaldumist piiratakse kuuljuhiku *4* rõngaga ja spindli iga punkt joonestab ringjoone.




Joon. 314. Kopeerfreespingi 6M42K hüdrauliline skeem

Kombitsa liikumisel mööda kopeeri kallutatakse spindel *19* kõrvale ja ta nihutab komandojaotussiibreid *3*, muutes sel viisil pilude ristlõikepinda, mis ühendavad õõnt *a* survepoolega või väljavooluga. Pilude ristlõikepinna suurenemisel surve õõntes tõuseb, vähenemisel — langeb.

Iga komandojaotussiibri *3* õõs *a* on ühendatud tema vastas asuva komandojaotussiibriga ja ülemisel poolel asuvate tema suhtes 90° alla paigutatud jälgivate jaotussiibrite *1* ja *2* ning tõukurite *5* tagumiste õõntega.

Jälgivate jaotussiibrite silindrites on pilud, mis tagavad jaotussiibrite *1*, *2*, töökolvi *8* ja vastavalt kolvi *7* võrdelise nihkumiskiiruse. Kuna jälgivate jaotussiibrite nihkumiste geomeetriline summa on püsiv (võrdne ringi raadiusega, mille moodustab spindli telg jälgivate jaotussiibrite tasapinnas), siis ka töösilindrite kolbide kiiruste geomeetriline summa (või liikumiskiirus mööda kontuuri) on samuti püsiv ja langeb kokku kombitsa spindli kõrvalekallete suunaga.

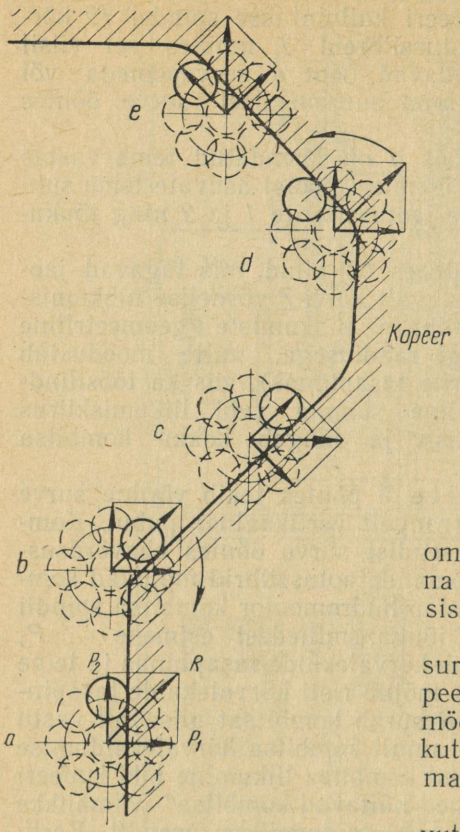
Komandojaotussiibrite *3* õõntes tekib võrdne surve ainult kombitsa *19* keskasendi (rangelt vertikaalne) puhul. Kombitsa kõrvalekalde korral keskasendist surve õõntes ebavõrdsustub, järelikult jõud, milledega komandojaotussiibrid mõjuvad kombitsale, ei ole võrdsed. Seega vastab hüdromootor kombitsa spindli igale kõrvalekaldumisele kahe jõuga, milledest esimene — $P_1$ (alumise poole tõukuritelt) mõjub kõrvalekalde tasapinnas ja teine — $P_2$ (ülemise poole tõukuritelt) mõjub risti kõrvalekalde tasapinnaga. Nende jõudude resultant $R$ surub kombitsat piisavalt vastu kopeeri, tema suund aga oleneb ainult kombitsa kõrvalekaldumise suunast. Joonisel 315 on kujutatud kombitsa liikumine piki kopeeri kontuuri. Kriipsjoonega ringjooned näitavad kombitsa* võimalikke asendeid, pideva joonega ringjooned ta tegelikku asendit. Keskmine ringjoon vastab kombitsa keskasendile — töölaua asendile «стоп» («seis»).

Resultant $R$ on kallutatud kombitsa kaldesuuna suhtes 45°-se nurga alla kopeeri sisse.

Jõud $P_1$ mõjub risti kopeeri kontuuriga ja surub kombitsat vastu kopeeri. Jõud $P_2$ kallutab kombitsat mööda kontuuri ettepoole (asend *a* joonisel 315). Kohas, kus kopeeri profiil suundub paremale, kallutatakse kombitsat jõu $P_2$ mõjul samuti paremale (asend *b*). Uuele asendile vastab jõu $R$ uus suund, kuid kalle 45° all jõudude $R$ ja $P_1$ vahel jääb muutmatuks. Seega jõud $R$ muudab oma suunda paremale (asend *c*) ja edasine kombitsa nihkumine piki kopeeri kaldosa kestab nii nagu asendis *a*. Kohates oma teel kopeeriosa kaldega vasakule, kallutatakse kombitsat kopeeri mõjul vasakule (asend *d*). Jõud $R$ kaldub samuti vasakule, säilitades

---

* Kombitsa asendid on näidatud suurendatud kujul. Kombitsa alumise (jälgiva) otsa tegelikud kõrvalekalded, nagu selgus eespoolt, ei ületa 0,05 mm.




Joon. 315. Kombitsa liikumine piki kopeeri kontuuri

oma muutumatu suuna jõu $P_1$ suuna suhtes (45° nurga all kopeeri sisse, asend *e*).

Seega kopeeri järgi töötamisel surub jõud $P_1$ spindlit vastu kopeeri, aga jõud $P_2$ kallutab teda mööda puutujat piki kopeeri, mis kutsub esile töölaua liikumise samas suunas.

Nihkumiste tagasisidestus saavutatakse sellega, et kopeerlaud on kinnitatud töölauale.

Kraaniga *6* (joon. 314) muudetakse vedeliku liikumissuunda ülemisse poolde, s. t. jõu $P_2$ suunda 180° võrra, muutes sellega liikumissuunda mööda kopeeri kontuuri.

Liikumiskiirust mööda kontuuri, olenevalt jälgivate jaotussiibrite *1* ja *2* summaarsest kõrvalekaldest, määratakse koonuse *9* asendiga ja häälestatakse limbiga *10* (vt. joonist 313, käsiratas *3*). Kiirkäigu sisselülitamiseks mööda kontuuri on magnet *5ЭМ* (lülitatakse sisse vajutades nupule *18*, joon. 313), mis, tõstes koonuse *9* äärmisesse ülemisse asendisse, annab kombitsa spindlile ja järelikult ka jälgivatele jaotussiibritele maksimaalse kõrvalekalde.

Joonisel 314, paremal, on toodud hüdropaneeli ja vertikaalettenihke silindri *16* ning spindlipuki stoperdamissilindri *17* skeem. Hüdropaneelis on kaks jaotussilindrit kolme jaotussiibriga *11*, *12* ja *13*, mida juhitakse nelja elektromagnetiga *1ЭМ, 2ЭМ, 3ЭМ* ja *4ЭМ*, ning kiiruse regulaator *14—15*.

Jaotussiibri *12* ülesandeks on töölaua peatamine surve- ja

väljavooluavade katmise teel, millede kaudu juhitakse õli jälgivatesse jaotussiibritesse *1* ja *2*.

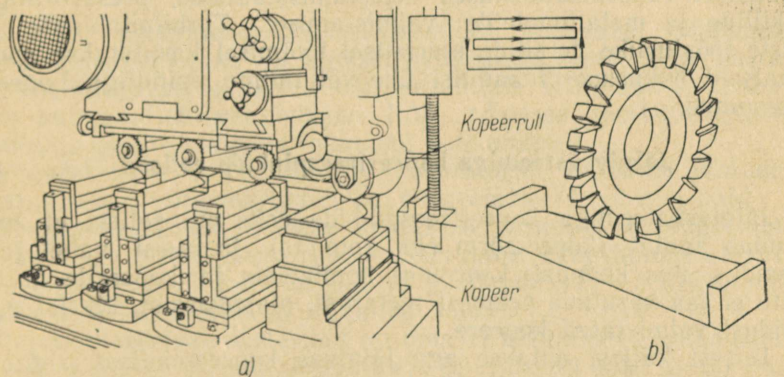
Jaotussiiber *11* juhib nihutamisega ja stoperdamisega spindlipukki. Elektromagneti *1ЭМ* töölerakendumisel liigub spindlipukk üles. Elektromagneti *2ЭМ* töölerakendumisel liigub spindlipukk alla. Spindlipuki allaliikumisel satub õli silindri alumisest õõnest reduktsioonklapi *15* kaudu drosselklappi *14*, mis määrab lõikekiiruse.

Ülemist jagajat *13* nihutava elektromagneti *3ЭМ* sisselülitamisel avatakse õli väljavool, minnes mööda drosselist, millega saavutatakse spindlipuki kiirkäik.

Keerukate pindade, nagu laevakruvid, gaasi- ja auruturbiinide labidad, kaasaegsete lennukite tiivapoortide detailid, töötlemiseks kasutatakse *kolmekoordinaadilisi hüdraulilise jälgivsüsteemiga kopeerfreespinke*, mis töötavad ridahaaval kopeerimise meetodil analoogiliselt elektrokopeerfreespingiga 6441Б. Kolmekoordinaadiline juhtimissüsteem koosneb kahest sõltumatust hüdraulilisest jälgivsüsteemist — kahekoordinaadiline on liikumiseks mööda kopeeri, ühekoordinaadiline perioodiliseks ettenihkeks.

Joonisel 316, *a* on kujutatud turbiinilabidate freesimine kolmespindlilisel hüdrokopeerfreespingil, joonisel 316, *b* — töötlemisskeem.

Viimasel ajal, seoses keerukate ruumiliste detailide laialdase kasutamisega, toodetakse hüdrokopeerfreespinke kuni viie sõltumatu ettenihkega (koordinaadiga).




Joon. 316. Turbiinilabidate freesimine kolmespindlilisel hüdrokopeerfreespingil:
*a* — pingi üldvaade; *b* — töötlemise skeem

## Jälgivsüsteemiga kopeerfreespinkide üldine klassifikatsioon

Peale vaadeldud elektrilise ja hüdraulilise jälgivsüsteemiga kopeerfreespinkide kasutatakse veel teiste jälgivsüsteemidega (vt. lk. 370) varustatud kopeerfreespinke.

Sõltumata ajami ja jälgivsüsteemi iseloomust, jagatakse kõik kopeerfreespingid täidetava töö iseloomu järgi (s. t. tehnoloogiliste tunnuste järgi) kolme gruppi:

1. Ühekoordinaadilised kopeerfreespingid, mis töötavad pideva juhtettenihkega ja muutuva jälgivettenihkega. Need on kõige lihtsamad pingid ja neid kasutatakse lihtsa kujuga lahtiste profiilide töötlemiseks. Tihti on need pingid varustatud hüdraulilise jälgiva kopeerseadisega ja ühe või mõlema ettenihke hüdraulilise ajamiga.

2. Kahekoordinaadilised ehk kontuur-kopeerfreespingid, mis töötavad muutuva juht- ja jälgivettenihkega, saades liikumise kahelt ajamilt, milliseid juhitakse ühe kombitsaga. Need on üsna levinenud pingid ja neid kasutatakse keeruliste lahtiste ja kinniste kontuuridega detailide, nagu lamedad nukid, kettad, kepsud, lõikestantside matriitsid ja templid, töötlemiseks.

3. Kolmekoordinaadilised ehk kolmemõõtmelised kopeerfreespingid, mis töötavad ridahaaval kopeerimise meetodil perioodilise ettenihkega või ettenihkega ümber kontuuri. Kuna seda tüüpi pink võimaldab lahtiste või kinniste kontuuride kahekoordinaadilist töötlemist, analoogiliselt eespool vaadeldud pingiga 6441Б, nimetatakse teda universaal-kopeerfreespingiks. Universaalseid kolmekoordinaadilisi kopeerfreespinke kasutatakse laialdaselt tööriistatööstuses sepistamisstantside, pressvormide, kokillide ja metallmudelite valmistamisel. Turbiinilabidate ja teiste tööstuslike detailide seerialisel tootmisel kasutatakse spetsiaalseid kolmekoordinaadilisi ühe või mitme spindliga kopeerfreespinke.

## Jälgivsüsteemiga kopeerfreespinkide eelised

Jälgivsüsteemiga kopeerfreespinkide eelis on selles, et neil puudub anduri (kopeersõrm ehk kombits) ja freesi vahel jäik ühendus, mis koondab koormuse kombitsale ja kopeerile, mille tõttu ei saa kasutada pehmest metallist, plastmassist, kipsist ega puidust valmistatud kopeere.

Teisest küljest antakse aga jälgivas kopeerseadises signaal freesi nihutamiseks ainult siis, kui tekib erinevus töödeldava tooriku ja kopeeri geomeetrilistes mõõtmetes (s. t. *koordineerimatus* kombitsa ja freesi liikumises). Koordineerimatuse tekkimisel kõrvaldab jälgivsüsteem selle pingi tööreżiimi muutmisega. Uue

režiimi järgi töötab pink seni, kuni tekib uuesti viga — koordineerimatus; koordineerimatus kõrvaldatakse uuesti jne.

Jälgiv kopeerseadis kopeerfreespinkides võimaldab keerukate detailide valmistamisel saavutada suurt tootlikkust, täpsust ja pinnasiledust. Tänu vajaliku profiili automaatsele saamisele kergeneb töölise töö tunduvalt.

Käesoleval ajal kasutatakse jälgivsüsteemiga kopeerfreespinke laialdaselt nii suur- kui ka väikeseeriatootmisel.

## Põhimõisteid programmjuhtimisega freespinkidest

Detailide tootmiseks kopeerfreespinkidel tuleb eelnevalt valmistada kopeerid, millede valmistamine on küllaltki kulukas. Seepärast, asendades kopeeri kui juhtlüli magnet- või perfolindile salvestatud programmiga (isegi siis, kui kasutada selleks hinnalisi elektronarvuteid), võib saada tunduvat ökonoomiat nii materjalis kui ajas, mis on eriti tähtis uute toodete tootmise ettevalmistamisel.

Programmjuhtimist võib vaadelda kui kopeerjuhtimist, kus töödeldava pinnaga sarnase kopeeri asemel kasutatakse mingisuguseid programmi füüsikalisi salvestuselemente, milledes detaili kuju, õigemini täpne informatsioon detaili kujust, säilitatakse kodeerituna.

Lihtsaimates programmjuhtimissüsteemides koostatakse programm pingi liikumiste salvestamise teel salvestuselemendile esimese detaili käsitsi töötlemisel. Kõige sagedamini salvestatakse programm magnetlindile samadelt nihkumiste anduritelt, milliseid hiljem kasutatakse programmi reprodutseerimise kontrollimiseks.

Teistes programmjuhtimissüsteemides kantakse töötlemise lähtedokument joonise või lihtsalt numbritega tabeli kujul vastavate koodidega perfokaardile või perfolindile, mille abil ta suunatakse automaatjuhtimissüsteemi. Kõik edasised töötlemisoperatsioonid ja pingi juhtimine toimuvad automaatselt.

Programmide valmistamiseks kasutatakse enamikel juhtudel spetsiaalseid arvutusmasinaid, nn. programmeerivaid masinaid.

Programmjuhtimissüsteemi teiseks iseärasuseks on programmi täielikult automatiseeritud reprodutseerimine. Programmis salvestatakse peale detaili kuju ka kõik pingi liikumised — pealiikumine ja kõik abiliikumised ning signalisatsioon.

Reprodutseerivad süsteemid on oma struktuurilt ja omadustelt lähedased kopeerjuhtimissüsteemidele ja erinevad neist ainult oma juhtosa poolest, sest juhtimine ei toimu mitte kopeerilt, vaid kodeeritud programmi järgi programmi salvestuselemendilt.

Käesolevas raamatus freespinkide programmjuhtimissüsteeme ei vaadelda. Programmjuhtimisega freespinkidega lähemaks tut-

vumiseks soovitatakse kasutada raamatuid: Г. А. Шаумян «Программное управление металлорежущими станками». Профтехиздат, 1962; С. В. Аврутин «Рациональная работа фрезеровщика», Машгиз, 1962.

### Kontrollküsimusi

1. Millisteks töödeks kasutatakse kopeerfreespinke?
2. Milles seisneb kopeerfreespinkide tööpõhimõte?
3. Milliseid ilma jälgivsüsteemita kopeerfreespinke te teate või milliseid te olete kohanud tsehhis töötamas?
4. Jutustage pantograafi tööpõhimõttest. Millisteks töödeks soovitatakse kasutada pantograafiga kopeerfreespinke?
5. Kuidas saab vähendada kombitsa survet kopeerile?
6. Milliseid jälgivsüsteemiga kopeerfreespinke te teate kirjandusest või töö järgi tsehhist?
7. Millisest materjalist valmistatakse kopeer ilma jälgivsüsteemita kopeerfreespingile?
8. Milline on kombitsa kuju kontuurfreesimisel? Sama ruumilisel freesimisel.
9. Millist tüüpi freese kasutatakse kontuurfreesimisel? Sama ruumilisel freesimisel.
10. Koostage kõverjoonelise kontuuri freesimise skeem ja näidake, kuidas moodustuvad juht- ja jälgivettenihe.
11. Kas juhtettenihe kontuuri freesimisel peab olema alati püsiv?
12. Jutustage ühekoordinaadilise kopeerfreespingi jälgivsüsteemi tööpõhimõttest.
13. Jutustage kahekoordinaadilise kopeerfreespingi jälgivsüsteemi tööpõhimõttest.
14. Kuidas töödeldakse kopeerfreespinkidel ruumilisi pindu?
15. Milliseid kopeerfreespinkide elektrilisi juhtimissüsteeme te teate?

## XXIV PEATÜKK
# FREESPINKIDE EKSPLUATEERIMINE

## § 70. MODERNISEERIMINE JA RAKISED KIIRFREESIMISEKS

### Nõuded pinkidele kiirfreesimisel

Kiirfreesimisel rakendatakse tavalise freesimisega võrreldes kõrgendatud lõikekiirust ja sellepärast nõuab kiirfreesimine lõikamiseks tunduvalt suuremat võimsust. Sellepärast peavad kiirfreesimiseks kasutatavad pingid omama spindli suurendatud pöörete arvu, suurendatud minutilist ettenihet ja suurendatud võimsusega elektrimootorit.

Kiirfreesimiseks kasutatavate freespinkide konstruktsioon peab

tagama pingi jäikuse, kuna suure lõikekiirusega töötamisel suureneb vibratsiooni tekkimise oht. Erilist tähelepanu tuleb pöörata spindli, ta tugede, konsooli ja töölaua jäikusele.

Freesi püsivuse suurendamiseks ja kõvasulamist hammaste nürinemisest hoidumiseks peab olema võimatu spindli pöörlemist varem välja lülitada kui ettenihet. On soovitav, et ettenihete kasti mehhanismis oleks kaitseseadeldis, mis tagaks ülekoormuse korral ettenihke väljalülitamise, kui spindel pöörleb.

Freesi sujuvaks töötamiseks on soovitav pingi spindel või freestorn varustada hoorattaga, sest kõvasulamist hammastega freesi suure sammu tõttu kõigub lõikejõud järsult. Hooratta paigaldamisel tuleb ette näha ka pidurdamise võimalus.

Kiirfreesimisel ettenihke suunas (töötamisel ketas- või silinderfreesiga) tuleb töölaua ettenihkemehhanism mutri ja käigukruvi vahelise lõtku kõrvaldamiseks varustada kompenseeriva seadeldisega.

Kiirfreesimiseks kasutatavad pingid peavad olema varustatud kaitseseadeldisega, et kaitsta töölist lendavate laastude eest ja laastude eemaldamisel pingi töötamise ajal.

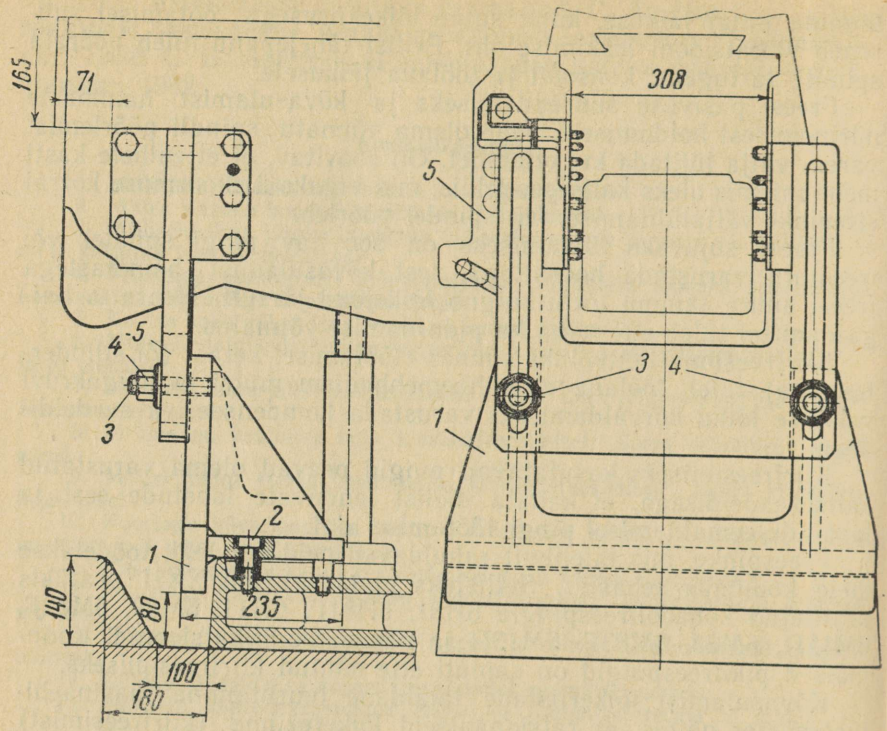
Freespinke, mis täielikult rahuldavad neid nõudeid, toodetakse meie kodumaa tehastes. Sellisteks pinkideks on XXII peatükis käsitletud konsoolfreespingid 6H81, 6H81Г, 6H11, 6M82, 6M82Г, 6M12П, 6M83, 6M83Г, 6M13П ja nende modifikatsioonid. Kodumaised pikifreespingid on samuti ette nähtud kiirfreesimiseks.

Kõvasulamist lõikeriistade laialdane juurutamine masinaehitustehastes näitas, et ratsionaalseid lõikerežiime (kiirfreesimist) on võimalik rakendada suuremal osal varemate väljalasete freespinkidel, real juhtudel praktiliselt ilma moderniseerimiseta, enamikel juhtudel nende väikese moderniseerimisega.

### Näiteid kodumaiste freespinkide moderniseerimisest

Konsool on jäikuse poolest pingi kõige nõrgemaks lüliks. Konsooli jäikust suurendatakse juhtpindadel olevate pingutusseadiste abil. Kui taolised pingutusseadised puuduvad, tuleb nad paigaldada pingi moderniseerimisel. Suurema jäikuse tagamiseks ühendatakse konsool pingi alusega täiendavate tugijalgade abil, mis oma konstruktsioonilt on väga mitmesugused.

Joonisel 317 on kujutatud Leningradi Kirovi-nimelises tehases kasutatava täiendava tugijala üldvaade freespinkidele 6Б12 või 6Г82. Tugijalg koosneb pingi konsooli külge poltidega kinnitatud plaadist *5* ja nurgikust *1*, mis on pingi aluse külge kinnitatud kaheksa kruviga *2*. Plaat *5* kinnitatakse nurgikule *1* kahe poldiga *3* ja mutritega *4*, millised konsooli kõrguse seadmisel peavad olema vabastatud. Mutrite *4* kinnitõmbamisel tagatakse konsooli jäik ühendus pingi alusega.




Joon. 317. Tugijalg konsoolfreespingile 6Г82

Täiendava tugijala kasutamine tõstab tunduvalt pingi jäikust ja võimaldab olemasolevaid konsoolfreespinke kasutada raskemateks töödeks.

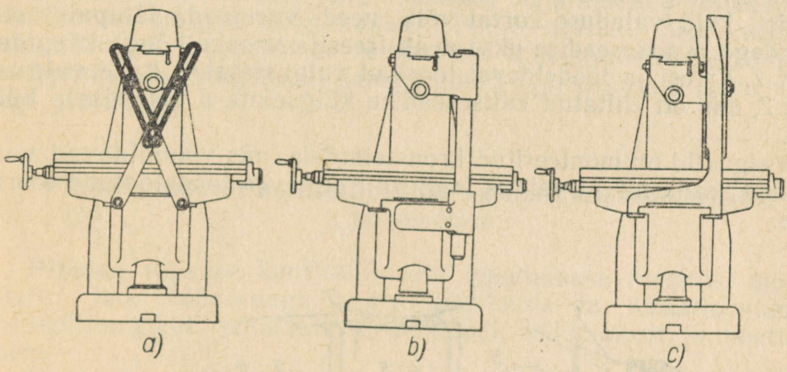
Ülatala mõjutab pingi jäikust. Jäikuse suurendamiseks kasutatakse täiendavaid tugesid (joon. 318), mis seovad ülatala konsooliga. Tavalised laialikäivad toed, mis kuuluvad pingi juurde, suurendavad ülatala jäikust, seepärast tuleb esmajärjekorras püüda kasutada standardseid tugesid, aga kui need ei taga antud tööks küllaldast jäikust, tuleb kasutada täiendavaid ühendusi (joon. 318, *b* ja *c*).

Hooratta ülesseadmine freespinkide moderniseerimisel on tähtsaimaks abinõuks kõvasulamist lõikehammaste nürinemise kaitseks ja vibratsiooni kõrvaldamiseks. Leningradi Kirovi-nimelises tehases on kõik freespingid, milledel rakendatakse kiirfreesimist, varustatud 360 mm läbimõõduga ja 90 mm laiusega terasest 45 valmistatud hooratastega; sellise hooratta kaal on ligikaudu 40 kg. Töötades freeside komplektiga horisontaalfreespinkidel, on

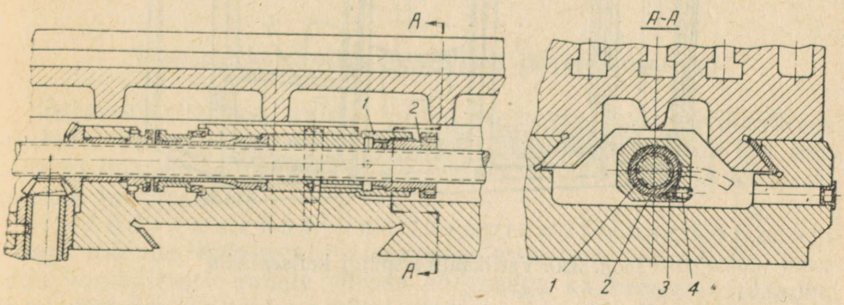
hooratas monteeritud freestornile, mitte spindlile. Freespinkidel 6H81, 6H81Г, 6H11 on hooratas kinnitatud spindlile.

Kompenseeriv mutter töölaua pikiettenihkekruvi lõtku reguleerimiseks omab suurt tähtsust töölaua ühtlase ettenihke tagamisel. Kõikidele konsoolfreespinkidele, mis viiakse üle kiirfreesimisele, tuleb monteerida kompenseeriv mutter. Tehastes kasutatakse edukalt ЭНИМС poolt soovitatud kompenseeriva mutri konstruktsiooni (joon. 319). Käigukruvi on varustatud pika mutriga *1*, mis on pressitud pingi töölaua sisse.

Pika mutri *1* keresse ja ühtlasi käigukruvile on keeratud kompenseeriv mutter *2*. Mutri *2* otsa on puuritud kaheksa 6 mm läbimõõduga auku otsvõtmele. Pöörates võtme abil kompenseerivat mutrit *2*, nihutab viimane mutrit *1*, millega reguleeritakse mutri ja käigukruvi vahelist lõtku. Pärast väljareguleerimist fikseeritakse kompenseeriv mutter vahetükiga *3* kruvi *4* abil.




Joon. 318. Ülatala sidumine konsooliga:
*a* — tavalised toed; *b* — silindriline tugi; *c* — figuurne tugi



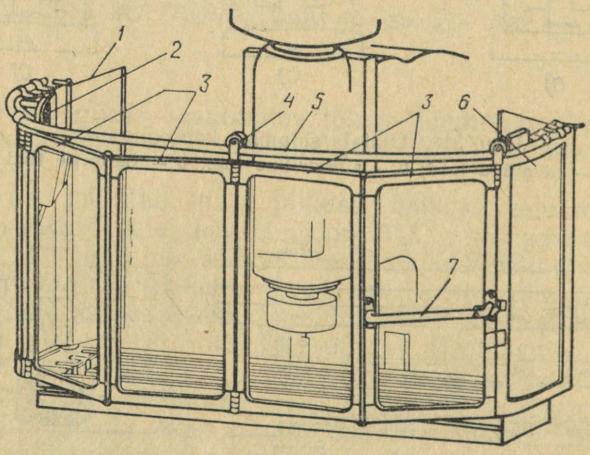

Joon. 319. Töölaua pikiettenihkekruvi kompenseeriv mutter

Kiirfreesimisega kaasneb rikkalik kuumade laastude eemalelendamine, mis on freesijale ohtlik. Teraste kiirfreesimisel eemalduv laast ei ole nii tihedalt keerdus kui tavalisel freesimisel. Seetõttu omab kaalult ühesugune laastude hulk kiirfreesimisel tunduvalt suuremat mahtu kui tavalisel freesimisel.

Kaitseks laastude eest peavad kiirfreespingid olema varustatud kaitseseadisega. Kaitseseadiseid on väga mitmesuguse konstruktsiooniga. Joonisel 320 on toodud Leningradi Töökaitse Instituudi ВЦСПС ja Kirovi-nimelise tehase töötajate poolt ühiselt esitatud ja tootmisse juurutatud vertikaalfreespingi kaitseseadise üldvaade.

Kaitseseadise esiosa koosneb neljast kokkupandavast kilbist *3*, mis on nihutatavad kahel ülemisel rullil *4* mööda ümmarguse ristlõikega juhtteed *5*. Kilpide aknad on valmistatud orgaanilisest klaasist. Külgseinad *6* ja tagumine kilp *1* on valmistatud terasplekist, kuid vajaduse korral võib need varustada läbipaistvate akendega. Kaitseseadise ukse avab freesija vasaku käega käepidemest *7*. Freesi ja töödeldavat toorikut valgustatakse kahe valgustiga *2*, mis on ehitatud kaitseseadise külgseinte *6* sisemisele küljele.

Valgustid on monteeritud kronsteinidele, mis võimaldavad valgusteid seada nii, et valgus langeks freesile ja töödeldavale toorikule.




Joon. 320. Vertikaalfreespingi kaitseseadis

## § 71. FREESPINKIDE TÄPSUSE KONTROLL

### Mõisteid täpsusnormidest

Iga pingi detailid valmistatakse mehaanilisel töötlemisel paratamatute hälvetega, mille tulemusena on võimatu pingi absoluutselt täpne töötamine. Freespingi ebatäpsused põhjustavad freespingil töödeldavate detailide ebatäpsusi.

Tolerantside ja istude süsteemiga ettenähtud hälvete tagamiseks antud mõõtmetest on freespinkide ebatäpsused reglementeeritud täpsusnormidega.

Käesoleval ajal on NSV Liidus kehtestatud täpsusnormid uutele üldotstarbelistele konsoolfreespinkidele (ГОСТ 13-54), millised tagavad töötlemistäpsuse teise täpsusklassi järgi, ja täpsusnormid kõrgendatud täpsusega pinkidele (ГОСТ 154-41 ja 155-41).

Sedamööda, kuidas pingi detailid tööprotsessis kuluvad ja vananevad, langeb pingi täpsus. Pingi täpsus taastatakse ta remontimisel, seepärast on remonditud üldotstarbelistele konsoolfreespinkidele kehtestatud samasugused täpsusnormid nagu uutelegi pinkidele.

### Pinkide täpsuse kontrollimiseks kasutatavad mõõteriistad ja seadised

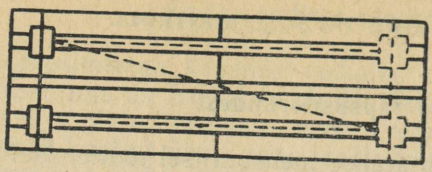
Pinkide täpsuse kontrollimiseks kasutatakse järgmisi mõõteriistu: laia tööpinnaga kontrolljoonlauda ja lekaaljoonlauda, kontrollnurgikut, pilukaliibrit, vesiloodi, indikaatorit ja kontrolltorne.

Kontrolltorni üks ots on kooniline, mis vastab kontrollitava pingi spindlipesa koonusele, teine ots on silindriline. Kontrolltornid valmistatakse läbimõõduga 25, 40 ja 60 mm ja silindrilise osa pikkusega vastavalt 150, 300 ja 500 mm.

### Täpsuse kontrollimise näiteid ja täpsusnormid

Allpool esitatakse mõned näited horisontaal- ja vertikaalfreespinkide täpsuse kontrollimise kohta, mida peab oskama iga freesija, et õigeaegselt avastada pingi rikkeid, mis mõjuvad töö kvaliteedile ja täpsusele.

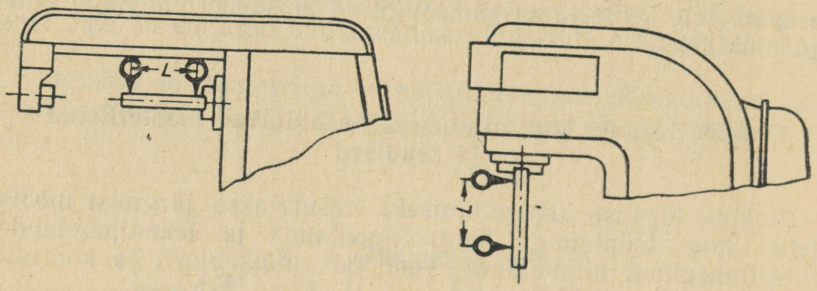
1. Töölaua tööpinna tasapinnalisuse kontroll. Pingi töölaua tööpinnale asetatakse erinevates suundades joonlaua kontrollserv kahele võrdse kõrgusega kalibreeritud plaadile. Pilukaliibriga ja pikkusmõõtplaatidega (tasaparalleelsed otsmõõdud) kontrollitakse joonlaua alumise serva ja töölaua tööpinna



Skeem 1

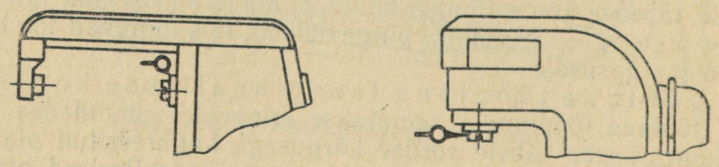
vahelist valguspilu. *Lubatud hälve:* mittetasapinnalisus meelevaldses suunas 1000 mm pikkusel mitte üle 0,03 mm (lubatakse ainult nõgusus).

2. Spindli koonilise ava radiaalviskumise kontroll. Kontrolltorn asetatakse koonilise sabaga pingi spindli koonilisse pessa. Indikaator kinnitatakse pingi liikumatu osa külge nii, et ta mõõtevarva ots puudutaks kontrolltorni silindrilist pinda. Spindel pannakse pöörlema. Mõõtmine toimub spindli otsa juures ja spindli otsast kaugusel *L*. *Lubatud hälve:* radiaalviskumine spindli otsa juures mitte üle 0,010 mm; esimese, teise ja kolmanda mõõtmegamma pinkidel spindli otsast kaugusel $L = 300$ mm mitte üle 0,02 mm.



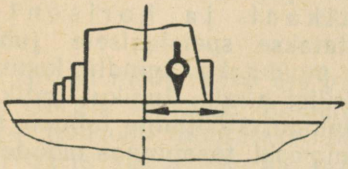
Skeem 2

3. Spindli esiotsa välise silindrilise baaspinna radiaalviskumise kontroll. Indikaator kinnitatakse pingi liikumatu osa külge nii, et ta mõõtevarva ots puudutaks spindli esiotsa välist silindrilist baaspinda, s. t. kohta, mis tsentreerib silindrilise baasavaga freese. Spindel pannakse pöörlema. *Lubatud hälve:* esimese, teise ja kõrgema mõõtmegamma pinkidel lubatud radiaalviskumine mitte üle 0,015 mm.

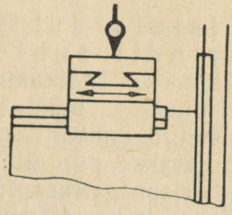


Skeem 3

4. Töölaua tööpinna paralleelsuse kontroll pikiettenihkega. Indikaator kinnitatakse pingi liikumatu osa külge nii, et ta mõõtevarva ots puudutaks töölaua tööpinda. Töölauda nihutatakse pikisuunas kogu käigupikkuse ulatuses. Konsool ja ristkelk on stoperdatud. *Lubatud hälbed* töölaua kogu käigupikkuse ulatuses: käigupikkusel kuni 300 mm — 0,015 mm; kuni 500 mm — 0,020 mm; kuni 1000 mm — 0,030 mm.



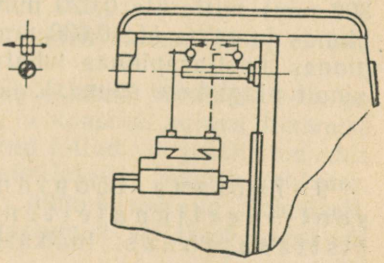
Skeem 4



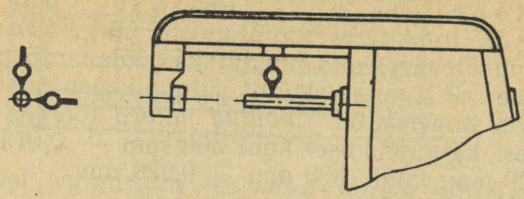
Skeem 5

5. Töölaua tööpinna paralleelsuse kontroll ristettenihkega. Indikaator kinnitatakse pingi liikumatu osa külge nii, et mõõtevarva ots puudutaks töölaua tööpinda. Töölauda nihutatakse ristsuunas kogu käigupikkuse ulatuses. Konsool on stoperdatud. *Lubatud hälbed* töölaua kogu käigupikkuse ulatuses: käigupikkusel kuni 300 mm — 0,020 mm; kuni 500 mm — 0,030 mm (töölaud võib omada hälvet ainult kere suhtes).

6. Spindli telje paralleelsuse kontroll töölaua tööpinna suhtes. Spindli koonilisse pessa asetatakse kontrolltorn. Mõõdetakse indikaatoriga; indikaatori statiivi alust nihutatakse mööda töölaua tööpinda risti kontrolltorni teljega selliselt, et mõõtevarva ots puudutaks kontrolltorni silindrilist pinda alt või pealt, algul spindli otsa juures ja siis spindli otsast kaugusel *L*. Iga mõõtmist teostatakse kontrolltorni kahe diametraalse külje järgi, s. t. pärast esimest mõõtmist pööratakse spindlit koos kontrolltorniga 180° võrra. Iga mõõtmise hälve määratakse kontrolltorni mõlema diametraalse külje mõõtetulemuse aritmeetilise keskmisena. Mõõtmine viiakse läbi töölaua ülemise ja alumise asendi juures, kus-juures konsool ja ristkelk stoperdatakse. *Lubatud hälve*: mitteparalleelsus pikkusel 300 mm pinkidele töölaua laiusega üle 160 mm mitte üle 0,03 mm (kontrolltorni vaba ots võib kalduda ainult alla).



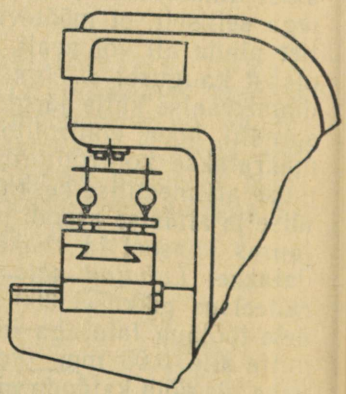
Skeem 6



Skeem 7

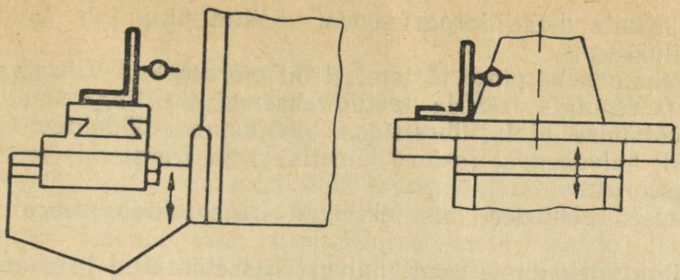
7. Ülatala juhtpindade paralleelsuse kontroll spindli suhtes vertikaal- ja horisontaaltasapinnas. Indikaator kinnitatakse spetsiaalsele juhikule ülatalal nii, et ta mõõtevarva ots puudutaks spindli koonilisse pessa pistetud kontrolltorni silindrilist pinda. Juhikut indikaatoriga nihutatakse piki ülatala juhtpindu. Mõõtmine toimub vertikaal- ja horisontaaltasapinnas. Kummaski tasapinnas mõõdetakse kontrolltorni kahe diametraalse külje järgi; selleks pööratakse spindlit pärast esimest mõõtmist 180° võrra. Hälve määratakse mõlema mõõtetulemuse aritmeetilise keskmisena. *Lubatud hälve:* mitteparalleelsus pikkusel 300 mm pinkidel töölaua laiusega üle 160 mm nii vertikaal- kui ka horisontaaltasapinnas mitte üle 0,025 mm.

8. Spindli pöördetelje perpendikulaarsuse kontroll töölaua tööpinna suhtes. Spindlile kinnitatakse spetsiaalne põlvtorn indikaatoriga, mille mõõtevarva ots puudutab töölaua tööpinda. Mõõtmisel pööratakse spindlit koos indikaatoriga 360°. Kontrollimisel on konsool ja ristkelk stoperdatud. Iga mõõtmist teostatakse indikaatori kahes asendis, mis on spindli suhtes 180° võrra nihutatud. Iga mõõtmise hälve määratakse mõlema mõõtetulemuse aritmeetilise keskmisena. Mõõdetakse nii töölaua kui ka spindli (pinkidel, millede spindlipukk on vertikaalsuunas nihutatav) ülemises ja alumises asendis. Pööratava spindlipukiga pinkidel seatakse spindlipukk nullasendisse. *Lubatud hälve*: mitteristseis (pinkidele töölaua laiusega üle 160 mm läbimõõdule 300 mm) mitte üle 0,020 mm pikitasapinnas ja mitte üle 0,030 mm risttasapinnas (risttasapinnas lubatakse kalle ainult pingi kere suunas).



Skeem 8

9. Töölaua tööpinna ristseisu kontroll konsooli vertikaalettenihke suuna suhtes piki- ja risttasapinnas. Indikaator kinnitatakse pingi liikumatu osa



Skeem 9

külge nii, et mõõtevarva ots puudutaks nurgiku vertikaalset tööserva. Nurgik seatakse töölauale üles piki töölauda või risti töölauaga. Konsooli nihutatakse piki kere juhtpindu. *Lubatud hälve:* mitteristseis (pinkidele töölaua laiusega üle 160 mm pikkusele 300 mm) mitte üle 0,020 mm mööda töölaua pikitelge ja mitte üle 0,030 mm mööda töölaua risttelge (pikitasapinnas võib hälve olla mõlemale poole, aga risttasapinnas võib nurgiku ots kalduda ainult pingi kere poole).

## § 72. FREESPINKIDE EKSPLUATEERIMISEST

### Pingi vigade kindlakstegemine

Pingi ekspluateerimisele avaldab mõju pingi üldine seisukord ja ta üksikute mehhanismide korrasolek. Sellepärast on vaja osata kindlaks määrata pingi vigu ja neid õigeaegselt kõrvaldada, mis aitab tõsta tööviljakust.

Igal pingil on väike «*surnud käik*» (*lõtk* kruvipaaris). Seepärast tuleb täpse töö korral surnud käigu reguleerimiseks töölaua ettenihkekruvi käepidet pöörata alati ühes suunas (vt. joon. 91).

Surnud käiku töölaua liikumistes määratakse käsiettenihke käepideme pööramisega. Kui käepideme pöörde teatava osa vältel töölaud ei nihku edasi, siis see tähendab, et ülekandes on surnud käik. Kui surnud käik ületab käepideme pöördest $^1/_8$, tuleb sellest teatada meistrile.

Kui töölaua pikiettenihke mutris esineb surnud käik, ei tohi freesida ettenihke suunas.

Järgmine viga, mida freesija peab oskama kindlaks teha, on *kiilude kulumine.* Töölaua, ristkelgu ja konsooli sujuva liikumise tagavad spetsiaalsed, hästi kaabitsetud kiilud või juhtliistud, mis pingi ekspluateerimisel kuluvad ebaühtlaselt. Nendes kohtades, kus juhtliistud on rohkem kulunud, nihkub töölaud tõukeliselt, mis põhjustab töödeldava pinna vigastumist või isegi freesi või

pingi üksikute detailide purunemist. Kiilud pingutab tavaliselt remondilukksepp.

Suureks paheks pingi töötamisel on *vibratsioon*. Vibratsioonid võivad freespingis tekkida teatud ebasoodsate tingimuste tõttu pingi töötamise ajal. Vibratsioon põhjustab töödeldava pinna kvaliteedi halvenemist (esineb lainelisus) ja freesi püsivuse tunduva languse.

Peamised põhjused, mis tekitavad freespinkides vibratsiooni, on:

a) pingi ülekannete vead (halvasti sissetöötatud ja ebatäpselt valmistatud hammasrattad), lohakalt õmmeldud rihmad, valesti üles seatud elektrimootor;

b) katkendliku iseloomuga lõikamine sirgete ja väheste hammastega freesidega;

c) ülekoormus või pingi mitteküllaldane jäikus;

d) pingi vundamendi mitteküllaldane stabiilsus.

Põhitingimused, mida esitatakse alusele, millele pink üles seatakse, on massiivsus ja jäikus. Parimaks aluseks on individuaalne vundament või betoonplaat. Pingi ülesseadmisel tuleb pingi alla valada tsementitainast, et tagada pingi malmplaadi tihedat liibumist vastu alust tugipinna kõikides punktides. Jäikuse tõstmiseks ja löögilise koormuse puhul tekkiva vibratsiooni summutamiseks on soovitav ühendada pink alusega vundamendipoltide abil. Kui freespink seatakse üles korrustevahelisele vahelaele, on soovitav ta paigaldada tala kohale, seina äärde või samba juurde.

Kui freesimisel tekivad vibratsioonid, tuleb sellest viivitamatult teatada meistrile.

## Proovimine tühikäigul

Et kindlaks teha pingi seisukorda, tuleb pinki vahetuse algul proovida tühikäigul. Enne proovimist vaadatakse väljalülitatud pink üle. Ülevaatusel kontrollitakse käsitsi kõikide liikuvate sõlmede ja käepidemete liikumise kergust, käsirataste käepidemete ja kruvide surnud käiku, rihmade pingust, õli hulka, õliavade ja niplite seisukorda, jahutusvedeliku olemasolu.

Pingi proovimisel tühikäigul peavad ta kõik mehhanismid, sealhulgas kiiruste ja ettenihete kasti hammasrattad, töötama sujuvalt ja rahulikult kõikides astmetes (ilma löökideta, kinnikiilumiseta ja ülekuumenemiseta).

Töötamise ajal ei tohi spindlisõlme laagrite normaalne temperatuur tõusta liugelaagrite puhul üle 60° ja veerelaagrite puhul üle 70°. Kõigi teiste mehhanismide laagrite temperatuur ei tohi tõusta üle 50°.

Õli tuleb ette anda töötavate pindade kõikidesse punktidesse, mis on näidatud pingi instruktsioonis. Õli ei tohi välja tilkuda ega laiali pritsida.

## Kaitsmine laastude eest

Pink tuleb hoolikalt puhastada mustusest ja laastudest; erilist tähelepanu tuleb pöörata juhtpindade puhtusele. Kaitseks laastude eest soovitatakse ristkelgu ja konsooli juhtpinnad varustada vildiga kaetud kaitsekatetega.

Kaitseseadised takistavad küll laastude laialilendamist, kuid ei kogu neid töölaual kokku. Laastude koristamisel võib esineda tööõnnetusi. Kaasaegsete masinaehitustehaste suurte tsehhide jaoks on välja töötatud laastude mehaanilise koristamise meetodid.

### Kontrollküsimusi

1. Millised nõuded esitab kiirfreesimine pinkide konstruktsioonile?
2. Kuidas tõsta tavaliste freespinkide konsooli jäikust?
3. Kuidas ühendatakse pingi ülatala konsooliga jäikuse tõstmiseks?
4. Milleks varustatakse kiirfreesimisel spindel või freestorn hoorattaga?
5. Kuidas kõrvaldada lõtku töölaua pikiettenihke mutris?
6. Milliseid abinõusid kasutatakse laastude laialilendamise vastu kiirfreesimisel?
7. Milliseid pingi täpsuse kontrollimise võtteid te teate?
8. Kuidas kontrollitakse pingi spindli radiaalviskumist? Kuidas kontrollitakse töölaua tööpinna paralleelsust ta juhtpindadega?
9. Milles seisneb pingi proovimine tühikäigul?
10. Kuidas teha kindlaks töölaua kiilude pingutamise vajadus?
11. Kuidas kõrvaldada või vähendada vibratsiooni freesimisel?
12. Milliseid abinõusid tuleb kasutada töölaua käigukruvi ja mutri vahelise lõtku kõrvaldamiseks?

KUUES OSA

# LÕIKETEOORIA ALUSED FREESIMISEL

XXV PEATÜKK

## JÕUD FREESIMISEL

### § 73. MAHALÕIGATAVA KIHI ELEMENDID

#### Laastu kuju silinderfreesiga freesimisel

Silinderfreesiga freesimisel* (joon. 321) freesi hammas lõikab maha konksukujulise metallikihi, mille ristlõige meenutab koma. Äralõigatav materjalikiht ehk lõigend (joonisel 321 viirutatud), mis on piiratud kahe kaarega (kaarte raadiuste pikkuseks on pool freesi läbimõõtu), omab muutuva paksuse. Ettenihkele vastu freesimisel (joon. 321, *a*) on lõigendi paksus freesi hamba sisselõikumise hetkel (punktis *A*) minimaalne ja freesi hamba väljumise hetkel (punktis *B*) — maksimaalne. Freesimisel ettenihke suunas (joon. 321, *b*) on lõigendi paksus hamba sisselõikumise hetkel (punktis *B*) maksimaalne ja hamba väljumise hetkel (punktis *A*) — minimaalne.

Kesknurka, mille moodustavad freesi tsentrist hamba sisenemise ja väljumise punktidesse tõmmatud raadiused, nimetatakse *kontaktnurgaks* $\Psi$.

Kontaktnurk $\Psi$ oleneb freesi läbimõõdust $D$ ja freesimissügavusest $t$. Ta määratakse täisnurksest kolmnurgast $OB_1D$:

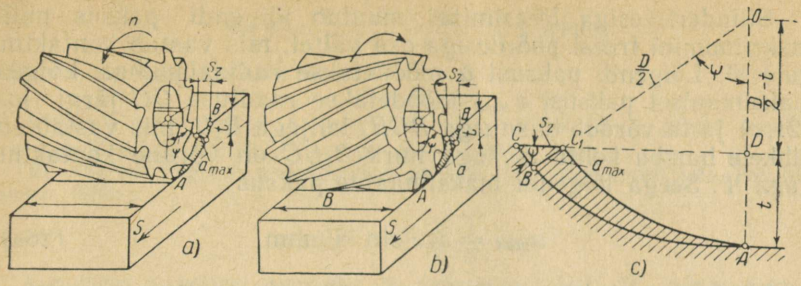
$$OD = OB_1 \cos \Psi \text{ või } \frac{D}{2} - t = \frac{D}{2} \cos \Psi,$$

kust

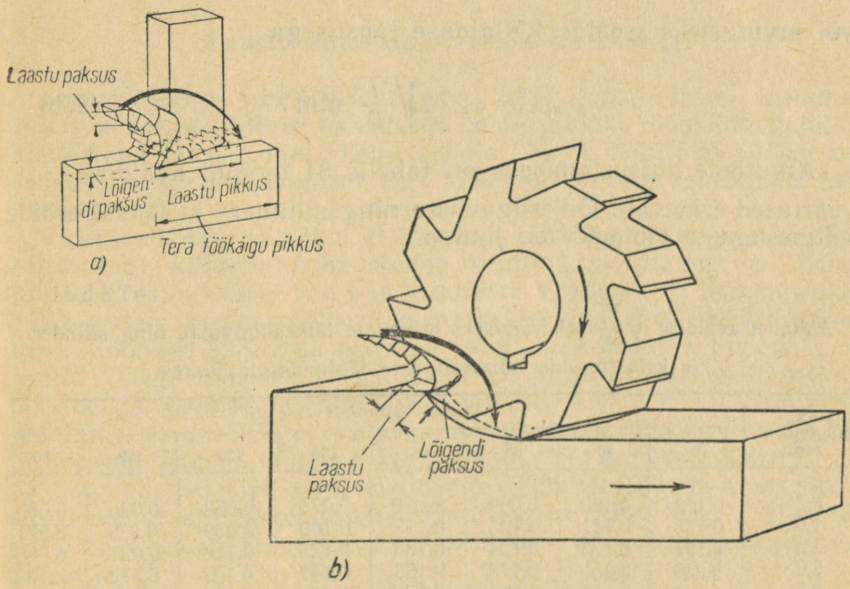
$$\cos \Psi = \frac{\frac{D}{2} - t}{\frac{D}{2}} = \frac{D - 2t}{D}. \qquad (25)$$

Äralõigatav metallikiht *deformeerub* laastuks muutudes, s. t. laastu mõõtmed erinevad lõigendi mõõtmetest: laastu pikkus kahaneb, paksus aga suureneb.

* See freesimisskeem kehtib ka ketas-, kuju- ja mahalõikefreesidega töötamisel, samuti otsfreesiga freesimisel, kui frees töötab silindrilise pinnaga.




Joon. 321. Silinderfreesiga freesimine:
*a* — ettenihkele vastu freesimine; *b* — ettenihke suunas freesimine; *c* — lõigendi ristlõige




Joon. 322. Laastu kahanemine:
*a* — hööveldamisel; *b* — freesimisel

Joonisel 322, *a* on näidatud laastu kahanemine hööveldamisel: laastu pikkus on väiksem tera töökäigu pikkusest, laastu paksus on aga suurem lõigendi paksusest. Joonisel 322, *b* on näidatud laastu kahanemine freesimisel, laastu paksus on suurem lõigendi paksusest.

Arvutuste juures laastu kahanemist ei arvestata ja laastu paksus freesimisel loetakse võrdseks lõigendi paksusega.

Silinderfreesiga freesimisel muutub lõigendi paksus nullist maksimumini freesi pöörde iga osa vältel, mis vastab kontaktnurgale $\Psi$. Lõigendi paksust $a$ mõõdetakse radiaalsuunas. Lõigendi maksimaalset paksust $a_{max}$ mõõdetakse raadiuse $OC$ järgi (joon. 321, *c*) ja ta võrdub täisnurga $BCB_1$ küljega $B_1C$, mis vastab ettenihkele hamba kohta $s_z$, aga nurk $B_1BC$ on võrdne kontaktnurgaga $\Psi$. Seega lõigendi maksimaalne paksus

$$a_{max} = s_z \cdot \sin \Psi \text{ mm}. \qquad (26a)$$

Lõigendi maksimaalse paksuse määramiseks ilma trigonomeetriata kasutatakse valemit

$$a_{max} = s_z \cdot 2\sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}} \text{ mm}$$

või arvutusteks tsehhis küllaldase täpsusega

$$a_{max} = s_z \cdot 2\sqrt{\frac{t}{D}} \text{ mm}. \qquad (26b)$$

Arvutuste lihtsustamiseks on tabelis 31 toodud avaldise väärtused erinevate lõikesügavuste ning silinder- ja ketasfreeside mitmesuguste läbimõõtude juures.

Tabel 31

**Abitabel avaldise $\sqrt{\frac{t}{D}}$ määramiseks erinevate lõikesügavuste ning silinder- ja ketasfreeside mitmesuguste läbimõõtude juures**

| Lõikesügavus $t$ mm | Freesi läbimõõt $D$ mm | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 40 | 50 | 63 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 |
| 0,5 | 0,112 | 0,100 | 0,089 | 0,079 | 0,071 | 0,063 | 0,056 | 0,050 |
| 1,0 | 0,158 | 0,141 | 0,126 | 0,112 | 0,100 | 0,089 | 0,079 | 0,071 |
| 1,5 | 0,194 | 0,173 | 0,154 | 0,136 | 0,123 | 0,110 | 0,097 | 0,086 |
| 2,0 | 0,230 | 0,200 | 0,178 | 0,158 | 0,141 | 0,127 | 0,112 | 0,100 |
| 2,5 | | 0,230 | 0,199 | 0,177 | 0,158 | 0,141 | 0,125 | 0,112 |
| 3,0 | | | 0,218 | 0,194 | 0,173 | 0,155 | 0,137 | 0,122 |
| 4,0 | | | 0,252 | 0,224 | 0,200 | 0,179 | 0,158 | 0,141 |
| 5,0 | | | 0,282 | 0,250 | 0,224 | 0,200 | 0,177 | 0,158 |
| 6,0 | | | | 0,274 | 0,245 | 0,219 | 0,194 | 0,173 |
| 8,0 | | | | | 0,283 | 0,254 | 0,224 | 0,200 |
| 10,0 | | | | | | 0,283 | 0,250 | 0,224 |

Näide 17. Silinderfreesi läbimõõt $D = 63$ mm; hammaste arv $z = 14$; lõikesügavus $t = 5$ mm; freesimislaius $B = 50$ mm; ettenihe $s_z = 0{,}06$ mm/hambale. Määrata kontaktnurk $\Psi$ ja lõigendi maksimaalne paksus $a_{max}$.

Määrame nurga $\Psi$ koosinuse valemi (25) järgi:

$$\cos \Psi = \frac{D - 2t}{D} = \frac{63 - 10}{63} = 0{,}8452.$$

Määrame koosinuste tabelist nurga $\Psi$:

$$\Psi = 32°40'.$$

Lõigendi maksimaalse paksuse määrame valemi (26a) järgi: $a_{max} = s_z \cdot \sin \Psi = 0{,}06 \sin 32°40' = 0{,}06 \cdot 0{,}544 = 0{,}033$ mm.

Et määrata lõigendi maksimaalset paksust ilma trigonomeetriata, kasutame valemit (26b):

$$a_{max} = s_z \cdot 2\sqrt{\frac{t}{D}} \text{ mm}.$$

Asendades vajalikud suurused ja kasutades tabelit 31, saame peaaegu sama tulemuse:

$$a_{max} = 0{,}06 \cdot 2\sqrt{\frac{5}{63}} = 0{,}12\sqrt{\frac{5}{63}} = 0{,}12 \cdot 0{,}282 = 0{,}034 \text{ mm}.$$

## Laastu kuju laupfreesiga freesimisel

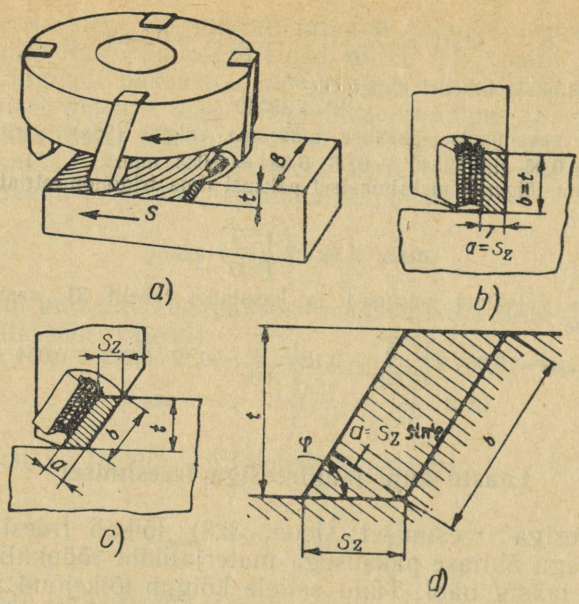
Laupfreesiga freesimisel (joon. 323) lõikab freesi hammas maha peaaegu ühtlase paksusega materjalikihi rööpkülikukujulise ristlõikega laastu näol. Tänu sellele kõigub lõikejõud vähem kui silinderfreesiga freesimisel, kus lõikejõud muutub iga hamba töötamisel nullist kuni maksimumini.

Jooniselt 323 on näha, et lõigendi ristlõikepinna (joonisel 323 viirutatud) külgede suhe oleneb peanurgast plaanis $\varphi$. Konstantse freesimissügavuse $t$ ja ettenihke $s_z$ juures on lõigendi paksus $a$ seda väiksem, mida väiksem on pealõikeserva peanurk plaanis $\varphi$. Joonisel 323, *b* on esitatud juhus, kus peanurk plaanis $\varphi = 90°$ (sirge lõikeserv), seejuures on lõigendi paksus $a$ maksimaalne ja võrdne ettenihkega hambale, s. t. $a = s_z$. Peanurga plaanis $\varphi$ (joon. 323, *c*) vähendamisega tekib lõikeserv nurga all ja lõigendi paksus väheneb kuni $a = s_z \cdot \sin \varphi$ (joon. 323, *d*).

Lõigendi paksuse $a$ vähenemisega suureneb (ühe ja sama lõikesügavuse ja ettenihke hambale juures) ta laius $b$, s. t. lõigendi ristlõige saab väljavenitatud rööpküliku kuju (võrrelge jooniseid 323, *b* ja *c*).

Joonisel 323, *c* kujutatud ristlõikega lõigendi puhul freesi hamba kulumine ja kuumenemine väheneb. Kuid mida laiem on lõigendi ristlõige, seda suurem peab olema lõikeriista kinnituse ja pingi jäikus. Sellepärast freesimine laupfreesiga, mille peanurk plaanis $\varphi$ on väike, nõuab suurema võimsusega pinki ja tooriku jäigemat kinnitust.

Freesimissügavusel $t < 5$ mm on laupfreeside peanurk plaanis $\varphi$ tavaliselt 30—45°; kui freesimissügavus on suurem, suurendatakse nurka $\varphi$ kuni 60°. Kui freesitakse mitteläbiva töökäiguga, näiteks astmete freesimine, kasutatakse sirge lõikeservaga ($\varphi = 90°$) laupfreesi.




Joon. 323. Laupfreesiga freesimine:
*a* — põhimõtteline skeem; *b* — peanurk plaanis $\varphi = 90°$; *c* — peanurk plaanis $\varphi < 90°$; *d* — lõigendi ristlõige

Peatükis XXVII, kus käsitletakse lõikerežiimi valiku metoodikat, on toodud nurga $\varphi$ soovitatavad suurused mitmesugustel töötlemistingimustel.

Laupfreesidega töötamisel eristatakse *sümmeetrilist freesimist,* kui freesi telg asub tooriku sümmeetriatasapinnas ja *ebasümmeetrilist freesimist,* kui freesi telg on tooriku sümmeetriatasapinna suhtes nihutatud. Joonisel 324 on kujutatud lõigendi kujud sümmeetrilisel ja ebasümmeetrilisel freesimisel laupfreesiga.*

Sümmeetriline freesimine jagatakse *täielikuks,* kui $B = D$ ja kontaktnurk $\Psi = 180°$ (joon. 324, *a*) ja *mittetäielikuks,* kui $B < D$ (joon. 324, *b*); viimasel juhul määratakse kontaktnurk $\Psi$ kolmnurgast $AOC$;

$$\sin \frac{\Psi}{2} = \frac{\frac{B}{2}}{\frac{D}{2}} = \frac{B}{D}.$$

Jooniselt 324, *a* selgub, et *täielikul sümmeetrilisel* freesimisel muutub lõigendi paksus *a* nullist (hamba sisselõikumise hetkel)

* Need freesimisskeemid kehtivad samuti otsfreesiga freesimisel, kui frees töötab otsaga.

kuni $s_z$, kui $\frac{\Psi}{2} = 90°$. Seega sel juhul on lõigendi maksimaalne paksus võrdne ettenihkega hambale:

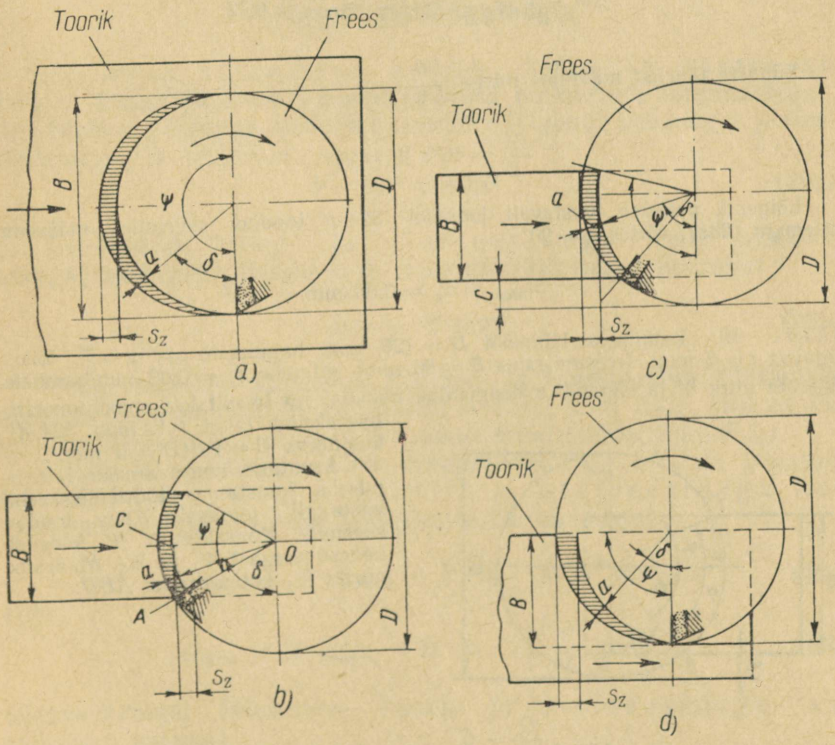
$$a_{max} = s_z \text{ mm.} \tag{28a}$$

*Mittetäielikul sümmeetrilisel* freesimisel (joon. 324, *b*) määratakse lõigendi paksus freesi igas asendis, mis on määratud nurgaga $\delta = 90° - \frac{\Psi}{2}$, valemist:

$$a = s_z \cdot \sin \delta \text{ mm.} \tag{28b}$$

Seejuures lõigendi minimaalne paksus (punktis *A*) ei ole null; lõigendi maksimaalne paksus esineb siis, kui $\delta = 90°$, s. t. kui

$$a_{max} = s_z \text{ mm.} \tag{28a}$$




Joon. 324. Laastu kuju laupfreesiga freesimisel:
*a* — täielikul sümmeetrilisel freesimisel; *b* — mittetäielikul sümmeetrilisel freesimisel; *c* ja *d* — ebasümmeetrilisel freesimisel

Ebasümmeetrilise freesimise puhul muutub lõigendi (joon. 324,*c* ja *d*) paksus *a* samuti kui silinderfreesiga freesimisel:

$$a = s_z \cdot \sin \delta \text{ mm}$$

ja

$$a_{max} = s_z \cdot \sin \varphi \text{ mm}.$$

Freesimisel laupfreesiga, mille lõikeserv on kaldu (joon. 323, *d*):

$$a = s_z \cdot \sin \varphi. \qquad (26a)$$

Näide 18. Laupfreesi läbimõõt $D = 125$ mm; hammaste arv $z = 8$; lõikesügavus $t = 5$ mm; freesimislaius $B = 90$ mm; ettenihe $s_z = 0{,}08$ mm/hambale. Määrata kontaktnurk $\Psi$ ja lõigendi maksimaalne paksus, kui freesitakse sümmeetrilise skeemi järgi.

Määrame kontaktnurga $\Psi$ valemi (27) järgi:

$$\sin \frac{\Psi}{2} = \frac{B}{D} = \frac{90}{125} = \frac{18}{25} = 0{,}72.$$

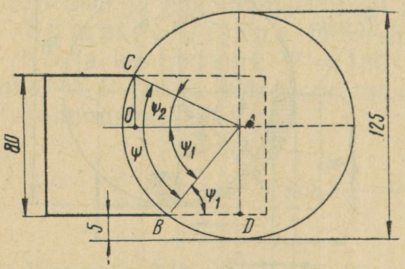
Siinuste tabelist määrame nurga $\frac{\Psi}{2}$

$$\frac{\Psi}{2} = 46°; \quad \Psi = 92°.$$

Lõigendi paksuse, vastavalt joonisel 324, *b* toodud skeemile, määrame valemiga (28a), võttes $\delta = 90°$:

$$a_{max} = s_z = 0{,}08 \text{ mm}.$$

Näide 19. Laupfreesi läbimõõt $D = 125$ mm; hammaste arv $z = 8$; lõikesügavus $t = 5$ mm; freesimislaius $B = 80$ mm; ettenihe $s_z = 0{,}08$ mm/hambale. Määrata nurk $\Psi$ ja lõigendi maksimaalne paksus, kui freesitakse ebasümmeetrilise skeemi järgi (vt. joon. 324, *d*), kusjuures $C = 0{,}04D = 5$ mm.




Arvutuse mugavamaks läbiviimiseks koostame töötlemisskeemi vastavalt joonisel 324, *c* toodud skeemile. Kontaktnurk $\Psi$ koosneb kahest nurgast $\Psi_1$ ja $\Psi_2$. Määrame nurga $\Psi_1$ kolmnurgast *ABD*:

$$\sin \Psi_1 = \frac{AD}{AB} = \frac{\frac{D}{2} - C}{\frac{D}{2}} = \frac{62{,}5 - 5}{62{,}5} = \frac{57{,}5}{62{,}5} = 0{,}92.$$

$$\Psi_1 = 66°.$$

Määrame nurga $\Psi_2$ kolmnurgast $ACO$:

$$\sin \Psi_2 = \frac{CO}{AC} = \frac{80 - 57{,}5}{62{,}5} = \frac{22{,}5}{62{,}5} = 0{,}36.$$

$$\Psi_2 = 19°20'.$$

Seega $\Psi = \Psi_1 + \Psi_2 = 66° + 19°20' = 85°20'$.

Lõigendi maksimaalse paksuse määrame valemi (26a) järgi, võttes $\Psi = 90°$

$$a_{max} = s_z \cdot \sin \Psi = 0{,}08 \cdot \sin 90° = 0{,}08 \text{ mm}.$$

## § 74. LÕIGENDI RISTLÕIKEPINDALA JA MAHT

### Lõigendi ristlõikepindala

Freesimisel silinder-, ketas-, kuju- ja otsfreesidega (mis töötavad välisläbimõõdul paiknevate hammastega), nimetatakse *lõigendi ristlõikepindalaks* lõigendi paksuse $a$ ja freesimislaiuse $B$ korrutist

$$F = B \cdot a \text{ mm}^2 \qquad (29a)$$

ja freesimisel laup- ja otsfreesidega (mis töötavad otsaga) lõigendi paksuse $a$ ja freesimissügavuse $t$ korrutist

$$F = t \cdot a \text{ mm}^2. \qquad (29b)$$

Kuna lõigendi paksus $a$ silinder- ja laupfreesiga töötamisel muutub miinimumist (mõnel juhul nullist) kuni $a_{max}$, siis ka lõigendi ristlõikepindala muutub samuti miinimumist kuni $F_{max}$.

*Lõigendi maksimaalne ristlõikepindala* $F_{max}$ *võrdub:* freesimisel silinder-, ketas-, profiil- ja otsfreesidega (mis töötavad välisläbimõõdul paiknevate hammastega)

$$F_{max} = B \cdot a_{max} = B \cdot s_z \cdot \sin \Psi \text{ mm}^2 \qquad (30a)$$

ehk

$$F_{max} = B \cdot a_{max} = B \cdot s_z \cdot 2\sqrt{\frac{t}{D}} \text{ mm}^2; \qquad (30b)$$

sümmeetrilisel freesimisel laup- ja otsfreesidega (mis töötavad otsaga)

$$F_{max} = t \cdot a_{max} = t \cdot s_z \text{ mm}^2, \qquad (31a)$$

ebasümmeetrilisel freesimisel

$$F_{max} = t \cdot a_{max} = t \cdot s_z \cdot \sin \Psi \text{ mm}^2; \quad (31b)$$

freesimisel laupfreesiga, mille lõikeserv on kaldu

$$F_{max} = t \cdot a_{max} = t \cdot s_z \cdot \sin \varphi \text{ mm}^2. \quad (31c)$$

*Lõigendi keskmine ristlõikepindala* $F_k$ võrdub freesimisel silinder-, ketas-, kuju- ja otsfreesiga (mis töötavad välisläbimõõdul paiknevate hammastega) poolega lõigendi maksimaalsest ristlõikepindalast (minimaalne ristlõikepindala võetakse võrdseks nulliga),

$$F_k = \frac{B}{2} \cdot a_{max} = \frac{B}{2} \cdot s_z \cdot \sin \Psi \text{ mm}^2 \quad (32a)$$

ehk

$$F_k = \frac{B}{2} \cdot a_{max} = B \cdot s_z \sqrt{\frac{t}{D}} \text{ mm}^2; \quad (32b)$$

täielikul sümmeetrilisel freesimisel laup- ja otsfreesidega (mis töötavad otsaga)

$$F_k = 0{,}5\ t \cdot a_{max} = 0{,}5\ t \cdot s_z \text{ mm}^2; \quad (33a)$$

mittetäielikul sümmeetrilisel freesimisel

$$F_k = 0{,}7\ t \cdot a_{max} = 0{,}7\ t \cdot s_z \text{ mm}^2; \quad (33b)$$

ebasümmeetrilisel freesimisel

$$F_k = 0{,}5\ t \cdot a_{max} = 0{,}5\ t \cdot s_z \cdot \sin \Psi \text{ mm}^2; \quad (33c)$$

freesimisel laupfreesiga, mille lõikeserv on kaldu

$$F_k = 0{,}7\ t \cdot a_{max} = 0{,}7\ t \cdot s_z \cdot \sin \varphi \text{ mm}^2. \quad (33d)$$

Näide 20. Silinderfreesi läbimõõt $D = 63$ mm; hammaste arv $z = 14$; lõikesügavus $t = 5$ mm; freesimislaius $B = 50$ mm; ettenihe $s_z = 0{,}06$ mm/hambale. Määrata lõigendi maksimaalne ja keskmine ristlõikepindala.

Määrame $F_{max}$ valemi (30a) järgi, teades, et $a_{max}$ võrdub 0,034 mm (näite 17 andmete järgi):

$$F_{max} = B \cdot a_{max} = 50 \cdot 0{,}034 = 1{,}70 \text{ mm}^2.$$

Määrame $F_k$ valemi (32a) järgi:

$$F_k = \frac{B}{2} \cdot a_{max} = \frac{50}{2} \cdot 0{,}034 = 0{,}85 \text{ mm}^2.$$

Näide 21. Laupfreesi läbimõõt $D = 125$ mm; hammaste arv $z = 8$; lõikesügavus $t = 6$ mm; freesimislaius $B = 90$ mm; ettenihe $s_z = 0{,}08$ mm/hambale. Määrata lõigendi maksimaalne ja keskmine ristlõikepindala, kui on teada, et töödeldakse sümmeetrilise freesimise meetodil.

Määrame $F_{max}$ valemi (31a) järgi, teades, et $a_{max} = s_z$ (näite 18 andmete järgi):

$$F_{max} = t \cdot a_{max} = 6 \cdot 0{,}08 = 0{,}48 \text{ mm}^2.$$

Määrame $F_k$ valemi (33a) järgi:

$$F_k = 0{,}5\ t \cdot a_{max} = 0{,}5 \cdot 6 \cdot 0{,}08 = 0{,}24 \text{ mm}^2.$$

## Mahalõigatava kihi maht

Freesimise tootlikkust määratakse tihti minutis mahalõigatava materjalikihi mahuga $W$.

Frees lõikab minutis maha materjalikihi mahuga

$$W = B \cdot t \cdot s \text{ mm}^3/\text{min}, \tag{34a}$$

kus $B$ — freesimislaius mm
$t$ — freesimissügavus mm
$s$ — ettenihe mm/min.

Teiselt poolt, kui korrutada lõigendi keskmist ristlõikepindala $F_k$ (mm²) lõikekiirusega (mm/min), s. t. 1000 $v$, siis saame minutis mahalõigatud materjalikihi mahu

$$W = 1000\,v \cdot F_k \text{ mm}^3/\text{min}. \tag{34b}$$

## Mahalõigatava kihi keskmine ristlõikepindala, kui mitu hammast lõikavad üheaegselt

Valemid (30)—(33) lõigendi maksimaalse ja keskmise ristlõikepindala määramiseks on kehtivad juhul, kui lõikab üks hammas. Kuna freesi sujuvaks töötamiseks on vaja, et lõikamisest võtaks korraga osa rohkem hambaid, milleks kasutatakse kruvi- või kaldhammastega freese, siis need valemid ei ole freesimise üldjuhul kehtivad.

Tavaliselt soovitatav meetod mahalõigatava kihi keskmise ristlõikepindala määramiseks kruvihammastega freesidega freesimisel on keerukas ja kogukas, sellepärast esitame materjalikihi (mis lõigatakse maha kruvi- või kaldhammastega freeside korraga töötavate hammaste poolt) *keskmise ristlõikepindala* määramiseks lihtsama meetodi.

Võttes aluseks minutis mahalõigatava materjalikihi mahu, on lihtne määrata freesi kõigi korraga töötavate hammaste poolt mahalõigatava materjalikihi keskmist ristlõikepindala.

Võrrutades valemid (34a) ja (34b), saame:

$$B \cdot t \cdot s = 1000 \cdot vF_k \text{ mm}^3/\text{min},$$

kust

$$F_k = \frac{b \cdot t \cdot s}{1000 \cdot v} \text{ mm}^2.$$

Asendades ettenihke $s$ ja lõikekiiruse $v$ vastavalt

$s = s_z \cdot z \cdot n$ ja $v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}$, saame:

$$F_k = \frac{B \cdot t \cdot s_z \cdot z \cdot n}{\pi D n} = \frac{B \cdot t \cdot s_z \cdot z}{\pi D} \text{ mm}^2. \quad (35)$$

Näide 22. Olgu antud : $B = 100$ mm; $t = 5$ mm;

$s_z = 0{,}06$ mm/hambale; $z = 8$; $D = 63$ mm.

Määrata $F_k$ mm².

Valemi (35) järgi:

$$F_k = \frac{B \cdot t \cdot s_z \cdot z}{\pi D} = \frac{100 \cdot 5 \cdot 0{,}06 \cdot 8}{3{,}14 \cdot 63} = 1{,}25 \text{ mm}^2.$$

## § 75. LÕIKEJÕUD FREESIMISEL

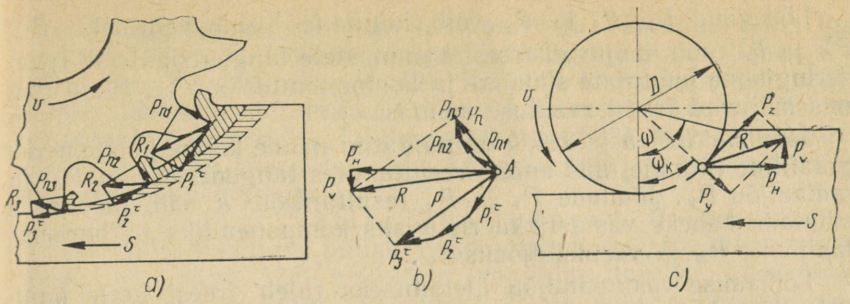
Freesimisel eemaldatakse antud töötlusvaru laastude näol. Laastu tekkimise protsess seisneb freesi hamba lõikumises töödeldavasse toorikusse, metalliosakeste nihutamises üksteise suhtes, laastuelementide moodustumises ja tekkinud laastu eemaldamises töödeldud pinnalt.

Laastu tekkimisel on seega põhilisteks protsessideks metalliosakeste nihutamine ja laastuelementide moodustumine, s. t. töödeldava tooriku pindkihi kuju muutus freesi hambale rakendatud jõu mõjul.

Keha kuju muutust temale mõjuva jõu toimel nimetatakse *deformatsiooniks*. Kui pärast jõu eemaldamist keha taastab oma esialgse kuju, nimetatakse deformatsiooni *elastseks* deformatsiooniks. Kui pärast jõu eemaldamist keha ei taasta oma esialgset kuju, nimetatakse deformatsiooni *plastseks* deformatsiooniks. Metallide lõikamisel esinevad peamiselt plastsed deformatsioonid, kuna lõiketera, tungides rakendatava jõu toimel metalli, muudab töödeldava tooriku pindkihi kuju, nihutab ta osakesi ja muudab need laastudeks.

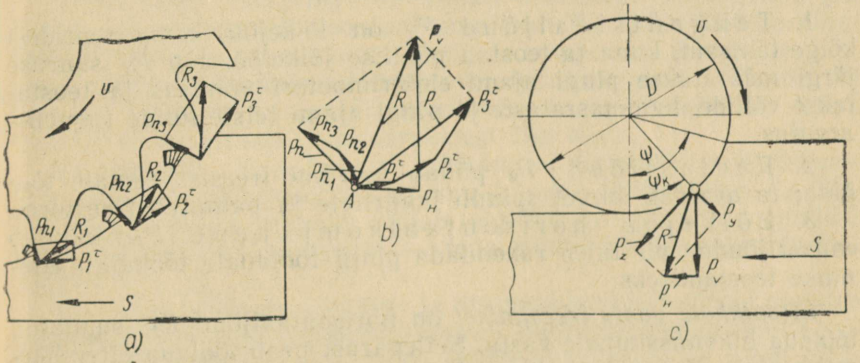
Jõud kulutatakse freesimisel metalli plastseks deformatsiooniks. Rakendatava jõu suurus oleneb töödeldava metalli kõvadusest ja laastu ristlõikepinna suurusest.

Peale selle kulutatakse freesimisel jõudu veel eemalduva laastu ja freesi hamba esipinna vahelisele hõõrdumisele ning freesi hamba tagapinna ja töödeldud pinna vahelisele hõõrdumisele.




Joon. 325. Lõikejõudude ja reaktsioonijõudude skeem ettenihkele vastu freesimisel silinderfreesiga:

*a* — lõigendi survejõud freesi üksikutele hammastele; *b* — lõigendi resultantsurvejõud; *c* — freesile mõjuvate reaktsioonijõudude resultantjõud




Joon. 326. Lõikejõudude ja reaktsioonijõudude skeem ettenihke suunas freesimisel:

*a* — lõigendi survejõud freesi üksikutele hammastele; *b* — lõigendi resultantsurvejõud; *c* — freesile mõjuvate reaktsioonijõudude resultantjõud

Hõõrdumisele kulutatava jõu suurus oleneb lõikeriista geomeetriast. Õigesti valitud tera geomeetria puhul on hõõrdejõud tühine.

Lõikejõu suurusest oleneb pingi ajami elektrimootori vajalik võimsus, pingi jõusõlmede tugevus, freesi ja freestorni mõõtmed ja kinnitusrakiste konstruktsioon.

Vaadeldes freesi lõikeprotsessis, võib kindlaks teha, et freesi igale hambale, mis asub kontaktnurgas $\Psi$, mõjub lõigendi vastupanujõud. Joonisel 325, *a* on näidatud ettenihkele vastu freesimisel mõjuvad jõud $R_1$, $R_2$ ja $R_3$, joonisel 326, *a* on näidatud ettenihke suunas freesimisel mõjuvad jõud $R_1$, $R_2$ ja $R_3$.

Lõikejõud $R_1$, $R_2$ ja $R_3$ võib lahutada komponentideks $P_1$, $P_2$ ja $P_3$, mis mõjuvad freesi hammastele tangentsiaalselt (peaderingjoone puutujate suunas) ja komponentideks $P_{n1}$, $P_{n2}$ ja $P_{n3}$, mis mõjuvad freesi raadiuse suunas.

Joonistel 325, *b* ja 326, *b* on näidatud nende kolme komponendi graafiline liitmine, mis annab resultandiks tangentsiaaljõu $P_z$ ja radiaaljõu $P_y$. Jõudude $P_z$ ja $P_y$ resultantjõu $R$ võib omakorda lahutada kaheks vastastikku ristuvaks komponendiks — horisontaaljõuks $P_H$ ja vertikaaljõuks $P_V$.

Lõikamise vastupanujõu ületamiseks tuleb freesi igale hambale rakendada vastupanujõuga võrdsed, kuid vastupidi suunatud reaktsioonjõud $R_1$, $R_2$ ja $R_3$, millised võib lahutada komponentideks. Joonistel 325, *c* ja 326, *c* on näidatud freesile mõjuvad summaarsed reaktsioonjõud, kantuna kontaktnurgale $\Psi/2$. Siin on: $P_z$ — tangentsiaallõikejõud, $P_y$ — radiaallõikejõud, $P_H$ — lõikejõu horisontaalkomponent ja $P_V$ — lõikejõu vertikaalkomponent.

Vaatleme lõikejõu komponentide mõju.

1. Tangentsiaaljõud $P_z$ on lõikejõu komponentidest kõige tähtsam, kuna ta teostab põhilise lõiketöö. Jõu $P_z$ suuruse järgi määratakse pingi ajami elektrimootori võimsus ja teostatakse võllide, hammasrataste ja pingi ajami teiste lülide tugevusarvutus.

2. Radiaaljõud $P_y$ püüab toorikut freesist eemale tõugata; ta avaldab survet spindli laagritele ja painutab freestorni.

3. Lõikejõu horisontaalkomponent $P_H$ kujutab endast jõudu, mis tuleb rakendada pingi töölauale töökäigu ettenihke teostamiseks.

*Ettenihkele vastu freesimisel* on horisontaaljõud $P_H$ suunatud töölaua liikumissuunale vastu. Sellepärast peab töölaua ettenihkemehhanism (kruvi ja mutter) ületama jõu $P_H$. Kuna freesimisel ja töölaua nihutamisel tühikäigul tuleb ületada liikumistakistust, on kruvi ja mutri niidid kogu aeg üksteise vastu surutud. Kui niitide vahel on lõtkud, ei avalda need töötamisele kahjulikku mõju, sest need kõrvaldab jõud $P_H$.

*Ettenihke suunas freesimisel* on horisontaaljõud $P_H$ suunatud töölaua liikumise suunas. Selle freesimismeetodi juures langeb freesi pöörlemissuund kokku töölaua ettenihke suunaga. Kuna aga frees pöörleb kiiremini kui liigub töölaud, siis freesi hammas tõmbab töölauda koos töödeldava toorikuga edasi käigukruvi ja mutri vahelise lõtku suuruse võrra. Kui freesi hammas väljub kontaktist tooriku töödeldava pinnaga ja lõikamine katkeb, lakkab jõu $P_H$ toime. Töölaud peatub lühikeseks ajaks, kuni pikiettenihkekruvi pole ületanud lõtku mutris ega taastanud töölaua nihkumist. Seejärel astub töösse freesi uus hammas ja uuesti avaldab mõju jõud $P_H$, tõmmates järsu rapsakuga toorikut koos töölauaga edasi

kruvi ja mutri vahelise lõtku suuruse võrra. Järelikult tekib iga kord rapsak edasi, töölaua peatumine, uus rapsak edasi jne., s. t. töö kulgeb rahutult. Ainult siis, kui lõtk kruvi ja mutri vahel puudub, töötab pink rahulikult. Nagu juba eespool käsitlesime, on kodumaiste freespinkide (alates mudelist 6Б82) töölaua pikiettenihkekruvi lõtku kõrvaldamiseks kruvi ja mutri vahel varustatud *kompenseeriva mutriga.*

4. Lõikejõu vertikaalkomponent $P_V$ on suunatud vertikaalselt. Seejuures püüab vertikaaljõud $P_V$ *ettenihkele vastu freesimisel* (joon. 325) rakisesse kinnitatud toorikut koos pingi töölauaga ja konsooliga üles tõsta. Peale selle põhjustab jõud $P_V$ pingi vibratsiooni, kuna ta laastu paksuse muutumise tulemusena muutub nullist maksimumini. Sellepärast halvendab jõud $P_V$ freesimisprotsessi.

*Ettenihke suunas freesimisel* (joon. 326) surub vertikaaljõud $P_V$ töödeldavat toorikut vastu töölauda; siin jõud $P_V$ parandab töötlemistingimusi.

Seega tuleb freespingil töötamisel arvestada resulteeruva jõu $R$ komponentidega. Horisontaalkomponent $P_H$ tuleb ületada pingi töölaua töökäigu ettenihkega. Vertikaalkomponent $P_V$ surub ettenihke suunas freesimisel töödeldavat toorikut vastu töölauda või kinnitusrakist ja, vastupidi, ettenihkele vastu freesimisel tahab toorikut töölaualt või kinnitusrakisest üles tõsta.

Kruvihammastega freesiga töötamisel lisandub tangentsiaal- ja radiaaljõududele veel telgjõud, mida tähistatakse $P_x$. Olenevalt kruvijoone suunast, püüab telgjõud freestorni kas spindlist välja tõmmata või vastupidi — teda spindlisse sisse suruda (vt. tabelid 3 ja 4).

Kruvihammastega silinder- ja otsfreesidega töötamisel avaldab telgjõud $P_x$ survet freespingi spindli tugilaagritele ja mõjub tooriku kinnitusrakisele, koormab ristettenihke kruvi ja pingi juhtpindu. Selleks, et telgjõud ei koormaks pingi sõlmi ülemäära, valitakse kruvisoonte kaldenurk vastavalt tabelile 36.

## Jõudude toime freesimisel

Vaadeldud jõud võivad põhjustada freestorni läbipaindumist, freesi mahatõmbamist freestornilt, tooriku väljakiskumist kruustangidest ja rakistest, vibratsiooni ja isegi pingi purunemist ning teisi ebameeldivaid nähteid.

Sellepärast peab oskama määrata kõiki freesimisel mõjuvaid jõude ja vastavalt nende suurusele valida freesi ja freestorni, kinnitusrakist ja võimsust ning määrata pingi jäikust.

Lõikejõu üksikute komponentide suurused olenevalt tangentsiaaljõust $P_z$ võib määrata orienteeruvalt tabelis 32 toodud suhetest.

Tabel 32

**Lõikejõu komponendid**

*Silinder-, ketas-, kuju- ja otsfreesid, mis töötavad perifeeriaga*

| Ettenihkele vastu freesimine | Ettenihke suunas freesimine |
|---|---|
| $P_H = (1{,}0 \div 1{,}2)\ P_z$ | $P_H = (0{,}8 \div 0{,}9)\ P_z$ |
| $P_V = (0{,}2 \div 0{,}3)\ P_z$ | $P_V = (0{,}75 \div 0{,}8)\ P_z$ |
| $P_v = (0{,}35 \div 0{,}4)\ P_z$ | $P_v = (0{,}35 \div 0{,}4)\ P_z$ |

*Laup- ja otsfreesid, mis töötavad otsaga*

| Sümmeetriline freesimine | Ebasümmeetriline freesimine | |
|---|---|---|
| | Ettenihkele vastu | Ettenihke suunas |
| $P_H = (0{,}4 \div 0{,}5)\ P_z$ | $P_H = (0{,}6 \div 0{,}9)\ P_z$ | $P_H = (0{,}3 \div 0{,}5)\ P_z$ |
| $P_V = (0{,}85 \div 0{,}95)\ P_z$ | $P_V = (0{,}45 \div 0{,}7)\ P_z$ | $P_V = (0{,}9 \div 1{,}0)\ P_z$ |
| $P_v = (0{,}50 \div 0{,}55)\ P_z$ | $P_y = (0{,}50 \div 0{,}55)\ P_z$ | $P_y = (0{,}50 \div 0{,}55)\ P_z$ |

Freesimisprotsessis tekkivate jõudude toime vähendamiseks soovitatakse üldreeglina:

a) asetada frees freestornile võimalikult toe lähedale;

b) suure ristlõikega laastu võtmisel või töötamisel suure lõikekiirusega kasutada täiendavat ripplaagrit või tugesid;

c) töötades pikiettenihkega, stoperdada konsool ja ristkelk;

d) valida õigesti freesi kruvisoonte suund;

e) kinnitada detail kruustangidesse, rakisesse ja töölauale tugevasti.

## Lõikamise erisurve

Tangentsiaallõikejõud $P_z$, mis tuleb rakendada freesi hambale laastu võtmiseks, oleneb lõigendi ristlõikepindalast ja töödeldava materjali kõvadusest.

Kui jagada tangentsiaallõikejõud $P_z$ lõigendi ristlõikepindalaga, saame nn. lõikamise erisurve. Lõikamise erisurve määrati esmakordselt I. A. Time poolt.

*Lõikamise erisurveks* nimetatakse lõikejõudu, mis langeb lõigendi ristlõikepinna ühikule. Lõikamise erisurve tähistatakse tähega $p$ ja väljendatakse kilogrammides ruutmillimeetrile (kG/mm²) ning määratakse valemiga:

$$p = \frac{P_z}{F_k}\ \text{kG/mm}^2, \qquad (36)$$

kus $P_z$ — tangentsiaalne lõikejõud kG;

$F_k$ — lõigendi keskmine ristlõikepindala mm².

Erisurve oleneb töödeldava metalli kõvadusest ja lõigendi paksusest $a$. Mida õhem on lõigend, seda suurem on lõikamise erisurve ja vastupidi, mida paksem on lõigend, seda väiksem on lõikamise erisurve.

Tabelis 33 on toodud lõikamise erisurve kG/mm² mitmesugustele materjalidele olenevalt lõigendi maksimaalsest paksusest $a_{max}$.

Määranud tabeli 33 järgi lõikamise erisurve, võib arvutada tangentsiaaljõu $P_z$ suuruse:

$$P_z = p \cdot F_k \text{ kG}. \qquad (37)$$

Kiirfreesimisel, seoses lõiketingimuste muutumisega, on tangentsiaaljõud $P_z$ pisut väiksem, kui valemi (37) järgi arvutamisel, kuid tsehhis vajalikeks arvutusteks võib seda valemit küllaldase täpsusega kasutada ka kiirfreesimisel.

Tabel 33

**Lõikamise erisurve $p$ freesimisel kG/mm²**

| Lõigendi maksimaalne paksus $a_{max}$ mm | Tooriku materjal | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | Teras | | | Malm | | |
| | $\sigma_b$ = 60 kG/mm² | $\sigma_b$ = 75 kG/mm² | $\sigma_b$ = 75 kG/mm² | $HB<180$ | $HB<180$–200 | $HB>200$ |
| 0,02 | 316—420 | 525—635 | 740—850 | 210 | 305 | 420 |
| 0,03 | 285—380 | 475—570 | 670—760 | 184 | 264 | 367 |
| 0,04 | 267—356 | 455—535 | 620—710 | 163 | 235 | 326 |
| 0,05 | 256—340 | 425—510 | 596—680 | 154 | 222 | 308 |
| 0,06 | 240—320 | 400—480 | 560—640 | 142 | 205 | 285 |
| 0,07 | 235—314 | 392—470 | 549—627 | 135 | 195 | 271 |
| 0,08 | 226—302 | 376—452 | 530—604 | 129 | 186 | 259 |
| 0,09 | 218—292 | 364—432 | 510—584 | 126 | 182 | 253 |
| 0,10 | 214—286 | 358—428 | 500—572 | 122 | 175 | 244 |

Näide 23. Määrata tangentsiaaljõud $P_z$ terase $\sigma_b = 75$ kG/mm² töötlemisel 63 mm läbimõõduga ja 14 hambaga silinderfreesiga, kui lõikesügavus on 5 mm, freesimislaius 50 mm ja ettenihe 0,06 mm/hambale (näite 17 andmed).

$$a_{max} = s_z \cdot \sin\varphi = 0{,}06 \cdot \sin 32°40' = 0{,}06 \cdot 0{,}544 = 0{,}033 \text{ mm}.$$

Tabelis 33 ei ole lõigendi paksust $a_{max} = 0{,}033$ mm. Sellepärast võtame terasele $\sigma_b = 75$ kG/mm² lõigendi paksuste $a_{max} = 0{,}03$ ja $a_{max} = 0{,}04$ mm keskmise väärtuse, s. t. 475—570 ja 455—535 kG/mm² vahel. Võtame $p =$ = 500 kG/mm².

Lõigendi keskmise ristlõikepindala $F_k$ määrame valemi (35) järgi ja $P_z$ määramiseks asendame kõik suurused valemis (37).

$$P_z = p \cdot F_k = p \frac{B \cdot t \cdot s_z \cdot z}{\pi \cdot D} = 500 \frac{50 \cdot 5 \cdot 0{,}06 \cdot 14}{3{,}14 \cdot 63} \approx \frac{500 \cdot 210}{200} = 525 \text{ kG}.$$

1. Millised laastu liigid esinevad freesimisel? Millest oleneb laastu liik? Kuidas mõjub laastule esinurk? Kuidas mõjub laastule lõikekiirus?
2. Milline kuju on laastul silinderfreesiga freesimisel? Sama laupfreesiga freesimisel.
3. Mida nimetatakse lõigendi (laastu) paksuseks ja kuidas seda määratakse? Mida nimetatakse lõigendi (laastu) maksimaalseks paksuseks?
4. Kuidas määratakse freesimisel laastu maksimaalset ja keskmist ristlõikepindala, kui lõikab üks hammas? Kuidas määratakse freesimisel laastu maksimaalset ja keskmist ristlõikepindala, kui korraga töötab mitu hammast?
5. Millised jõud tekivad freesimisel? Mida nimetatakse tangentsiaal- ja radiaallõikejõuks? Mida nimetatakse resulteeruvaks lõikejõuks?
6. Kuidas määratakse ettenihkejõudu? Mis suunas mõjub lõikejõu vertikaalkomponent ettenihkele vastu freesimisel ja ettenihke suunas freesimisel?
7. Mis on telgjõud? Kuidas tuleb suunata telgjõud töötamisel kruvihammastega freesidega?
8. Mida nimetatakse lõikamise erisurveks freesimisel? Milleks on vaja teada lõikamise erisurvet? Kuidas seda määratakse?

XXVI PEATÜKK

# FREESIMISEKS VAJALIK VÕIMSUS

## § 76. VÕIMSUS FREESIMISEL

### Pöördemomendi mõiste

*Jõu momendiks* $M$ nimetatakse jõu ja õla, millele jõud on rakendatud, korrutist.

Jõu momendi dimensioon oleneb õla dimensioonist: kui kangile õla pikkusega $a$ mm mõjub jõud $P$ kG, on jõu moment $P \cdot a$ kGmm; kui õlg $b$ on väljendatud sentimeetrites, on jõu moment $P \cdot b$ kGcm; kui õlg $c$ on antud meetrites, on jõu moment $P \cdot c$ kGm.

Et freesi hammas lõikuks metalli ja võtaks laastu, tuleb hambale rakendada tangentsiaaljõuga $P_z$ võrdne jõud. Jõud $P_z$, mõjudes õlale, mille pikkus võrdub freesi raadiusega (freesi poole läbimõõduga $\frac{D}{2}$), tekitab momendi $P_z \cdot \frac{D}{2}$, mida peab spindlile edasi andma freespingi ajam.

Pöörleva keha poolt ülekantavat momenti nimetatakse *pöördemomendiks* $M_p$ ja väljendatakse samades ühikutes kui jõu moment $M$.

Pingi pöörlev spindel peab laastu võtmiseks freesi igale hambale üle kandma vajaliku tangentsiaaljõu. Seejuures tekitatakse pöördemoment, mis oleneb tangentsiaaljõust $P_z$ ja freesi läbimõõdust $D$. Mida suurem on tangentsiaaljõud $P_z$, seda suurem peab olema pingi spindli pöördemoment. Samuti suureneb pöördemoment freesi läbimõõdu suurenemisega, sest õlg (freesi raadius) suureneb.

Tangentsiaaljõud $P_z$ tekitab pöördemomendi, mis tuleb anda pingi spindlile. Pöördemoment

$$M_p = \frac{P_z \cdot D}{2} \text{ kGmm või kGm} \qquad (38)$$

(olenevalt freesi läbimõõdu $D$ dimensioonist).

## Võimsuse mõiste

Freesimisel laastu lõikamiseks kuluvat võimsust nimetatakse *lõikevõimsuseks* ehk *efektiivvõimsuseks* $N_e$. Efektiivvõimsus võrdub tangentsiaaljõu $P_z$ (kG) ja lõikekiiruse $v$ (m/min) korrutisega:

$$N_e = P \cdot v \text{ kGm/min.} \qquad (39)$$

Efektiivvõimsus väljendatakse hobujõududes (hj) või kilovattides (kW).

1 hj võrdub 75 kGm/sek ehk 60 · 75 kGm/min.

1 kW võrdub 1,36 hj; 1 hj võrdub 0,736 kW.

Efektiivvõimsuse määramiseks, olenevalt lõikekiirusest $v$ ja tangentsiaaljõust $P_z$, kasutatakse järgmisi valemeid:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 75} \text{ hj} \qquad (40a)$$

või

$$N_e = \frac{P_z \cdot v \cdot 0{,}736}{60 \cdot 75} = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 75 \cdot 1{,}36} = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 102} \text{ kW.} \qquad (40b)$$

Teades pöördemomenti $M_p$ ja freesi pöörete arvu $n$, määratakse efektiivvõimsus valemitega:

$$N_e = \frac{M_p \cdot n}{716\,200} \text{ hj} \qquad (41a)$$

või

$$N_e = \frac{M_p \cdot n}{716\,200 \cdot 1{,}36} \text{ kW,} \qquad (41b)$$

kus $M_p$ — pöördemoment kGmm.

*Ettenihkeks kuluv võimsus* moodustab efektiivvõimsusest tavaliselt 15%.

Kui ettenihke ajam saab liikumise pingi pealiikumise ajami elektrimootorilt, siis freesimiseks kuluv üldine efektiivvõimsus on 1,15 $N_e$, kus $N_e$ on määratud valemite (40a) või (40b), (41a) või (41b) järgi.

Kui pingil on omaette ettenihke ajam, siis ettenihke ajami elektrimootori võimsus võetakse pingiehitustehastes 0,25 pealiikumise ajami elektrimootori võimsusest.

## Kasutegur

Freesimisel kantakse lõikamiseks kuluv efektiivvõimsus spindlilt üle freesile. Et tagada efektiivvõimsust spindlil, peab pingi elektrimootori võimsus olema efektiivvõimsusest suurem, sest osa võimsusest kulutatakse hõõrdumisele laagrites, hammasülekannetes ja juhtpindadel ning õli etteandmiseks õlitamisel; mida kiiremakäigulisem on pink, seda suuremad on need kaod.

Suurust, mis iseloomustab pingi elektrimootorilt saadavat kasulikku võimsust, nimetatakse *kasuteguriks* ja tähistatakse kreeka tähega $\eta$.

Kasulikuks tööks, s. t. tööks, mis kulub lõikamiseks, kulutatakse tavalisel freesimisel ligikaudu 75—80% (0,75 kuni 0,80) ja kiirfreesimisel vastavalt 65—75% (0,65 kuni 0,75) elektrimootori koguvõimsusest. Järelikult tavaliste freespinkide kasutegur $\eta$ = = 0,75—0,85, kiirlõikefreespinkide kasutegur $\eta = 0{,}65—0{,}75$.

Efektiivvõimsuse $N_e$ määramiseks freespingi spindlil tuleb elektrimootori võimsus $N$ korrutada kasuteguriga $\eta$:

$$N_e = \eta \cdot N. \tag{42a}$$

Näiteks kui elektrimootori võimsus on 7 kW ja pingi kasutegur $\eta = 0{,}75$, siis freespingi spindlile kantakse üle võimsus

$$N_e = \eta \cdot N = 0{,}75 \cdot 7{,}0 = 5{,}25 \text{ kW}.$$

Vastupidi, pingi elektrimootori vajaliku võimsuse $N$ määramiseks tuleb valemite (40a) või (40b), (41a) või (41b) järgi arvutatud efektiivvõimsus $N_e$ jagada pingi kasuteguriga:

$$N = \frac{N_e}{\eta}. \tag{42b}$$

Teades freesimiseks vajalikku efektiivvõimsust $N_e$, tuleb valitud freesimisrežiim viia vastavusse elektrimootori võimsusega. Sageli tuleb selleks muuta (korrigeerida) lõikerežiimi.

Näide 24. Horisontaalfreespingil freesitakse terast tõmbetugevusega $\sigma_b = 75$ kG/mm². Freesimislaius on 85 mm, lõikesügavus 6 mm, ettenihe 65 mm/min. Lõikeriistana kasutatakse kruvihammastega silinderfreesi läbimõõduga 90 mm, laiusega 112,5 mm ja hammaste arvuga $z = 8$; freesi pöörete arv $n = 60$ p/min. Määrata lõigendi maksimaalne paksus $a_{max}$, lõigendi keskmine ristlõikepindala $F_k$, tangentsiaaljõud $P_z$, pöördemoment $M_p$, freesimiseks vajalik efektiivvõimsus $N_e$ ja freesimisrežiimi vastavus valitud pingi elektrimootori võimsusele $N = 5$ hj.

Lõigendi maksimaalse paksuse $a_{max}$ määrame valemi (26b) järgi:

$$a_{max} = s_z \cdot 2\sqrt{\frac{t}{D}} = \frac{65}{60 \cdot 8} \cdot 2\sqrt{\frac{6}{90}} = 0{,}135 \cdot 2\sqrt{\frac{1}{15}} =$$

$$= 0{,}270 \cdot 0{,}246 = 0{,}07 \text{ mm}.$$

Lõigendi keskmise ristlõikepindala $F_k$ määrame valemi (35) järgi:

$$F_k = \frac{B \cdot t \cdot s_z \cdot z}{\pi D} = \frac{85 \cdot 6 \cdot 0{,}135 \cdot 8}{3{,}14 \cdot 90} = 1{,}95 \text{ mm}^2.$$

Tangentsiaaljõu $P_z$ määrame valemi (37) järgi:

$$P_z = p \cdot F_k = 470 \cdot 1{,}95 \approx 900 \text{ kG},$$

kus erisurve $p$ on valitud tabelist 33.

Pöördemomendi $M_p$ määrame valemi (38) järgi:

$$M_p = \frac{P_z \cdot D}{2} = \frac{900 \cdot 90}{2} = 40\,500 \text{ kG/mm}.$$

Võttes arvesse, et pealiikumise ajam ja ettenihke ajam saavad liikumise ühiselt elektrimootorilt, tuleb efektiivvõimsust (valem (41a)) korrutada koefitsiendiga 1,15:

$$N_e = \frac{1{,}15\ M_p \cdot n}{716\,200} = \frac{1{,}15 \cdot 40\,500 \cdot 60}{716\,200} = 3{,}9 \text{ hj}.$$

Võttes pingi kasuteguriks 0,8, leiame pingi elektrimootori vajaliku võimsuse valemi (42b) järgi:

$$N = \frac{N_e}{\eta} = \frac{3{,}9}{0{,}8} = 4{,}87 \text{ hj},$$

mis vastab valitud pingi elektrimootori võimsusele 5 hj.

Suurt tähtsust omab *pingi võimsuse kasutamise koefitsient*, mis näitab ajami võimsuse järgi teostatud valiku õigsust. Kui eelmises näites toodud lõikerežiimi puhul oleks valitud horisontaalfreespink 6M82Г, mille elektrimootori võimsus on 7 kW ehk 9,5 hj, siis, võttes kasuteguriks 0,8, oleks suhe

$$\frac{N_e}{N \cdot 0{,}8} = \frac{3{,}9}{9{,}5 \cdot 0{,}8} = 0{,}50 \text{ ehk } 50\%,$$

mis näitab, et pingi võimsusest kasutatakse ära ainult 50% (võimsuse kasutamise koefitsient on madal) ja antud tööks tuleks valida teine, väiksema võimsusega pink.

Elektrimootori töö parandamise ja elektrienergia parema kasutamise eesmärgil tuleb püüda pingi võimsust paremini kasutada, et pingi võimsuse kasutamise koefitsient läheneks ühele.

## Freesimise tootlikkus

Freesimise tootlikkust määratakse kas minutis mahalõigatud kihi (laastude) mahu järgi:

$$W = B \cdot t \cdot s \text{ mm}^3/\text{min} = \frac{B \cdot t \cdot s}{1000} \text{ cm}^3/\text{min} \qquad (43)$$

või minutis mahalõigatud kihi (laastude) mahu järgi 1 kW efektiivvõimsuse kohta:

$$w = \frac{B \cdot t \cdot s}{1000 \cdot N_e} \text{ cm}^3/\text{kW} \cdot \text{min}, \qquad (44)$$

mida nimetatakse *eritootlikkuseks*.

See tootlikkuse määramise viis kehtib rohkem koorimisoperatsioonidele, kus eemaldatakse suurem osa metalli ja kulutatakse efektiivvõimsust maksimaalselt, kuid seda võib edukalt kasutada ka vajaliku võimsuse lihtsustatud arvutusteks.

Järelikult, teades minutis mahalõigatud laastude mahtu $W$ cm³/min ja eritootlikkust $w$ cm³/kW · min, võib määrata antud freesimisoperatsiooniks vajalikku efektiivvõimsust:

$$N_e = W : w \text{ kW}. \qquad (45)$$

Tabelis 34 on toodud eritootlikkuse $w$ keskmised väärtused sagedamini kasutatavamate materjalide kohta.

Näide 25. Kontrollida tabeli 34 järgi, kas freespingi 6M12П elektrimootori võimsus 7 kW on küllaldane terasliistu tõmbetugevusega $\sigma_b = 65$ kG/mm³ freesimiseks laupfreesiga, kui freesimislaius $B = 80$ mm, lõikesügavus $t = 2{,}5$ mm, ettenihe minutis $s = 400$ mm/min.

Määrame minutis mahalõigatud laastude ruumala:

$$W = \frac{B \cdot t \cdot s}{1000} = \frac{80 \cdot 2{,}5 \cdot 400}{1000} = 80 \text{ cm}^3/\text{min}.$$

Tabelist 34 leiame, et terase, mille tõmbetugevuse $\sigma_b = 65$ kG/mm², puhul eritootlikkus laupfreesiga freesimisel $w = 13$ cm³/kW · min.

Laastude hulga 80 cm³/min mahalõikamiseks on vaja võimsust

$$N = W/w = 80 : 13 = 6{,}2 \text{ kW}.$$

Järelikult pingil 6M12П on võimalik terasliistu töödelda antud tingimustel.

Tabel 34

**Eritootlikkus $w$ freesimisel laup- ja silinderfreesiga**
(keskmised väärtused)

| Töödeldav materjal | Kõvadus Brinelli järgi $HB$ kG/mm² | Tõmbetugevus $\sigma_b$ kG/mm² | Eritootlikkus $w$ cm³/kW . min freesimisel | |
|---|---|---|---|---|
| | | | laupfreesiga | silinderfreesiga |
| Süsinik-konstruktsiooniterased | — | 50—60 | 16 | 13 |
| | — | 60—70 | 14 | 12 |
| | — | 70—85 | 12 | 10 |
| Legeeritud konstruktsiooniterased | — | 70—85 | 11 | 9 |
| | — | 85—100 | 9 | 8 |
| | — | 100—140 | 8 | 7 |
| Terasvalu | — | 30—50 | 14 | 11 |
| | — | 50—70 | 12 | 9 |
| Hallmalm | kuni 200 | — | 36 | 30 |
| | 200—250 | — | 30 | 25 |
| | 250—400 | — | 22 | 18 |
| Tempermalm | kuni 150 | — | 20 | 14 |
| Vask | — | — | 40 | 30 |
| Messing ЛС62 ja Л59 | 55—70 | 35—45 | 50 | 40 |
| Pronks | — | 28 | 35 | 25 |
| Alumiinium | — | — | 70 | 50 |
| Duralumiinium | 95 | 35 | 55 | 45 |
| Silumiin (АЛ2, АЛ4, АЛ9) | 55—70 | 20—25 | 50 | 40 |
| Magneesiumisulamid (AMr 3; AMr 5; AMr 6; ja MA1; MA2; MA3) | 45—65 | 20—30 | 80 | 60 |

Märkus: Eritootlikkuse keskmistes väärtustes on arvestatud pingi kasutegurit, nii et võimsuse määramisel saame kohe pingi ajami elektrimootori võimsuse.

Tootmises tuleb tihti lahendada vastupidine ülesanne: määrata pingi võimalik tootlikkus antud tooriku töötlemisel ja saadud tootlikkuse järgi määrata lõikesügavus või ettenihe minutis.

Sel juhul freesimise tootlikkus

$$W = w \cdot N \text{ cm}^3/\text{min}.$$

Näide 26. Määrata freespingi võimalik tootlikkus hallmalmi (kõvadusega *HB* 260) koorimisel silinderfreesiga. Pingi elektrimootori võimsus $N = 7$ kW. Valime tabelist 34 $w = 18$ cm³/kW · min.
Tootlikkus

$$W = w \cdot N = 18 \cdot 7 = 126 \text{ cm}^3/\text{min}.$$

Kui töödeldava tooriku laius on 100 mm ja töötlusvaru 5 mm, on võimalik minutiline ettenihe

$$s = 1000 \ (W/B \cdot t) = 1000 \ (126 : 100 \cdot 5) \ 250 \text{ m/min}.$$

## § 77. FREESPINGI PASS

### Pingi passi ülesanne pingi ratsionaalsel ekspluateerimisel

Igal tsehhis asuval pingil on pass, mille annab pingile kaasa valmistaja tehas. Pingi passid hoitakse tehase peamehaaniku osakonnas.

Freespingi passi tiitellehel on esitatud pingi üldandmed: inventarinumber, pingi tüüp (universaal-, horisontaal- või vertikaalfreespink, soonte freespink, keermefreespink), pingi mudel, valmistaja tehas, pingi number, väljalaske aasta, ülesseadmise koht (tsehh), ekspluatatsiooni andmise kuupäev.

Passi esimesel leheküljel on toodud pingi põhiandmed: pingi gabariitmõõtmed ja kaal, spindli telje kaugus töölauast ja ülatalast; töölaua tööpinna mõõtmed; töölaua maksimaalne käigupikkus (käsitsi ja mehaaniliselt); vertikaal-, rist- ja pikiettenihke limbi jaotuse väärtus; spindli koonilise pesa mõõtmed; spindli otsa visand; ülatala ja ripplaagri mõõtmed.

Passi teisel leheküljel on toodud andmed elektrimootori, rihmarataste, rihmade ja laagrite kohta; pingi juurde kuuluvate normaalrakiste ja tarvikute loetelu; vahetushammasrattad (kui need on antud pingi konstruktsioonis ette nähtud) pingi ja jagamispea häälestamiseks.

Passi kolmandal ja neljandal leheküljel on toodud andmed spindli pöörete arvude ja töölaua ettenihete kohta minutis ning ära näidatud piki-, rist- ja vertikaalettenihke mehhanismile lubatud maksimaalsed jõud kG.

Peale passi kuulub iga pingi juurde pingi hooldamise ja teenindamise juhend, mis hoitakse tsehhi meistri juures või töökohal. Peale passis esitatud andmete on juhendis toodud soovitused pingi kasutamise kohta võimsuse ja koormuse alusel, pingi kinemaatiline skeem koos hammasrataste ja tigude (nii pealiikumise ahel kui ka ettenihete ahel) ning käigukruvide ja mutrite spetsifikatsiooniga, pingi ja ta sõlmede konstruktsiooni kirjeldus, võimalikud rikked pingi töötamisel ja nende kõrvaldamise ning mehhanis-

mide reguleerimise viisid, pingi seadistamise ning kiiruste- ja ettenihete kasti häälestamise võtted, elektriseadmete skeemid ja kirjeldus, soovitused pingi transpordi, lahtipakkimise ja vundamendile ülesseadmise kohta, pingi täpsuse kontrollimise viisid, õlitusskeem jne.

Pingi pass omab otsustavat tähtsust pingi õigesti koormamise ja võimsuse kasutamise seisukohast, samuti ratsionaalsete lõikerežiimide valikul.

## Konsoolfreespinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П pass

Peale pingi üldandmete on teise mõõtmegamma konsoolfreespinkide (6M82, 6M82Г ja 6M12П) passis esitatud veel järgmised andmed pingi põhimõõtmete kohta.

**Pingi põhiandmed**

| | Mudel | | |
|---|---|---|---|
| | 6M82 | 6M82Г | 6M12П |
| **Gabariit ja kaal** | | | |
| Pingi gabariit* (pikkus×laius×kõrgus) mm | 2260×1745×1660 | | 2260×1745×2000 |
| Kaal kG | 3080 | 3015 | 3185 |
| **Põhimõõtmed mm** | | | |
| Spindli telje minimaalne ja maksimaalne kaugus töölauast | 30—410 | 30—450 | 30—450 |
| Spindli otsa maksimaalne kaugus ripplaagritest | 700 | | — |
| Vertikaalsete juhtpindade maksimaalne kaugus toest | 775 | | — |
| Spindli telje kaugus ülatalast | 155 | | — |
| Spindli telje kaugus kere vertikaalsetest juhtpindadest | — | | 350 |
| Töölaua tagumise serva maksimaalne kaugus: | | | |
| spindli otsast** | 250 | | — |
| kere vertikaalsetest juhtpindadest | 300 | | 300 |
| **Töölaud** | | | |
| Töölaua tööpinna mõõtmed (pikkus×laius) mm | 1250×320 | | |

* Passis toodud pingi gabariitmõõtmed iseloomustavad nn. «pakkimise» ehk pingi maksimaalseid mõõtmeid, kui nihutatavad sõlmed on keskasendis. Pinna määramisel, mis pink võtab enda alla, tuleb passis antud pikkusmõõdule lisada pikikäigu pikkus 700 mm (kummalegi poole 350 mm).

** Ainult pinkidele 6M82 ja 6M82Г.

| | Mudel | | |
|---|---|---|---|
| | 6M82 | 6M82Г | 6M12П |
| Töölaua maksimaalne käigupikkus: | | | |
| pikisuunas | 700 | 700 | 700 |
| ristsuunas | 380 | 420 | 420 |
| Töölaua maksimaalne pöördenurk | ±45° | — | — |
| Automaatne vahelduv ettenihe: | | | |
| pikisuunas | | on | |
| rist- ja vertikaalsuunas | | ei ole | |
| Töölaua edasinihkumine limbi ühe pöörde puhul mm | | | |
| piki- ja ristsuunas | | 6 | |
| vertikaalsuunas | | 2 | |
| Töölaua edasinihkumine limbi pööramisel ühe jaotuse võrra (piki-, rist- ja vertikaalsuunas) mm | | 0,05 | |
| **Spindel** | | | |
| Sisekoonus: | | | |
| süsteem | | ГОСТ 836-47 | |
| mõõt | | nr. 3 | |
| Spindli pidurdusseadis | | on | |
| Käepidemete blokeerimissüsteem | | on | |
| Spindli maksimaalne teljesuunaline nihkumine (käsitsi) mm** | — | | 70 |
| Spindli edasinihkumine limbi ühe pöörde puhul mm** | — | | 4 |
| Spindli edasinihkumine limbi pööramisel ühe jaotuse võrra mm** | — | | 0,05 |
| Spindelpea maksimaalne pöördenurk** | — | | ±45° |
| **Ajam** | | | |
| Elektrimootorid: | | | |
| pealiikumise ajami elektrimootor | $N = 7$ kW; $n = 1440$ p/min | | |
| ettenihke ajami elektrimootor | $N = 1{,}7$ kW; $n = 1420$ p/min | | |
| jahutusvedeliku pumba elektrimootor | $N = 0{,}125$ kW; $n = 2800$ p/min<br>$Q = 22$ l/min | | |

** Ainult pinkidele 6M12П.

## Pealiikumise mehaanika

| Kiirusastme nr. | Spindli pöörete arv minutis pärisuunas või vastupidi pöörlemisel | Pingid 6M82 ja 6M82Г | | Pink 6M12П | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Võimsus spindlil kW | Kasutegur η | Võimsus spindlil | Kasutegur η |
| 1 | 31,5 | 5 | 0,92 | 5 | 0,91 |
| 2 | 40 | 5,5 | 0,91 | 5,5 | 0,91 |
| 3 | 50 | 6 | 0,91 | 6 | 0,91 |
| 4 | 63 | 6,5 | 0,91 | 6,5 | 0,90 |
| 5 | 80 | 7 | 0,91 | 7 | 0,89 |
| 6 | 100 | 7 | 0,89 | 7 | 0,87 |
| 7 | 125 | 7,5 | 0,88 | 7,5 | 0,87 |
| 8 | 160 | 8 | 0,86 | 8 | 0,83 |
| 9 | 200 | 8 | 0,85 | 8 | 0,82 |
| 10 | 250 | 8 | 0,85 | 8 | 0,82 |
| 11 | 315 | 8 | 0,85 | 8 | 0,84 |
| 12 | 400 | 8 | 0,85 | 8 | 0,83 |
| 13 | 500 | 8,2 | 0,84 | 8,2 | 0,79 |
| 14 | 630 | 8,2 | 0,82 | 8,2 | 0,79 |
| 15 | 800 | 8,2 | 0,81 | 8,2 | 0,75 |
| 16 | 1000 | 8,2 | 0,78 | 8,2 | 0,75 |
| 17 | 1250 | 8,2 | 0,78 | 8,2 | 0,75 |
| 18 | 1600 | 8,2 | 0,76 | 8,2 | 0,75 |

## Ettenihete mehaanika

| Ettenihke astme nr. | Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П töölaua ettenihe mm/min | | | Ettenihke astme nr. | Pinkide 6M82, 6M82Г ja 6M12П töölaua ettenihe mm/min | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | pikiettenihe | ristettenihe | vertikaalettenihe | | pikiettenihe | ristettenihe | vertikaalettenihe |
| 1 | 25 | 25 | 8,3 | 10 | 200 | 200 | 66,6 |
| 2 | 31,5 | 31,5 | 10,5 | 11 | 250 | 250 | 83,3 |
| 3 | 40 | 40 | 13,3 | 12 | 315 | 315 | 105 |
| 4 | 50 | 50 | 16,6 | 13 | 400 | 400 | 133,3 |
| 5 | 63 | 63 | 21 | 14 | 500 | 500 | 166,6 |
| 6 | 80 | 80 | 26,6 | 15 | 630 | 630 | 210 |
| 7 | 100 | 100 | 33,3 | 16 | 800 | 800 | 266,6 |
| 8 | 125 | 125 | 41,6 | 17 | 1000 | 1000 | 333,3 |
| 9 | 160 | 160 | 53,3 | 18 | 1250 | 1250 | 416,6 |

| Ettenihkemehhanismile lubatud maksimaalne jõud kG | Pikiettenihe | Ristettenihe | Vertikaalettenihe |
|---|---|---|---|
| | 1500 | 1200 | 500 |

### Pinkide kasutamise piirtingimused võimsuse ja koormuse alusel

Pingi kasutamist spindli suurtel ja keskmistel pööretel piirab peamiselt freesile lubatud lõikekiirus ja pealiikumise ajami elektrimootori võimsus.

Elektrimootori täielikku võimsust kasutatakse kõige ratsionaalsemalt spindli töötamisel keskmiste pöörete arvuga. 70—75% elektrimootori võimsusest kasutatakse spindli töötamisel madalate pöörete arvuga (4—5 kiirusaste).

Kõikidel juhtudel, kui töötlemisel on võimalik kasutada kõvasulamist lõiketeradega freese, soovitatakse rakendada kiirlõikamist, mis on kõige tootlikum töötlemisviis ja mis tagab pingi rahuliku ja stabiilse töötamise.

Freesimisel kiirlõiketerasest silinder- ja laupfreesidega lubatakse töölauda koormata pikiettenihkejõuga mitte üle 1500 kG, ristettenihkejõuga mitte üle 1200 kG ja vertikaalettenihkejõuga mitte üle 500 kG.

Töötamisel rasketel lõikerežiimidel piirab pingi kasutamist lõikeriista püsivus ja tugevus.

Pärast lõikerežiimi määramist (vt. peatükk XXVII) tuleb passi järgi kontrollida lõikerežiimi vastavust antud pingile võimsuse ja koormuse alusel.

#### Kontrollküsimusi

1. Kuidas määratakse freesimisel pöördemoment?
2. Millega iseloomustatakse freesimiseks vajalikku võimsust?
3. Mida nimetatakse kasuteguriks?
4. Kuidas määratakse pingi valiku õigsust võimsuse alusel?
5. Milleks on vaja pingi passi?

## XXVII PEATÜKK

# LÕIKEREŽIIMI VALIK FREESIMISEL

## § 78. TINGIMUSED, MIS MÄÄRAVAD LÕIKEREŽIIMI VALIKU

### Optimaalse lõikerežiimi mõiste

Optimaalseks lõikerežiimiks nimetatakse kõige otstarbekamalt valitud lõikekiirust, ettenihet ja lõikesügavust, mille juures antud konkreetsetel töötlemistingimustel (s. t. kasutades kõige ratsionaalsemalt lõikeriista lõikeomadusi ja pingi võimalusi) saavuta-

takse maksimaalne tootlikkus ja minimaalne operatsiooni maksumus koos töödeldava detaili pinnasileduse ja mõõtmete täpsuse tagamisega.

NSVL Ministrite Nõukogu Riikliku Töö- ja Palgaküsimuste Komitee Töö Teadusliku Uurimise Instituudi poolt on kodumaa väljapaistvate teadlaste osavõtul välja töötatud freesimisrežiimide normatiivid töötlemiseks kiirlõiketerasest ja kõvasulamist lõikeriistadega, arvesse võttes praktilist kasutamist tootmistingimustes.* Neid lõikerežiime kasutatakse lähteandmetena lõikekiiruse ja minutilise ettenihke määramisel.

Need normatiivid on igas tehases ja neid kasutatakse tehnoloogilise protsessi väljatöötamisel ning operatsioonikaartide koostamisel, mida käsitlesime eespool (vt. lk. 196—200). Normatiividest toodud lõikekiirused ja minutilised ettenihked ei ole maksimaalsed. Freesijad võivad neid ületada, kui kasutada tootlikumaid lõikeriistu või kui töötada jäigematel ja suurema võimsusega pinkidel.

Teisest küljest, algajad freesijad, kel puuduvad veel küllaldased kogemused, ei ole suutelised töötama normatiivsete lõikerežiimidega, sellepärast on käsiraamatus «Справочник молодого фрезеровщика»** («Algaja freesija käsiraamat») algajatele ette nähtud vähem intensiivsed lõikerežiimid. Sedamööda, kuidas tõuseb kvalifikatsioon, tuleb üle minna rangemate lõikerežiimide kasutamisele.

Et juurutada iseseisvalt uusi režiime, peab teadma freesimisrežiimide kindlaksmääramise korda.

## Freesi lõikeosa materjal

Otsustavaks teguriks lõikerežiimi määramisel on freesi lõikeosa materjal. Nagu eespool (vt. lk. 54) selgus, võimaldavad kõvasulamist plaadikestega varustatud freesid (võrreldes kiirlõiketerasest freesidega) rakendada suuremaid lõikekiirusi ja suuremaid ettenihkeid; nagu selgub edaspidi, võimaldavad kõvasulamist lõiketeradega freesid kiirlõiketerasest freesidega võrreldes tõsta tootlikkust kaks kuni kolm korda. Sellepärast on peaaegu kõikidel freesimistöödel otstarbekas kasutada kõvasulamist plaatidega freese; nende kasutamist võivad takistada pingi mittekülläldane võimsus või töödeldava tooriku materjali eriomadused.

---

* Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на фрезерных станках». Серийное производство, Машгиз, 1959.

Sama, Единичное и мелкосерийное производство, Машгиз, 1960.

** Френкель С. Ш. Справочник молодого фрезеровщика. Изд. 2-е. Профтехиздат, 1962.

Kuid real juhtudel on ratsionaalsem kasutada freesi lõikeosa materjaliks süsinik-tööriistateraseid, legeeritud tööriistateraseid või kiirlõiketeraseid, eriti siis, kui töödeldava detaili mõõtmete täpsus ja pinnasiledus on tähtsamad kui töö täitmise kiirus.

## Lõikeosa geomeetrilised parameetrid

Suurt tähtsust omavad lõikerežiimi valikul freesi lõikeosa geomeetrilised parameetrid (lõikenurgad, hamba kuju ja mõõtmed), mida nimetatakse *freesi geomeetriaks*. Eespool (vt. § 7) vaatlesime freesi hamba geomeetria iga elemendi tähendust ja mõju lõikeprotsessis, siin vaatleme kiirlõiketerasest P18 ja kõvasulamist plaadikestega varustatud freeside lõikeosa soovitatavaid geomeetrilisi parameetreid.

Tabelites 35 ja 36 on toodud kiirlõiketerasest silinder-, laup-, ketas-, mahalõike-, ots- ja kujufreeside soovitatavad geomeetrilised parameetrid.

Tabel 35

**Kiirlõiketerasest P18 freeside lõikeosa geomeetrilised parameetrid**

I. Esinurgad

| Töödeldav materjal | | Laup-, silinder-, ketas- ja otsfreesid | Ketas-, soon- ja mahalõikefreesid | | Kuju- ja nurkfreesid | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | $B <$ 3 mm | $B >$ 3 mm | Koorimine | Silumine |
| | | Esinurk $\gamma$ kraadides | | | | |
| Süsinikterased ja legeeritud terased $\sigma_b$ kG/mm² | <60 | 20 | 5 | 10 | 15 | 10 |
| | 60 ÷ 100 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 |
| | >100 | 10 | 5 | 10 | 10 | 5 |
| Malm *HB* | <150 | 15 | 5 | 10 | 15 | 5 |
| | >150 | 10 | 5 | 10 | 10 | 5 |
| Kuumuskindlad terased | — | 12—20 | — | — | 5 | — |
| Vasesulamid | — | 10 | 5 | 10 | 10 | 5 |

## II. Taganurgad

| Freesi tüüp | | Normaaltaganurk $\alpha_n°$ | Otstaganurk $\alpha_1°$ |
|---|---|---|---|
| Laup- ja silinderfreesid | peenehambalised freesid | 16 | 8 |
| | vahetatavate hammastega ja suurehambalised freesid | 12 | 8 |
| Kolmepoolsed ketasfreesid | tervikfreesid | 20 | 6 |
| | vahetatavate hammastega freesid | 16 | 6 |
| Ketas-, soone- ja mahalõikefreesid | | 20 | — |
| Otsfreesid | | 14 | — |
| Pilufreesid | | 30 | — |
| Kuju- ja nurkfreesid | teravatipuliste hammastega freesid | 16 | 8 |
| | kukaldatud hammastega freesid | 12 | — |

## III. Nurgad plaanis ja ülemineku lõikeserva pikkus

| Freesi tüüp | | | Nurgad plaanis kraadides | | | Ülemineku-lõikeserva pikkus või raadius $f_0$ mm |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | Peanurk | Abinurk | Ülemineku lõikeserva nurk | |
| | | | $\varphi$ | $\varphi_1$ | $\varphi_0$ | |
| Laupfreesid | Terastele ja vasesulamitele | Vahetatavate hammastega freesid | 45—60 | 1—2 | — | — |
| | | tervikfreesid | 90 | 1—2 | 45 | 1,0—2 |
| | Kuumuskindlatele terastele | | 30—60 | 10 | — | $r = 1{,}0$ |
| Otsfreesid | | | — | 3 | 45 | 0,5—1,0 |
| Ketasfreesid | kolmepoolsed | | — | 1—2 | 45 | 1,0—1,5 |
| | soonefreesid | | — | 1—2 | — | — |
| Pilufreesid | | | — | 15′—1°30′ | — | — |
| Mahalõikefreesid (laiusega üle 3 mm) | | | — | 15′—1° | 45 | 0,5 |

Märkused: 1. Kui silinderfreesi hammaste kaldenurk on üle 30°, võetakse terase $\sigma_b$ 60 kG/mm² töötlemisel esinurk $\gamma = 15°$.
2. Kui kujufreeside esinurk $\gamma > 0°$, tuleb nende freeside kontuuri täpsete profiilide töötlemisel korrigeerida.
3. Kuumuskindlate teraste töötlemisel laupfreesiga võetakse esinurga ülemised väärtused, ots- ja silinderfreesiga töötamisel — alumised ja keskmised väärtused.
4. Freeside tagapindadele jätta teritamisel kuni 0,1 mm laiune faas. Pilu- ja mahalõikefreesid teritada ilma faasi jätmata.

Tabel 36

**Kiirlõiketerasest freeside kruvisoonte soovitatavad kaldenurgad ω**

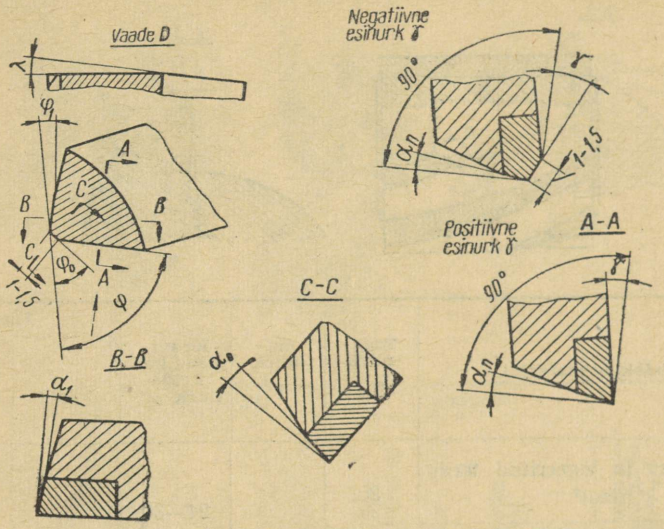
| Freesid | Nurk ω kraadides |
|---|---|
| Silinderfreesid: | |
| suurehambalised | 40 |
| peenehambalised | 30—35 |
| koostatavad | 20—45 |
| Otsfreesid | 30—45 |
| Kiilusoonefreesid | 15—25 |
| Ketasfreesid: | |
| kahepoolsed | 15 |
| kolmepoolsed | 8—15 |
| kolmepoolsed erinevalt suunatud hammastega | 10—15 |
| kolmepoolsed koostatavad: | |
| kui $B > 15$ mm | 12—15 |
| kui $B < 15$ mm | 8—10 |
| kahekordsed kolmepoolsed | 15 |
| Laupfreesid: | |
| tervik- | 25—40 |
| kiirlõiketerasest vahetatavate hammastega | 10 |

Tabelites 37—40 on toodud kõvasulamist plaadikestega varustatud laup-, silinder- ja ketasfreeside esi- ja taganurkade, pea-, abi- ja üleminekulõikeserva nurkade plaanis, lõikeservade ja kruvisoonte kaldenurkade ja tipu raadiuste soovitatavad suurused.

Freesid, mida kasutatakse enamiku toorikute töötlemisel, hangitakse tavaliselt tööriistatehastest ГОСТ-ile vastavate geomeetriliste parameetritega ja freesijal, erinevalt treialist ja höövеldajast, on praktiliselt peaaegu võimatu muuta teritamisega freesi lõikenurki. Tabelites 35—40 toodud freeside lõikeosa geomeetrilised parameetrid aitavad freesijat õppe- ja tootmistsehhi tööriistalaos olevate standardsete freeside hulgast valida õigesti antud tööks vastavat freesi. Nende tabelite peamine ülesanne seisneb soovitustes juhuks, kui freesija tahab ise tööriistaosakonnale tellida antud töötlemiseks optimaalsete parameetritega standardseid või spetsiaalseid freese.

Tabel 37

**Kõvasulamist plaadikestega varustatud laupfreeside lõikeosa geomeetrilised parameetrid**

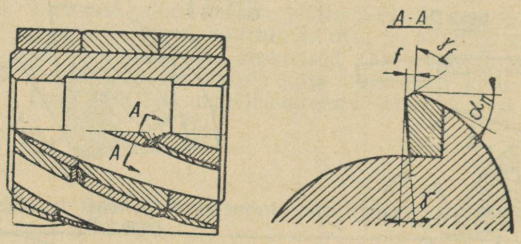



| Töödeldav materjal | | Freesi hammaste teritusnurgad kraadides (koostatult) | | | | | | | Tipu raadius mm |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Nurk plaanis | | | Taganurk | | Esinurk | Lõikeserva kaldenurk | |
| | | pea- | ülemine-kulõikeserva | abi- | töötlemiseks ettenihkega mm/hambale | | | | |
| | | | | | $s_z <$ 0,25 | $s_z >$ 0,25 | | | |
| | | $\varphi$ | $\varphi_0$ | $\varphi_1$ | $\alpha_n = \alpha_1$ | | $\gamma$ | $\lambda$ | $r$ |
| Süsinik-konstruktsioonteraseid, legeeritud konstruktsioonterased | $\sigma_b < 80$ kG/mm² | 15—60 | $\frac{\varphi}{2}$ | 5 | 12—15 | 6—8 | $\frac{-5}{-10}$ | 12—15 | — |
| | $\sigma_b > 80$ kG/mm² | | | | | | | | |
| Kuumuskindlad terased | | 30—60 | — | 10 | 10 | 10 | +8 | 0 | 1,0 |
| Hallmalm | | 15—60 | $\frac{\varphi}{2}$ | 5 | 12—15 | 6—8 | +5 | 12—15 | — |
| Tempermalm | | 60 | $\frac{\varphi}{2}$ | 2 | — | 6—8 | +7 | 12—15 | — |

Märkus. Väikesi nurki plaanis $\varphi = 15—30°$ tuleb kasutada jäikadel pinkidel koorimisel väikese lõikesügavusega või madalate täpsus- ja pinnasiledusnõuetega pindade silumisel.

Tabel 38

Kõvasulamist plaadikestega varustatud silinderfreeside lõikeosa geomeetrilised parameetrid




| Töödeldav materjal | Taganurk $\alpha_n^\circ$ | Esinurk $\gamma^\circ$ | Kruviplaadikese kaldenurk $\omega^\circ$ | Faas | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | | | $f$ mm | Esinurk faasil $\gamma_f^\circ$ |
| Süsinikteras ja legeeritud teras $\sigma_b < 75$ kG/mm² | 20 | 5 | 24—30 | — | — |
| Malm $HB < 200$ | 15 | 0 | | | |
| Süsinikteras ja legeeritud teras $\sigma_b = 75—110$ kG/mm² | 20 | 0 | 24—30 | 0,2—0,6 | 0 |
| Malm $HB > 200$ | 15 | 0 | | | |
| Süsinikteras ja legeeritud teras $\sigma_b > 110$ kG/mm² | 20 | 5 | 24—30 | 1,0—2,0 | —5 |

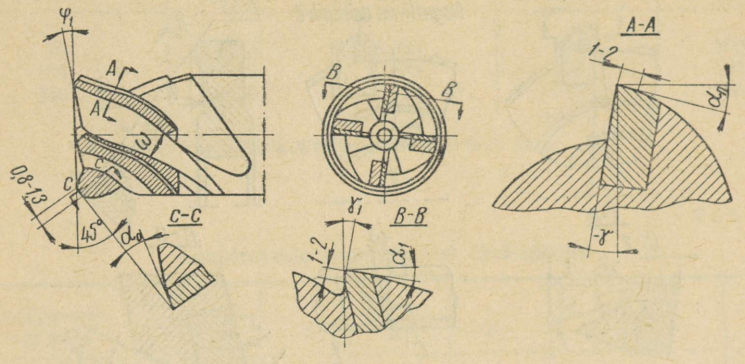
Märkus. Hamba tagapinnal piki lõikeserva lubatakse faas laiusega kuni 0,1 mm.

## Freesimislaius ja lõikesügavus

Freesimislaius antakse detailjoonisel. Juhul, kui töödeldakse mitut ühte kinnitusrakisesse paralleelselt kinnitatud toorikut, on freesimislaiuseks kõikide toorikute summaarne laius. Kui töödeldakse freeside komplektiga, on freesimislaiuseks kõikide kaaspindade summaarne laius.

Freesimissügavus (lõikesügavus, mahalõigatava kihi paksus) on töödeldava ja töödeldud pinna vaheline kaugus. Töötlemisaja lühendamiseks soovitatakse freesida ühe töökäiguga. Töödeldud pinna täpsuse ja pinnasileduse kõrgendatud nõuete kor-

**Kõvasulamist plaadikestega varustatud otsfreeside lõikeosa geomeetrilised parameetrid süsinik-konstruktsiooniteraste ja legeeritud konstruktsiooniteraste töötlemisel**




| Freeside konstruktsioon | Taganurk | | | Esinurk | | kruviplaadikese kaldenurk ω° | abinurk plaanis $\varphi_1$° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | hamba perifeerial $\alpha_n$° | hamba otsal $\alpha_1$° | ülemineku-lõikeserval $\alpha_0$° | hamba perifeerial $\gamma$° | hamba otsal $\gamma_1$° | | |
| Kroonfreesid | 20 | 6 | 20 | —5* | +3—(—3)** | 25 | 3 |
| Kruviplaadikestega freesid | 20 | 6 | 20 | —5* | +3—(—3)** | 28—40 | 3 |

* Süsteemi pink-rakis-lõikeriist-detail väikese jäikuse ja laastu suure ristlõike ($B > D$; $t > 0{,}5D$) puhul, samuti töötamisel madala lõikekiirusega ($v < 100$ m/min), võetakse esinurk positiivne —0 kuni +8°.

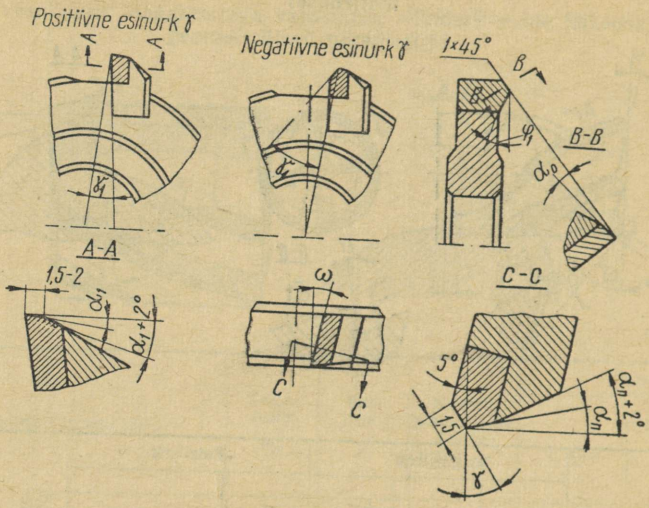
** Suuremad väärtused kehtivad pehmetele terastele, väiksemad — kõvadele terastele.

ral tuleb freesida kahe — kooriva ja siluva siirdega. Üksikjuhtudel, suurte töötlusvarude mahalõikamisel või freesimisel mittekülladase võimsusega freespinkidel, freesitakse kahe kooriva töökäiguga.

Tagikihiga kaetud terassepiste, valukoorikuga kaetud või vormiliivaga mustatud teras- ja malmvalandite freesimisel peab lõikesügavus olema mustatud kihi paksusest suurem, et kogu mustatud kiht maha lõigata ühe töökäiguga, sest freesi hamba libisemine mööda koorikut mõjub freesile negatiivselt, kiirendades lõikeserva kulumist.

Tabel 40

**Kõvasulamist plaadikestega varustatud ketasfreeside lõikeosa geomeetrilised parameetrid**




| Töödeldav materjal | | Taganurk: hamba perifeerial $\alpha_n$° | Taganurk: hamba küljel $\alpha_1$° | Taganurk: ülemine nekulõikeserval $\alpha_0$° | Esinurk $\gamma$° | Hamba kaldenurk $\omega$° | Abinurk plaanis $\varphi_1$° |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Süsinik-konstruktsioonteraseid ja legeeritud konstruktsioonteraseid | $\sigma_b \leqslant 80$ kG/mm² | 20 | 4 | 20 | —5 | 8—15 | 2—5 |
| | $\sigma_b > 80$ kG/mm² | 20—25 | 4 | 20—25 | —10 | 8—15 | 2—5 |
| Hallmalm | | 10—15 | 4 | 10—15 | +5 | 8—15 | 2—5 |

Teraste koorivfreesimisel soovitatakse võtta lõikesügavus 3—5 mm, teras- ja malmvalu koorimisel — 5—7 mm. Siluvfreesimisel võetakse lõikesügavuseks 0,5—1 mm.

## Freesi läbimõõt

Freesi läbimõõt valitakse olenevalt freesimislaiusest $B$ ja lõikesügavusest $t$. Tabelis 41 on toodud andmed silinderfreesi, tabelis 42 laupfreesi ja tabelis 43 ketasfreesi valikuks.

Tabel 41

**Silinderfreeside soovitatavad läbimõõdud**

| Freesimislaius $B$ mm kuni | Freesi läbimõõt $D$ mm lõikesügavuse $t$ mm juures | | | |
|---|---|---|---|---|
| | kuni 2 | kuni 5 | kuni 8 | kuni 10 |
| 70 | 63 | 80 | 100 | 100 |
| 100 | 80 | 100 | 100 | 100 |
| 150* | 100 | 110 | 110 | 130 |

* Kasutada koostatavaid freese ГОСТ 1979-52 järgi.

Tabel 42

**Laupfreeside soovitatavad läbimõõdud**

| Lõikesügavus $t$ mm kuni | 4 | 4 | 6 | 6 | 6 | 8 | 10 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Freesimislaius $B$ mm kuni | 40 | 70 | 90 | 120 | 180 | 250 | 350 |
| Freesi läbimõõt $D$ mm | 50—63 | 80—100 | 125—160 | 160—200 | 250 | 315—400 | 400—500 |

Tabel 43

**Ketasfreeside soovitatavad läbimõõdud**

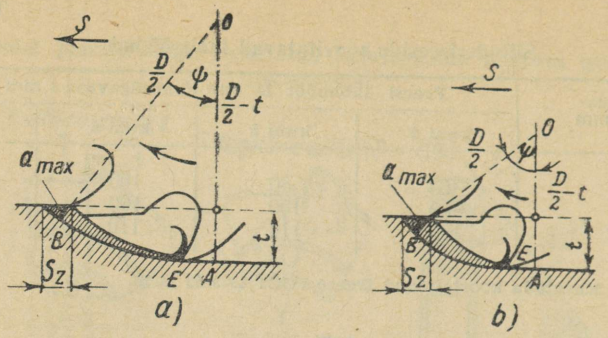
| Freesimislaius $B$ mm kuni | Freesi läbimõõt $D$ mm lõikesügavuse $t$ mm juures | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | kuni 5 | kuni 10 | kuni 20 | kuni 30 | kuni 60 | kuni 100 |
| 10 | 50 | 63 | 80 | 100 | 160 | — |
| 20 | 63 | 80 | 100 | 125 | 200 | 315 |
| 40 | 80 | 100 | 125 | 160 | 200 | 315 |

Vaatleme freesi läbimõõdu mõju freesimise tootlikkusele.

Silinderfreesi läbimõõt avaldab mõju lõigendi paksusele: mida suurem on freesi läbimõõt $D$, seda õhem on lõigend konstantse ettenihke $s_z$ ja lõikesügavuse $t$ juures.

Joonisel 327 on kujutatud lõigend, mis on saadud ühesuguse lõikesügavuse $t$ ja ettenihke $s_z$ juures läbimõõdult erinevate freesidega lõikamisel. Lõigend, mis saadakse läbimõõdult suurema freesiga lõikamisel (joon. 327, *a*) on õhem lõigendist, mis saadakse läbimõõdult väiksema freesiga lõikamisel (joon. 327, *b*).

Kuna lõigendi paksuse $a_{max}$ vähenemisega tõuseb erisurve (vt. tabel 33), on kasulikum töötada paksemate lõigenditega, s. t. teiste võrdsete tingimuste juures läbimõõdult väiksema freesiga.




Joon. 327. Freesi läbimõõdu mõju lõigendi paksusele

Freesi läbimõõt avaldab mõju ka freesi t ö ö k ä i g u p i k k u s e l e.

Joonisel 328 on näidatud töökäigu pikkus detaili, pikkusega $L$, töötlemisel; joonisel 329 — töökäigu pikkus tooriku, pikkusega $L$, ebasümmeetrilisel freesimisel laupfreesiga; joonisel 330 — töökäigu pikkus tooriku, pikkusega $L$, sümmeetrilisel freesimisel laupfreesiga.

Freesi *sisselõikumise pikkus* $l$ oleneb:

töötamisel silinder-, ketas-, mahalõike- ja kujufreesidega freesi läbimõõdust $D$, freesimissügavusest $t$ ja väljendatakse valemiga

$$l = \sqrt{t\,(D - t)}\ \text{mm}; \qquad (46)$$

töötamisel laup- ja otsfreesidega ebasümmeetrilise freesimisskeemi järgi freesi läbimõõdust $D$, freesimislaiusest $B$ ja väljendatakse valemiga

$$l = \sqrt{B\,(D - B)}\ \text{mm}; \qquad (47)$$

töötamisel laupfreesidega sümmeetrilise freesimiskeemi järgi freesi läbimõõdust $D$, freesimislaiusest $B$ ja väljendatakse valemiga

$$l = 0{,}5\,(D - \sqrt{(D^2 - B^2)}\ \text{mm}. \qquad (48)$$

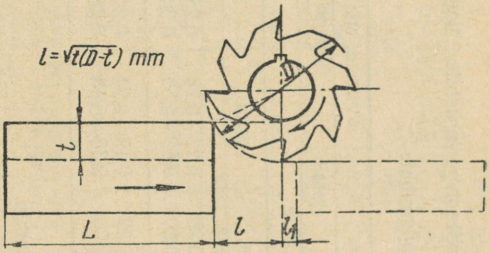
Freesi *ülejooksu pikkus* $l_1$ võetakse 2 kuni 5 mm piirides sõltuvalt freesi läbimõõdust.

Järelikult on freesi sisselõikumise ja ülejooksu pikkuste vähendamiseks, s. t. pingi tühikäigu lühendamiseks otstarbekam valida väiksema läbimõõduga frees.

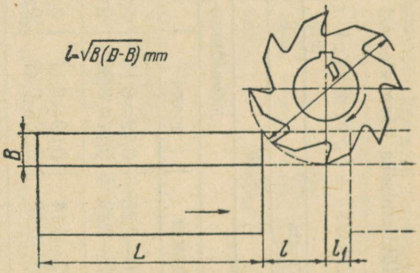
Raamatu lõpus lisades 2 ja 3 on toodud tabelid freesi sisselõikumise ja ülejooksu pikkuste kohta.

Freesi läbimõõt avaldab mõju ka pöördemomendi suurusele: mida väiksem on freesi läbimõõt, seda väiksem pöördemoment tuleb anda pingi spindlile.

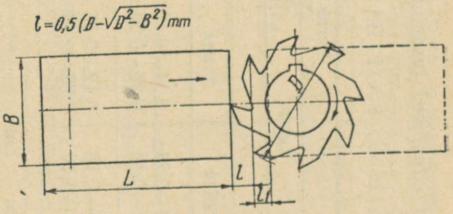
Seega võiks järeldada, et otstarbekam on valida väiksema läbimõõduga frees. Kuid teiselt poolt, vähendades freesi läbimõõtu, tuleb valida ka peenem, s. t. väiksema jäikusega freestorn, mis tingib freestorni koormuse vähendamist ja mahalõigatava kihi ristlõike vähendamist.




Joon. 328. Silinderfreesi sisselõikumise ja ülejooksu pikkused




Joon. 329. Laupfreesi sisselõikumise ja ülejooksu pikkused ebasümmeetrilisel freesimisel




Joon. 330. Laupfreesi sisselõikumise ja ülejooksu pikkused sümmeetrilisel freesimisel

## Ettenihe

Koorivfreesimisel oleneb ettenihe töödeldavast materjalist, freesi lõikava osa materjalist, pingi ajami võimsusest, süsteemi pink-rakis-lõikeriist-detail jäikusest, töötlemise mõõtmetest ja freesi teritusnurkadest.

Tabel 44

## Soovitatavad ettenihked tasapindade töötlemiseks kõvasulamist plaadikestega varustatud laupfreesidega

### I Ettenihked koorimisel $s_z$ mm/hambale

| Pingi võimsus kW | Freesi ülesseade skeem joonise 324 järgi | Teras $\sigma_b$ kG/mm² | | | | Malm *HB* | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | ⩽60 | | >60 | | ⩽180 | | >180 | |
| | | Kõvasulami mark | | | | | | | |
| | | T5K10 | T15K6 | T5K10 | T15K6 | BK8 | BK6 | BK8 | BK6 |
| üle 10 | *a* | 0,20—0,24 | 0,14—0,18 | 0,16—0,20 | 0,12—0,15 | 0,32—0,38 | 0,22—0,28 | 0,25—0,32 | 0,18—0,24 |
| | *c* | 0,40—0,48 | 0,28—0,36 | 0,32—0,40 | 0,24—0,30 | 0,65—0,80 | 0,45—0,56 | 0,50—0,64 | 0,38—0,48 |
| 5—10 | *a* | 0,15—0,18 | 0,12—0,15 | 0,12—0,14 | 0,09—0,11 | 0,24—0,29 | 0,19—0,24 | 0,20—0,24 | 0,14—0,18 |
| | *c* | 0,30—0,36 | 0,22—0,30 | 0,24—0,28 | 0,18—0,22 | 0,48—0,56 | 0,38—0,48 | 0,38—0,45 | 0,28—0,36 |

### II Ettenihked silumisel $s_0$ mm/p

| Töödeldav materjal | | Abinurk plaanis $\varphi_1°$ | Siledusklass ГОСТ 2789-59 järgi | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | ▽5 | ▽6 | ▽7 | ▽8 |
| Teras $\sigma_b$ kG/mm² | ⩽70 | 5 | 0,80—0,50 | 0,55—0,40 | 0,25—0,20 | 0,15 |
| | | 2 | 1,6 —1,0 | 1,1 —0,80 | 0,50—0,40 | 0,30 |
| | >70 | 5 | 1,0 —0,7 | 0,60—0,45 | 0,30—0,20 | 0,20—0,15 |
| | | 2 | 2,0 —1,4 | 1,2 —0,90 | 0,60—0,40 | 0,40—0,30 |

**Märkused:**

1. Toodud ettenihete suurused koorimisel on arvestatud töötamiseks standardsete freesidega. Mittestandardsete suurendatud hammaste arvuga freesidega töötamisel tuleb ettenihete suurusi vähendada 15—20%.
2. Freesi töötamise algperioodil kuni kulumiseni 0,2—0,3 mm väheneb töödeldud pinna siledus silumisel ühe klassi võrra.

Tabel 45

## Soovitatavad ettenihked $s_z$ mm/hambale tasapindade koorimiseks kiirlõiketerasest P18 freesidega

| Pingi (spindlipea) võimsus kW | Süsteemi pink-rakis-lõikeriist-detail jäikus | Silinderfreesid | | | | Laupfreesid | | | | Kolmepoolsed ketasfreesid | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | suurehambalised ja vahetatavate lõiketeradega | | peenehambalised | | suurehambalised ja vahetatavate lõiketeradega | | peenehambalised | | suurehambalised ja vahetatavate lõiketeradega | | peenehambalised | |
| | | Töödeldav materjal | | | | | | | | | | | |
| | | teras | malm | teras | malm | teras | malm | teras | malm | teras | malm | teras | malm |
| Üle 10 | Suurendatud | 0,4 —0,6 | 0,6 —0,8 | | | 0,2 —0,3 | 0,4 —0,6 | | | 0,15—0,25 | 0,3 —0,5 | | |
| | Keskmine | 0,3 —0,4 | 0,4 —0,6 | | | 0,15—0,25 | 0,3 —0,5 | | | 0,12—0,2 | 0,25—0,4 | | |
| | Vähendatud | 0,2 —0,3 | 0,25—0,4 | | | 0,1 —0,15 | 0,2 —0,3 | | | 0,10—0,15 | 0,2 —0,3 | | |
| 5—10 | Suurendatud | 0,2 —0,3 | 0,25—0,4 | 0,1 —0,15 | 0,12—0,2 | 0,12—0,2 | 0,3 —0,5 | 0,08—0,12 | 0,2 —0,3 | 0,10—0,18 | 0,25—0,4 | 0,08—0,12 | 0,2 —0,3 |
| | Keskmine | 0,12—0,2 | 0,2 —0,3 | 0,06—0,1 | 0,1 —0,15 | 0,08—0,15 | 0,2 —0,4 | 0,06—0,1 | 0,15—0,03 | 0,08—0,15 | 0,2 —0,3 | 0,06—0,1 | 0,15—0,25 |
| | Vähendatud | 0,1 —0,15 | 0,12—0,2 | 0,08—0,08 | 0,08—0,12 | 0,06—0,1 | 0,15—0,25 | 0,04—0,08 | 0,1 —0,2 | 0,06—0,1 | 0,15—0,25 | 0,04—0,08 | 0,1 —0,2 |
| Kuni 5 | Suurendatud | 0,1 —0,15 | 0,12—0,2 | 0,05—0,08 | 0,06—0,12 | 0,04—0,06 | 0,15—0,3 | 0,04—0,06 | 0,12—0,1 | 0,04—0,06 | 0,15—0,25 | 0,04—0,06 | 0,12—0,2 |
| | Keskmine | 0,06—0,1 | 0,1 —0,15 | 0,03—0,06 | 0,05—0,1 | 0,04—0,06 | 0,1 —0,2 | 0,04—0,06 | 0,08—0,15 | 0,04—0,06 | 0,1 —0,2 | 0,04—0,06 | 0,08—0,15 |

Märkus. Suuremad ettenihete väärtused võtta väiksemate lõikesügavuste ja freesimislaiuste puhul, väiksemad — suuremate lõikesügavuste ja freesimislaiuste puhul.

Tabel 46

## Soovitatavad ettenihked $s_0$ mm/p tasapindade silumiseks kiirlõiketerasest P18 freesidega

| Siledusklass GOCT 2789-59 järgi | Silinderfreesi läbimõõt mm | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 50 | | 63 | | 80 | | 100 | | 110 | | 130 | | 150 | | 200 | |
| | Töödeldav materjal | | | | | | | | | | | | | | | |
| | teras | malm ja vase-sulamid | teras | malm ja vase-sulamid | teras | malm ja vase-sulamid | teras | malm ja vase-sulamid | teras | malm ja vase-sulamid | teras | malm ja vase-sulamid | teras | malm ja vase-sulamid | teras | malm ja vase-sulamid |
| ▽5 | 1,8—1,0 | 1,6—1,0 | 2,3—1,3 | 2,0—1,2 | 2,7—1,5 | 2,3—1,3 | 3,0—1,7 | 2,5—1,4 | 3,4—1,9 | 2,7—1,6 | 3,8—2,1 | 3,0—1,7 | 4,1—2,3 | 3,2—1,9 | 5,0—2,8 | 3,7—2,1 |
| ▽6 | 1,0—0,6 | 1,0—0,6 | 1,3—0,7 | 1,2—0,7 | 1,5—0,8 | 1,3—0,7 | 1,7—1,0 | 1,4—0,8 | 1,9—1,1 | 1,6—0,9 | 2,1—1,2 | 1,7—1,0 | 2,3—1,3 | 1,9—1,1 | 2,8—1,6 | 2,1—1,2 |

Märkus. Ettenihked on antud jäiga süsteemi pink-rakis-lõikeriist-detail jaoks.

Siluvfreesimisel oleneb ettenihe detailjoonisel antud pinnasilediusklassist.

Koorimise ettenihke valikul on põhiliseks lähtesuuruseks ettenihe hambale $s_z$.

Laupfreesiga freesimisel aitab ettenihke $s_z$ valikul kaasa freesi ülesseadmise viis tooriku suhtes, mis määrab ära nurga suuruse freesi hamba kohtumisel toorikuga ja laastu paksuse freesi hamba sisselõikumisel ja väljumisel kontaktist toorikuga.

On kindlaks tehtud, et kõvasulamist lõiketeradega laupfreeside hamba sisselõikumise kõige soodsamad tingimused saavutatakse siis, kui frees on paigutatud tooriku suhtes joonisel 324, *c* näidatud viisil, s. t. kui frees on tooriku suhtes nihutatud suuruse $C = (0{,}03 - 0{,}05)D$ võrra. Selline freesi telje nihutamine võimaldab malmi ja terase sümmeetrilisel (joon. 324, *a*) ettenihkele vastu freesimisel suurendada ettenihet hambale kaks ja enam korda.

Tabelis 44 on toodud nende kahe juhuse kohta soovitatavad ettenihked koorimisel kõvasulamist lõiketeradega laupfreesiga.

Freesimisel kõvasulamist lõiketeradega laupfreesiga avaldab ettenihkele mõju ka peanurk plaanis $\varphi$. Ettenihked, mis on toodud tabelis 44, kehtivad freesidele peanurgaga plaanis $\varphi = 60—45°$. Peanurga plaanis $\varphi$ vähendamine kuni 30°-ni võimaldab suurendada ettenihet 1,5 korda, suurendades aga nurka $\varphi$ kuni 90°-ni, tuleb ettenihet vähendada 30%.

Ettenihked silumisel kõvasulamist lõiketeradega freesidega, mis on toodud tabelis 44, on antud freesi ühele pöördele, kuna ettenihked hambale oleksid liiga väikesed. Ettenihked on antud olenevalt töödeldud pinna silediusklassist ГОСТ 2789-59 järgi.

Tabel 47

**Soovitatavad ettenihked $s_0$ mm/p tasapindade silumisel kiirlõiketerasest P18 laupfreesidega ja kolmepoolsete ketasfreesidega**

| Silediusklass ГОСТ 2789-59 järgi | Laupfreesid ja kolmepoolsed ketasfreesid | | | |
|---|---|---|---|---|
| | töödeldav materjal | | | |
| | Teras 45 (valtsmaterjal) 40X (valtsmaterjal) 40X (normaliseeritud) | Teras 45 | Teras 45 (parendatud) | Teras 10, 20, 20X |
| ▽5 | 1,2—0,5 | 1,4—0,5 | 2,6—1,0 | 1,8—0,7 |
| ▽6 | 0,5—0,23 | 0,5—0,3 | 1,0—0,4 | 0,7—0,3 |

Märkus. Ettenihked on antud jäigale süsteemile pink-rakis-lõikeriist-detail töötamisel freesidega, millede abinurk plaanis $\varphi_1 = 2°$; freesidele, abinurgaga plaanis $\varphi_1 = 0°$, võib ettenihkeid suurendada 50—80%.

Tabelis 45 on toodud soovitatavad ettenihked freesi ühele hambale tasapindade koorimisel kiirlõiketerasest P18 silinder- ja laupfreesidega ning kolmepoolsete ketasfreesidega.

Tabelis 46 on toodud ettenihked tasapindade silumisel kiirlõiketerasest P18 silinderfreesidega, tabelis 47 — tasapindade silumisel kiirlõiketerasest P18 laupfreesidega ja kolmepoolsete ketasfreesidega. Et silumisel ettenihete suurused freesi ühele hambale on väikesed, on tabelites 46 ja 47 antud ettenihked freesi ühele pöördele.

Tabelites 44—47 toodud ettenihete rakendamisel on nõutavaks tingimuseks freesi hammaste minimaalne viskumine (vt. tabel 50).

## § 79. LÕIKEREŽIIMI VALIK

Lõikekiiruse määramisel freesi materjali, geomeetriliste parameetrite ja läbimõõdu järgi, vastavalt valitud lõikesügavusele ja ettenihkele hamba kohta, tuleb võtta aluseks freesi kõige ratsionaalsem püsivusaeg vastavalt normaalsele nürinemisele (kulumisele) ja kasutada vastavat jahutust.

### Freesi püsivusaeg

Tööprotsessis frees nürineb. Frees nürineb kulumise tõttu, mida põhjustab freesi hamba tagapinna hõõrdumine vastu töödeldud pinda ja eemalduva laastu hõõrdumine vastu hamba esipinda.

Frees kulub olenevalt lõikamistingimustest kas tagapinnalt (kui lõigendi paksus $a_{max} < 0{,}08$ mm) või korraga taga- ja esipinnalt (kui lõigendi paksus $a_{max} > 0{,}08$ mm). Silinder-, ketas-, kuju- ja pilufreesid, töötades tingimustel, kus tekivad peened laastud, kuluvad peamiselt tagapinnalt.

Freesi nürinemise alguse tunnusteks on vibratsiooni ilmumine, ebatasane töödeldud pind ja freesi ülemäärane kuumenemine hõõrdumise suurenemise tõttu.

Lähtudes freesi hamba lubatud kulumisest, määratakse kindlaks freesi püsivusaeg. Freesi püsivusajaks nimetatakse ajavahemikku, mille kestel frees pidevalt lõikeprotsessis olles kulub lubatud piirini ehk, lühidalt, lõikeprotsessis oleku aega kahe teineteisele järgneva erituse vahel. Püsivusaega tähistatakse tähega $T$ ja mõõdetakse minutites. Mida suurem on lõikekiirus, seda kiiremini frees nürineb, järelikult ta püsivusaeg väheneb. Vastupidi, mida väiksem on lõikekiirus, seda kauem töötab frees ilma ümberteritamiseta ja järelikult seda suurem on püsivusaeg. Seejuures freesi püsivusaeg muutub tunduvalt lõikekiiruse tühise muutumise juures. Nii näiteks konstruktsiooniteraste, millede $\sigma_b = 75$ kG/mm$^2$, tööt-

Tabel 48

## Freesi keskmine püsivusaeg $T$ minutites

| Freesi tüüp | Freesi läbimõõt mm kuni | Kõvasulamist plaadikestega varustatud freesid | | | Kiirlõiketerasest P18 freesid | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | | Töödeldav materjal | | | | |
| | | teras | malm | teras ja tempermalm | hallmalm | vasesulamid |
| Laupfreesid | 40 | — | — | 120 | — | 120 |
| | 63 | — | — | 180 | — | 180 |
| | 80 | — | 120 | 180 | — | 180 |
| | 100 | 180 | 120 | 180 | — | 180 |
| | 125 | 180 | 180 | 180 | — | 180 |
| | 160 | 180 | 180 | 180 | — | 180 |
| | 200 | 240 | 180 | 240 | — | 240 |
| | 250 | 240 | 240 | 240 | — | 240 |
| | 315 | 300 | 300 | — | — | — |
| | 400 | 420 | 420 | — | — | — |
| Terviksilinderfreesid | 63 | — | — | 120 | 120 | 120 |
| | 100 | — | — | 180 | 180 | 180 |
| Vahetatavate lõiketeradega silinderfreesid | 63—125 | 180 | 180 | 180 | 180 | 180 |
| | 75—150 | — | — | 180 | 180 | 180 |
| Otsfreesid | 20* | 120 | — | — | — | — |
| | 25 | 90 | — | 60 | 60 | 60 |
| | 40 | 120 | — | 90 | 90 | 90 |
| | 63 | 180 | — | 120 | 120 | 120 |
| Ketasfreesid | 80 | — | — | 120 | 120 | 120 |
| | 100 | 120 | — | 120 | 150 | 120 |
| | 125 | 150 | — | 150 | 150 | 150 |
| | 160 | 180 | — | 150 | 180 | 150 |
| | 200 | 240 | — | 150 | 180 | 150 |
| | 250 | 300 | — | 180 | 240 | 180 |
| Mahalõike- ja pilufreesid | 80 | — | — | 60 | 90 | 60 |
| | 100 | — | — | 75 | 120 | 75 |
| | 160 | — | — | 120 | 180 | 120 |
| | 200 | — | — | 150 | 210 | 150 |
| Kuju-, poolümarad-, kumerad- ja nurkfreesid | 50 | — | — | 120 | 120 | 120 |
| | 80 | — | — | 120 | 120 | 120 |
| | 100 | — | — | 180 | 180 | 180 |

* Kroonfreesid.

lemisel kõvasulamist lõiketeradega laupfreesiga vähendab lõikekiiruse suurendamine 15% võrra püsivusaega kahekordselt, aga lõikekiiruse vähendamine 20% võrra suurendab püsivust kolmekordselt.

Töötamisel suurte lõikekiirustega (kiirfreesimine) tõuseb tootlikkus, väheneb tehnoloogilise aja ja tehniline norm ja järelikult on tükihind madalam. Kuid seejuures tuleb freesi püsivusaja vähenemise tulemusena teda tunduvalt sagedamini teritada, kulutada aega ta mahavõtmiseks ja ülesseadmiseks, mis omakorda põhjustab abiaja suurenemise. Peale selle lüheneb ümberteritustega freesi iga, mis koos terituse maksumusega suurendab töötlemise maksumust. Võib juhtuda, et võit tootlikkuse suurenemise arvel suure lõikekiirusega töötamisel osutub väiksemaks kui suurendatud kulutused freesi sagedamale ümberteritusele.

Teisest küljest, töötamisel väikeste lõikekiirustega on tootlikkus madal, mis põhjustab tükinormi tehnoloogilise aja suurenemise, järelikult ka tükihinna suurenemise. Seejuures ökonoomia, mis saadakse freesi püsivuse suurenemise ja ta harvema teritamise arvel, võib osutuda väiksemaks kui kaod seoses tootlikkuse vähenemisega alandatud lõikekiirusest.

Seega on ratsionaalne lõikekiirus mingi vahepealne lõikekiirus, mis vastab freesi sellisele püsivusajale, mille juures ümberterituste maksumus vastab võidule tootlikkuses. Püsivusaega, mis vastab kõige ratsionaalsemale lõikekiirusele, nimetatakse *ökonoomiliseks püsivusajaks.*

Tabelis 48 on toodud freeside keskmised püsivusajad, mis vastavad ta ökonoomilisele püsivusajale olenevalt freesi tüübist, töödeldavast materjalist, lõikeriista lõikava osa materjalist ja töötlemise iseloomust.

Tabelis 48 toodud freeside püsivusajad on ette nähtud töötamiseks ühe lõikeriistaga, s. t. t ö ö t a m i s e k s ü h e f r e e s i g a. Kui töötatakse freeside komplektiga või üheaegselt mitme spindliga analoogiliselt töötamisega freeside komplektiga (nn. m i t m e l õ i k e r i i s t a g a t ö ö t a m i n e), peab kogu seadistuse püsivusaeg olema suurem kui püsivusaeg ühe lõikeriistaga töötamisel, sest suure hulga freeside mahavõtmise, terituse ja uuesti ülesseadmise aeg ületab tunduvalt ühe freesi ökonoomilise püsivusaja.

Mitme lõikeriistaga töötamisel kasutatakse püsivusaja arvutamiseks järgmist valemit:

$$T = K(T_1 + T_2 + \ldots + T_i) \text{ min},$$

kus $T_1$; $T_2$; $T_3$; ... $T_i$ — esimese, teise jne., kuni antud freeside komplekti viimase freesini, püsivusaeg;

$K$ — tegur, mis arvestab freeside arvu komplektis; $K$ suurused on antud allpool.

| Freeside arv | 1 | 2 | 4 | 6 ja enam |
|---|---|---|---|---|
| Teguri $K$ väärtus | 1 | 0,85 | 0,7 | 0,5 |

Et vähendada lõikamisel freesi kuumenemist ja lõikava osa kulumist pehmenemise tõttu kuumenemisel, kasutatakse jahutust.

## Lõikekiiruse valik

Pärast freesi läbimõõdu, lõikava osa materjali ja geomeetriliste parameetrite valikut ning ettenihke määramist freesi ühe hamba kohta määratakse üldmasinaehituse lõikerežiimide normatiivide järgi kindlaks lõikekiirus.

Normatiivid koosnevad üksikutest kaartidest, kus on toodud lõikerežiimid praktikas kõige rohkem esinevate mustade ja värviliste metallide sulamite töötlemiseks laup-, silinder-, ots-, ketas-, mahalõike-, pilu-, kiilusoone-, kuju- ja nurkfreesidega. Freesija ülesandeks on valida vastavalt antud tingimustele sobiv kaart ja määrata selle järgi kindlaks ratsionaalne lõikekiirus.

Normatiivides toodud lõikerežiimid on ette nähtud töötamiseks ühe lõikeriistaga tabelis 48 toodud püsivusaja alusel. Kui püsivusaeg on sellest erinev, tuleb arvestada kaartidel antud lõikekiiruse parandustegurit. Peale selle antakse neil kaartidel lõikekiiruse parandustegur olenevalt töödeldava metalli mehaanilistest omadustest, töödeldava pinna seisukorrast (kui tooriku pind on kaetud koorikuga või tagikihiga), freesimislaiusest ja peanurgast plaanis $\varphi$ (laupfreeside puhul).

Kiirlõiketerasest freesidega silumiseks (mõõtu freesimiseks) on lõikerežiimide kaartidel toodud parandustegur, mis võtab arvesse vähimat lubatud kulumise suurust.

Kuigi lõikerežiimid on koostatud töötamiseks kiirlõiketerasest P18 valmistatud lõikeriistadega, on nad kehtivad ka töötamiseks freesidega, mis on valmistatud kiirlõiketerastest P9K5, P9K10, P9Ф5 ja P18Ф2, samuti kvaliteetselt termiliselt töödeldud kiirlõiketerasest P9. Raamatus on toodud näitena üks lõikerežiimide kaart konstruktsiooniteraste (millede $\sigma_b = 75$ kG/mm$^2$) töötlemiseks kõvasulamist lõiketeradega freesidega (vt. tabel 49).

Kaardil on toodud pöörete arv ja ettenihe minutis vastavalt valitud lõikekiirusele freesi antud läbimõõdu, hammaste arvu ja ettenihke hambale juures.

Kaardi järgi määratud suurused (pöörete arv ja töölaua ettenihe minutis) võivad erineda pingi poolt võimaldatavast spindli pöörete arvust ja töölaua ettenihkest, sest neid piirab pingi kine-

**Lõikerežiimid freesimiseks kõvasulamist T15K6 lõiketeradega varustatud laupfreesidega**

Süsinik-konstruktsiooniteras ning legeeritud kroom- ja kroomnikkelteras, millede $\sigma_b = 75$ kG/mm²

| T min | D/z | t mm kuni | Ettenihe freesi ühele hambale $s_z$ mm/hambale kuni | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | 0,07 | | | 0,1 | | | 0,12 | | | 0,18 | | | 0,24 | | | 0,33 | | |
| | | | v m/min | n p/min | s mm/min | v m/min | n p/min | s mm/min | v m/min | n p/min | s mm/min | v m/min | n p/min | s mm/min | v m/min | n p/min | s mm/min | v m/min | n p/min | s mm/min |
| 180 | 100/8 | 3 | 370 | 1180 | 613 | 330 | 1050 | 730 | 295 | 940 | 875 | 260 | 830 | 1030 | 230 | 730 | 1120 | 205 | 655 | 1460 |
| | | 10 | 325 | 1030 | 535 | 290 | 925 | 645 | 260 | 830 | 770 | 230 | 733 | 910 | 204 | 650 | 1080 | 182 | 580 | 1290 |
| | 125/8 | 3 | 370 | 942 | 490 | 330 | 840 | 584 | 295 | 750 | 700 | 260 | 660 | 820 | 230 | 590 | 985 | 205 | 525 | 1160 |
| | | 10 | 325 | 830 | 430 | 290 | 740 | 515 | 260 | 665 | 615 | 230 | 585 | 725 | 204 | 520 | 865 | 182 | 465 | 1030 |
| | 160/10 | 3 | 370 | 735 | 478 | 330 | 660 | 575 | 295 | 590 | 680 | 260 | 520 | 805 | 230 | 460 | 960 | 205 | 410 | 1140 |
| | | 10 | 325 | 650 | 423 | 290 | 580 | 505 | 260 | 520 | 605 | 230 | 460 | 713 | 204 | 405 | 843 | 182 | 362 | 1000 |
| 240 | 200/12 | 3 | 350 | 560 | 437 | 310 | 495 | 516 | 280 | 447 | 620 | 245 | 390 | 725 | 220 | 350 | 875 | 195 | 310 | 1030 |
| | | 10 | 310 | 495 | 386 | 275 | 440 | 460 | 245 | 390 | 542 | 220 | 350 | 650 | 193 | 305 | 760 | 173 | 275 | 920 |
| | 250/14 | 3 | 350 | 445 | 405 | 310 | 395 | 483 | 280 | 357 | 580 | 245 | 310 | 680 | 220 | 280 | 815 | 195 | 250 | 965 |
| | | 10 | 310 | 395 | 360 | 275 | 350 | 430 | 245 | 310 | 505 | 220 | 280 | 608 | 193 | 245 | 715 | 173 | 220 | 855 |
| 300 | 320/18 | 3 | 340 | 340 | 400 | 300 | 300 | 470 | 270 | 270 | 565 | 240 | 240 | 670 | 210 | 209 | 782 | 188 | 187 | 940 |
| | | 10 | 300 | 300 | 350 | 265 | 265 | 415 | 240 | 240 | 500 | 210 | 210 | 685 | 187 | 187 | 700 | 167 | 166 | 835 |
| 420 | 400/20 | 3 | 315 | 252 | 328 | 280 | 225 | 390 | 250 | 208 | 465 | 220 | 176 | 545 | 196 | 157 | 652 | 175 | 140 | 775 |
| | | 10 | 275 | 220 | 285 | 245 | 196 | 340 | 220 | 176 | 408 | 195 | 156 | 480 | 173 | 138 | 575 | 154 | 123 | 685 |

**Parandustegurid lõikerežiimile muudetud töötingimuste puhul olenevalt:**

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Terase mehaaniliste omaduste iseloomust | Teras $\sigma_b$ kG/mm² | kuni 56 | 56—62 | 63—70 | 71—79 | 80—89 | 90—100 |
| | Teras *HB* kG/mm² | kuni 160 | 160—177 | 178—200 | 201—226 | 227—255 | 256—285 |
| | Tegur $K_{mv} = K_{mn} = K_{ms}$ | 1,42 | 1,26 | 1,12 | 1,0 | 0,89 | 0,79 |
| Faktilise ja normatiivse püsivusaja suhtest | Suhe $T_F : K_H$ | 0,5 | 1,0 | 1,5 | 2 | 3 | 4 |
| | Tegur $K_{T_v} = K_{T_n} = K_{T_s}$ | 1,15 | 1,0 | 0,92 | 0,87 | 0,8 | 0,76 |
| Töödeldava pinna seisukorrast | Pinna seisukord | ilma koorikuta ja valtsmetall | | Koorikuga | | | |
| | | | | Sepis või vormsepis | | Valand | |
| | Tegur $K_{n_v} = K_{n_n} = K_{n_s}$ | 1,0 | | 0,9 | | 0,8 | |
| Freesimislaiuse ja freesi läbimõõdu suhtest | Suhe $B : D$ | kuni 0,45 | | 0,45—0,8 | | üle 0,8 | |
| | Tegur $K_{B_v} = K_{B_n} = K_{B_s}$ | 1,13 | | 1,0 | | 0,89 | |
| Peanurgast plaanis | Peanurk plaanis $\varphi°$ | 90 | 60 | 45 | 30 | 15 | |
| | Tegur $K_{\varphi_{sz}}$ | 0,7 | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 2,8 | |
| | $K_{\varphi_v} = K_{\varphi_n}$ (arvestades ettenihke suurenemist) | 1,0 | 1,0 | 1,1 | 1,1 | 1,05 | |
| | $K_{\varphi_s}$ | 0,7 | 1,0 | 1,1 | 1,65 | 2,9 | |

maatika. Sellepärast peab freesija valima niisuguse pöörete arvu ja töölaua ettenihke, mida pink võimaldab; seejuures soovitatakse valida lähim väiksem pöörete arvu ja ettenihke aste, et faktiline lõikerežiim ei ületaks kaardi järgi valitud lõikerežiimi. Niiviisi väldime freesi enneaegset nürinemist.

Kui lõikekiiruse määramisel kasutatakse parandustegureid tingituna freesimistingimuste erinevusest võrreldes kaardil toodud andmetega (teine püsivusaeg, töödeldava metalli teised mehaanilised omadused, teine freesimislaius, teine peanurk plaanis $\varphi$, koorimine või silumine), muudetakse vastavalt ka freesi pöörete arvu ja ettenihet minutis.

Nagu näitas konsoolfreespinkide ekspluateerimise praktika, tekivad kiirlõiketerasest freesidega töötamisel mõnikord lõikerežiimi parameetrite teatava suhte juures vibratsioonid. Neil juhtudel soovitatakse suurendada ettenihet hambale või kasutada V. J. Karassevi konstruktsiooniga (järsu kruvisoonega ja ebaühtlase hambasammuga) freese. Freesimisel kõvasulamist lõiketeradega freesidega soovitatakse vibratsiooni vältimiseks asetada freestornile hooratas ja kasutada ebaühtlase sammuga koostatavaid freese.

## Lõikerežiimi määramine

Pärast pöörete arvu ja minutilise ettenihke valikut ja korrigeerimist pingi passiandmete järgi määratakse kindlaks tegelik lõikekiirus ja tegelik ettenihe meile juba tuntud valemite abil:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} \text{ m/min},$$

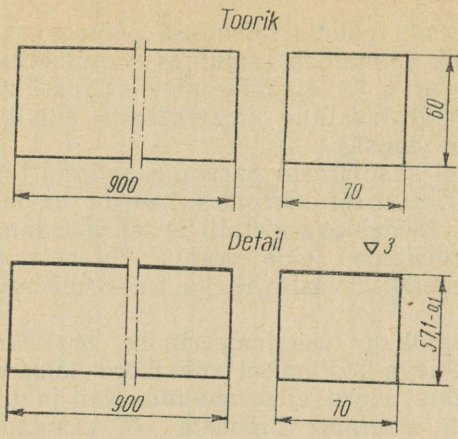
$$s_z = \frac{s}{nz} \text{ mm/hambale}.$$

Kui valitud lõikerežiim ei vasta pingi võimsusele, tuleb normatiivide järgi määratud minutilist ettenihet $s$ vähendada kuni pingi elektrimootori poolt võimaldatava suuruseni ja vastavalt vähendada ka pingi spindli pöörete arvu.

## Näide lõikerežiimi valikust

Vaatleme konkreetse näite varal lõikerežiimi valiku järjekorda valtsmetallist tooriku (joon. 331) $60 \times 70 \times 900$ mm freesimisel vertikaalfreespingil 6M12П. Toorik on terasest 45, mille $\sigma_b = 65$ kG/mm$^2$.

Freesi lõikava osa materjali margi valik. Valime lõikava osa materjaliks vastavalt lk. 55 toodud soovitustele kõvasulami T15K6.




Joon. 331. Nelikantliistu joonis

Laupfreesi lõikava osa geomeetriliste parameetrite valik. Lõikava osa parameetrid valime tabelist 37 terasele, mille $\sigma_b < 80$ kG/mm²: $\varphi = 60°$; $\varphi_0 = 30°$; $\varphi_1 = 5°$; $\alpha_n = 15°$; $\alpha_1 = 15°$; $\gamma = -5°$; $\lambda = 12°$.

Freesimislaiuse ja lõikesügavuse valik. Freesimislaius $B$ on antud joonisega ja võrdub 70 mm; lõikesügavus $t$ on antud tooriku mõõtmetega ja võrdub 2,9 mm. Pinnasiledus ▽3 võimaldab töödelda ühe töökäiguga.

Freesi läbimõõt. Valime tabelist 42 laupfreesi läbimõõduks 100 mm. Kõvasulamist plaadikestega varustatud 100 mm läbimõõduga laupfreesil on 8 hammast.

Ettenihe. Ettenihke valime tabelist 44. Terase, mille $\sigma_b > 60$ kG/mm², koorimiseks sümmeetrilise freesimisskeemi järgi (vt. joon. 324, *a*) laupfreesiga, mille kõvasulamist T15K6 lõiketerade peanurk plaanis $\varphi = 60°$, pingil võimsusega 5—10 kW valime ettenihke $s_z = 0{,}09$ mm/hambale.

Freesi püsivusaeg. Tabelist 48 määrame kõvasulamist lõiketeradega 100 mm läbimõõduga laupfreesi püsivuseks terase töötlemisel 180 min.

Lõikekiirus. Lõikekiiruse määramiseks kasutame normatiive. Tabelis 49 on näitena toodud lõikerežiimide kaart teraste, millede $\sigma_b = 75$ kG/mm², töötlemisel kõvasulamist lõiketeradega laupfreesiga. Kaart on võetud üldmasinaehituse normatiividest «Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технологического нормирования работ на фрезерных станках».

1. Määrame tabelist 49 lõikekiiruse, pöörete arvu ja minutilise ettenihke. Terase, mille $\sigma_b = 75$ kG/mm², freesimiseks lõikesügavuse $t = 2{,}9$ mm ja ettenihke $s_z = 0{,}09$ mm/hambale juures

kõvasulamist lõiketeradega varustatud 100 mm läbimõõduga laupfreesiga hammaste arvuga 8 ja püsivusega 180 min, saame tabeli järgi: $v = 330$ m/min; $n = 1050$ p/min ja $s = 730$ mm/min.

2. Sama tabeli 49 järgi määrame parandusteguri vastavalt tooriku mehaanilistele omadustele. Terasele, mille $\sigma_b = 65$ kG/mm², on parandustegur 1,12; arvestades parandustegurit, saame: $v = 330 \cdot 1{,}12 = 370$ m/min; $n = 1050 \cdot 1{,}12 = 1176$ p/min; $s = 730 \times 11{,}12 = 817$ m/min.

3. Korrigeerime valitud lõikerežiimi pingi passiandmete järgi, valides lähima väiksema $n$ ja $s$ väärtuse. Valime $n = 1000$ p/min ja $s = 630$ mm/min.

Pärast korrigeerimist määrame tegeliku lõikekiiruse ja tegeliku ettenihke:

$$v = \frac{\pi Dn}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 100 \cdot 1000}{1000} = 314 \text{ m/min};$$

$$s_z = s/z \cdot n = 630 : (8 \cdot 1000) = 0{,}08 \text{ mm/hambale.}$$

## Valitud lõikerežiimi kontroll võimsuse järgi

1. Analoogiliselt näites 24 toodud arvutusega määrame lõikamiseks vajaliku efektiivvõimsuse $N_e$.

Lõigendi maksimaalse paksuse $a_{max}$ määrame valemiga (28a):

$$a_{max} = s_z = 0{,}08 \text{ mm.}$$

Lõigendi keskmise ristlõikepindala $F_k$ määrame valemiga (35):

$$F_k = \frac{B \cdot t \cdot s_z}{\pi D} = \frac{70 \cdot 2{,}9 \cdot 0{,}08 \cdot 8}{3{,}14 \cdot 100} \approx 0{,}4 \text{ mm}^2.$$

Tangentsiaallõikejõu $P_z$ määrame valemiga (37):

$$P_z = p \cdot F_k = 350 \cdot 0{,}4 = 140 \text{ kG,}$$

kus erisurve $p$ on määratud tabelist 33 kui keskmine erisurve terastele, millede

$$60 \leqslant \sigma_b \leqslant 70 \text{ kG/mm}^2.$$

Efektiivvõimsuse $N_e$ määrame valemiga (40b):

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 102} = \frac{140 \cdot 314}{60 \cdot 102} = 7{,}2 \text{ kW.}$$

2. Määratud vajalikku efektiivvõimsust kontrollime elektrimootori võimsuse järgi, võttes arvesse kasutegurit. Vastavalt pingi 6M12П passiandmetele (vt. lk. 426) on kasutegur pöörete arvu $n = 1000$ p/min juures võrdne 0,75.

Elektrimootri võimsuse $N = 7$ kW ja pingi kasuteguri $\eta = 0{,}75$ juures on võimsus spindlil

$$N_e = N \cdot \eta = 7 \cdot 0{,}75 = 5{,}25 \text{ kW},$$

s. t. väiksem võimsusest, mida vajatakse lõikamiseks valitud lõikerežiimil.

3. Korrigeerime minutilist ettenihet, vähendades teda 30% võrra. Seega korrigeeritud ettenihe $s = 630 \cdot 0{,}7 = 441$ mm/min. Võtame passiandmetest lähima minutilise ettenihke $s = 400$ mm/min. Siis

$$s_z = s(n \cdot z) = 400 : (1000 \cdot 8) = 0{,}05 \text{ mm/hambale}$$

ja lõigendi maksimaalne paksus

$$a_{max} = 0{,}05 \text{ mm}.$$

Erisurve $p$ valime tabelist 33; $p = 400$ kG/mm². Seega vajalik efektiivvõimsus $N_e$ on:

$$N_e = \frac{P_z \cdot v}{60 \cdot 102} = p \frac{F_k \cdot v}{60 \cdot 102} = p \frac{B \cdot s_z \cdot z \cdot v}{\pi D \cdot 60 \cdot 102} = 400 \cdot \frac{70 \cdot 2{,}9 \cdot 0{,}05 \cdot 8 \cdot 314}{3{,}14 \cdot 100 \cdot 60 \cdot 102} =$$

$$= 5{,}3 \text{ kW},$$

mis vastab pingi võimsusele.

4. Kontrollime pingi tööläua pikiettenihkemehhanismi tugevust.

Efektiivvõimsusest $N_e = 5{,}3$ kW moodustab ettenihkeks kuluv võimsus $0{,}15\ N_e$:

$$N_{ette} = 0{,}15 \cdot 5{,}3 = 0{,}8 \text{ kW (vt. lk. 440)}.$$

Ettenihkejõu $P_e$ määrame valemi (40b) abil, asendades lõikekiiruse $v$ ettenihke kiirusega $s$:

$$N_{ette} = \frac{P_{ette} \cdot s}{60 \cdot 102 \cdot 1000},$$

kust

$$P_{ette} = \frac{N_{ette} \cdot 60 \cdot 102 \cdot 1000}{s} = \frac{0{,}8 \cdot 60 \cdot 102 \cdot 1000}{400} = \frac{500 \cdot 1000}{400} = 1225 \text{ kG},$$

mis on väiksem passiandmetes antud lubatud jõust 1500 kG.

5. Lõplik valitud lõikerežiim on:

$$v = 314 \text{ m/min}; \ n = 1000 \text{ p/min}; \ s = 400 \text{ mm/min}.$$

6. Kontrollime tabeli 34 järgi antud töötlemise eritootlikkust.

Minutis mahalõigatud kihi (laastude) maht valemi (43) järgi

$$W = \frac{B \cdot t \cdot s}{1000} = \frac{70 \cdot 2{,}9 \cdot 400}{1000} = 81 \text{ cm}^3/\text{min}.$$

Eritootlikkus elektrimootori võimsuse $N = 7$ kW juures valemi (43) järgi

$$w = W : N = 81 : 7 = 11{,}5 \text{ cm}^3/\text{kW} \cdot \text{min}.$$

Tabeli 34 järgi on eritootlikkus $w$ konstruktsiooniterase, mille $\sigma_b = 60$—$70$ kG/mm², freesimisel laupfreesiga 14 cm³/kW · min. Seega valitud lõikerežiim vastab tootliku freesimise nõuetele.

### Kontrollküsimusi

1. Mida nimetatakse freesimise optimaalseks lõikerežiimiks?
2. Millistest teguritest oleneb lõikerežiimi valik freesimisel?
3. Jutustage lõikerežiimi valiku järjekorrast.
4. Mida nimetatakse freesi ökonoomiliseks püsivusajaks?
5. Kuidas mõjub freesi püsivusaeg lõikekiirusele?
6. Valige tabelist 49 lõikerežiim konstruktsiooniterasest ($\sigma_b = 75$ kG/mm²) liistu töötlemiseks laupfreesiga, kui freesimislaius $B = 60$ mm ja lõikesügavus $t = 3$ mm.
7. Määrake vajalik efektiivvõimsus $N_e$ ribaterasest tooriku ($\sigma_b = 65$ kG/mm²) töötlemiseks vertikaalfreespingil 6M12П, kui freesimislaius $B = 70$ mm ja lõikesügavus $t = 2{,}5$ mm. Valitud lõikerežiim: $n = 600$ p/min, $s = 475$ mm/min; lõikeriistaks on 160 mm läbimõõduga ja 10 hambaga kõvasulamist plaadikestega T15K6 varustatud laupfrees.

XXVIII PEATÜKK

# FREESI RATSIONAALNE EKSPLUATEERIMINE

## § 80. FREESI EKSPLUATEERIMINE JA TERITAMINE

### Üldmõisteid freesi ekspluateerimisest

Frees töötab tootlikult ainult siis, kui teda õigesti ekspluateerida. Kui frees töötab õigesti valitud freesimisrežiimil, võib freesiga töödelda suure hulga toorikuid, enne kui ta märgatavalt nürineb. Töötlemise jätkamisel ilmselt nürinenud freesiga suureneb lõikejõud järsult, põhjustades hõõrdumise suurenemist ja freesi edasist kiiret nürinemist või isegi freesi hamba purunemist.

Normaalselt kulunud freesi teritamiseks kulub suhteliselt vähe aega ning hamba mõõtmete vähenemine on seejuures tühine. Väga nüri freesi teritamine on kauakestev ja töömahukas operatsioon, kuna tuleb maha võtta küllalt suur metallikiht. Sellepärast ei tohi lasta freesil tugevasti nürineda.

Eriti tuleb jälgida kallihinnaliste kiirlõiketerasest ja kõvasulamist plaadikestega varustatud freeside lõikeserva seisukorda ning õigeaegset teritamist.

## Teravatipuliste hammastega silinderfreeside teritamine

Teravatipuliste hammastega silinderfreese teritatakse silindrilise pottkäiaga mööda hamba tagapinda (joon. 332), seejuures tuleb säilitada antud taganurk $\alpha$. Teritamiseks asetatakse frees tornile, mis seatakse üles erituspingi tsentrite vahele. Pottkäia telg seatakse freesi telje suhtes kaldu 1—2°, et lihvimiskäi puuduta ks teritatavat freesi ainult ühe poolega (joon. 332, *c*).

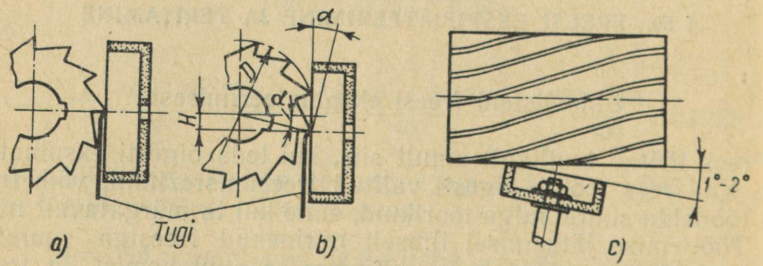
Kui käia ja teritatava freesi teljed asetsevad ühes horisontaaltasapinnas (joon. 332, *a*), siis taganurka $\alpha$ ei moodustu. Taganurga moodustamiseks asetatakse käi teritatava freesi teljest suuruse $H$ võrra madalamale (joon. 332, *b*). $H$ määratakse täisnurksest kolmnurgast hüpotenuusiga $\frac{D}{2}$ ja nurgaga $\alpha$:

$$H = \frac{D}{2} \sin \alpha.$$

Nurk $\alpha$ valitakse tabelist 35.

Freesi hamba asend fikseeritakse teritamisel spetsiaalse toega (joon. 332), mis kujutab endast vedruterasest valmistatud liistu. Kruvihammastega freeside teritamisel on tugi ühtlasi ka juhtijaks.

Silinderfreeside tagapinna teritamisel silindriliste lihvimiskäiadega moodustub hambale nõgus faas, mis nõrgendab hamba



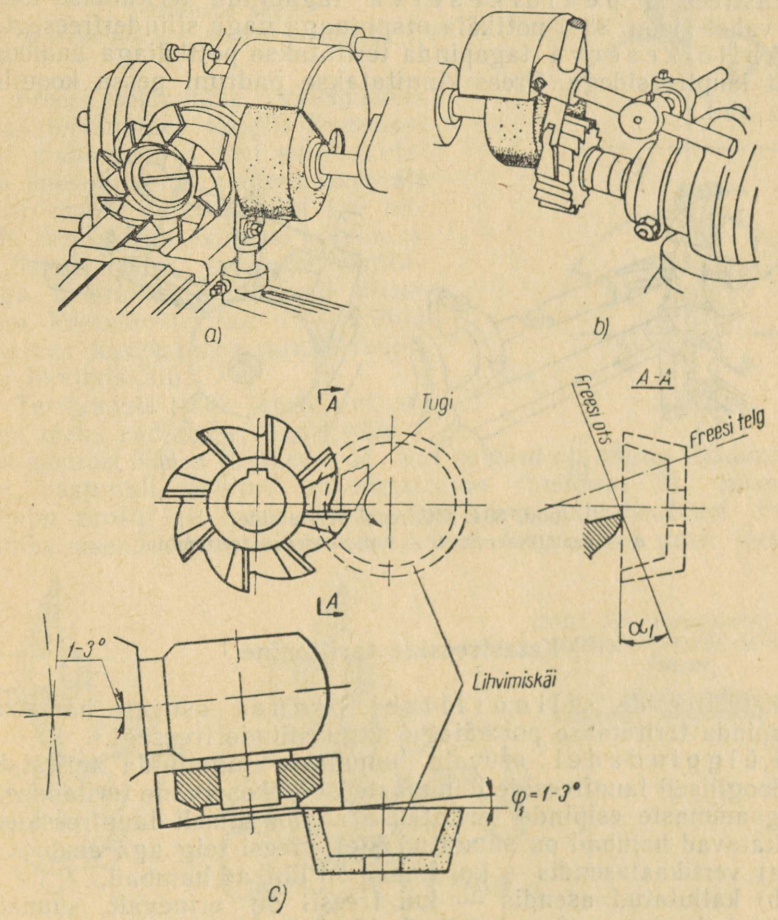

Joon. 332. Teravatipuliste hammastega silinderfreesi teritusskeem

tera ja kiirendab ta kulumist. Pottkäiaga teritamisel moodustub tasapinnaline faas, millega tagatakse freesi suurem püsivusaeg; sel põhjusel ei soovitata freese teritada silindriliste lihvimiskäiadega.

## Laupfreeside teritamine

Laupfreeside pealõikeserva teritatakse mööda tagapinda analoogiliselt teravatipuliste hammastega silinderfreeside teritamisega (joon. 333, *a*).

Hamba abilõikeserva teritamisel (joon. 33, *b*) seatakse




Joon. 333. Laupfreesi teritamine:
*a* — pealõikeserva; *b* — abilõikeserva; *c* — abilõikeserva teritamine

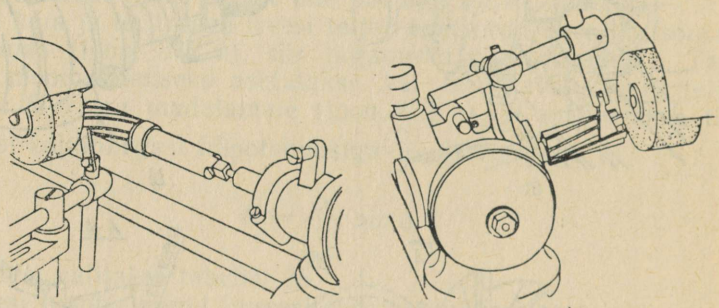
frees algul üles selliselt, et abilõikeserv oleks horisontaalne. Seejärel pööratakse freesi telge horisontaaltasapinnas abinurga plaanis $\varphi_1$ võrra ja samaaegselt kallutatakse vertikaaltasapinnas otstaganurga $\alpha_1$ võrra. Abilõikeserva esipinda teritatakse taldrikukujulise lihvimiskäia külgpinnaga.

Frees seatakse üles selliselt, et abilõikeserv oleks suunatud üles, freesi telg aga kallutatud vertikaaltasapinnas abilõikeserva esinurga võrra.

## Otsfreeside teritamine

Otsfreeside pealõikeserva tagapinda teritatakse tsentrite vahel (joon. 334) pottkäia otspinnaga nagu silinderfreesegi.

Abilõikeserva tagapinda teritatakse pottkäiaga analoogiliselt laupfreesidega. Frees kinnitatakse padruni pessa koonilise saba abil.




Joon. 334. Otsfreesi teritamine:
*a* — pealõikeserva; *b* — abilõikeserva teritamine

## Ketasfreeside teritamine

Ketasfreeside silindrilisel pinnal asuvate hammaste tagapinda teritatakse pottkäiaga nagu silinderfreesegi.

Külgpindadel asuvate hammaste tagapinda teritatakse analoogiliselt laupfreeside hammaste abilõikeservade teritamisega. Külghammaste esipinda teritatakse analoogiliselt laupfreesidega. Teritatavad hambad on suunatud üles, freesi telg aga asub:

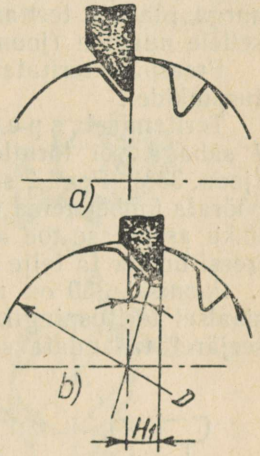
a) vertikaalasendis — kui freesil on lihtsad hambad,

b) kallutatud asendis — kui freesil on erinevalt suunatud hambad, kusjuures freesi telje kaldenurk vertikaaltasapinnas on võrdne lõikeserva kaldenurgaga $\omega$ silindrilisel pinnal.

## Kukaldatud hammastega freeside teritamine

Kukaldatud hammastega freesi teritatakse mööda esipinda. Joonisel 335, *a* on toodud freesi ülesseade skeem hammaste teritamiseks, millede esinurk $\gamma$ on null (radiaalne esinurk) ja joonisel 335, *b* — millede esinurk $\gamma$ on suurem nullist. Lihvimiskäia nihutuse suurus $H_1$ freesi tsentrist määratakse valemi abil:

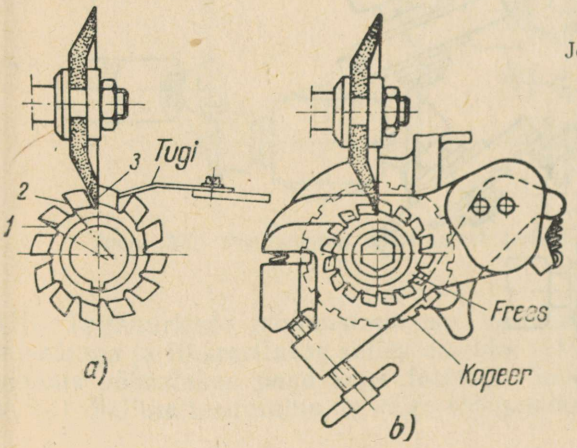
$$H_1 = \frac{D}{2} \sin \gamma. \qquad (50)$$




Joon. 335. Kukaldatud hammastega freesi hamba teritamise skeem:
*a* — esinurk $\gamma = 0°$; *b* — esinurk $\gamma > 0°$

Freesi viskumise vältimiseks peab teritamisel kõigilt hammastelt mahavõetava kihi suurus olema ühesugune. Kui ühelt hambalt võtta maha väiksem kiht kui teiselt, siis osutub esimene pikemaks ja lõikab maha suurema ristlõikega laastu ning nürineb kiiremini. Freeside teritamiseks mööda esipinda kasutatakse taldrikukujulisi lihvimiskäiu.

Teritamisel tuleb jälgida, et esipind oleks radiaalne, nagu näidatud joonisel 336, *a* (hammas 3). Kui esipind on nõgus (hammas 1) või, vastupidi, esinurk on negatiivne (hammas 2), moondub hamba profiil ja frees lõikab toorikusse vale kontuuri. Freesi hamba asend fikseeritakse teritamisel toega, mis peab toetuma




Joon. 336. Kukaldatud hammastega freeside teritusskeem:
*a* — lihvkäia asend; *b* — kopeeri kasutamine

tihedalt vastu teritatava hamba tagapinda. Et lõikeservade viskumine pärast teritust oleks minimaalne, soovitatakse teritada kopeeri järgi, millel on teritatava freesiga ühepalju hambaid (joon. 336, *b*).

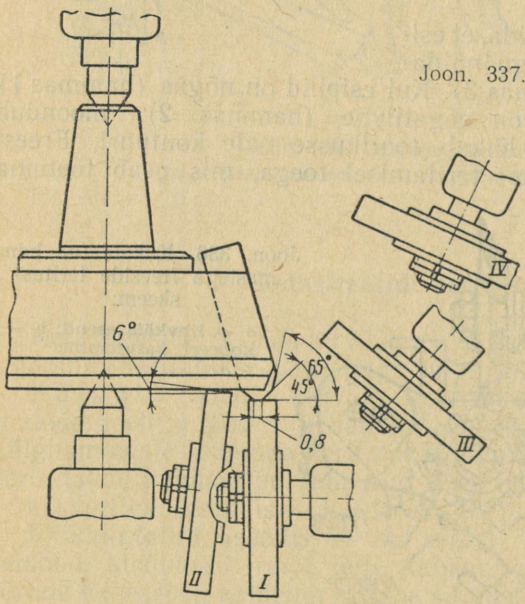
### Koostatavate freeside (freespeade) teritamine

Koostatavate freeside lõiketeradel on suur arv terituselemente. Peale taganurkade tuleb teritada: peanurk plaanis $\varphi$ ja üleminekuserva nurk plaanis $\varphi_0$, abinurk plaanis $\varphi_1$ ja faas $f_0$. Freesi iga nurga plaanis teritamine tagatakse ühe positsiooniga vastavalt sellele nurgale (joon. 337).

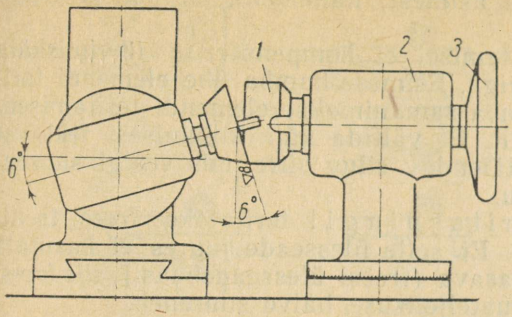
Freespäid teritatakse kas spetsiaalsetel või universaalsetel terituspinkidel.

Teritamisel spetsiaalsetel pinkidel asetatakse frees *1* sabaga või tornile asetatuna peasse *2* horisontaalasendisse (joon. 338). Pead *2* saab pöörata ümber vertikaaltelje. Freesi saab pöörata ümber tema telje käsiratta *3* abil. Frees fikseeritakse vajalikku asendisse toe abil. Pärast ühe hamba teritamist pööratakse freesi ümber ta telje üleminekuks järgmise hamba teritamisele.

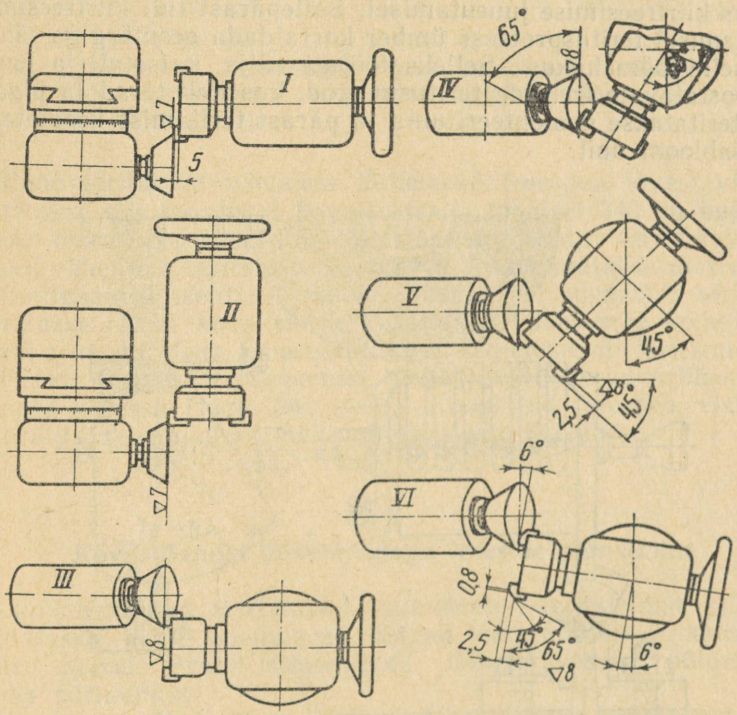
Joonisel 339 on näidatud positsioonid freesi teritamisel spetsiaalsel terituspingil. Algul tasandatakse plaadikeste otsad (I), seejärel tasandatakse silindrilisel pinnal asetsevad lõikeservad




Joon. 337. Freespeade teritamise skeem




Joon. 338. Teritamine spetsiaalsel terituspingil




Joon. 339. Positsioonid spetsiaalsel terituspingil teritamisel

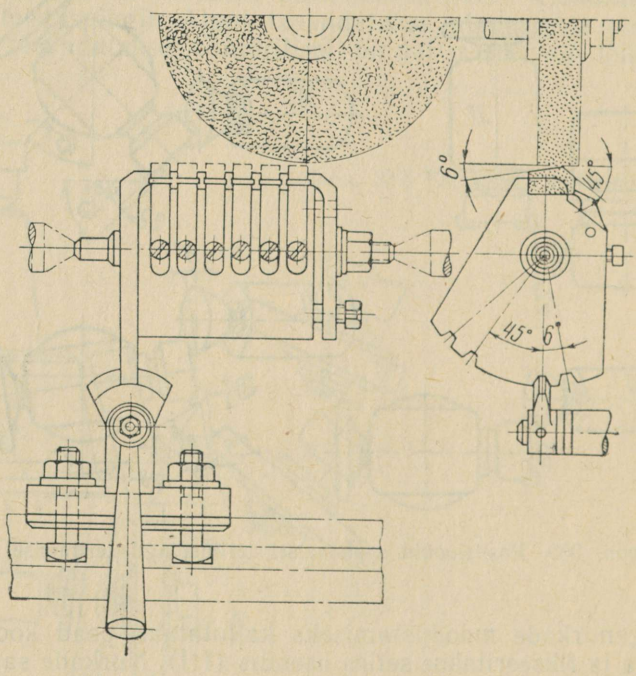
(II). Taganurkade moodustamiseks kallutatakse pead koos lihvimiskäiaga ja fikseeritakse selles asendis (III). Nurkade saamiseks plaanis pööratakse pead koos freesiga ümber vertikaaltelje (IV, V, VI). Selline teritamine on väga töömahukas ja kestab 3 kuni 12

tundi, sõltudes nürinemise astmest, hammaste arvust ja freesi läbimõõdust.

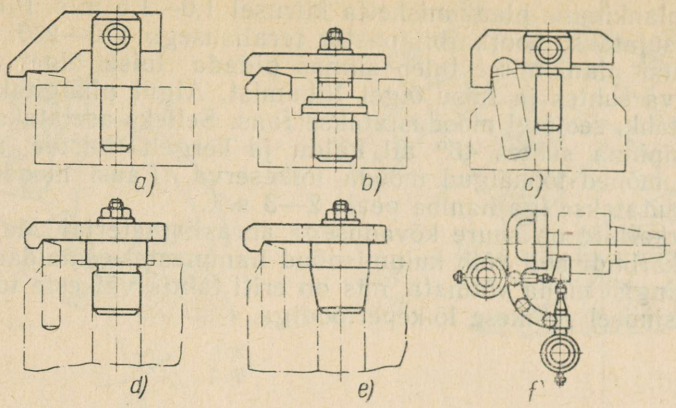
Peab mainima, et teritamisel ei kompenseerita lihvimiskäia kulumist pingi mehhanismiga. Esimese hamba ühe elemendi teritamisest kuni viimase hamba samanimelise elemendi teritamiseni kulub lihvimiskäi tunduvalt. Et vältida käia kulumisest tekkivat viskumist, tuleb teostada täiendav siluv siire, mis veelgi suurendab operatsiooni töömahtu.

Universaalsel terituspingil teritatakse freesi tsentrite vahel (vt. joon. 337). Et selle ülesseade juures ei kasutata ülesseadebaasiks freesi baasava (freesi ülesseadebaasi), siis freesi lõiketerade teritamisel samateljelisuse hälve suureneb.

Kuna kiirfreesimisel kasutatakse lõikeriistadena peamiselt koostatavaid freese, osutus nende töömahukas teritamine tõsiseks piduriks kiirfreesimise juurutamisel. Sellepärast tuli kiirfreesimise rakendamisel teritusprotsess ümber korraldada eesmärgiga vähendada selle töömahukust. Selleks töötati välja, katsetati ja juurutati koostatavate freeside teritusmeetod, kus lõiketerad ja plaadikesed teritatakse demonteerituina ja pärast teritamist koostatakse frees šablooni abil.




Joon. 340. Pööratav rakis lõiketerade komplekti teritamiseks




Joon. 341. Mitmesuguse konstruktsiooniga šabloonid freespeade koostamise kontrollimiseks

Enne teritamist võetakse lõiketerad freespea kerest välja ja teritatakse siis tavaliselt komplektselt. Joonisel 340 on kujutatud selleks otstarbeks kasutatav spetsiaalne pööratav teritusrakis, mis järsult vähendab teritamise töömahtu. Rakis seatakse üles universaalterituspingi tsentrite vahele. Pärast ühe elemendi teritamist pööratakse rakist koos sinna kinnitatud lõiketerade komplektiga vajaliku nurga võrra ja alustatakse teise elemendi teritamist.

Pärast teritamise lõppemist seatakse lõiketerad šablooni abil freespea keresse (joon. 341, *a*—*e*). Koostatud freespea viskumist kontrollitakse indikaator-šablooniga (joon. 341, *f*).

## Kõvasulamist lõiketeradega freeside plankimine

Lihvimiskäiaga teritamisel kuumeneb kõvasulamist plaadike ebaühtlaselt, mille tulemusena võivad tema pinnale tekkida väga peened praod. Praod suurenevad lõikeprotsessis, põhjustades hamba nürinemist.

Plankimise üheks eesmärgiks on pragudega vigastatud pindkihi eemaldamine. Plankimise teiseks ülesandeks on lõikeserva pinnasileduse suurendamine, mis on vajalik hamba hõõrdumise ja kulumise vähendamiseks, samuti töödeldud pinna sileduse suurendamiseks. Plankimise kolmandaks ülesandeks on eemaldada freesi hamba rikutud pind ja anda talle õigem geomeetria.

Lõikepinnad plangitakse spetsiaalsetel plankimispinkidel malmketta abil või käsitsi malmluisu abil. Parimaid tulemusi

annab plankimine plankimisketta kiirusel 1,0—1,5 m/s. Plankimiseks kasutatakse boorkarbiidpastat teralisusega 170—230.

Käsitsi plankimisel tuleb silmas pidada luisu õiget asendit lõikeserva suhtes ja luisu õiget liikumist. Algul plangitakse esija tagatahk, seejärel moodustatakse faas. Selleks asetatakse luisu pind esipinna suhtes 45° all kaldu ja kergelt luisule surudes tehakse mõned töökäigud mööda lõikeserva. Faasi moodustamiseks kulutatakse iga hamba peale 2—3 sek.

Boorkarbiid on suure kõvadusega abrasiivmaterjal. Malmluisu ja boorkarbiidi abil võib kulumisnõod hammastel eemaldada ilma freesi pingist maha võtmata, mis on eriti tähtis väikeste toorikute kiirfreesimisel lühikese lõikeperioodiga.

## § 81. FREESI TERITUSE KONTROLL

Freesi terituse kontroll seisneb lõikeelementide geomeetria, freesi viskumise ja lõikeservade plankimise kvaliteedi kontrollimises.

Lõikeelementide geomeetria kontrollimiseks kasutatakse Moskva tööriistatehase poolt toodetavat nurgamõõtjat.

Joonistel 342 ja 343 on kujutatud insener M. I. Babtšinitseri konstruktsiooniga nurgamõõtja.

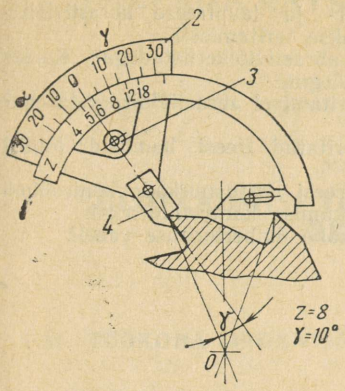
Nurgamõõtjal on skaalaga varustatud kaar *1*, mis on kriipsudega jaotatud osadeks vastavalt mõõdetava freesi hammaste arvule *z*. Mööda kaart *1* liigub sektor *2*, mis fikseeritakse vajalikku asendisse kruviga *3*. Sektor on varustatud kraadidega skaaladega, millede järgi loetakse nurga suurust. Sektori *2* külge on kinnitatud mõõtetasapinnaga plaat *4*.

Esinurga $\gamma$ mõõtmiseks asetatakse nurgamõõtja kahe naaberhamba tippudele (joon. 342) ja pööratakse sektorit *2*, kuni plaadi *4* mõõtetasapind langeb kokku freesi hamba esipinnaga ja kinnitatakse siis kruviga *3*. Esinurga $\gamma$ suurus loetakse kraadidega skaalalt vastavalt mõõdetava freesi hammaste arvule. Joonisel 342 on kujutatud 8 hambaga freesi esinurga mõõtmine; esinurk $\gamma = 10°$.

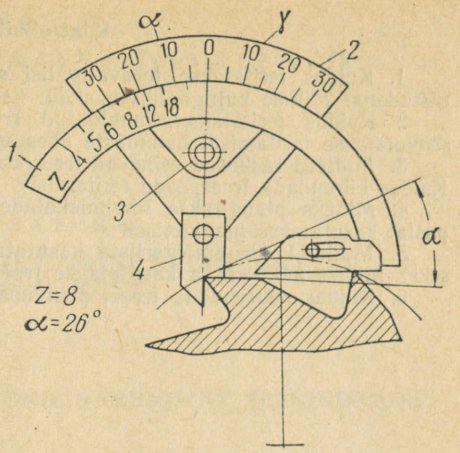
Taganurga $\alpha$ mõõtmiseks häälestatakse nurgamõõtja analoogiliselt esinurga mõõtmisega. Sektorit *2* pööratakse kuni plaadi mõõtetasapinna kokkulangemiseni hamba tagapinnaga ja kinnitatakse kruviga *3*. Taganurga $\alpha$ suurust loetakse kraadidega skaalalt vastavalt mõõdetava freesi hammaste arvule. Joonisel 343 on näidatud, kuidas mõõta 8 hambaga freesi taganurka; taganurk $\alpha = 26°$.

Nurgamõõtja viga on orienteeruvalt 1°30′.

Freesi viskumist kontrollitakse joonisel 117 kujutatud kontrollmõõteriistaga.




Joon. 342. Freesi esinurga kontrollimine




Joon. 343. Freesi taganurga kontrollimine

Tavaliselt kontrollitakse freesi viskumist kaks korda: pärast ümberteritamist ja pärast freespingi spindlisse ülesseadmist freestornil tööasendis. Viimasel juhul kasutatakse viskumise mõõtmiseks tavalist indikaatorit statiivil. Viskumist mõõdetakse nii naaberhammaste vahel kui ka freesi kogu ümbermõõdu ulatuses.

Freeside lubatud radiaalviskumine on toodud tabelis 50.

Tabel 50

**Freeside lubatud viskumine mm**

| Viskumise iseloom | Freesid | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | silinder-, laup- ja ketasfreesid | kokkupandavad, laup- ja ketasfreesid läbimõõduga üle 150 mm | otsfreesid | kujufreesid | mahalõike- ja piilufreesid |
| Viskumine naaberhammaste vahel | 0,02 | 0,03 | 0,015 | 0,02 | 0,02 |
| Freesi kogu läbimõõdu ulatuses | 0,05 | 0,06; kiirfreesimisel —0,05 | 0,03 | 0,05 | 0,04 |

Plankimise kvaliteeti kontrollitakse tavaliselt luubiga kümnekordse suurenduse juures. Lõikeservad peavad olema teravad, ilma täkete, pragude ja lohkudeta. Freesid selliste vigadega tuleb ümber teritada.

## Kontrollküsimusi

1. Kuidas teritatakse teravatipulisi silinder- ja laupfreese abrasiivlõikeriistadega? Millise kujuga lihvimiskäiu kasutatakse teritamisel?
2. Kuidas teritatakse kukaldatud freese abrasiivlõikeriistadega? Kuidas saavutatakse teritamisel hammaste ühesugune kõrgus?
3. Millised raskused esinevad freespeade teritamisel abrasiivlõikeriistadega? Kuidas kiirendada freespeade teritamist?
4. Milleks plangitakse lihvimiskäiadega teritatud freesi hambaid? Millist pastat kasutatakse plankimisel?
5. Millist kontrollmõõteriista kasutatakse freesi teritusnurkade kontrollimiseks? Millist mõõteriista kasutatakse freesi viskumise kontrollimiseks?
6. Kuidas suurendada freesi püsivusaega kahe ümberterituse vahel?

SEITSMES OSA

# FREESIJA RATSIONAALSE TÖÖ ALUSED

XXIX PEATÜKK

## ÜLDTEADMISI TÖÖ ORGANISEERIMISEST JA ÖKONOOMIKAST

### § 82. TÖÖKOHA ORGANISATSIOONILIS-TEHNILINE TEENINDAMINE

**Töökoha kindlustamine tehnilise dokumentatsiooniga, toorikutega, tööriistadega ja rakistega**

Töö ja tootmise õige organiseerimine kooskõlas kindlaksmääratud tootmisülesannetega ja toodangu väljalaske kalendergraafikuga on rütmilise ja laabuva töö aluseks jaoskonnas ja igal töökohal. Vahetusülesande täitmiseks tuleb töökoht hoolikalt ja operatiivselt ette valmistada ning kindlustada kõige vajalikuga. Takistusteta ja kõrge tootlikkusega tööks tuleb töölised kohe töö algul varustada toorikutega ja tehnilise dokumentatsiooniga.

*Individuaal- ja väikeseeriatootmises* antakse töökäsk detailide partii peale välja üks kord koos tehnilise dokumentatsiooniga. Toorikud antakse koos töökäsuga samuti ühekordselt kogu detailide partii peale.

*Seeria- ja masstootmises,* kus detailid on kinnitatud töökohtade järgi, asendatakse töökäsk vahetusgraafikuga, tehniline dokumentatsioon aga kinnitatakse töökohtade järgi koos detailidega (operatsioonidega). Toorikud antakse töökohale kas partiide viisi või saabuvad sinna eelmiselt operatsioonilt mööda konveierit (rullteed).

Suurt tähtsust omab töökohtade varustamine tööriistadega ja rakistega ning tööriistade saamiseks, äraandmiseks ja teritamiseks kuluva aja lühendamine.

*Alaliselt kasutatavad tööriistad* (mutrivõtmed, freestornid koos seaderõngastega, kaasavedajad) komplekteeritakse tsehhide tööriistaladudes. Tööriistad antakse töölisele välja allkirja vastu meistri kirjaliku nõudmise alusel.*

* Kui töö toimub kahes või kolmes vahetuses, peab allkirja andma iga vahetustööline, kes töötab antud töökohal.

*Ajutiselt kasutatavad tööriistad* operatsiooniliseks seadistamiseks komplekteeritakse sõltuvalt tootmistüübist. Väikeseeriatootmises komplekteeritakse tööriistad tööriistaladudes meistri kirjaliku nõudmise alusel. Seeria- ja masstootmises kasutatakse komplekteerimiskaarte, kuhu on kantud kõik tööriistade liigid igale operatsioonile. Tööriistakomplektid seadistamiseks toimetab töökohale abitööline seadistaja žetooni vastu. Žetoon on asitõendiks komplekteerimiskaardil märgitud tööriistade komplekti saamise kohta seadistaja poolt. Pärast seadistamist antakse pink töölisele üle ja tööline annab tööriistažetooni seadistajale, kes vahetab selle tööriistalaos ümber.

Tööprotsessis kulunud ajutiselt kasutatavat tööriista võib välja vahetada mitmel viisil.

*Väikeseeriatootmises* võib tööriistu töökohale toimetada vahetult tööriistalaost abitöölise kaudu. Ühel juhul kutsub tööline ise signaali abil abitöölise välja ja vahetab ise kulunud või nürinenud tööriistad tükk-tüki vastu; teisel juhul kutsub abitöölise välja seadistaja, kes teostab vahetuse.

*Suurseeria- ja masstootmises* tuleb tööriistade vahetamine organiseerida graafiku järgi perioodilise kohaletoimetamisega töökohale.

Lõplikult kulunud (enneaegselt või loomulikult) tööriistade vahetamine töökohal (olenemata tootmistüübist) tuleb vormistada dokumentidega kulumise kohta tööriista mahakandmiseks kuludesse.

## Tööliste tootmisalane instruktaaž

Tootlikkuse tõstmise, praagi vältimise, kõrgekvaliteedilise toodangu tagamise ning materjalide ja elektrienergia kokkuhoiu tähtsaimaks tingimuseks töökohal on tootmisalane instruktaaž.

Eristatakse kahte liiki tootmisalast instruktaaži — sissejuhatav ja jooksev instruktaaž.

Sissejuhatava instruktaaži ülesandeks on tutvustada uut töölist tootmisjaoskonna organisatsiooniga, pingi konstruktsiooniga, tehnoloogilise protsessi iseärasustega ja töökoha organiseerimisega, samuti ohutustehnika eeskirjadega ja üldise töökorraga antud töökohal.

Jooksva instruktaaži eesmärgiks on töövõtete ja tehnika süstemaatiline parandamine tootmisülesannete täitmisel. See seisneb töölistele tehniliste tingimuste, joonise, pingi häälestusskeemi, töötlemisrežiimi õige valiku ja mõõtmete jooksva kontrollimise selgitamises. Selgitustega peab kaasnema ratsionaalsete töövõtete näitlik demonstreerimine. Jooksva instruktaaži põhiülesandeks on vigade ennetamine eriti uute seadmete ja rakiste ning uute eesrindlike režiimide ja tööriistade kasutuselevõtmisel.

Tootmisalase instruktaaži viib läbi meister.

### Töö kontrollimine

Nõukogude masin peab olema parim maailmas mitte ainult ekspluatatsioonilise kvaliteedi, ökonoomsuse, mugava juhtimise ja töökindluse poolest, vaid ka välise ilme hoolika ja kultuurse viimistluse ning vormistamise poolest. Nõukogude ettevõtete poolt väljalastava toodangu kvaliteeti kaitstakse sotsialistliku riigi seadustega.

Praagi tekkimise ennetamise ja toodangu kvaliteedi kindlaksmääratud taseme tagamise ülesandeid täidavad masinaehitustehastes tehnilise kontrolli organid. Tehnilise kontrolli osakonna kontrollpersonal teostab detailide vastuvõtmist tootmistöölistelt ja vormistab algdokumentatsiooni nende poolt kontrollitud toodangu kohta.

Freesimisoperatsioonide täitmisel teostab mõõtmete kontrolli freesija, kes on kohustatud seadistama pingi kitsamale tolerantsile kui on antud joonisega, arvestades seejuures lõikeriista liiki ja kulumise astet. Selleks tuleb seadistamisel kasutada võimalikult täpsemaid universaalmõõteriistu või spetsiaalseid kitsama tolerantsiga piirkaliibreid (reguleeritavad harkkaliibrid).

Tööprotsessis on freesija kohustatud kontrollima oma töö kvaliteeti. Pingist mahavõetud detailid tuleb enne taarastamist või järgmisele operatsioonile üleandmist mõõta. Kontrolörile tuleb vastuvõtmiseks esitada ainult kõlblikud detailid, mis on eelnevalt kontrollitud. Freesija poolt välja selgitatud praakdetailid tuleb kontrolörile esitada eraldi kõlblikest detailidest.

## § 83. MÕISTEID TÖÖ ORGANISEERIMISEST

### Palgasüsteem

Töö tasustamine teostatakse NSV Liidus kooskõlas sotsialismi põhiprintsiipidega, mis on märgitud NSV Liidu Konstitutsiooni 12. paragrahvis.

Palga tase sotsialistlikus ettevõttes sõltub tootlikkusest ja töö kvalifikatsioonist.

Palga õige organiseerimine on tootlikkuse kasvu tähtsamaid tingimusi.

Kehtivad järgmised palgasüsteemid.

Tükipalgasüsteemiks nimetatakse sellist süsteemi, kus palk oleneb valmistatavate detailide hulgast ja kvaliteedist. Mida rohkem detaile freesija tööajal valmistab ja üle annab, seda suurem on tema palk.

Tükipalga ökonoomiline tähendus seisneb selles, et ta loob töötajate vahetu huvitatavuse tootlikkuse süstemaatilise suurendamise, tööaja ratsionaalsema kasutamise, tehnika ja eesrindlike kõrge tootlikkusega töömeetodite omandamise vastu.

*Otsene tükipalk* on põhiliseks palgavormiks masinaehituses: töölistele makstakse töö eest toote ühikule kindlaksmääratud tükitööhinnete järgi, olenemata töönormi tegelikust täitmisastmest.

Palga osatähtsuse suurendamiseks võitluses töönormi suurendamise ja normi ületamise eest kasutatakse *progressiivset tükipalgasüsteemi.*

Progressiivse tükipalgasüsteemi põhiprintsiip seisneb selles, et ühe detaili tükitööhinne jääb muutumatuks seni, kuni tööline saavutab kindlaksmääratud töönormi teatud ajaperioodi vältel. Niipea, kui see piir on ületatud, saab tööline iga järgneva detaili eest tasu mitte enam varem kehtinud tööhinde järgi, vaid olenevalt toodetud detailide hulgast uue, progressiivselt kasvava tööhinde järgi.

Nendes töölõikudes, kus tükipalgasüsteemi ei saa rakendada, tasustatakse kulutatud aja järgi. Sellist palgasüsteemi nimetatakse ajapalgasüsteemiks.

Erineva kvalifikatsiooniga tööliste tasustamiseks ajatöö alusel on kindlaks määratud vastavad palgamäärad, milledega määratakse palga suurus kooskõlas väljatöötatud ajaga ilma otsese sõltuvuseta täidetud töö mahust.

Ajapalgasüsteemi oluliseks puuduseks on asjaolu, et ta ei aita kaasa tootlikkuse suurenemisele ega loo töötajate juures otsest huvitatavust tööaja ratsionaalse kasutamise, tööpäeva tihendamise, ebatootlike kadude kõrvaldamise ja eesrindlike töömeetodite rakendamise vastu.

Freesimistöödel rakendatakse ajapalgasüsteemi harva. Seda kasutatakse sel juhul, kui töönormi suurendamine või töötempo kiirendamine põhjustavad kvaliteedi halvenemist.

Ajapalgasüsteem on rohkem levinud mitmesuguste põhitootmist teenindavate abitööde juures, nagu pinkide jooksev remont, pinkide seadistamine, tööriistade remontimine, transporttööd.

Ajapalgasüsteem ühendatakse tihti *premiaalsüsteemiga,* mis stimuleerib tööpäeva tihendamist ja töö kvaliteedi tõstmist ajatööliste poolt (seadistajad, kraanajuhid, õlitajad, remondilukksepad).

## Tehniline ajanorm ja töönorm

Sotsialistliku ettevõtte tähtsaimaks ülesandeks on tootlikkuse süstemaatiline tõstmine. Kõrge tootlikkus on sotsialistliku riigi majandusliku võimsuse aluseks.

Tootlikkuse taset määratakse antud töö tegemiseks kulutatud

ajaga. Sellepärast omab töötlemiseks kulutatava aja normeerimine sotsialistliku tootmise tingimustes eriti suurt tähtsust.

Operatsiooni täitmiseks määratud aega nimetatakse *ajanormiks* ja väljendatakse minutites või tundides.

Tööülesannet, mis antakse freesijale teatud operatsioonil töötlemisele kuuluvate detailide hulga näol, nimetatakse *töönormiks* ja väljendatakse tükkides vahetuse või tunni kohta.

Ajanorm määratakse töö ja töökoha kõige parema organiseerimise, pingi ja lõikeriista efektiivseima kasutamise, tootlikema freesimisrežiimi kasutamise ja tsehhi eesrindlike freesijate kogemuste alusel. Sellist normi nimetatakse *tehniliseks ajanormiks* ja selle määramise meetodit — *tehniliseks normeerimiseks.*

Tänu sotsialistlikule võistlusele liigub meie tööstus kiiresti edasi, tehnoloogia, sisseseade ja lõikeriistad muutuvad pidevalt täiuslikemaks, järelikult peab muutuma ka tehniline ajanorm. Koos tootmisvahendite täiustumisega, töölise tehnilise ja kultuurilise taseme tõusuga ja töö organiseerimise paranemisega kasvab tootlikkus ja järelikult tuleb muuta ka tehnilisi norme. Sellepärast ei tohi tehnilist normi antud töökohal vaadelda kui tootlikkuse piiri.

Tehnilistel normidel meie ettevõtetes on mitu eesmärki. Aidates kaasa tööliste ratsionaalsele paigutamisele ja tööaja õigele kasutamisele, on tehnilised normid töö organiseerimise aluseks. Nad aitavad parandada töö organiseerimist ja tõsta tootlikkust.

Teades tehnilist ajanormi või töönormi, võib määrata antud pingil valmistatava toodangu hulga teatud aja vältel, s. t. arvutada pingi läbilaskevõime ja vastavalt tsehhi kõigi pinkide järgi kogu tsehhi läbilaskevõime ja seejärel kogu ettevõtte läbilaskevõime. Seega on tehniline ajanorm tootmise planeerimise aluseks.

Tehniline normeerimine omab suurt tähtsust palga õigel organiseerimisel ning töö kvantiteedi ja kvaliteedi järgi tasustamise sotsialistlikust printsiibist kinnipidamisel. Tehniline normeerimine loob võimaluse palga korraldamiseks tükitööhinnete abil ja tagab töörahva edasise materiaalse heaolu tõusu.

Tööoperatsioonide ühendamisel või nende kestuse lühendamisel täiuslikuma tehnoloogia arvel võib freesija valmistada antud töönormist rohkem detaile, seega ületada normi.

Näide 27. Olgu antud detaili freesimise tehniliseks ajanormiks 60 min. Tööline valmistas kolme vahetuse jooksul 25 detaili. Kui palju ületas tööline normi?

25 detaili valmistamiseks võis tööline kulutada $60 \cdot 25 = 1500$ min, tegelikult kulutas ta $420 \cdot 3 = 1260$ min.

Sel juhul on ajanorm ületatud

$$\frac{1500 - 1260}{1260} \cdot 100 = 19\%.$$

Ületades normi, aitab freesija tsehhil ja tehasel ennetähtaegselt täita aastaplaani ja annab sellega omapoolse panuse riiklike plaanide ennetähtaegseks täitmiseks. Seega on tehniline ajanorm võitlusvahendiks meie rahvamajandusplaanide ennetähtaegsel täitmisel ja ületamisel.

## Tehnilise ajanormi koostis

Tehniline ajanorm koosneb ettevalmistus-lõpetamise ajast ja tükiajast.

Ettevalmistus-lõpetamise aeg võtab arvesse aega, mida tööline kulutab tootmisülesandega, joonisega ja operatsioonikaardiga tutvumiseks, töökoha ettevalmistamiseks, pingi seadistamiseks (koos rakise ja lõikeriista ülesseadmisega ja mahavõtmisega), detaili proovitöötlemiseks, lõikekiiruse ja ettenihke häälestamiseks ning valmistoodangu vormistamiseks ja üleandmiseks.

Jagades kulutatud aja antud partiis töötlemisele kuuluvate detailide arvuga, saame ettevalmistus-lõpetamise aja ühe detaili kohta.

Ettevalmistus-lõpetamise aega kulutab tööline tootmisülesande täitmiseks üks kord, see ei olene partii suurusest (detailide arvust).

Ettevalmistus-lõpetamise aeg tähistatakse $T_{el}$.

*Seeriatootmises* kasutatakse ettevalmistus-lõpetamise aja määramiseks üldmasinaehituse normatiive «Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на фрезерных станках». Ettevalmistus-lõpetamise aja normatiivid on toodud ka käsiraamatu «Справочник молодого фрезеровщика» tabelites.

*Suurseeria- ja masstootmises* toimub iga detaili töötlemine tavaliselt kindlaksmääratud pingil, mis töötab ilma ümberseadistamiseta. Kõik vajalikud pingi ja rakise vähemad seadistused tehakse seadistaja poolt töö vaheaegadel (lõunavaheajal, kolmandas vahetuses) ja seadistamiseks kulunud aeg ei kuulu freesija tööaja sisse.

Tükiaeg koosneb *põhiajast* (tehnoloogilisest ajast) ja *abiajast, töökoha teenindamise ajast, puhkuseks ja isiklikeks vajadusteks minevast ajast.* Tükiaeg tähistatakse $T_t$.

Põhiaeg freesimisel on aeg, mille vältel võetakse laastu. Põhiaeg tähistatakse $T_0$ ja ta võib olla:

a) *masinaaeg*, kui laastu võtmine toimub töölaua mehaanilise ettenihke puhul;

b) *masina-käsiaeg*, kui laastu võtmine toimub töölaua käsi-ettenihkega.*

Kõikide käesolevas õpikus vaadeldud freesimisoperatsioonide põhiaeg (tehnoloogiline aeg) arvutatakse järgmiste valemite abil:

ühe detaili töötlemise puhul

$$T_0 = \frac{L + l + l_1}{s} \; i \cdot \text{min},$$

mitme järjestikku kinnitatud detaili üheaegse töötlemise puhul

$$T_0 = \frac{L}{s} i + \frac{l + l_1}{s \cdot k} \; i \text{ min},$$

kus $L$ — töötlemise pikkus ettenihke suunas mm
$l$ — freesi sisselõikumise pikkus mm
$l_1$ — freesi ülejooksu pikkus** mm
$s$ — ettenihe mm/min
$i$ — töökäikude arv
$k$ — järjestikku kinnitatud detailide arv.

Abiajaks nimetatakse aega, mida tööline kulutab tegevusteks, millede eesmärgiks on põhitöö täitmise tagamine tingimusel, et neid tegevusi korratakse kas iga detaili töötlemisel või teatud järjekorras pärast teatud arvu detailide töötlemist.

Abiaega tähistatakse $T_a$. Abiaja hulka kuulub aeg, mis kulub detaili pinki ülesseadmiseks, kinnitamiseks ja pingist mahavõtmiseks, pingi juhtimiseks (käivitamine, peatamine, ettenihke ümberlülitamine), detaili freesile lähendamiseks ja eemaleviimiseks, töölaua ümberpaigutamiseks, jagamispea pööramiseks, detaili mõõtmiseks jne.

Seeriatootmisel määratakse abiaeg üldmasinaehituse normatiivide «Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на фрезерных станках» tabelitest.

Põhiaja ja abiaja summa moodustab operatiivaja. Operatiivaeg kulutatakse tööks, mille otsene tulemus on antud operatsiooni täitmine. Operatiivaeg detailide partiile on võrdeline tootmisülesande mahuga (antud partii suurusega). Operatiivaeg tähistatakse $T_{op}$. Seega

$$T_{op} = T_0 + T_a \text{ min}.$$

Töökoha teenindamise aeg kulub töökoha korrashoiuks ja tööolukorras hoidmiseks. Siia kuulub aeg, mis kulub nürinenud freeside vahetamiseks, nende reguleerimiseks ja pingi väiksema-

* Põhiaeg võib olla ka käsiaeg (kuid mitte freesimisel, vaid näiteks lukksepatöödel).

** $l$ ja $l_1$ suurused olenevalt freesimistingimustest on toodud lisades 2 ja 3.

teks seadistamisteks tööprotsessis, laastude kokkupühkimiseks, pingi puhastamiseks ja õlitamiseks, tööriistade kohaleasetamiseks enne töö algust ja koristamiseks töö lõpul.

Töökoha teenindamise aeg tähistatakse $T_{tt}$ ja määratakse protsentides operatiivajast, kuna suurem osa töökoha teenindamiseks kuluvast ajast ei olene konkreetselt täidetavast tööst, vaid esineb meelevaldse töö puhul. Töötamisel kiirlõiketerasest freesidega esimese ja teise mõõtmegamma konsoolfreespinkidel võetakse $T_{tt}$ = 2,5% $T_0$-st ja töötamisel kõvasulamist lõiketeradega varustatud freesidega — 4,5% $T_0$-st.

Vaheaegade kestus puhkuseks ja isiklikeks vajadusteks. Vaheaegade kestus puhkuseks oleneb töötingimustest ja see lülitatakse tööaja sisse kas füüsiliselt raskete tööde või üksikjuhtudel ka vooltootmise puhul. Isiklikeks vajadusteks kuluv aeg võetakse 4—5% operatiivajast. Vaheaegade kestus puhkuseks ja isiklikeks vajadusteks tähistatakse $T_p$.

Antud detailide partii töötlemise ajanorm moodustub ettevalmistus-lõpetamise ajast ja tükiajast, mis on korrutatud detailide arvuga partiis $n$. Seega:

$$T_{partii} = T_{el} + T \cdot n \text{ min.} \tag{51}$$

Suurseeria- ja masstootmises, kus kindlaksmääratud pingile on kinnitatud tavaliselt üks operatsioon, ei kuulu ettevalmistus-lõpetamise aeg ajanormi sisse.

Seega määratakse freesimisoperatsiooni maksumuse detailseks kalkulatsiooniks üldine tehniline ajanorm ühe tüki kohta ehk tükikalkulatsiooniaja norm $T_{tk}$ :

individuaal- ja väikeseeriatootmisel

$$T_{tk} = T_t + \frac{T}{n} \text{ min;}$$

suurseeria- ja masstootmisel

$$T_{tk} = T_t \text{ min.}$$

Tehniline tüki ajanorm määratakse valemiga:

$$T_t = T_0 + T_a + T_{tt} + T_p \text{ min.} \tag{52}$$

Analüüsinud detaili töötlemiseks määratud tehnilist ajanormi ja hinnanud eraldi iga ta koostisosa, võib töötlemise ratsionaliseerimiseks välja töötada abinõude plaani üldise töötlemisaja lühendamiseks ja tootlikkuse tõstmiseks.

### Tööde tarifitseerimine

Freesijate ja masinaehitustehaste teiste tööliste palga organiseerimise määrab tariifisüsteem, mis on rajatud tariifivõrgule, tariifimääradele ja tariifi-kvalifikatsiooni teatmikule.

Tariifivõrk määrab tariifitegurite abil kindlaks erineva kvalifikatsiooniga tööliste töö tasustamise. Masinaehitustehastes on kõik töölised ja tööde liigid, vastavalt kvalifikatsioonile, liigitatud kuude järku.

Tariifitegur näitab, mitu korda antud järguga töölise tariifimäär ületab esimese järgu töölise tariifimäära.

Tariifimäär määrab antud järgu töölise töö eest makstava tasu absoluutse suuruse tööaja ühikus (tavaliselt ühe tunni eest).

Mingi järgu tunnitasu tariifimäär saadakse esimese järgu tariifimäära korrutamisel vastava tariifiteguriga, mis on omistatud antud järgule.

Tariifi-kvalifikatsiooni teatmik kujutab endast kvalifikatsioonide iseloomustuste kogumikku, mis määrab kindlaks erineva järguga tööliste, sealhulgas ka freesijate konkreetsed oskused ja teadmised, samuti tüüpiliste tööde ulatuse.

Tariifi-kvalifikatsiooni teatmik on juhtmaterjaliks freesijate kvalifitseerimisel pärast tehnilise kutsekooli lõpetamist, töölevõtmisel või kategooria tõstmisel. Tariifi-kvalifikatsiooni teatmiku alusel antakse tehnoloogilise protsessi igale freesimisoperatsioonile kindel järk.

Teades antud freesimisoperatsiooni tehnilist ajanormi ja töölise järgu tunni tariifimäära, on kerge kindlaks määrata valmistatava detaili freesimisoperatsiooni hinnet.

## § 84. ALGTEADMISI MAJANDAMISEST

### Omahinna mõiste

Meie tööstuse akumulatsiooni kasv tagatakse toodangu omahinna süstemaatilise alandamisega. Vaatleme, millest koosneb toote omahind.

Iga toode koosneb reast erinevail töökohtadel operatsiooniviisi valmistatud detailidest. Seega toote omahind koosneb üksikute detailide omahinnast, aga detaili omahind — üksikute operatsioonide omahinnast pluss tooriku põhimaterjali maksumus.

## Otsesed tootmiskulud

Olgu freesijal kindlaksmääratud töökohal valmistada hoova kahvel, mis kuulub koostatud komplekti (tootesse). Toorik (sepis) maksab 20 kopikat, ühe kahvli töötlemishind on aga 10 kopikat. Järelikult tooriku (põhimaterjali) maksumus ja töötasu kokku moodustavad 30 kopikat, mida nimetatakse *otsesteks tootmiskuludeks.*

## Kaudsed tootmiskulud

Detaili freesimisel pingi elektrimootor kulutas elektrienergiat, frees pisut nürines, jahutuseks kasutati emulsiooni, pingi õlitamiseks kulutati masinaõli, puhastamiseks — puhastusmaterjale. Elektrik ja remondilukksepp teenindasid freesija töökohta. Kõiki neid kulusid, mis on seotud pingi normaalse töö tagamisega, nimetatakse *lisakuludeks* ehk *kaudseteks kuludeks.* Kaudsete kulude hulka kuulub ka tootmisseadmete (freespink, elektrimootor), kallihinnaliste rakiste (jagamispea, pöördlaud, spetsiaalsed rakised) ning töö- ja mõõteriistade (freespead, freeside komplektid, nihkhambamõõtjad, indikaatorid), millede iga on suurem kui üks aasta, amortisatsioon, kuna nad kõik kuluvad tööprotsessis.

Peale nende esinevad veel sellised kaudsed kulud, mis ei ole seotud ainult seadmete tööga, vaid tsehhi kogu tööga. Siia kuuluvad tsehhijuhataja, vahetus- ja osakonnajuhatajate, vanem- ja vahetusmeistrite ja teiste insener-tehniliste töötajate, teenistujate, abitööliste ja noorema teenindava personali palgad. Kaudsete kulude hulka kuuluvad samuti tsehhi valgustusega, küttega ja vesivarustusega seotud kulud, sildkraanade ja tsehhi teiste transpordivahendite korrashoidmise kulud, jooksev remont ja tsehhi hoone koristamise kulud, kulutused mitmesugustele materjalidele, mis on vajalikud normaalseks tööks, kuid ei kuulu valmistatavasse toodangusse. Kaudsete kulude hulka kuuluvad veel tsehhi hoonete ja ehituste amortisatsioon, transporditsehhi teenuste tasu, samuti töökaitsega seotud kulud.

On kerge välja arvestada, kui palju kulusid on seotud seadmete tööga ja kui palju teisi kaudseid kulusid langeb iga detaili valmistamisele. Kõiki seda laadi kulusid nimetatakse *tsehhi kaudseteks kuludeks* ehk *lisakuludeks.* Tsehhi kaudseid kulusid, mis ei ole seotud seadmete tööga, nimetatakse lihtsalt *tsehhikuludeks.*

Masinaehituses toimub tsehhi kaudsete kulude jaotamine detailidele proportsionaalselt nende valmistamiseks kulutatud põhitootmistööliste palgale.

Olgu meie näites seadmete tööga seotud kulud 2000 rubla kuus, teised tsehhi kaudsed kulud — 7000 rubla kuus ja tsehhi tootmistöölistele makstud palk 5000 rubla kuus. Tähendab, põhitootmistööliste palga ühele rublale langeb tsehhi kaudsetest kulu-

dest (2000 + 7000) : 5000 = 1 rubla 80 kopikat. Teisiti öeldes, tsehhi kaudsed kulud moodustavad põhi-tootmistööliste palgast 180%.

Eespool toodud näites määrasime kindlaks, et kahvli töötlemise eest makstakse 10 kopikat. Järelikult tsehhi kaudsed kulud moodustavad 18 kopikat detailile.

Otsesed kulud koos tsehhi kaudsete kuludega moodustavad detaili tsehhiomahinna. Meie juhul on kahvli töötlemise tsehhiomahind 20 + 10 + 18 = 48 kop.

Detaili tsehhiomahinnale arvestatakse juurde veel *tehase üldkulud*. Tehase üldkulude hulka kuuluvad tehase juhtkonna töötajate palgad, üldtehaseliste hoonete ja ehituste korrashoidmisega, laboratooriumiga, tehase sisetranspordiga, tulekaitsega jne. seotud kulud. Tehase üldkulud jaotatakse tsehhide järgi proportsionaalselt põhi-tootmistööliste palgale.

Olgu meie näites tehase üldkulud 14 000 rubla kuus, põhi-tootmistööliste palk, mis makstakse välja põhitsehhides — 20 000 rubla; järelikult põhi-tootmistööliste palga ühele rublale langeb tehase üldkulusid 70 kopikat ehk tehase üldkulud moodustavad põhi-tootmistööliste palgast 70%. Seega kahvli omahind on 20 + + 10 + 18 + 7 = 55 kop.

Operatsiooni, detaili või vastavalt terve toote omahind koosneb summast, mille moodustavad põhimaterjalide maksumus, põhi-tootmistööliste palk, tsehhi kaudsed kulud ja tehase üldkulud.

## Omahinna alandamise teed

Detaili omahinna struktuurist on näha, et iga tööline võib oma töökohal avaldada otsest mõju detaili omahinna alandamisele põhimaterjalide ja tsehhikulude (elektrienergia ning õlitus- ja puhastusmaterjali kokkuhoid, hoolikas suhtumine tööriistadesse) kokkuhoiu arvel.

Tootlikkuse tõstmine ja toodangu väljalaske suurendamine tsehhi kaudsete kulude muutumatu taseme korral vähendab nende kulude osa põhi-tootmistööliste palga ühele rublale ja sellega alaneb omahind kahes suunas (väheneb põhipalk ja vähenevad kaudsed kulud).

Sellepärast võtavad sajad ja kümned tuhanded novaatorid erinevatelt kutsealadelt konkreetseid kohustusi toormaterjalide, materjalide ja elektrienergia kokkuhoidmiseks, andes sellega riigile täiendavaid vahendeid edasiseks ülesehitustöö hoogustamiseks.

Freesija hästi organiseeritud töökohal on tööriistade, abi- ja õlitusmaterjalide ning elektrienergia kokkuhoid sotsialistliku võistluse üheks tähtsamaks elemendiks detailide omahinna alandamisel igalt tootmisoperatsioonilt.

Nürinenud freesi õigeaegne vahetamine võimaldab teritamisel vähendada hinnalise metalli (kiirlõiketeras ja kõvasulamid) kadu miinimumini ja pikendada lõikeriista iga, millega väheneb lõikeriista kulu tooteühikule. Täpne kinnipidamine tehnoloogilisest režiimist suurendab freesi püsivust, mis võimaldab suurendada iga ümberterituse järel töödeldud detailide arvu.

Pingi õlitusjuhendi täitmine võimaldab kokku hoida õlitusmaterjale, hoolikas ja õigeaegne pingi puhastamine vähendab puhastusmaterjalide kulu.

Pingi tühikäigu lühendamine, pingi koormamise tihendamine ja suure tootlikkusega mitmekohaliste rakiste kasutamine vähendavad elektrienergia kulu ühe detaili kohta ja aitavad kaasa tsehhi kaudsete kulude vähendamisele.

Iga freesija võib oma töökohal leida täiendavaid reserve tsehhi kaudsete kulude vähendamiseks ja materjalide kokkuhoiuks, millega ta aitab suurendada sotsialistliku tööstuse akumulatsiooni.

### Kontrollküsimusi

1. Milliseid palgasüsteeme kasutatakse tootmises?
2. Mida nimetatakse tükipalgaks?
3. Mida nimetatakse otseseks tükipalgaks? Mida nimetatakse progressiivseks tükipalgaks?
4. Mida nimetatakse tehniliseks ajanormiks ja töönormiks?
5. Kuidas arvutatakse normi ületamist?
6. Mida nimetatakse ettevalmistus-lõpetamise ajaks?
7. Mida nimetatakse tükiajaks? Millistest elementidest ta koosneb?
8. Kuidas mõjub ajanormi vähendamisele mitme pingi teenindamine ühe töölise poolt?
9. Analüüsige mõne toodetava detaili operatsioonikaarti ja näidake, mis mõjutab ajanormi.
10. Kuidas tuleb organiseerida töökoha varustamist tööriistadega?
11. Millest koosneb toote omahind?
12. Kuidas vähendada tsehhikulusid?
13. Milliseid ettepanekuid te võite esitada teie poolt täidetava operatsiooni omahinna alandamiseks?

XXX PEATÜKK

# FREESIMISE TEHNOLOOGILINE PROTSESS

## § 85. TEHNOLOOGILISE PROTSESSI KOOSTAMISE PÕHIMÕTTED

### Operatsioonide ja siirete järjekord

Freesimise tehnoloogiline protsess peab tagama võimaluse töödelda antud pingil ja antud töötingimustel pingi ja lõikeriista lubatavate tehniliste võimaluste täielikuma ärakasutamise teel maksimaalse arvu kõrgekvaliteedilisi detaile vähimate kulutustega.

Tehnoloogiline protsess peab olema üles ehitatud operatsioonide ja siirete kõige otstarbekamas järjekorras ratsionaalseimate freesimismeetodite alusel.

Töötlemise järjekord oleneb paljudest teguritest: freesimisoperatsiooni iseloomust, detailide mõõtmetest ja kujust, detaili üksikute pindade vastastikuse asetuse tehnilistest tingimustest, olemasolevast pingipargist jne., kuid enamikel juhtudel oleneb töötlemise järjekord ülesseadebaasi valikust.

### Ülesseadebaasi valik

Detaili töötlemise järjekord oleneb kõigepealt sellest, millised pinnad valitakse ülesseadebaasideks. Sellepärast tuleb ülesseadebaasid valida eriti hoolikalt.

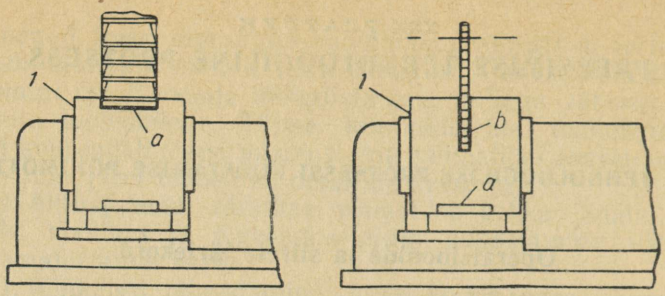
Ülesseadebaaside valikul eristatakse järgmisi põhilisi juhte.

1. Töötlemisele kuuluval toorikul puuduvad eelnevalt töödeldud pinnad. Sel juhul seatakse toorik üles töötlemata (musta) pinna järgi (*must baas*). Seejuures tuleb esimesel ülesseadel töödelda seda musta pinda, mis on määratud ülesseadebaasiks teiste pindade töötlemiseks, s. t. ette valmistada *puhas baas* järgnevateks ülesseadeteks.

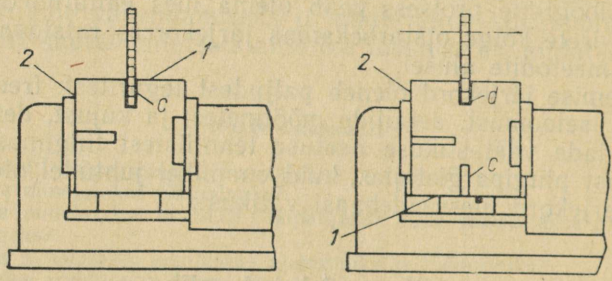
Nii me toimisime täisnurkse plaadi (vt. joon. 101) töötlemisel. Esimesel ülesseadel võtsime ülesseadebaasiks tooriku musta pinna. See võimaldas töödelda laia pinda *1*, mida järgnevatel ülesseadetel kasutasime puhta ülesseadebaasina.

2. Antud operatsioonil töötlemisele kuuluva tooriku pinnad on eelnevalt töödeldud. Sel juhul seatakse toorik üles eelnevalt töödeldud pindade järgi.

Prisma (vt. joon. 147) freesimisel on toorikuks nelikantteras, mille kõik neli tahku on puhtaks freesitud. Soonte töötlemiseks võib ülesseadebaasideks võtta kaks meelevaldset tahku. Soonte *a* ja *b* freesimiseks on ülesseadebaasiks võetud tahk *1* (joon. 344).




Joon. 344. Joonisel 147 kujutatud prisma ülesseadebaasid soonte *a* ja *b* freesimiseks




Joon. 345. Joonisel 147 kujutatud prisma ülesseadebaasid soonte *c* ja *d* freesimiseks

Soonte *c* ja *d* freesimisel tahku *1* ülesseadebaasiks võtta ei saa, sellepärast võetakse baasiks tahk *2* (joon. 345).

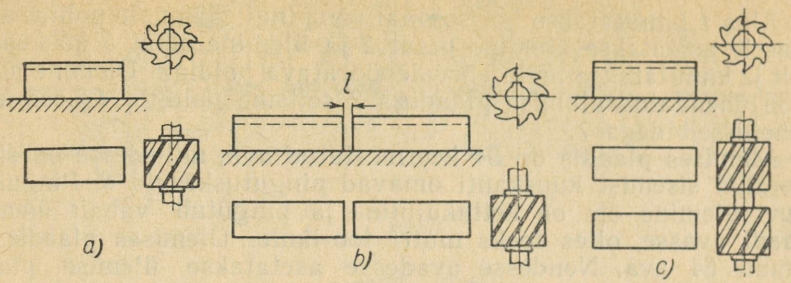
3. Antud operatsioonil töötlemisele kuuluval toorikul on töödeldud välimised või sisemised pöördpinnad. Sel juhul seatakse toorik üles nende pindade järgi.

Šablooni (vt. joon. 161) töötlemisel võtsime ülesseadebaasiks 30 mm läbimõõduga tsentriava; nelikandi (vt. joon. 210) freesimisel võtsime ülesseadebaasideks tsentriavad; kuuskantmutri (vt. joon. 213) tahkude freesimisel võtsime ülesseadebaasiks ava läbimõõduga 11,7 mm; soonte freesimisel võlli (vt. joon. 215) otsale võtsime ülesseadebaasiks välise treitud pinna läbimõõduga 34 mm jne.

## Freesimismeetodite valik

Olenevalt töödeldavate toorikute arvust ja kinnitamise korrast võib freesida järgmiste meetodite järgi.

Ühe tooriku kaupa freesimist (joon. 346, *a*) kasutatakse peamiselt individuaaltootmises või suurte mõõtmetega




Joon. 346. Freesimisskeemid:
*a* — ühe tooriku kaupa freesimine; *b* — kahe tooriku järjestikune freesimine; *c* — kahe tooriku paralleelne freesimine

toorikute töötlemisel, kui pingi töölauale või rakisesse ei ole võimalik kinnitada rohkem toorikuid.

Järjestikusel freesimisel üks frees või freeside komplekt töötleb toorikuid, mis on kinnitatud kruustangidesse või mitmekohalistesse rakistesse järjestikku.

Järjestikust freesimist võib teostada ka siis, kui toorikud kinnitatakse üksteisest mingile kaugusele, nagu näidatud joonisel 346, *b*. Freesi tühijooksu vähendamiseks on kaasaegsete freespinkide töölaua liikumist võimalik häälestada vahelduva ettenihkega töötamisele (vt. joon. 291).

Järjestikuse freesimise tootlikum meetod on toorikute freesimine paketina (vt. joon. 214, *b*). Selle freesimismeetodi juures ei esine kadusid freesi tühijooksule toorikute vaheliste vahede arvel, kuna toorikud on surutud tihedalt üksteise vastu. Kui töötlemistingimused ja toorikute konfiguratsioon võimaldavad, on alati kasulik kinnitada toorikud paketina.

Paralleelsel freesimisel töödeldakse ühe freesiga või freeside komplektiga kruustangidesse või mitmekohalisse rakisesse kinnitatud toorikuid üheaegselt (joon. 346, *c*). Paralleelsel meetodil freesimisel lüheneb masinaaeg nii mitu korda, mitu toorikut on ritta üles seatud. Paralleelmeetodit rakendatakse peamiselt siis, kui on vaja töödelda suurt partiid väikesegabariidilisi toorikuid. Joonisel 347 on kujutatud nelja kruvi ülesseade nende peade paralleelseks freesimiseks nelja paari kolmepoolsete ketasfreesidega.

Paralleel-järjestikuseks freesimismeetodiks nimetatakse paralleelse ja järjestikuse freesimismeetodi kombinatsiooni. Selle meetodi rakendamisel võib saavutada maksimaalset tootlikkust ja seda kasutavad freesijad-novaatorid tootmises sageli.

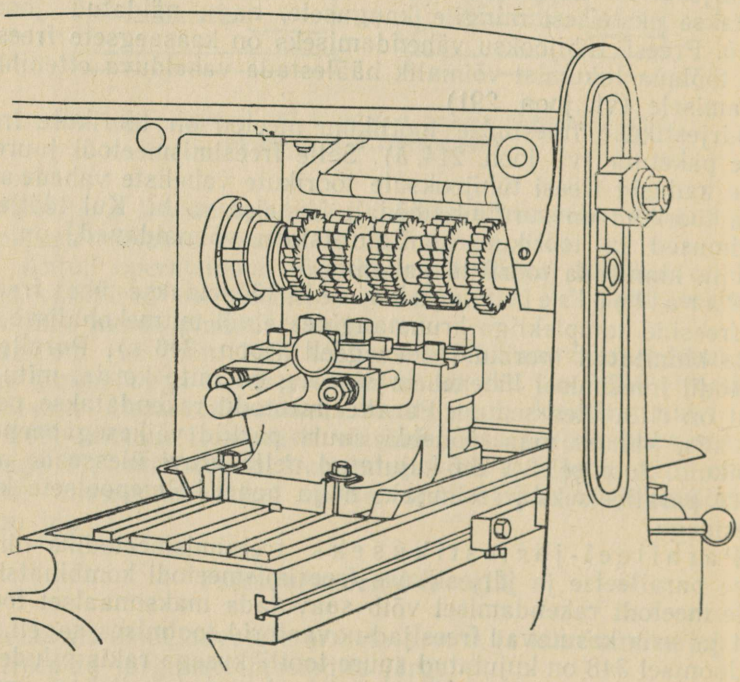
Joonisel 348 on kujutatud suure tootlikkusega rakis pilude freesimiseks kroonmutritesse. Ta koosneb alusest *1* ja kahest ümmargusest plaadist *2* ja *3*.

Alus *1* kinnitatakse horisontaalfreespingi töölauale poltide abil. Alusele asetatakse alumine plaat *2* ja ülemine plaat *3* kokkupandult ja kinnitatakse nelja kõrvalepööratava poldiga. Ülemine plaat *3* on ühendatud alumise plaadiga *2* seitsme poldiga *4* koos kiirvahetusseibidega *7*.

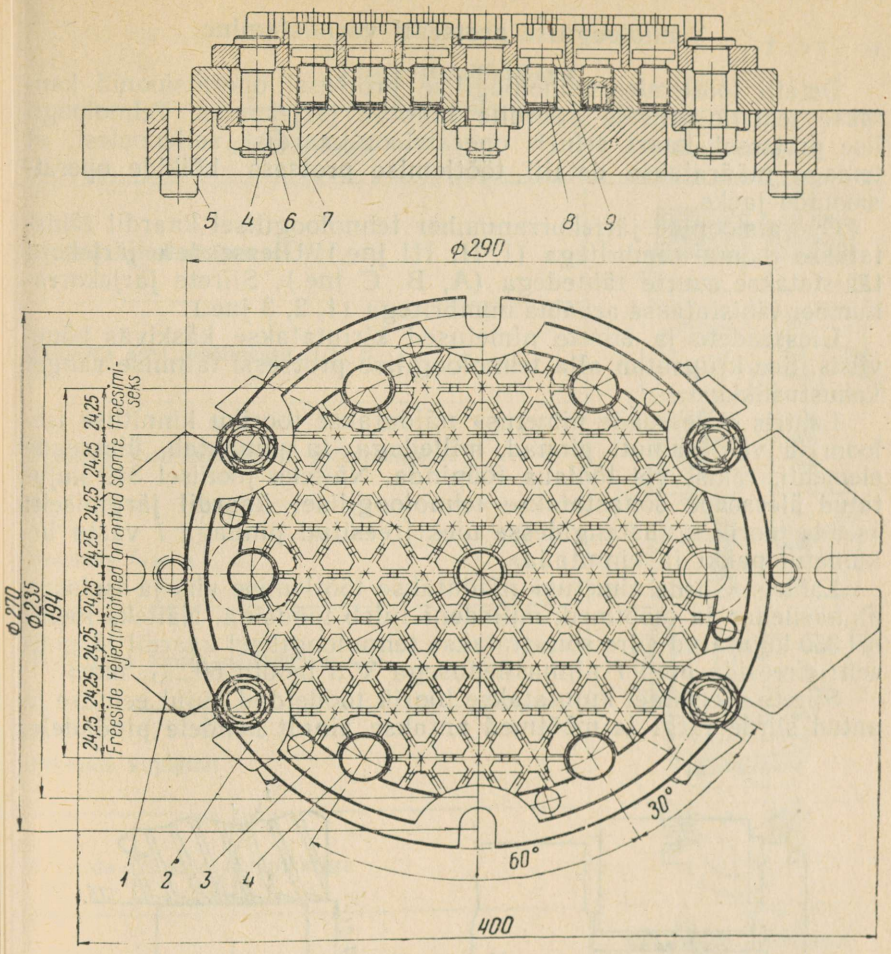
Alumises plaadis on 54 keermestatud ava, milledesse on sisse keeratud sisemist kuuskanti omavad pingutuskruvid *8*. Pingutuskruvi ülemine ots on kettakujuline ja paigutub vabalt ülemise plaadi avasse, olles toeks mutri toorikule. Ülemises plaadis on samuti 54 ava. Nendesse avadesse asetatakse ülemise plaadi kummulipööratud asendis mutri toorikud. Ülemisele plaadile pannakse ülevalt peale alumine plaat, mis fikseeritakse kohale kahe tihvti abil ja tõmmatakse kinni seitse polti *4* ja kõik 54 pingutuskruvi. Seejärel pööratakse plaatide komplekt koos 54 mutri toorikuga ümber ja asetatakse ta alusele, kinnitades nelja kõrvalepööratava poldiga.

Ülemise plaadi *3* ülemisel pinnal on omavahel 60° nurga all lõikuvate soonte süsteem. Soonte laius 3,5 mm vastab pilu laiusele mutris.

Rakisesse paigutatud 54 mutrit freesitakse üheksast ketasfree-



Joon. 347. Nelja kruvi peade freesimine freeside komplektiga




Joon. 348. Rakis pilude freesimiseks kroonmutritesse:
*1* — alus; *2* — alumine plaat; *3* — ülemine plaat; *4* — plaatide kinnituspoldid; *5* — seadetihvtid; *6* — mutter; *7* — kiirvahetusseib; *8* — pingutuskruvi; *9* — ketas

sist koosneva freeside komplektiga. Freesid on asetatud freestornile üksteisest erinevatele kaugustele. Pärast esimest töökäiku pööratakse mõlemat ülemist plaati 60° võrra ja tehakse teine töökäik ning samal viisil kolmas töökäik.

Kahe komplekti plaatide korral täidetakse teine plaat toorikutega esimese freesimise ajal. Sellega hoitakse kokku abiaega.

Tehnoloogilise protsessi väljatöötamisel suure partii ühesuguste detailide freesimiseks tuleb püüda kasutada paralleel-järjestikust freesimismeetodit.

Detaili töötlemise tehnoloogilise protsessi operatsioonid kantakse tehnoloogilisele kaardile kindlas järjekorras. Tehnoloogilise protsessi kaart erineb operatsioonikaardist sellepoolest, et temaga määratakse detaili töötlemise protsess kõikide operatsioonide jaoks.

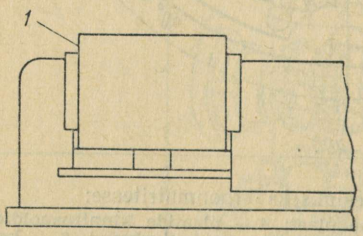
Operatsioonide järjekorranumber tehnoloogilisel kaardil tähistatakse rooma numbritega (I, II, III jne.). Ülesseadete järjekord tähistatakse suurte tähtedega (A, B, C jne.). Siirete järjekorranumber tähistatakse araabia numbritega (1, 2, 3 jne.).

Ülesseadete ja siirete nimetused kirjutatakse käskivas kõneviisis. See kriipsutab alla tehnoloogilise protsessi täitmise ranget kohustuslikkust.

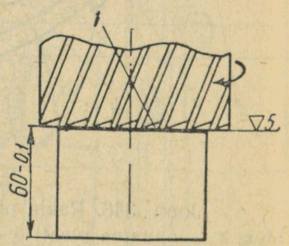
Lahtris «Ülesseade nimetus» näidatakse tooriku kinnituse iseloom ja viis, samuti pinnad, milledega ta puudutab ülesseade elementi, rakist või töölaua tööpinda. Näiteks joonisel 349 kujutatud ülesseade sõnastatakse tehnoloogilisel kaardil järgmiselt: «seada toorik kruustangidesse üles freesitud pinnaga *1* vastu liikumatut pakki ja kinnitada».

Lahtris «siirde nimetus» näidatakse töötlemise viis ja iseloom, pinnasiledus ja mõõtmed, milledeni tuleb töödelda. Näiteks joonisel 350 kujutatud siire sõnastatakse tehnoloogilisel kaardil järgmiselt: «freesida pind *1* pinnasiledusega ▽5 mõõtu $60_{-0,1}$ mm».

Siirete skeemidel kujutatakse toorik töödeldud kujul eelmise ja antud siirde järgi ja mõõtmed antakse ainult nendele pindadele,




Joon. 349. Ülesseadeskeem



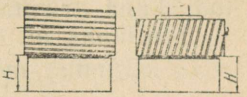
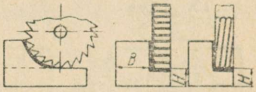
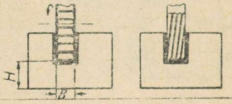
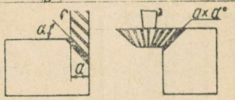
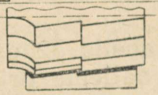
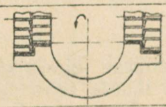
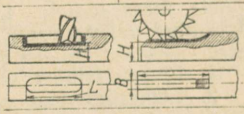
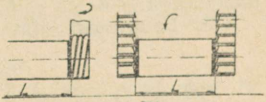
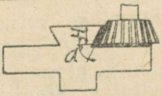

Joon. 350. Siirde skeem

millised töödeldakse antud siirdel. Skeemidel antakse samuti lõikeriista asend töötlemise lõpul.

Et töödeldavaid pindu antud siirdel paremini eraldada, piiratakse operatsioonijoonisel töötlemisele kuuluvate pindade kontuurid jämeda pliiatsi- või tušijoonega.

Tabelis 51 on toodud freesimistöödel kõige sagedamini esinevate siirete klassifikatsioon.

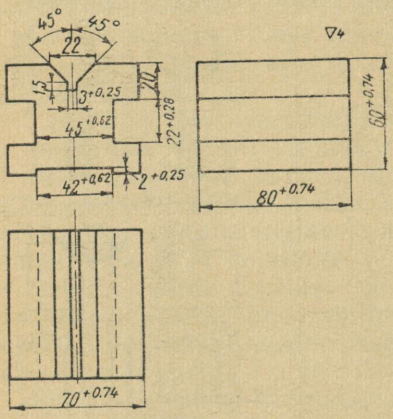
## Siirete klassifikatsioon

| Siirde nimetus | Siirde skeem |
|---|---|
| Freesida pind mõõtmesse *H* |  |
| Freesida aste mõõtmesse $H \times B$ |  |
| Freesida soon laiusega *B* mõõtmesse *H* |  |
| Freesida faas $a \times \alpha°$ |  |
| Tükeldada toorik mõõtmesse *L* |  |
| Freesida kujupind |  |
| Freesida freeside komplektiga |  |
| Freesida kiilusoon laiusega *B* mõõtmesse *H* |  |
| Freesida ots mõõtmesse *L* |  |
| Freesida kalasabakujuline soon ühelt poolt (teiselt poolt) kaldega α° mõõtmesse *H* |  |
| Freesida märkimise või šablooni järgi kõver kontuur (nuki profiil) |  |

## Prisma töötlemine

Koostame joonisel 351 kujutatud prisma töötlemise tehnoloogilise protsessi, võttes aluseks kõrge tootlikkusega freesimismeetodi, kuna prismasid valmistatakse suurte partiide viisi.

Toorikuks on valtsitud nelikantteras mark 45 (mille $\sigma_b = 75$ kG/mm²) mõõtmetega $65 \times 75 \times 85$ mm.




Joon. 351. Prisma joonis

Prisma iga tahu freesime eraldi operatsiooniga järjestikusel meetodil.

Kuna iga tahu pind on keeruka kujuga ja koosneb reast kaaspindadest, on suure partii puhul otstarbekas ühendada mitu siiret üheks operatsiooniks ja kasutada töötlemiseks freeside komplekti.

Tabelis 52 on toodud prisma töötlemise tehnoloogiline kaart. Vaatleme prisma mõnda töötlemisoperatsiooni põhjalikumalt.

I operatsioon. **Freesida pind** *2*

Esimese operatsiooni täitmisel võtame ülesseadebaasiks tooriku meelevaldse musta tahu ja freesime pinna *2*, mis pärast töötlemist on baasiks järgmistele ülesseadetele. Lõikeriistaks valime kõvasulamist *T15K6* plaadikestega varustatud vahetatavate lõiketeradega laupfreesi. Toorikud kinnitame spetsiaalsesse rakisesse kuuekaupa.

1. Freesimislaius võrdub tooriku laiusega: $B = 75$ mm.
2. Lõikesügavuse valime lähtudes töötlusvarust, mis võetakse maha ühe töökäiguga: $t = 2{,}5$ mm.
3. Laupfreesi läbimõõdu valime tabelist 42:

$$D = 125 \text{ mm}.$$

Sellisel freesil on 8 hammast.

4. Ettenihke valime tabelist 44 vastavalt terase tõmbetugevusele $\sigma_b > 60$ kG/mm² ning töötlemiseks kõvasulamist lõiketeradega varustatud laupfreesiga, mille peanurk plaanis $\varphi = 90°$.

Soovitatav ettenihe töötamisel skeemi *a* järgi on 0,12—0,15 mm/hambale; valime $s_z = 0{,}13$ mm/hambale.

5. Freesi püsivusajaks valime tabelist 180 min.
6. Lõikekiiruse valime tabelist 49 töötamiseks laupfreesiga $D = 125$ mm, $z = 8$; $s_z = 0{,}13$ mm/hambale ja $T = 180$ min.

$$v_{tabel} = 260 \text{ m/min.}$$

7. Arvutame spindli vajaliku pöörete arvu:

$$n = \frac{1000v}{\pi \cdot D} = \frac{1000 \cdot 260}{3{,}14 \cdot 125} = 660 \text{ p/min.}$$

8. Valime lähima väiksema pöörete arvu, mida võimaldab pink 6M12П:

$$n = 630 \text{ p/min.}$$

9. Arvutame ettenihke minutis:

$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0{,}13 \cdot 8 \cdot 630 = 655 \text{ mm/min.}$$

10. Valime lähima väiksema minutilise ettenihke, mida pink 6M12П võimaldab:

$$s = 630 \text{ mm/min.}$$

11. Korrigeerime saadud lõikerežiimi vastavalt pingi võimsusele ja ettenihkemehhanismi lubatud koormusele analoogiliselt käsitletuga lk. 451—453 ja määrame kindlaks järgmise lõikerežiimi: ettenihe minutis $s = 400$ mm/min; spindli pöörete arv $n = 400$ p/min; ettenihe hambale $s_z = 0{,}13$ mm/hambale, lõikekiirus $v = 157$ m/min.

12. Arvutame põhiaja ühele tükile valemi (47a) abil:

$$T_0 = \frac{L}{s} \cdot i + \frac{l + l_1}{s \cdot k} \cdot i = \frac{85}{400} \cdot 1 + \frac{14{,}5 + 3}{400 \cdot 6} \cdot 1 = 0{,}22 + 0{,}006 \approx 0{,}23 \text{ min.}$$

II operatsioon. **Freesida kaaspinnad *3* freeside komplektiga**

Teisel operatsioonil võtame baasiks pinna *2*, mille töötlesime esimese operatsiooniga.

Pinna töötleme freeside komplektiga, mis koosneb kolmest ketasfreesist, ühendades kaks siiret: pinna $60 \times 80$ freesimise ja soone $22 \times 12{,}5$ freesimise ühendame üheks siirdeks. Freeside komplekti mõõtmed arvutame väikseima läbimõõduga freesi järgi. Meie juhul on väikseima läbimõõduga freesideks kaks äärmist kahepoolset ketasfreesi (joon. 352).

Võttes freestorni läbimõõduks 32 mm, valime äärmisteks freesideks ГОСТ 6469-60 järgi vahetatavate kõvasulamist lõiketeradega kahepoolsed ketasfreesid läbimõõduga 100 mm ja laiusega 14 mm, s. t. maksimaalsest freesimislaiusest 4 mm laiemad; freesil on 8 lõiketera.

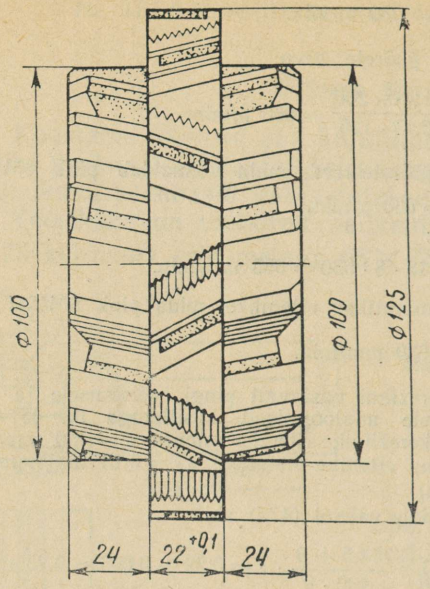
Kolmepoolse ketasfreesi läbimõõdu arvutame skeemi järgi: $D = 100 + (2 \cdot 12{,}5) = 100 + 25 = 125$ mm. Freesi laiuse valime vastavalt soone laiusele $B = 22$ mm. Vahetatavate kõvasulamist lõiketeradega freesi valime ГОСТ 5348-60 järgi; freesil on 10 hammast.

Lõikerežiimi valime freesi järgi, mis töötab raskemates tingimustes. Selleks on keskmine kolmepoolne ketasfrees. Ta on kõige suurema läbimõõduga ja töötab kõige suuremal lõikesügavusel.

1. Freesimislaius võrdub freesi laiusega $B = 22$ mm.
2. Lõikesügavus $t$, lähtudes töötlusvarust, mis töödeldakse maha ühe töökäiguga, on 15 mm.
3. Freesi püsivusajaks valime tabelist 48 180 min. Edasi valime lõikerežiimi raamatu «Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на фрезерных станках» (серийное производство). Машгиз, 1959* abil.

---

* Võib kasutada ka normatiive, mis on toodud käsiraamatutes: А. Н. Оглоблин «Справочник фрезеровщика» (Машгиз 1962) või С. Ш. Френкель «Справочник молодого фрезеровщика» (Профтехиздат, 1962).




Joon. 352.
Freeside komplekti skeem

4. Valime kaardi 70 järgi ettenihke terasele 45 (valtsmetall), lähtudes soone freesimise tingimustest. Antud töötlemiseks on ettenihe hamba kohta 0,08—0,10 mm/hambale. Valime $s_z = 0{,}08$ mm/hambale.

5. Lõikekiiruse valime kaardilt 71:

$$v_{tabel} = 310 \text{ m/min.}$$

Arvesse võttes, et freeside komplekt koosneb kolmest freesist, valime teguri $K = 0{,}7$. Seega freeside komplekti tegelik püsivusaeg

$$T_t = k(T_1 + T_2 + T_3) = 0{,}7 \cdot 3 \cdot 180 = 378 \text{ min,}$$

ja suhe $T_t : T = 378 : 180 = 2{,}1$, mille alusel valime kaardilt 71 lõikekiiruse parandusteguri $K_{Tv} = 0{,}68$.

Valime lõikekiiruseks $v = 0{,}68 \cdot v_{tabel} = 0{,}68 \cdot 310 = 210$ m/min.

6. Arvutame spindli vajaliku pöörete arvu:

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi D} = \frac{1000 \cdot 210}{3{,}14 \cdot 125} = 530 \text{ p/min.}$$

7. Valime lähima väiksema pöörete arvu, mida pink 6M82Г võimaldab:

$$n = 500 \text{ p/min.}$$

8. Arvutame tegeliku lõikekiiruse freesile läbimõõduga 125 mm:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 125 \cdot 500}{1000} \approx 196 \text{ m/min.}$$

9. Arvutame ettenihke minutis freesile hammaste arvuga $z = 10$;

$$s = s_z \cdot n \cdot z = 0{,}08 \cdot 500 \cdot 10 = 400 \text{ mm/min.}$$

10. Korrigeerides pingi andmete järgi, saame ettenihke minutis

$$s = 400 \text{ mm/min.}$$

11. Arvutame põhiaja ühele tükile valemi (47a) abil:

$$T_0 = \frac{L}{s} i + \frac{l + l_1}{sk} \cdot i = \frac{85}{400} \cdot 1 + \frac{41{,}6 + 3{,}5}{400 \cdot 6} \cdot 1 = 0{,}22 + 0{,}019 \approx 0{,}23 \text{ min.}$$

Äärmiste freeside ($D = 100$ mm) tegelik lõikekiirus on väiksem:

$$v = \frac{\pi D n}{1000} = \frac{3{,}14 \cdot 100 \cdot 500}{1000} = 157 \text{ m/min.}$$

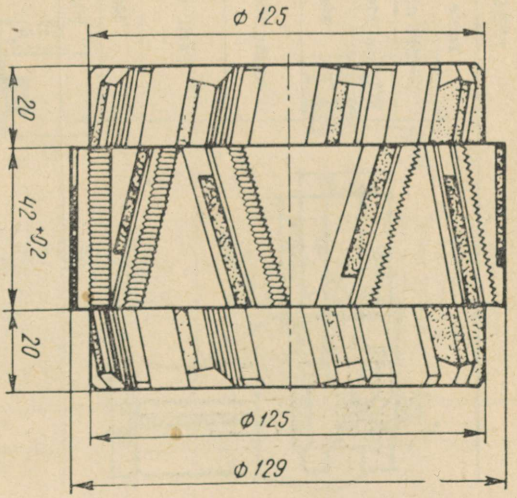
III operatsioon. **Freesida kaaspinnad *1* freeside komplektiga**

Kolmandal operatsioonil on baasiks samuti pind *2*, mis asetatakse rakises vastu liikumatut pakki, tagades sellega pinna *2* ristseisu töödeldava pinnaga. Freesimise teostame sama freeside komplektiga ja samade režiimidega, mida kasutasime teisel operatsioonil.

IV operatsioon. **Freesida kaaspinnad *4* freeside komplektiga**

Neljandal operatsioonil võtame ülesseadebaasiks pinna *3*, mille töötlesime varem pinna *2* baasil. Rakisesse seatakse üles 6 toorikut pinnaga *3* vastu liikumatut pakki. Töötlemise viime läbi joonisel 353 kujutatud freeside komplektiga. Algul valime väiksema läbimõõduga freesid — kaks kahepoolset ketasfreesi läbimõõduga $D = 125$ mm, seejärel arvutame keskmise freesi läbimõõdu, lähtudes soone sügavusest 2 mm:

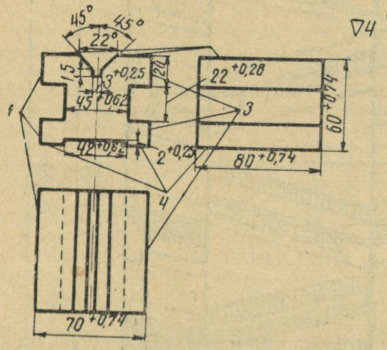
$$D = 125 + (2 \cdot 2) = 125 + 4 = 129 \text{ mm.}$$



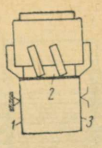
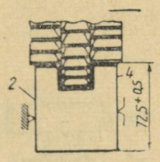
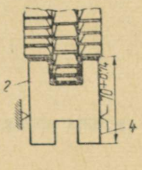

Joon. 353.
Freeside komplekti skeem

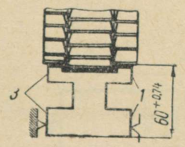
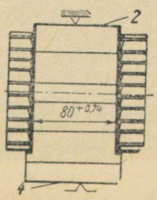
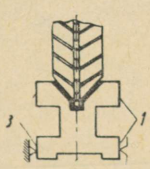
FREESIMISE TEHNOLOOGILINE KAART

Tabel 52




| | | | | |
|---|---|---|---|---|
| Toote nimetus | *Lekaalrakis* | | | Joonise nr. |
| Detaili nimetus | *Prisma* | | | I-136 |
| Detailide arv tootes | 1 | | Sisseseade | |
| Materjal | *teras 45* | Nimetus ja tüüp | *Vertikaalfreespink 6M12П*<br>*Horisontaalfreespink 6M82Г* | |
| Tooriku liik ja mõõtmed | *nelikant-teras 75×65×85* | Valmistaja tehas | *Gorki freespinkide tehas* | |
| Partii suurus tk. | *200* | Töölaua maksimaalne käigupikkus | pikisuunas<br>ristsuunas<br>vertikaalsuunas | *6M12П*: *700* mm, *240* ,, *420* ,,<br>*6M82Г*: *700* mm, *240* ,, *420* ,, |
| Koostas | Kuupäev | Kontrollis | | Kuupäev |
| *Ivanov* | *15. X 62. a.* | *Petrov* | | *16. X 62. a.* |

| Operatsioonid | Ülesseaded | Siirded | Ülesseade ja siirde nimetus | Siirde visand | Rakis | Riist: lõike- | Riist: mõõte- | Arvutuslik töötlemispikkus mm | Töökäikude arv | Üheaegselt töödeldavate detailide arv | Lõikerežiim: freesimislaius B mm | Lõikerežiim: lõikesügavus t mm | Lõikerežiim: ettenihe s mm/min | Lõikerežiim: lõikekiirus v m/min | Spindli pöörete arv n p/min | Põhiaega $T_0$ ühe tüki kohta min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| *I* | *A* | — | *Seada spetsiaalsesse rakisesse üles 6 toorikut pinnaga 2 vastu liikumatut pakki ja kinnitada pinnalt 3* |  | *Spetsiaalne rakis* / *I-136* / *I* | *Kõvasulamist vahetatavate lõiketeradega laupfrees D=125 mm z=8 T15K6* | *Nihkkaliiber* | *88* | *1* | *6* | *75* | *2,5* | *400* | *157* | *400* | *0,23* |
| | | *1* | *Freesida pind 2 siledusega △ 4* | | | | | | | | | | | | | |
| *II* | *A* | — | *Seada spetsiaalsesse rakisesse üles kuus toorikut pinnaga 2 vastu liikumatut pakki ja kinnitada pinnalt 4* |  | *Spetsiaalne rakis* / *I-136* / *II* | *Kõvasulamist lõiketeradega ketasfreeside komplekt* / *I-136* / *II* | *Šabloon* / *I-136* / *II* / *Nihkkaliiber* | *92,5* | *1* | *6* | *22* | *15* | *400* | *196* | *500* | *0,23* |
| | | *1* | *Freesida tahu 3 kaaspinnad freeside komplektiga siledusega △ 4* | | | | | | | | | | | | | |
| *III* | *A* | — | *Seada spetsiaalsesse rakisesse üles kuus toorikut pinnaga 2 vastu liikumatut pakki ja kinnitada pinnalt 4* |  | *Spetsiaalne rakis* / *I-136* / *II* | *Kõvasulamist lõiketeradega ketasfreeside komplekt* / *I-136* / *II* | *Šabloon* / *I-136* / *II* / *Nihkkaliiber* | *92,5* | *1* | *6* | *22* | *15* | *400* | *196* | *500* | *0,23* |
| | | *1* | *Freesida tahu 1 kaaspinnad freeside komplektiga siledusega ▽ 4* | | | | | | | | | | | | | |

| Operatsioonid | Ülesseaded | Siirded | Ülesseade ja siirde nimetus | Siirde visand | Rakis | Riist: lõike- | Riist: mõõte- | Arvutuslik töötlemispikkus mm | Töökäikude arv | Üheaegselt töödeldavate detailide arv | Lõikerežiim: freesimislaius $B$ mm | Lõikerežiim: lõikesügavus $t$ mm | Lõikerežiim: ettenihe $s$ mm/min | Lõikerežiim: lõikekiirus $v$ m/min | Spindli pöörete arv $n$ p/min | Põhiaeg $T_0$ ühe tüki kohta min |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| IV | A | — | *Seada spetsiaalsesse rakisesse üles kuus toorikut pinnaga 3 vastu liikumatut pakki ja kinnitada pinnalt 1* |  | *Spetsiaalne rakis I-136 / IV* | *Kõvasulamist lõiketeradega ketasfreeside komplekt I-136 / IV* | *Šabloon I-136 / IV Nihkkaliiber* | | | | | | | | | |
| | | 1 | *Freesida tahu 4 kaaspinnad freeside komplektiga siledusega △ 4* | | | | | *92,5* | *1* | *6* | *42* | *4,5* | *400* | *162* | *400* | *0,23* |
| V | A | — | *Seada spetsiaalsesse rakisesse üles kaks toorikut pinnaga 2 vastu tuge ja kinnitada pinnalt 4* |  | *Spetsiaalne rakis I-136 / V* | *Kahepoolsed ketasfreesid D=250 mm, laius B=25 mm, z=18* | | | | | | | | | | |
| | | | *Freesida toorikute otsad paarisfreesidega mõõduni 80 mm siledusega △ 4* | | | | | *122,5* | *1* | *2* | *2,5* | *70* | *315* | *157* | *200* | *0,34* |
| VI | A | — | *Seada spetsiaalsesse rakisesse üles kuus toorikut pinnaga 3 vastu liikumatut pakki ja kinnitada pinnalt 1* |  | *Spetsiaalne rakis I-136 / VI* | *Freeside komplekt I-136 / VI* | *Šabloon I-136 / VI* | | | | | | | | | |
| | | 1 | *Freesida pilu ja nurksoon freeside komplektiga siledusega ▽ 4* | | | | | *84,3* | *1* | *6* | *9,5* | *10* | *80* | *40* | *200* | *1,05* |

Kahepoolsed ketasfreesid valime ГОСТ 6469-60 järgi vahetatavate kõvasulamist lõiketeradega, läbimõõduga 125 mm ja laiusega 20 mm, s. t. 6 mm laiemad kui freesimislaius. Sellisel freesil on 10 lõiketera.

Kolmepoolse ketasfreesi valime ГОСТ 5348-60 järgi läbimõõduga 125 mm ja suurendatud laiusega 42 mm. Tehnoloogiliselt nõutava freesi läbimõõdu 129 mm saavutame lõiketerade 2 mm võrra väljapoole nihutamisega. Freesil läbimõõduga 125 mm on 10 lõiketera.

Lõikerežiimi määrame 129 mm läbimõõduga freesi järgi, kuna ta töötab teistest freesidest raskemates tingimustes. Lõikerežiimi määrame kaardi 28 järgi, võttes teda kui silinderfreesi, mis töötab freeside komplektis.

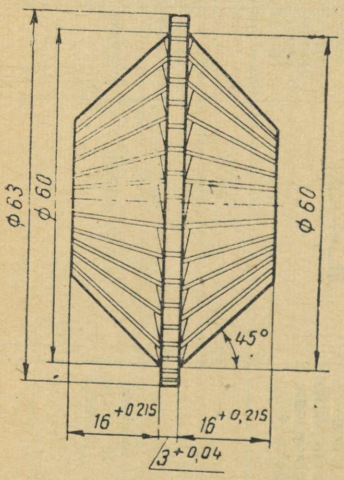
V operatsioon. **Freesida tooriku otsad paarisfreesidega mõõtmesse 80 mm**

Otsad freesitakse paarisfreesidega spetsiaalses rakises, kuhu seatakse üles kaks toorikut.

Baasiks võetakse pind *2*, millega toorik surutakse vastu rakise liikumatut pakki. Töödeldakse kahe kõvasulamist lõiketeradega kahepoolse ketasfreesiga läbimõõduga $D = 250$ mm, $z = 18$ (ГОСТ 6469-60 järgi), mis on asetatud teineteisest kaugusele $80^{+0,74}$ mm.

VI operatsioon. **Freesida pilu ja nurksoon freeside komplektiga**

Kuuendal operatsioonil võetakse baasiks pind *3*. Rakisesse seatakse üles 6 toorikut, baas pindadega *3* vastu rakise liikumatut pakki. Töödeldakse freeside komplektiga, mis koosneb kahest 45°-st nurkfreesist läbimõõduga $D = 60$ mm, $z = 22$ ja ühest pilufreesist ГОСТ 2679-61 (III tüüp) järgi, läbimõõduga $D = 63$ mm, laiusega 3 mm ja hammaste arvuga $z = 18$ (joon. 354).




Joon. 354. Freeside komplekti skeem

Nurkfreesid lubavad kasutada suuremat ettenihet, kuid väiksemat lõikekiirust, aga pilufreesid — suuremat lõikekiirust ja väiksemat ettenihet.

Sellisel juhul võetakse lõikerežiimi määramisel aluseks raskemates tingimustes töötav frees. Valime ettenihkeks pilufreesi ühele hambale $s_z = 0,025$ mm/hambale, lõikekiiruse aga nurkfreesi järgi 40 m/min. Seejuures horisontaalfreespingi 6M82Г andmete järgi spindli pöörete arv $n = 200$ p/min. Ettenihe minutis:

$$s = s_z \cdot z \cdot n = 0,025 \cdot 18 \cdot 200 = 90 \text{ mm/min.}$$

Korrigeerides pingi andmete järgi, saame

$$s = 80 \text{ mm/min.}$$

## Põhiaja lühendamine

Freesimise põhiaega saab lühendada *tootlikuma lõikerežiimi* rakendamisega (suurem lõikekiirus, suurem ettenihe, suurem lõikesügavus töökäikude vähendamise arvel), mis on teostatav tootlikuma freesi, võimsama ja jäigema pingi ning tooriku kindlama kinnituse kasutamisel. Parimaks põhiaja lühendamise viisiks on kõvasulamist plaadikestega varustatud freeside kasutamine.

Peale nende on veel teisi põhiaja lühendamise meetodeid, mida edukalt kasutavad freesijad-novaatorid.

Ühe detaili põhiaega saab lühendada *mitme detaili üheaegse töötlemisega*: kahe tooriku üheaegsel töötlemisel lüheneb põhiaeg ühele detailile kaks korda, kolme detaili üheaegsel töötlemisel lüheneb põhiaeg ühele detailile kolm korda jne. Sellepärast soovitatakse kasutada mitmekohalisi rakiseid, mis võimaldavad üheaegselt töödelda mitut toorikut.

*Freeside komplekti* kasutamine tooriku mitme pinna üheaegsel töötlemisel lühendab samuti töötlemise põhiaega. Kasutades mitmekohalist freesimismeetodit koos freeside komplektiga, saavutasid freesijad rekordilisi töönorme.

Toorikute ülesseadmine paketina lühendab põhiaega, sest sel juhul puuduvad vahed toorikute vahel ja sisselõikumise ning ülejooksu ($l$ ja $l_1$) pikkused lisatakse kõikidele toorikutele ainult üks kord, mis vastavalt vähendab arvutuslikku töötlemispikkust ettenihke suunas.

Prisma töötlemise tehnoloogilises protsessis, mida vaatlesime § 86, oli kasutatud kõiki põhiaja lühendamise viise: freesimine kõvasulamist plaadikestega varustatud freesidega, mitme pinna üheaegne freesimine freeside komplektiga, mitmekohaliste rakiste kasutamine ja toorikute ülesseadmine paketina.

## Ettevalmistus-lõpetamise aja lühendamine

Ettevalmistus-lõpetamise aeg moodustab üldisest töötlemisajast küllaltki suure osa. Ta suurus oleneb pingi seadistuse keerukusest. Mida keerukam on pingi seadistus, seda suurem on ettevalmistus-lõpetamise aeg. Samal ajal tagab õigesti valitud tehnoloogilise protsessi puhul keerukas seadistus (freeside komplekt, mitmekohaline rakis, mitmespindliline pea jne.) tükiaja lühenemise.

Tekib küsimus, kus asub igal üksikjuhul seadistuse keerukuse optimaalseim aste? Kuni viimase ajani arvati, et keerulised sea-

distused, milledega kaasneb ettevalmistus-lõpetamise aja tunduv suurenemine, on otstarbekad ainult suure arvu detailide töötlemisel.

Freesijate-novaatorite kaasaegne kogemus aga näitas, et seadistusaega võib tunduvalt lühendada ja sellega koos tunduvalt laiendada suure tootlikkusega rakiste kasutamist ka väikese partii detailide töötlemisel. Seadistusaja kokkuhoid saavutatakse siin *alaliste seadistuste* kasutamisega, mis sobivad sarnaste detailide töötlemiseks (freeside komplekt, mida säilitatakse freestornil, vahetatavate pakkidega universaalkruustangid jne.), standardsete rakiste ja lõikeriistade kasutamisega, seadistusega etaloonide ja gabariitide järgi jne.

Viimastel aastatel kasutatakse seeriatootmises edukalt tehniliste teaduste doktori S. P. Mitrofanovi poolt välja töötatud detailide *grupiviisilist töötlemist*.

Grupiviisilise töötlemise põhimõte seisneb selles, et pinki ei seadistata mitte ühele konkreetsele detailile, vaid grupile tehnoloogiliselt sarnastele detailidele, mis võimaldab töödelda kõiki antud grupi detaile tähtsusetu ümberseadistusega. Järelikult hoitakse kokku ettevalmistus-lõpetamise aega. Vaatleme seda meetodit konkreetse näite varal.

Joonisel 355, *a* on kujutatud grupp tehnoloogiliselt sarnaseid detaile, millede väliskontuur on täisnurkne, sirgete või kalasabakujuliste soontega, mis võimaldab neid töödelda freespingil grupiviisilisel töötlemismeetodil. Seejuures kasutatakse antud grupi meelevaldse detaili töötlemiseks üht ja sama abinõud.

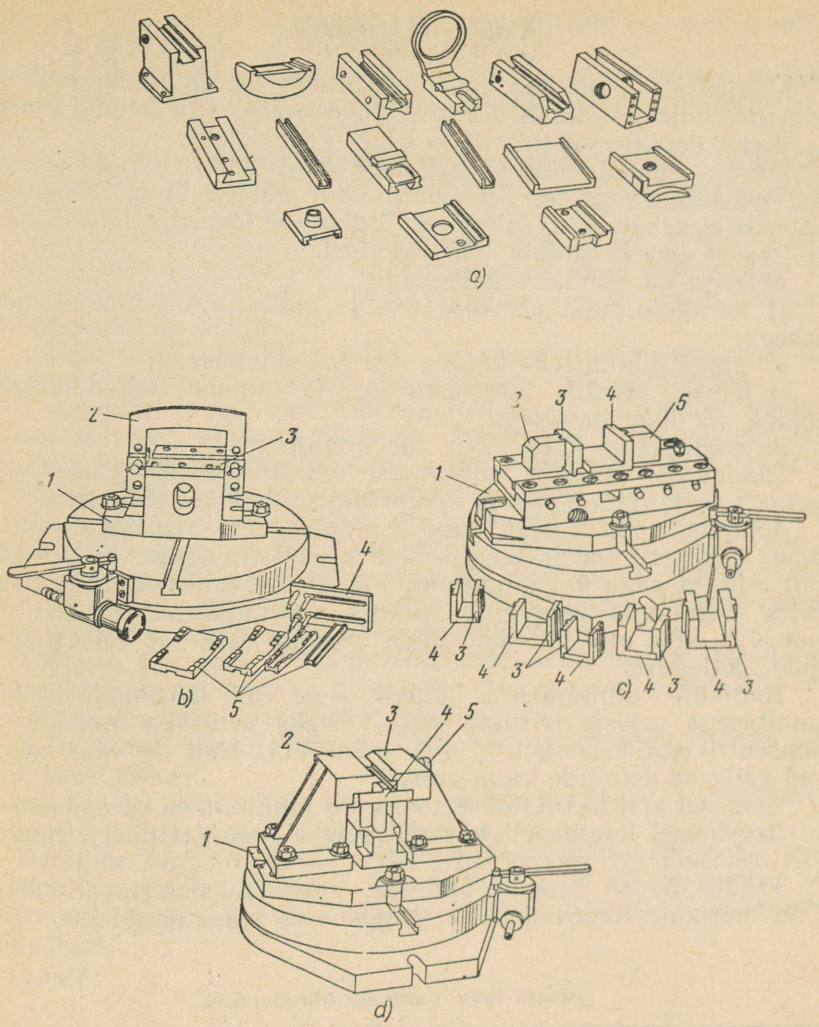
Väliskontuur töödeldakse horisontaalfreespingil. Rakis väliskontuuri töötlemiseks (joon. 355, *b*) koosneb kerest *1*, kaarest *2* ja vahetatavaist plaatidest *5*. Töödeldav toorik koos vastava vahetatava plaadiga *5* seatakse rakisesse üles baaspinnale *3*. Tooriku kinnitamiseks valitakse vastav vahetatav klamber, mis kinnitatakse kaare *2* külge sõrmedega, mis paigutuvad kaane ja klambri aukudesse.

Toorik kinnitatakse pneumaatilise jõuseadme abil varda kaudu (joonisel 355, *b* ei ole näidatud), mis tõmbab kaare *2* koos vahetatava klambriga alla ja surub toorikule.

Tooriku õigeks ülesseadmiseks kasutatakse šablooni *4*.

Joonisel 355, *c* on kujutatud rakis soonte töötlemiseks horisontaalfreespingil. Rakis koosneb alusest *1*, tugipakist *2* koos sõlmega, mis tagab ta kinnituse vajalikku asendisse, ja liikuvast pakist *5*, mis on ühendatud pneumaatilise jõuajami kolvivarrega. Vahetatavad vahetükid *3* ja *4*, mis asetatakse pakkidesse *2* ja *5*, ja tugipaki vajalikule mõõtmele seadmine võimaldavad töödelda antud grupi kõikide detailide sooni.

Joonisel 355, *d* on kujutatud rakis kalasabakujuliste soonte töötlemiseks vertikaalfreespingil. Rakis koosneb kerest *1*, tugipakkidest *2* ja *3* ning vastusurujast *4*, mis on ühendatud pneumaati-




Joon. 355. Detailid ja rakised grupiviisiliseks töötlemiseks freespingil: *a* — tüüpdetailid; *b* — vahetatavate plaatidega rakis väliskontuuri töötlemiseks; *c* — vahetatavate vahetükkidega rakis soonte töötlemiseks; *d* — rakis kalasabakujuliste soonte töötlemiseks

lise jõuajami kolvivarrega. Vastusurujale *4* asetatakse vahetatavad plaadid. Vastusuruja *4* kõrgust saab reguleerida keret läbiva kruvi abil, tugipakkide *2* ja *3* vahelist kaugust aga seatakse nende nihutamise teel rakise kere plaadil ja reguleeritakse kruvi *5* abil.

## Abiaja lühendamine

Abiajasse kuulub aeg, mis kulutatakse detaili ülesseadmiseks ja mahavõtmiseks, detaili freesile lähendamiseks ja freesist eemaldamiseks, detaili mõõtmiseks ja pingi juhtimiseks.

Põhiaja lühendamise kõrval, mis saavutatakse kiirlõikemeetodite rakendamisega, on lubamatu suur abiaja kulu. Freesijadnovaatorid saavutasid võistluses üldise töötlemisaja lühendamise eest suurt edu ka abiaja lühendamisel.

Abiaega on võimalik lühendada:

a) toorikute pinki ülesseadmise ja mahavõtmise aja lühendamisega;

b) pingi juhtimiseks kuluva aja lühendamisega;

c) tooriku freesile lähendamiseks ja töölaua eemaldamiseks kuluva aja lühendamisega;

d) mõõtmiseks kuluva aja lühendamisega.

Tunduv osa abiajast kulutatakse tooriku ülesseadmisele, reguleerimisele, kinnitamisele ja mahavõtmisele pärast töötlemist.

Abiajale avaldab olulist mõju kinnitusviis. Tooriku ülesseadmine, reguleerimine ja kinnitamine kruustangidesse vajab tunduvalt rohkem aega kui kinnitamine spetsiaalsesse rakisesse. Kasutades normaalkruustangide juures spetsiaalseid pakke (vt. joon. 72), võib oluliselt lühendada abiaega detailide väikeste partiide töötlemisel.

Toorikute kinnitamiseks kuluvat aega võib lühendada ka kiirkinnitusega rakiste kasutamisega. Üheks selliseks rakiseks on ekstsentrikuga kruustangid (vt. joon. 71). Nad on väga mugavad väikeste detailide kinnitamiseks.

Viimasel ajal kasutatakse toorikute kinnitamise kiirendamiseks kiirfreesimisel laialdaselt kiirtegevusega pneumaatilisi ja hüdraulilisi rakiseid (vt. joon. 73, 76, 77).

Tabelis 53 on toodud andmed, mis iseloomustavad abiaja kulu toorikute kinnitamisel erisugustesse kruustangidesse.

Tabel 53

Abiaja kulu toorikute kinnitamisel

| Kruustangide tüüp | Detaili kaal kG | | |
|---|---|---|---|
| | kuni 5 | 5—20 | 20—30 |
| | Aeg min. | | |
| Pneumaatilised ja hüdraulilised | 0,02 | 0,02 | 0,03 |
| Ekstsentrikuga | 0,025 | 0,03 | 0,035 |
| Kruvispindliga | 0,045 | 0,06 | 0,07 |

Pneumaatiliste ja hüdrauliliste kinnitusrakiste kasutamisel piisab tooriku kinnitamiseks õhu- või hüdraulilise kraani käe-

pideme ühest pöördest, samal ajal kui mutrivõtme abil kinnitamine nõuab kestvat ja väsitavat tegevust.

Pneumaatiliste ja hüdrauliliste rakiste tähtsaimaks eeliseks on vajaliku kinnitusjõu saamine sõltumata töölise füüsilisest jõust.

Tunduv osa abiajast kulutatakse pingi juhtimiseks, s. t. spindli käivitamiseks ja peatamiseks, lõikekiiruse ja ettenihke ümberlülitamiseks.

Kaasaegse konstruktsiooniga freespingid (6H81, 6H81Г, 6H11, 6M82, 6M82Г, 6M12П jt.) on varustatud käivitusseadisega ja ümberlülitusmehhanismiga, mis tagavad nende operatsioonide täitmise lühima ajaga.

Pingid 6H81, 6H81Г ja 6H11 on varustatud piduriga spindli kiiremaks peatamiseks pärast elektrimootori väljalülitamist.

Töötlemisel moodustab töölaua töökäik, s t. liikumine vahetul laastu võtmisel, töölaua üldisest nihkumisest vaid väikese osa, suurema osa moodustab tühikäik, s. t. liikumine, mille juures frees laastu ei lõika (töölaua lähendamine ja eemaldamine).

Kaasaegsetel freespinkidel on kiirkäigumehhanism, mis võimaldab tühikäiku teostada kiiremini kui töökäiku. Eriti ratsionaalne on kasutada kiirkäiku detailide töötlemisel, milledel tuleb freesida ainult pinna üksikud osad. Neil juhtudel on otstarbekas töödeldavate pindade vahe läbida kiirkäiguga.

Töölaua ettenihke automatiseerimine töötamiseks vahelduva (hüppelise) ja pendeldava ettenihete tsükliga (vt. joon. 291, 292 ja 293) võimaldab abiaega veelgi vähendada.

Selle suuna edasine areng seisneb programmjuhtimisega pinkide kasutamises.

Abiaja lühendamine mõõtmisel saavutatakse kaliibrite ja šabloonide kasutamisega.

Detailide kontrollimiseks selliste jäikade mõõteriistadega nagu harkkaliiber ja korkkaliiber kulub tunduvalt vähem aega, kui mõõtmisel nihkkaliibriga, mikromeetriga ja teiste nihkmõõteriistadega.

## Töökoha teenindamiseks kuluva aja lühendamine

Töökoha teenindamiseks kuluva aja lühendamise tingimusteks on hästi organiseeritud töökoht, tööriistade, rakiste ja detailide mugav ning käepärane paigutus töökohal.

Peale organisatsiooniliste abinõude on töökoha teenindamiseks kuluva aja lühendamisel olulise tähtsusega tehnilised vahendid, nagu näiteks ratsionaalsed tõste- ja transportseadmed, mis on väga vajalikud raskete detailide ülesseadmisel ja rakiste (jagamispead, pöördlauad, alalised freeside komplektid jne.) vahetami-

sel, lihtsustatud konstruktsiooniga ripplaagripukid, pingi tsentraliseeritud õlitamine, automaatne seadeldis laastude ärajuhtimiseks, suruõhu olemasolu töökohal töölaua ja rakiste puhastamiseks laastudest jne.

## Töötlemisaja lühendamine abiaja katmise arvel põhiajaga

Üldise töötlemisaja lühendamist võib saavutada mitte ainult täidetava operatsiooni üksikutele elementidele kuuluva aja lühendamise või mitme elemendi üheaegse täitmise arvel, vaid ka abiaja üksikute elementide ühitamise teel masinaajaga.

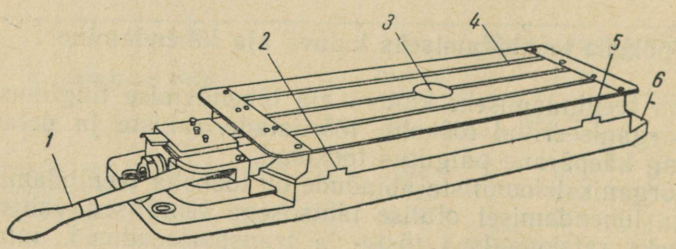
Eriti olulist tähtsust omab masinaaja ühitamine tooriku kinnitamiseks ja mahavõtmiseks kuluva ajaga, kuna kiirfreesimisel moodustab tooriku kinnitamiseks ja mahavõtmiseks kuluv aeg tunduva osa üldisest töötlemisajast.

Vaatleme masinaaja elementide ühitamise meetodeid tooriku kinnitamiseks ja mahavõtmiseks kuluva ajaga.

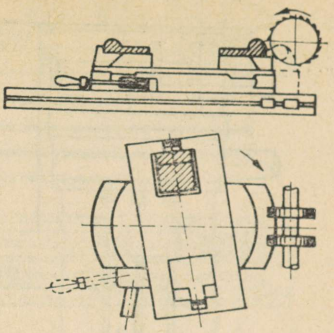
K a h e p o s i t s i o o n i l i s e p ö ö r d l a u a k a s u t a m i n e.

Joonisel 356 on kujutatud kahepositsiooniline pöördlaud. Alusplaat *6* kinnitatakse freespingi töölauale poltidega. Plaat *4*, millel on pikisuunas *T*-kujulised sooned, on paigutatud alusplaadile ja teda saab pöörata ümber vertikaalse tihvti *3*. Plaadi *4* paremaks juhtimiseks ja jäikuse suurendamiseks on alusplaadil *6* ringikujulised juhtpinnad *2* ja *5*. Töölaud kinnitatakse tööasendisse käepideme *1* abil.

Pärast seda, kui toorik või rakis koos ülesseatud toorikutega on kinnitatud pöördlaua ühele otsale, käivitatakse pink ja teostatakse töötlemine. Esimeste toorikute töötlemise ajal seatakse plaadi teisele otsale üles uued toorikud või rakis koos sellesse kinnitatud toorikutega. Niipea, kui töötlemine plaadi esimesel otsal on lõppenud, tuuakse pingi töölaud tagasi lähteasendisse ja vajutades käepidemele *1*, pööratakse plaati *4* 180° võrra, seades sel-




Joon. 356. Kahepositsiooniline pöördlaud



Joon. 357. Freesimine kahepositsioonilise pöördlauaga

lega uued toorikud freesimise lähteasendisse. Pärast pingi käivitamist võetakse töödeldud toorikud maha ja vahetatakse töötlemata toorikutega.

Joonisel 357 on kujutatud freeside komplektiga freesimisskeem kahepositsioonilise pöördlaua abil.

Väikesegabariidiliste detailide kiirfreesimisel ei ole sageli mugav toorikuid üles seada pöördlaua vabal otsal freesimise ajal, sest laialilendavad kuumad laastud võivad vigastada töölist. Toorikute kinnitamiseks kuluva aja katmine masinaajaga saavutatakse sel juhul spetsiaalsete kassetitüüpi rakiste kasutamisega (vt. joon. 76).

Töödeldavad toorikud paigutatakse pingi töötamise ajal kassettrakisesse (pingi lähedal) ja seejärel kinnitatakse kassett koos ülesseatud toorikutega kahepositsioonilise pöördlaua vabale otsale spetsiaalsesse fikseerivasse seadisesse, mis võimaldab kassettrakise täpset, kiiret ja kindlat ülesseadmist ning kinnitamist pöördlauale.

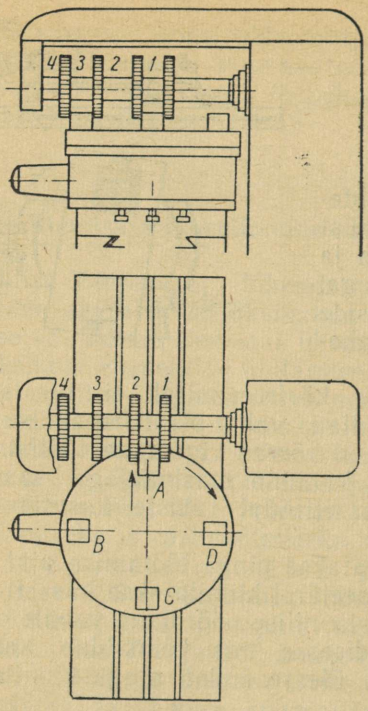
Kahepositsioonilisel pöördlaual võib teostada nii järjestikust kui ka paralleelset freesimist ja isegi paralleel-järjestikust freesimist.

Indekseerivate rakiste kasutamine. Indekseerivad rakised võimaldavad pinki kinnitada rohkem kui kaks toorikut ja teostada pööramist (indekseerimist) vähem kui 180°, olenevalt rakisesse üles seatud toorikute arvust.

Indekseerivat rakist on väga mugav kasutada paarisarvu külgedega korrapäraste hulktahukate külgede freesimiseks.

Joonisel 358 on kujutatud nelikandi freesimise skeem. Toorikud on üles seatud kinnitusrakistesse ümmargusel pöördlaual, mida pööratakse (indekseeritakse) iga uue positsiooni puhul 90° võrra. Rakisesse on üles seatud neli toorikut. Freesitakse freeside komplektiga, mis koosneb neljast kahepoolsest ketasfreesist *1*, *2*, *3* ja *4*.

Freesid *1* ja *2* freesivad üheaegselt tooriku *A* kahte külge, freesid *3* ja *4* tooriku *B* kahte külge. Pärast töökäigu lõppemist pööratakse rakist 90° võrra (teine positsioon). Seejuures toorik *B*, vaatamata nihkumisele mööda ringjoont, pöördub 90° võrra ümber oma telje, asetudes positsiooni kahe vastaskülje freesimiseks freesidega *1* ja *2*. Tooriku *B* asemele asetub toorik *C*, mille kaks külge freesitakse freesidega *3* ja *4*. Pärast kolmandat indek-



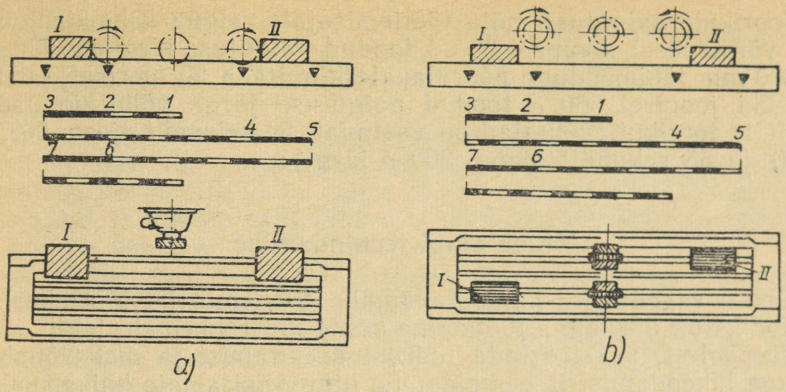

Joon. 358. Freesimine indekseeriva rakisega

seerimist toorik *A*, mis on täielikult töödeldud, satub viimasele positsioonile ja teda võib maha võtta ning asendada uue toorikuga. Edaspidi võetakse pärast iga indekseerimist maha üks valmisdetail.

Töölaua tühikäigu kasutamine. Joonisel 359 on toodud näide töötlemisaegade ühitamise kohta töölaua tühikäigu kasutamise teel.

Nagu selgub joonisel 359, *a* toodud skeemilt, töötleb laupfrees töölaua töökäigu ettenihkel positsioonilt *2* kuni positsioonini *3* tooriku *I* otsa, seejärel töölaua ettenihe reverseeritakse ja töölaud liigub kiirendatud ettenihkega positsioonile *4*. Frees töötleb toorikut *II* töökäigu ettenihkel positsioonilt *4* kuni positsioonile *5*, pärast seda ettenihe reverseeritakse uuesti ja töölaud liigub kiirendatud ettenihkega positsioonile *6*, kust tsükkel kordub. Sellise pendeldava ettenihke ajal võetakse töödeldud toorikud järjekorras maha ja nende asemele kinnitatakse uued toorikud.

Nagu selgub joonisel 359, *b* toodud skeemilt, kinnitatakse töötlemisele kuuluvad toorikud *I* ja *II* töölaua otstele samuti kordamööda. Toorikud töödeldakse ühisele freestornile kinnitatud kahe freeside komplektiga. Töölaua ettenihkel positsioonilt *2* positsioonile *3* freeside komplekt, pööreldes pärisuunas, töötleb toorikut *I*.

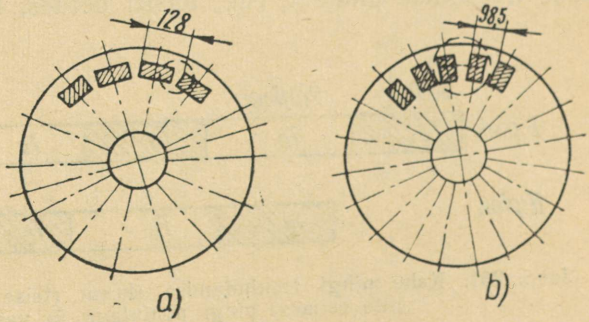



Joon. 359. Freesimine töölaua tühikäigu kasutamisega

Seejärel ettenihe reverseeritakse ja töölaud liigub kiirendatud ettenihkega positsioonile *4*, kusjuures ka spindli pöörlemine reverseeritakse. Töölaua liikumisel positsioonilt *4* positsioonile *5* töötleb teine freeside komplekt toorikut *II*. Pärast töökäigu *4—5* lõppemist reverseeritakse uuesti spindli pöörlemine, töölaud liigub kiirendatud ettenihkega positsioonile *6* ja pärast seda ettenihke pendeldav tsükkel kordub.

P i d e v f r e e s i m i n e. Toorikute ülesseadmiseks kuluva aja ühitamiseks masinaajaga kasutatakse sageli kahepositsiooniliste pöördlaudade ja indekseerivate rakiste asemel pidevat freesimist, mis teostatakse ümmarguse pöördlaua abil automaatse ringettenihkega ja trummeltüüpi rakistega.

Joonisel 360 on kujutatud freesimisskeem mehaanilise ettenihkega ümmargusel pöördlaual. Ühtede toorikute töötlemise ajal võib valmisdetailid maha võtta ja kinnitada uued toorikud.




Joon. 360. Freesimine ümmarguse pöördlauaga

Toorikute paigutuse mõju töötlemisajale selgub kahe kinnitusviisi võrdlemisel. Joonisel 360, *b* toodud paigutuse järgi on võimalik 600 mm läbimõõduga pöördlauale kinnitada 20 toorikut, samal ajal kui joonisel 360, *a* toodud paigutuse järgi võib kinnitada ainult 14 toorikut. Põhiajad on vastavalt 50 sekundit (joon. 360, *b* järgi) ja 55 sekundit (joon. 360, *a* järgi).

## Mitme pingi teenindamine

Üheks sagedamini kasutatavamaks töötlemisaja lühendamise meetodiks on üheaegne töötamine kahel või rohkemal pingil.

Tõepoolest, kui teostada tooriku kinnitamist ja mahavõtmist, töölaua lähendamist ja eemaldamist ning teisi abiaja hulka kuuluvaid töövõtteid ühel freespingil samal ajal, kui teine pink täidab freesimisoperatsiooni, siis abiaeg, mis kulutati esimesel pingil tooriku ülesseadmiseks ja pingi käivitamiseks, kaetakse teise pingi põhiajaga.

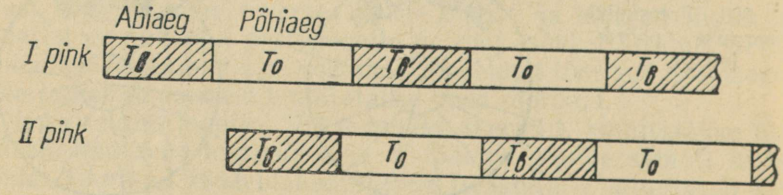
Mitme pingi teenindamisel üks tööline teenindab üheaegselt mitut pinki; käsitsi töövõtted täidetakse igal pingil kõigi ülejäänud pinkide töötamise ajal.

Mitmel pingil töötamise võimalus määratakse ühitatavate operatsioonide masina- ja käsiaja sellise suhte juures, et pingi masinaaeg oleks võrdne kõikide ülejäänud pinkide käsiaegade summaga või sellest suurem.

Antud juhul ei kuulu masinaaja hulka kogu masinaaeg, mis on määratud antud operatsioonile tehnilise normiga, vaid ainult nn. *mittekaetud* aeg (pingi automaatne töö), kui tööline jääb tõepoolest vabaks mitte ainult käsitsitööst, vaid ka vajalikust pingi töö jälgimisest.

Mitmel pingil töötamisel kuulub käsiaja hulka antud operatsiooni masina-käsiaeg ja abiaeg, aeg, mis kulub üleminekuks ühe pingi juurest teise juurde, samuti aeg, mida tööline kulutab pingi automaatse töö jälgimiseks.

Mitmel pingil töötamise edukaks juurutamiseks tuleb suurendada freesimise pikkust, ehk, teisiti öeldes, freesitavate detailide




Joon. 361. Kahe pingi teenindamise skeem (teise pingi abiaeg langeb ühte esimese pingi põhiajaga ja vastupidi)

kogupikkust, mida on võimalik teha toorikute mitmerealise kinnitamisega või mitmekohaliste rakiste kasutamisega.

Joonisel 361 on toodud põhi- ja abiaja jaotus kahe freespingi teenindamisel.

Mitme pingi teenindamise juurutamisel freespinkidel omab suurt tähtsust töö ja pinkide valik. Selleks tuleb igale pingile kinnitada ühelaadilised ja enam-vähem ühesuguse kestusega operatsioonid, ja mis on eriti tähtis, enam-vähem ühesuguse masina- ja käsiaja suhtega.

Et mitmel pingil töötamine oleks edukas, tuleb tööline vabastada reast abitöödest, nagu toorikute ja tööriistade töökohale toomine, detailide üleandmine kontrolörile jne. Pingid tuleb paigaldada selliselt, et tööline ei kulutaks liigselt aega ühe pingi juurest teise juurde minekul.

Üldise töötlemisaja lühendamise küsimusi käsitletakse põhjalikumalt raamatus C. B. Аврутин «Рациональная работа фрезеровщика», 6-e изд. (Машгиз, 1962), mille abil algaja freesija, lõpetanud tehnilise kutsekooli õppekursuse, võib nende küsimustega lähemalt tutvuda ja laiendada oma tehnilist silmaringi.

### Kontrollküsimusi

1. Selgitage toodetavate detailide varal tehnoloogilise protsessi koostamise põhimõtet.
2. Mida nimetatakse ülesseadebaasiks?
3. Selgitage toodetavate detailide varal:
   a) paralleelset freesimismeetodit;
   b) järjestikust-paralleelset freesimismeetodit.
4. Näidake toodetavatel detailidel erinevaid ülesseadebaaside liike ja jutustage nende detailide ülesseadmise meetoditest.
5. Milliseid abinõusid kasutavad freesijad-novaatorid põhiaja lühendamiseks?
6. Milliseid ettepanekuid te võite esitada käsiaja lühendamiseks detailide kohta, milliseid te töötlesite baastehases?
7. Jutustage mitme pingi teenindamise olemusest.

## Trigonomeetrilised funktsioonid

| Kraadid | Siinused | | | | | | | Kraadid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0′ | 10′ | 20′ | 30′ | 40′ | 50′ | 60′ | |
| 0 | 0,0000 | 0,0029 | 0,0058 | 0,0087 | 0,0116 | 0,0145 | 0,0175 | 89 |
| 1 | 0,0175 | 0,0204 | 0,0233 | 0,0262 | 0,0291 | 0,0320 | 0,0349 | 88 |
| 2 | 0,0349 | 0,0378 | 0,0407 | 0,0436 | 0,0465 | 0,0494 | 0,0523 | 87 |
| 3 | 0,0523 | 0,0552 | 0,0581 | 0,0610 | 0,0640 | 0,0669 | 0,0698 | 86 |
| 4 | 0,0698 | 0,0727 | 0,0756 | 0,0785 | 0,0814 | 0,0843 | 0,0872 | 85 |
| 5 | 0,0872 | 0,0901 | 0,0929 | 0,0958 | 0,0987 | 0,1016 | 0,1045 | 84 |
| 6 | 0,1045 | 0,1074 | 0,1103 | 0,1132 | 0,1161 | 0,1190 | 0,1219 | 83 |
| 7 | 0,1219 | 0,1248 | 0,1276 | 0,1305 | 0,1334 | 0,1363 | 0,1392 | 82 |
| 8 | 0,1392 | 0,1421 | 0,1449 | 0,1478 | 0,1507 | 0,1536 | 0,1564 | 81 |
| 9 | 0,1564 | 0,1593 | 0,1622 | 0,1650 | 0,1679 | 0,1708 | 0,1736 | 80 |
| 10 | 0,1736 | 0,1765 | 0,1794 | 0,1822 | 0,1851 | 0,1880 | 0,1908 | 79 |
| 11 | 0,1908 | 0,1937 | 0,1965 | 0,1994 | 0,2022 | 0,2051 | 0,2079 | 78 |
| 12 | 0,2079 | 0,2108 | 0,2136 | 0,2164 | 0,2193 | 0,2221 | 0,2250 | 77 |
| 13 | 0,2250 | 0,2278 | 0,2306 | 0,2334 | 0,2363 | 0,2391 | 0,2419 | 76 |
| 14 | 0,2419 | 0,2447 | 0,2476 | 0,2504 | 0,2532 | 0,2560 | 0,2588 | 75 |
| 15 | 0,2588 | 0,2616 | 0,2644 | 0,2672 | 0,2700 | 0,2728 | 0,2756 | 74 |
| 16 | 0,2756 | 0,2784 | 0,2812 | 0,2840 | 0,2868 | 0,2896 | 0,2924 | 73 |
| 17 | 0,2924 | 0,2952 | 0,2979 | 0,3007 | 0,3035 | 0,3062 | 0,3090 | 72 |
| 18 | 0,3090 | 0,3118 | 0,3145 | 0,3173 | 0,3201 | 0,3228 | 0,3256 | 71 |
| 19 | 0,3256 | 0,3283 | 0,3311 | 0,3338 | 0,3365 | 0,3393 | 0,3420 | 70 |
| 20 | 0,3420 | 0,3448 | 0,3475 | 0,3502 | 0,3529 | 0,3557 | 0,3584 | 69 |
| 21 | 0,3584 | 0,3611 | 0,3638 | 0,3665 | 0,3692 | 0,3719 | 0,3746 | 68 |
| 22 | 0,3746 | 0,3773 | 0,3800 | 0,3827 | 0,3854 | 0,3881 | 0,3907 | 67 |
| 23 | 0,3907 | 0,3934 | 0,3961 | 0,3987 | 0,4014 | 0,4041 | 0,4067 | 66 |
| 24 | 0,4067 | 0,4094 | 0,4120 | 0,4147 | 0,4173 | 0,4200 | 0,4226 | 65 |
| 25 | 0,4226 | 0,4253 | 0,4279 | 0,4305 | 0,4331 | 0,4358 | 0,4384 | 64 |
| 26 | 0,4384 | 0,4410 | 0,4436 | 0,4462 | 0,4488 | 0,4514 | 0,4540 | 63 |
| 27 | 0,4540 | 0,4566 | 0,4592 | 0,4617 | 0,4643 | 0,4669 | 0,4695 | 62 |
| 28 | 0,4695 | 0,4720 | 0,4746 | 0,4772 | 0,4797 | 0,4823 | 0,4848 | 61 |
| 29 | 0,4848 | 0,4874 | 0,4899 | 0,4924 | 0,4950 | 0,4975 | 0,5000 | 60 |
| 30 | 0,5000 | 0,5025 | 0,5050 | 0,5075 | 0,5100 | 0,5125 | 0,5150 | 59 |
| 31 | 0,5150 | 0,5175 | 0,5200 | 0,5225 | 0,5250 | 0,5275 | 0,5299 | 58 |
| 32 | 0,5299 | 0,5324 | 0,5348 | 0,5373 | 0,5398 | 0,5422 | 0,5446 | 57 |
| 33 | 0,5446 | 0,5471 | 0,5495 | 0,5519 | 0,5544 | 0,5568 | 0,5592 | 56 |
| 34 | 0,5592 | 0,5616 | 0,5640 | 0,5664 | 0,5688 | 0,5712 | 0,5736 | 55 |
| 35 | 0,5736 | 0,5760 | 0,5783 | 0,5807 | 0,5831 | 0,5854 | 0,5878 | 54 |
| 36 | 0,5878 | 0,5901 | 0,5925 | 0,5948 | 0,5972 | 0,5995 | 0,6018 | 53 |
| 37 | 0,6018 | 0,6041 | 0,6065 | 0,6088 | 0,6111 | 0,6134 | 0,6157 | 52 |
| 38 | 0,6157 | 0,6180 | 0,6202 | 0,6225 | 0,6248 | 0,6271 | 0,6293 | 51 |
| 39 | 0,6293 | 0,6316 | 0,6338 | 0,6361 | 0,6383 | 0,6406 | 0,6428 | 50 |
| 40 | 0,6428 | 0,6450 | 0,6472 | 0,6494 | 0,6516 | 0,6539 | 0,6561 | 49 |
| 41 | 0,6561 | 0,6583 | 0,6604 | 0,6626 | 0,6648 | 0,6670 | 0,6691 | 48 |
| 42 | 0,6691 | 0,6713 | 0,6734 | 0,6756 | 0,6777 | 0,6799 | 0,6820 | 47 |
| 43 | 0,6820 | 0,6841 | 0,6862 | 0,6884 | 0,6905 | 0,6926 | 0,6947 | 46 |
| 44 | 0,6947 | 0,6967 | 0,6988 | 0,7009 | 0,7030 | 0,7050 | 0,7071 | 45 |
| Kraadid | 60′ | 50′ | 40′ | 30′ | 20′ | 10′ | 0′ | Kraadid |
| | Koosinused | | | | | | | |

## Trigonomeetrilised funktsioonid

| Kraadid | Siinused | | | | | | | Kraadid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0′ | 10′ | 20′ | 30′ | 40′ | 50′ | 60′ | |
| 45 | 0,7071 | 0,7092 | 0,7112 | 0,7133 | 0,7153 | 0,7173 | 0,7193 | 44 |
| 46 | 0,7193 | 0,7214 | 0,7234 | 0,7254 | 0,7274 | 0,7294 | 0,7314 | 43 |
| 47 | 0,7314 | 0,7333 | 0,7 53 | 0,7373 | 0,7392 | 0,7412 | 0,7431 | 42 |
| 48 | 0,7431 | 0,7451 | 0,7470 | 0,7490 | 0,7509 | 0,7528 | 0,7547 | 41 |
| 49 | 0,7547 | 0,7566 | 0,7585 | 0,7604 | 0,7623 | 0,7642 | 0,7660 | 40 |
| 50 | 0,7660 | 0,7679 | 0,7698 | 0,7716 | 0,7735 | 0,7753 | 0,7771 | 39 |
| 51 | 0,7771 | 0,7790 | 0,7808 | 0,7826 | 0,7844 | 0,7962 | 0,7880 | 38 |
| 52 | 0,7880 | 0,7898 | 0,7916 | 0,7934 | 0,7951 | 0,7969 | 0,7986 | 37 |
| 53 | 0,7986 | 0,8004 | 0,8021 | 0,8039 | 0,8056 | 0,8073 | 0,8090 | 36 |
| 54 | 0,8090 | 0,8107 | 0,8124 | 0,8141 | 0,8158 | 0,8175 | 0,8192 | 35 |
| 55 | 0,8192 | 0,8208 | 0,8225 | 0,8241 | 0,8258 | 0,8274 | 0,8290 | 34 |
| 56 | 0,8290 | 0,8307 | 0,8323 | 0,8339 | 0,8355 | 0,8371 | 0,8387 | 33 |
| 57 | 0,8387 | 0,8403 | 0,8418 | 0,8434 | 0,8450 | 0,8465 | 0,8480 | 32 |
| 58 | 0,8480 | 0,8496 | 0,8511 | 0,8526 | 0,8542 | 0,8557 | 0,8572 | 31 |
| 59 | 0,8572 | 0,8587 | 0,8601 | 0,8616 | 0,8631 | 0,8646 | 0,8660 | 30 |
| 60 | 0,8660 | 0,8675 | 0,8689 | 0,8704 | 0,8718 | 0,8732 | 0,8746 | 29 |
| 61 | 0,8746 | 0,8760 | 0,8774 | 0,8788 | 0,8802 | 0,8816 | 0,8829 | 28 |
| 62 | 0,8829 | 0,8843 | 0,8857 | 0,8870 | 0,8884 | 0,8897 | 0,8910 | 27 |
| 63 | 0,8910 | 0,8923 | 0,8936 | 0,8949 | 0,8962 | 0,8975 | 0,8988 | 26 |
| 64 | 0,8988 | 0,9001 | 0,9013 | 0,9026 | 0,9038 | 0,9051 | 0,9063 | 25 |
| 65 | 0,9063 | 0,9075 | 0,9088 | 0,9100 | 0,9112 | 0,9124 | 0,9135 | 24 |
| 66 | 0,9135 | 0,9147 | 0,9159 | 0,9171 | 0,9182 | 0,9194 | 0,9205 | 23 |
| 67 | 0,9205 | 0,9216 | 0,9227 | 0,9239 | 0,9250 | 0,9261 | 0,9272 | 22 |
| 68 | 0,9272 | 0,9283 | 0,9293 | 0,9304 | 0,9315 | 0,9325 | 0,9336 | 21 |
| 69 | 0,9336 | 0,9346 | 0,9356 | 0,9367 | 0,9377 | 0,9387 | 0,9397 | 20 |
| 70 | 0,9397 | 0,9407 | 0,9417 | 0,9426 | 0,9436 | 0,9446 | 0,9455 | 19 |
| 71 | 0,9455 | 0,9465 | 0,9474 | 0,9483 | 0,9492 | 0,9502 | 0,9511 | 18 |
| 72 | 0,9511 | 0,9520 | 0,9528 | 0,9537 | 0,9546 | 0,9555 | 0,9563 | 17 |
| 73 | 0,9563 | 0,9572 | 0,9580 | 0,9588 | 0,9596 | 0,9605 | 0,9613 | 16 |
| 74 | 0,9613 | 0,9621 | 0,9628 | 0,9636 | 0,9644 | 0,9652 | 0,9659 | 15 |
| 75 | 0,9659 | 0,9667 | 0,9674 | 0,9681 | 0,9689 | 0,9696 | 0,9703 | 14 |
| 76 | 0,9703 | 0,9710 | 0,9717 | 0,9724 | 0,9730 | 0,9737 | 0,9744 | 13 |
| 77 | 0,9744 | 0,9750 | 0,9757 | 0,9763 | 0,9769 | 0,9775 | 0,9781 | 12 |
| 78 | 0,9781 | 0,9787 | 0,9793 | 0,9799 | 0,9805 | 0,9811 | 0,9816 | 11 |
| 79 | 0,9816 | 0,9822 | 0,9827 | 0,9833 | 0,9838 | 0,9843 | 0,9848 | 10 |
| 80 | 0,9848 | 0,9853 | 0,9858 | 0,9863 | 0,9868 | 0,9872 | 0,9877 | 9 |
| 81 | 0,9877 | 0,9881 | 0,9886 | 0,9890 | 0,9894 | 0,9899 | 0,9903 | 8 |
| 82 | 0,9903 | 0,9907 | 0,9911 | 0,9914 | 0,9918 | 0,9922 | 0,9925 | 7 |
| 83 | 0,9925 | 0,9929 | 0,9932 | 0,9936 | 0,9939 | 0,9942 | 0,9945 | 6 |
| 84 | 0,9945 | 0,9948 | 0,9951 | 0,9954 | 0,9957 | 0,9959 | 0,9962 | 5 |
| 85 | 0,9962 | 0,9964 | 0,9967 | 0,9969 | 0,9971 | 0,9974 | 0,9976 | 4 |
| 86 | 0,9976 | 0,9978 | 0,9980 | 0,9981 | 0,9983 | 0,9985 | 0,9986 | 3 |
| 87 | 0,9986 | 0,9988 | 0,9989 | 0,9990 | 0,9992 | 0,9993 | 0,9994 | 2 |
| 88 | 0,99939 | 0,99949 | 0,99958 | 0,99966 | 0,99973 | 0,99979 | 0,99985 | 1 |
| 89 | 0,99985 | 0,99989 | 0,99993 | 0,99996 | 0,99998 | 0,99999 | 1,0000 | 0 |

| Kraadid | Koosinused | | | | | | | Kraadid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 60′ | 50′ | 40′ | 30′ | 20′ | 10′ | 0′ | |

## Trigonomeetrilised funktsioonid

| Kraadid | Tangensid | | | | | | | Kraadid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0′ | 10′ | 20′ | 30′ | 40′ | 50′ | 60′ | |
| 0 | 0,0000 | 0,0029 | 0,0058 | 0,0087 | 0,0116 | 0,0145 | 0,0175 | 89 |
| 1 | 0,0175 | 0,0204 | 0,0233 | 0,0263 | 0,0291 | 0,0320 | 0,0349 | 88 |
| 2 | 0,0349 | 0,0378 | 0,0407 | 0,0437 | 0,0466 | 0,0495 | 0,0524 | 87 |
| 3 | 0,0524 | 0,0553 | 0,0582 | 0,0612 | 0,0641 | 0,0670 | 0,0699 | 86 |
| 4 | 0,0699 | 0,0729 | 0,0758 | 0,0787 | 0,0816 | 0,0846 | 0,0875 | 85 |
| 5 | 0,0875 | 0,0904 | 0,0934 | 0,0963 | 0,0992 | 0,1022 | 0,1051 | 84 |
| 6 | 0,1051 | 0,1080 | 0,1110 | 0,1139 | 0,1169 | 0,1198 | 0,1228 | 83 |
| 7 | 0,1228 | 0,1257 | 0,1287 | 0,1317 | 0,1346 | 0,1376 | 0,1405 | 82 |
| 8 | 0,1405 | 0,1535 | 0,1465 | 0,1495 | 0,1524 | 0,1554 | 0,1584 | 81 |
| 9 | 0,1584 | 0,1614 | 0,1644 | 0,1673 | 0,1703 | 0,1733 | 0,1763 | 80 |
| 10 | 0,1763 | 0,1793 | 0,1823 | 0,1853 | 0,1883 | 0,1914 | 0,1944 | 79 |
| 11 | 0,1944 | 0,1974 | 0,2004 | 0,2035 | 0,2065 | 0,2095 | 0,2126 | 78 |
| 12 | 0,2126 | 0,2156 | 0,2186 | 0,2217 | 0,2247 | 0,2278 | 0,2309 | 77 |
| 13 | 0,2309 | 0,2339 | 0,2370 | 0,2401 | 0,2432 | 0,2462 | 0,2493 | 76 |
| 14 | 0,2493 | 0,2524 | 0,2555 | 0,2586 | 0,2617 | 0,2648 | 0,2679 | 75 |
| 15 | 0,2679 | 0,2711 | 0,2742 | 0,2773 | 0,2805 | 0,2836 | 0,2867 | 74 |
| 16 | 0,2867 | 0,2899 | 0,2931 | 0,2962 | 0,2994 | 0,3026 | 0,3057 | 73 |
| 17 | 0,3057 | 0,3089 | 0,3121 | 0,3153 | 0,3185 | 0,3217 | 0,3249 | 72 |
| 18 | 0,3250 | 0,3281 | 0,3314 | 0,3346 | 0,3378 | 0,3411 | 0,3443 | 71 |
| 19 | 0,3443 | 0,3476 | 0,3508 | 0,3541 | 0,3574 | 0,3607 | 0,3640 | 70 |
| 20 | 0,3640 | 0,3673 | 0,3706 | 0,3739 | 0,3772 | 0,3805 | 0,3839 | 69 |
| 21 | 0,3839 | 0,3872 | 0,3906 | 0,3939 | 0,3973 | 0,4006 | 0,4040 | 68 |
| 22 | 0,4040 | 0,4074 | 0,4108 | 0,4142 | 0,4176 | 0,4210 | 0,4245 | 67 |
| 23 | 0,4245 | 0,4279 | 0,4314 | 0,4348 | 0,4383 | 0,4417 | 0,4452 | 66 |
| 24 | 0,4452 | 0,4487 | 0,4522 | 0,4557 | 0,4592 | 0,4628 | 0,4663 | 65 |
| 25 | 0,4663 | 0,4699 | 0,4734 | 0,4770 | 0,4806 | 0,4841 | 0,4877 | 64 |
| 26 | 0,4877 | 0,4913 | 0,4950 | 0,4986 | 0,5022 | 0,5059 | 0,5095 | 63 |
| 27 | 0,5095 | 0,5132 | 0,5169 | 0,5206 | 0,5243 | 0,5280 | 0,5317 | 62 |
| 28 | 0,5317 | 0,5354 | 0,5392 | 0,5430 | 0,5467 | 0,5505 | 0,5543 | 61 |
| 29 | 0,5543 | 0,5581 | 0,5619 | 0,5658 | 0,5696 | 0,5735 | 0,5774 | 60 |
| 30 | 0,5774 | 0,5812 | 0,5851 | 0,5890 | 0,5930 | 0,5969 | 0,6009 | 59 |
| 31 | 0,6009 | 0,6048 | 0,6088 | 0,6128 | 0,6168 | 0,6208 | 0,6249 | 58 |
| 32 | 0,6249 | 0,6289 | 0,6330 | 0,6371 | 0,6412 | 0,6453 | 0,6494 | 57 |
| 33 | 0,6494 | 0,6536 | 0,6577 | 0,6619 | 0,6661 | 0,6703 | 0,6745 | 56 |
| 34 | 0,6745 | 0,6787 | 0,6830 | 0,6873 | 0,6916 | 0,6959 | 0,7002 | 55 |
| 35 | 0,7002 | 0,7046 | 0,7089 | 0,7133 | 0,7177 | 0,7221 | 0,7265 | 54 |
| 36 | 0,7265 | 0,7310 | 0,7355 | 0,7400 | 0,7445 | 0,7490 | 0,7536 | 53 |
| 37 | 0,7536 | 0,7581 | 0,7627 | 0,7673 | 0,7720 | 0,7766 | 0,7813 | 52 |
| 38 | 0,7813 | 0,7860 | 0,7907 | 0,7954 | 0,8002 | 0,8050 | 0,8098 | 51 |
| 39 | 0,8098 | 0,8146 | 0,8195 | 0,8243 | 0,8292 | 0,8342 | 0,8391 | 50 |
| 40 | 0,8391 | 0,8441 | 0,8491 | 0,8541 | 0,8591 | 0,8642 | 0,8693 | 49 |
| 41 | 0,8693 | 0,8744 | 0,8796 | 0,8847 | 0,8899 | 0,8952 | 0,9004 | 48 |
| 42 | 0,9004 | 0,9057 | 0,9110 | 0,9163 | 0,9217 | 0,9271 | 0,9325 | 47 |
| 43 | 0,9325 | 0,9380 | 0,9435 | 0,9490 | 0,9545 | 0,9601 | 0,9657 | 46 |
| 44 | 0,9657 | 0,9713 | 0,9770 | 0,9827 | 0,9884 | 0,9942 | 1,000 | 45 |

| Kraadid | Kootangensid | | | | | | | Kraadid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 60′ | 50′ | 40′ | 30′ | 20′ | 10′ | 0′ | |

## Trigonomeetrilised funktsioonid

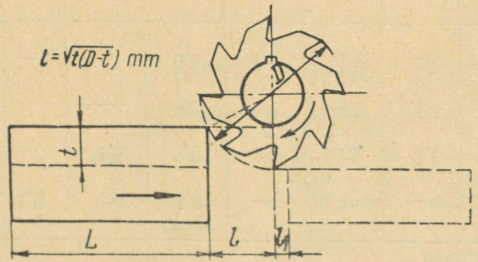
| Kraadid | Tangensid | | | | | | | Kraadid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 0′ | 10′ | 20′ | 30′ | 40′ | 50′ | 60′ | |
| 45 | 1,000 | 1,0058 | 1,0117 | 1,0176 | 1,0236 | 1,0295 | 1,0355 | 44 |
| 46 | 1,0355 | 1,0416 | 1,0477 | 1,0538 | 1,0599 | 1,0661 | 1,0724 | 43 |
| 47 | 1,0724 | 1,0786 | 1,0850 | 1,0913 | 1,0977 | 1,1041 | 1,1106 | 42 |
| 48 | 1,1106 | 1,1171 | 1,1237 | 1,1303 | 1,1369 | 1,1436 | 1,1504 | 41 |
| 49 | 1,1504 | 1,1571 | 1,1640 | 1,1708 | 1,1779 | 1,1847 | 1,1918 | 40 |
| 50 | 1,1918 | 1,1988 | 1,2059 | 1,2131 | 1,2203 | 1,2276 | 1,2349 | 39 |
| 51 | 1,2349 | 1,2423 | 1,2497 | 1,2572 | 1,2647 | 1,2723 | 1,2799 | 38 |
| 52 | 1,2799 | 1,2876 | 1,2954 | 1,3032 | 1,3111 | 1,3190 | 1,3270 | 37 |
| 53 | 1,3270 | 1,3351 | 1,3432 | 1,3514 | 1,3597 | 1,3680 | 1,3764 | 36 |
| 54 | 1,3764 | 1,3848 | 1,3934 | 1,4019 | 1,4106 | 1,4193 | 1,4281 | 35 |
| 55 | 1,4281 | 1,4370 | 1,4460 | 1,4550 | 1,4641 | 1,4733 | 1,4826 | 34 |
| 56 | 1,4826 | 1,4919 | 1,5013 | 1,5108 | 1,5204 | 1,5301 | 1,5399 | 33 |
| 57 | 1,5399 | 1,5497 | 1,5597 | 1,5697 | 1,5798 | 1,5900 | 1,6003 | 32 |
| 58 | 1,6003 | 1,6107 | 1,6212 | 1,6319 | 1,6426 | 1,6534 | 1,6643 | 31 |
| 59 | 1,6643 | 1,6753 | 1,6864 | 1,6977 | 1,7090 | 1,7205 | 1,7321 | 30 |
| 60 | 1,732 | 1,744 | 1,756 | 1,767 | 1,780 | 1,792 | 1,804 | 29 |
| 61 | 1,804 | 1,816 | 1,829 | 1,842 | 1,855 | 1,868 | 1,881 | 28 |
| 62 | 1,881 | 1,894 | 1,907 | 1,921 | 1,935 | 1,949 | 1,963 | 27 |
| 63 | 1,963 | 1,977 | 1,991 | 2,006 | 2,020 | 2,035 | 2,050 | 26 |
| 64 | 2,050 | 2,066 | 2,081 | 2,097 | 2,112 | 2,128 | 2,145 | 25 |
| 65 | 2,145 | 2,161 | 2,177 | 2,194 | 2,211 | 2,229 | 2,246 | 24 |
| 66 | 2,246 | 2,264 | 2,282 | 2,300 | 2,318 | 2,337 | 2,356 | 23 |
| 67 | 2,356 | 2,375 | 2,394 | 2,414 | 2,434 | 2,455 | 2,475 | 22 |
| 68 | 2,475 | 2,496 | 2,517 | 2,539 | 2,560 | 2,583 | 2,605 | 21 |
| 69 | 2,605 | 2,628 | 2,651 | 2,675 | 2,699 | 2,723 | 2,747 | 20 |
| 70 | 2,747 | 2,773 | 2,798 | 2,824 | 2,850 | 2,877 | 2,904 | 19 |
| 71 | 2,904 | 2,932 | 2,960 | 2,989 | 3,018 | 3,047 | 3,078 | 18 |
| 72 | 3,078 | 3,108 | 3,140 | 3,172 | 3,204 | 3,237 | 3,271 | 17 |
| 73 | 3,271 | 3,305 | 3,340 | 3,376 | 3,412 | 3,450 | 3,487 | 16 |
| 74 | 3,487 | 3,526 | 3,566 | 3,606 | 3,647 | 3,689 | 3,732 | 15 |
| 75 | 3,732 | 3,776 | 3,821 | 3,867 | 3,914 | 3,962 | 4,011 | 14 |
| 76 | 4,011 | 4,061 | 4,113 | 4,165 | 4,219 | 4,275 | 4,331 | 13 |
| 77 | 4,331 | 4,390 | 4,449 | 4,501 | 4,574 | 4,638 | 4,705 | 12 |
| 78 | 4,705 | 4,773 | 4,843 | 4,915 | 4,989 | 5,066 | 5,145 | 11 |
| 79 | 5,145 | 5,226 | 5,309 | 5,396 | 5,485 | 5,576 | 5,671 | 10 |
| 80 | 5,671 | 5,769 | 5,871 | 5,976 | 6,084 | 6,197 | 6,314 | 9 |
| 81 | 6,314 | 6,435 | 6,561 | 6,691 | 6,827 | 6,968 | 7,115 | 8 |
| 82 | 7,115 | 7,269 | 7,429 | 7,596 | 7,770 | 7,953 | 8,144 | 7 |
| 83 | 8,144 | 8,345 | 8,556 | 8,777 | 9,010 | 9,255 | 9,514 | 6 |
| 84 | 9,514 | 9,788 | 10,078 | 10,385 | 10,712 | 11,059 | 11,430 | 5 |
| 85 | 11,430 | 11,826 | 12,251 | 12,706 | 13,197 | 13,727 | 14,301 | 4 |
| 86 | 14,301 | 14,924 | 15,605 | 16,350 | 17,169 | 18,075 | 19,081 | 3 |
| 87 | 19,081 | 20,206 | 21,470 | 22,904 | 24,542 | 26,432 | 28,636 | 2 |
| 88 | 28,636 | 31,242 | 84,368 | 38,188 | 42,964 | 49,104 | 57,290 | 1 |
| 89 | 57,290 | 68,750 | 85,940 | 114,59 | 171,89 | 343,77 | | 0 |

| Kraadid | Kootangensid | | | | | | | Kraadid |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 60′ | 50′ | 40′ | 30′ | 20′ | 10′ | 0′ | |

## Sisselõikumise ja ülejooksu pikkused töötamisel silinder-, ketas- ja pilufreesidega*

| Freesimissügavus $t$ mm | Freesi läbimõõt $D$ mm | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 63 | 75 | 90 | 110 | 130 | 150 | 175 | 200 |
| | Freesi ülejooksu pikkus $l_1$ mm | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3,5 | 4 | 4 |
| | Freesi sisselõikumise pikkus $l$ mm | | | | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | 2,2 | 2,7 | 3,1 | 3,5 | 3,8 | 4,2 | 4,5 | 5,0 | 5,5 | 6,1 | 6,7 | 7,4 | 8,1 | 8,6 | 9,4 | 10,0 |
| 1,0 | 3,0 | 3,7 | 4,4 | 4,9 | 5,4 | 5,9 | 6,3 | 7,0 | 7,7 | 8,6 | 9,4 | 10,5 | 11,4 | 12,2 | 13,2 | 14,1 |
| 1,5 | 3,6 | 4,5 | 5,2 | 5,9 | 6,6 | 7,3 | 7,6 | 8,5 | 9,4 | 10,5 | 11,5 | 12,7 | 14,0 | 14,9 | 16,1 | 17,3 |
| 2,0 | 4,0 | 5,1 | 6,0 | 6,8 | 7,5 | 8,0 | 8,7 | 9,75 | 10,8 | 12,1 | 13,5 | 14,7 | 16,0 | 17,2 | 18,6 | 19,9 |
| 3,0 | 4,6 | 6,6 | 7,2 | 8,2 | 9,0 | 9,8 | 10,5 | 11,8 | 13,0 | 14,7 | 16,2 | 17,9 | 19,5 | 21,0 | 22,7 | 24,3 |
| 4,0 | 4,9 | 6,0 | 8,0 | 9,2 | 10,2 | 11,2 | 12,0 | 13,6 | 15,0 | 16,9 | 18,6 | 20,6 | 22,5 | 24,2 | 26,5 | 28,0 |
| 5,0 | 5,0 | 7,1 | 8,7 | 10,0 | 11,2 | 12,3 | 13,0 | 15,0 | 16,6 | 18,7 | 20,6 | 22,9 | 25,0 | 26,9 | 28,7 | 31,2 |
| 6,0 | — | 7,4 | 9,2 | 10,7 | 12,0 | 13,4 | 14,3 | 16,3 | 18,0 | 20,4 | 22,5 | 25,0 | 27,3 | 29,4 | 31,8 | 34,2 |
| 7,0 | — | 7,5 | 9,5 | 11,2 | 12,7 | 14,0 | 15,0 | 17,3 | 19,0 | 21,8 | 24,9 | 26,9 | 29,4 | 31,6 | 34,3 | 36,8 |
| 8,0 | — | — | 9,8 | 11,7 | 13,3 | 14,7 | 16,0 | 18,3 | 20,4 | 23,2 | 25,6 | 28,6 | 31,3 | 33,8 | 36,5 | 39,2 |
| 9,0 | — | — | — | 12,0 | 13,8 | 15,3 | 16,7 | 19,2 | 21,4 | 24,4 | 27,0 | 30,2 | 33,0 | 35,6 | 38,7 | 41,1 |
| 10,0 | — | — | — | — | 14,2 | 15,8 | 17,3 | 20,0 | 22,3 | 25,5 | 28,3 | 31,6 | 34,6 | 37,4 | 40,8 | 43,6 |

| Freesimissügavus $t$ mm | Freesi läbimõõt $D$ mm | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 50 | 63 | 75 | 90 | 110 | 130 | 150 | 175 | 200 |
| | Freesi ülejooksu pikkus $l_1$ mm | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 1 | 1 | 1,5 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2 | 2,5 | 2,5 | 3 | 3 | 3,5 | 3,5 | 4 | 4 |
| | Freesi sisselõikumise pikkus $l$ mm | | | | | | | | | | | | | | | |
| 11,0 | | | | | | | | 20,7 | 23,2 | 26,5 | 29,5 | 33,0 | 36,8 | 39,1 | 42,5 | 45,7 |
| 12,0 | | | | | | | | 21,3 | 24,0 | 27,5 | 30,6 | 34,2 | 37,7 | 40,7 | 44,2 | 46,7 |
| 13,0 | | | | | | | | — | 24,7 | 28,4 | 31,6 | 36,6 | 39,0 | 42,3 | 45,9 | 49,4 |
| 14,0 | | | | | | | | — | 25,4 | 29,2 | 32,7 | 36,7 | 40,3 | 43,7 | 46,6 | 51,1 |
| 15,0 | | | | | | | | — | — | 30,5 | 33,5 | 37,8 | 41,6 | 45,0 | 49,0 | 52,6 |
| 16,0 | | | | | | | | — | — | 31,0 | 34,5 | 38,7 | 42,8 | 46,4 | 52,5 | 54,2 |
| 18,0 | | | | | | | | — | — | — | 36,0 | 40,7 | 45,0 | 48,8 | 53,3 | 57,3 |
| 20,0 | | | | | | | | — | — | — | 37,4 | 42,4 | 47,0 | 51,0 | 55,7 | 60,0 |



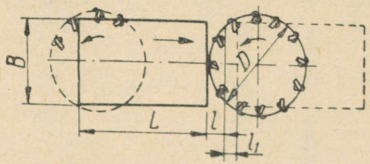

* Antud tabeli järgi, asendades freesimissügavuse $t$ freesimislaiusega $B$, saab määrata freesi sisselõikumise ja ülejooksu pikkust ka ebasümmeetrilisel freesimisel ots- ja laupfreesiga.

**Sisselõikumise ja ülejooksu pikkused töötamisel laup- ja otsfreesidega (sümmeetrilisel freesimisel)**

| Freesimis-laius $B$ mm | Freesi läbimõõt $D$ mm | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 300 | 350 |
| | Freesi ülejooksu pikkus $l_1$ mm | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 5,0 | 5,0 |
| | Freesi sisselõikumise pikkus $l$ mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 10 | 1,9 | 1,4 | 1,0 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 15 | — | 4,5 | 2,0 | 1,5 | 1,2 | 1,1 | — | — | — | — | — | — | — | — | — |
| 20 | — | — | 3,8 | 2,7 | 2,1 | 1,4 | 1,0 | 1,0 | — | — | — | — | — | — | — |
| 25 | — | — | 6,8 | 4,4 | 3,4 | 2,2 | 1,6 | 1,4 | 1,1 | 1,1 | — | — | — | — | — |
| 30 | — | — | — | 6,8 | 5,0 | 3,3 | 2,3 | 1,9 | 1,5 | 1,2 | 1,2 | — | — | — | — |
| 40 | — | — | — | — | 10,0 | 5,8 | 4,2 | 3,5 | 2,8 | 2,0 | 2,2 | — | — | — | — |
| 60 | — | — | — | — | — | 15,8 | 10,0 | 7,5 | 6,8 | 5,5 | 4,6 | 4,0 | 3,5 | — | — |
| 80 | — | — | — | — | — | — | 20,0 | 14,5 | 11,5 | 9,5 | 8,2 | 7,5 | 6,5 | 5,5 | — |
| 100 | — | — | — | — | — | — | 50,0 | 25,0 | 19,5 | 15,5 | 13,2 | 11,5 | 10,5 | 8,5 | 7,0 |
| 120 | — | — | — | — | — | — | — | 44,3 | 30,1 | 23,7 | 20,0 | 17,0 | 15,5 | 12,5 | 10,5 |
| 140 | — | — | — | — | — | — | — | — | 66,2 | 34,8 | 28,5 | 24,5 | 21,5 | 17,5 | 15,0 |
| 160 | — | — | — | — | — | — | — | — | — | 51,3 | 40,0 | 33,5 | 39,0 | 23,0 | 19,5 |

| Freesimis-laius $B$ mm | Freesi läbimõõt $D$ mm | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 75 | 100 | 125 | 150 | 175 | 200 | 225 | 250 | 300 | 350 |
| | Freesi ülejooksu pikkus $l_1$ mm | | | | | | | | | | | | | | |
| | 1,0 | 1,0 | 1,5 | 1,5 | 2 | 2,5 | 3,0 | 3,0 | 3,5 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 4,0 | 5,0 | 5,0 |
| | Freesi sisselõikumise pikkus $l$ mm | | | | | | | | | | | | | | |
| 180 | | | | | | | | — | — | — | 56,0 | 44,5 | 38,0 | 30,0 | 25,0 |
| 200 | | | | | | | | — | — | — | — | 60,5 | 50,0 | 38,0 | 31,0 |
| 220 | | | | | | | | — | — | — | — | 87,0 | 65,5 | 48,0 | 38,5 |
| 240 | | | | | | | | — | — | — | — | — | 90,0 | 60,0 | 47,5 |
| 260 | | | | | | | | — | — | — | — | — | — | 75,0 | 58,0 |
| 280 | | | | | | | | — | — | — | — | — | — | 99,0 | 70,0 |
| 300 | | | | | | | | — | — | — | — | — | — | 156,0 | 85,0 |

$$l = 0{,}5(D - \sqrt{D^2 - B^2})\ mm$$



## KIRJANDUS

**Аврутин С. В.** Рациональная работа фрезеровщика. Изд. 6-е, Машгиз, 1962.

**Ансеров М. А.** и **Бутковский Б. Д.** Приспособления для фрезерных станков. Машгиз, 1953.

**Герасев И. Я.** Передовые методы фрезерования и внедрение их в практику обучения. Трудрезервиздат, 1955.

**Кувшинский В. В.** Фрезерование. Изд. 2-е, Машгиз, 1958.

**Ларин М. Н.** Высокопроизводительные конструкции фрез и их рациональная эксплуатация. Машгиз, 1957.

Общемашиностроительные нормативы режимов резания и времени для технического нормирования работ на фрезерных станках. Серийное производство. Машгиз, 1959.

**Оглоблин А. Н.** Справочник фрезеровщика. Машгиз, 1962.

**Френкель С. Ш.** Справочник молодого фрезеровщика. Профтехиздат, 1962.

**Энимс.** Модернизация консольно-фрезерных станков. Машгиз, 1957.

# SISUKORD


Autorilt . . . . . 3
Sissejuhatus . . . . . 5

Esimene osa

**Algteadmisi freesimistöödest**

I peatükk. **Üldteadmisi freesimisest** . . . . . 9

§ 1. Metallide lõiketöötlemise protsessi mõiste . . . 9
§ 2. Põhimõisteid freesimisest . . . . . 12

II peatükk. **Freespink ja tema põhisõlmed** . . . . . 15

§ 3. Freespinkide tüübid . . . . . 15
§ 4. Konsoolfreespinkide põhisõlmed . . . . . 27
§ 5. Konsoolfreespingi juhtimine . . . . . 35
§ 6. Pingi hooldamine . . . . . 40

III peatükk. **Üldteadmisi freesidest** . . . . . 44

§ 7. Freesi elemendid . . . . . 44
§ 8. Põhiteadmisi freeside ehitusest . . . . . 49
§ 9. Freeside kinnitamine pinki . . . . . 55

IV peatükk. **Algteadmisi lõiketeooriast** . . . . . 63

§ 10. Lõikeelemendid freesimisel . . . . . 63
§ 11. Laastu tekkimise protsess . . . . . 69
§ 12. Freesi ekspluateerimine . . . . . 72

V peatükk. **Lihtsaimad toorikute kinnitusrakised** . . . . 75

§ 13. Toorikute kinnitamine pingi töölauale . . . . 76
§ 14. Toorikute kinnitamine nurgikutele ja prismadele . . 79
§ 15. Toorikute kinnitamine kruustangidesse . . . . 82
§ 16. Toorikute kinnitamine spetsiaalsetesse kinnitusrakistesse . . . . . 88

VI peatükk. **Tööstustervishoid ja ohutustehnika** . . . . . 93

§ 17. Mida peab algaja freesija teadma tööstustervishoiust 93
§ 18. Ohutustehnika eeskirjadest freespingil töötamisel 96
§ 19. Esmaabi õnnetusjuhtumite puhul . . . . . 99
§ 20. Ohutustehnika ja tuleohutuse tööstuslikud instruktsioonid . . . . . 100

Teine osa

**Lihtsaimad freesimistööd**

VII peatükk. **Tasapindade freesimine** . . . . . 102

§ 21. Frees lõikeprotsessis . . . . . 102
§ 22. Tasapindade freesimine silinderfreesiga . . . . 105
§ 23. Tasapindade freesimine laupfreesiga . . . . . 116

§ 24. Kaastasapindade freesimine . . . . . 121
§ 25. Kaldpindade ja faaside freesimine . . . . . 125
§ 26. Tasapindade suure tootlikkusega freesimise meetodid 131
§ 27. Silinder- ja laupfreesiga freesimise reeglid . . . 136

VIII peatükk. **Astmete ja täisnurksete soonte freesimine. Mahalõikamine** . . . . . 146

§ 28. Astmete ja soonte freesimine . . . . . 146
§ 29. Kiilusoonte ja liistusoonte freesimine võllidesse . . 157
§ 30. Mahalõikamine . . . . . 165

IX peatükk. **Kujusoonte ja spetsiaalsete soonte freesimine** . . 169

§ 31. Kujusoonte freesimine . . . . . 169
§ 32. Spetsiaalsete soonte freesimine . . . . . 174

X peatükk. **Kõverjooneliste kontuuride ja kujupindade freesimine** . . . . . 178

§ 33. Kõverjooneliste kontuuride freesimine . . . . 178
§ 34. Kujupindade freesimine . . . . . 186

Kolmas osa

**Tehnoloogilise protsessi alused freesimisel**

XI peatükk. **Algteadmisi tehnoloogilisest protsessist** . . . . 191

§ 35. Tehnoloogilise protsessi põhimõisted . . . . . 191
§ 36. Operatsioonikaardi sisu ja vorm . . . . . 196

XII peatükk. **Töötlemistäpsus ja pinna kvaliteet freesimisel** . . 201

§ 37. Töötlemisvigade suurust mõjutavad tegurid freesimisel . . . . . 201
§ 38. Töötlemisvigade hindamise meetodid . . . . 204
§ 39. Geomeetrilise kuju täpsus . . . . . 207
§ 40. Pinna kvaliteet . . . . . 210

XIII peatükk. **Ülesseadebaasi valik toorikute kinnitamisel** . . . 215

§ 41. Üldteadmisi baasidest . . . . . 215
§ 42. Näiteid toorikute ülesseadmisest . . . . . 218

Neljas osa

**Freesimistööd jagamispea kasutamisega**

XIV peatükk. **Jagamispead** . . . . . 227

§ 43. Lihtjagamispead . . . . . 227
§ 44. Universaaljagamispead . . . . . 231

XV peatükk. **Freesimine vahetu jagamise meetodil** . . . . 240

§ 45. Hulktahukate freesimine . . . . . 240
§ 46. Otsasoonte ja pilude freesimine . . . . . 248

XVI peatükk. **Freesimine lihtjagamismeetodil** . . . . . 253

§ 47. Jagamine ilma jaotusketta kasutamiseta . . . . 253
§ 48. Jagamine jaotusketta kasutamisega . . . . . 255

XVII peatükk. **Freesimine diferentsiaaljagamismeetodil** . . . . 258

§ 49. Diferentsiaaljagamismeetodi olemus . . . . . 258
§ 50. Universaaljagamispea УДГ-135 ehitus . . . . 263
§ 51. Universaaljagamispea УДГ-160 konstruktsiooni iseärasusi . . . . . 265
§ 52. Universaaljagamispea tarvikud diferentsiaaljagamiseks . . . . . 266
§ 53. Diferentsiaaljagamise praktika . . . . . 267

XVIII peatükk. **Silinderhammasrataste freesimine** . . . . . 270

§ 54. Üldteadmisi hammasülekandest . . . . . 270
§ 55. Hammasrataste freesimine . . . . . 276

XIX peatükk. **Keerulised freesimistööd** . . . . . 280

§ 56. Soonte freesimine koonusele . . . . . 280
§ 57. Soonte freesimine otspinnale . . . . . 283
§ 58. Jagamine mittevõrdseteks osadeks . . . . . 287

XX peatükk. **Kruvisoonte freesimine** . . . . . 290

§ 59. Üldteadmisi kruvijoonest . . . . . 290
§ 60. Kruvisoonte freesimise praktika . . . . . 299

Viies osa

**Freespinkide ehitus**

XXI peatükk. **Üldteadmisi freespinkidest** . . . . . 304

§ 61. Kodumaiste freespinkide põhitüübid . . . . . 304
§ 62. Pinkide kinemaatilised skeemid . . . . . 308

XXII peatükk. **Konsoolfreespingid** . . . . . 309

§ 63. Freespingid 6H81, 6H81Г ja 6H11 . . . . . 309
§ 64. Freespingid 6M82, 6M82Г ja 6M12П . . . . . 325
§ 65. Freespingid 6M83, 6M83Г ja 6M13П . . . . . 356
§ 66. Teise ja kolmanda mõõtmegamma konsoolfreespinkide modifikatsioonid . . . . . 356

XXIII peatükk. **Kopeerfreespingid** . . . . . 361

§ 67. Kopeerfreespinkide klassifikatsioon . . . . . 361
§ 68. Ilma jälgivsüsteemita kopeerfreespingid . . . . 363
§ 69. Jälgivsüsteemiga kopeerfreespingid . . . . . 368

XXIV peatükk. **Freespinkide ekspluateerimine** . . . . . .

§ 70. Moderniseerimine ja rakised kiirfreesimiseks . . 390
§ 71. Freespinkide täpsuse kontroll . . . . . 395
§ 72. Freespinkide ekspluateerimisest . . . . . 399

Kuues osa

**Lõiketeooria alused freesimisel**


XXV peatükk. **Jõud freesimisel** . . . . . 402

§ 73. Mahalõigatava kihi elemendid . . . . . 402
§ 74. Lõigendi ristlõikepindala ja maht . . . . . 409
§ 75. Lõikejõud freesimisel . . . . . 412

XXVI peatükk. **Freesimiseks vajalik võimsus** . . . . . 418

§ 76. Võimsus freesimisel . . . . . 418
§ 77. Freespingi pass . . . . . 424

XXVII peatükk. **Lõikerežiimi valik freesimisel** . . . . . 428

§ 78. Tingimused, mis määravad lõikerežiimi valiku . . 428
§ 79. Lõikerežiimi valik . . . . . 443

XXVIII peatükk. **Freesi ratsionaalne ekspluateerimine** . . . . . 453

§ 80. Freesi ekspluateerimine ja teritamine . . . . . 453
§ 81. Freesi terituse kontroll . . . . . 462


Seitsmes osa

**Freesija ratsionaalse töö alused**


XXIX peatükk. **Üldteadmisi töö organiseerimisest ja ökonoomikast** 465

§ 82. Töökoha organisatsioonilis-tehniline teenindamine . 465
§ 83. Mõisteid töö organiseerimisest . . . . . 467
§ 84. Algteadmisi majandamisest . . . . . 473

XXX peatükk. **Freesimise tehnoloogiline protsess** . . . . . 477

§ 85. Tehnoloogilise protsessi koostamise põhimõtted . . 477
§ 86. Tehnoloogilise protsessi koostamise näide . . . 484
§ 87. Üldise töötlemisaja lühendamise viisid freesimisel 493
Lisa . . . . . 504
Kirjandus . . . . . 512


---


Аврутин Сергей Владимирович. ФРЕЗЕРНОЕ ДЕЛО. На эстонском языке. Оформление Э. Тали. Издательство «Валгус». Таллин, Пярнуское шоссе, 10.

Toimetaja T. Koger. Kunstiline toimetaja R. Tungla. Tehniline toimetaja O. Mullari
Korrektorid A. Toomaspoeg ja H. Kessel.

Laduda antud 18. III 1966. Trükkida antud 7. IX 1966. Paber 60×90, 1/16. Trükipoognaid 32,25. Arvestuspoognaid 32,18. Trükiarv 4000. Tellimise nr. 4358. Trükikoda «Kommunist», Tallinn, Pikk tn. 2. Trükipaber nr. 2 — Kohila Paberivabrik.

Hind 84 kop.

3—12—4

84 kop.

A-27906

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00446294 3

84 kop.

A-27906

TÜ RAAMATUKOGU
1 0300 00446294 3

FREESIMISTÖÖD

S. AVRUTIN

S. AVRUTIN

# FREESIMISTÖÖD

