

Metallide

**FREESIMINE JA
HÖÖVELDAMINE**

Ins. E. OLVING

TEHNILISE KIRJASTUSE TOIMETISED

METALLIDE FREESIMINE JA HÖÖVELDAMINE

~~1A~~
~~37902~~

INSENER E. OLVIING



•II•

TALLINN 1943

PÖLLUMAJANDUSLIKU KIRJASTUSÜHISTU „AGRONOOM“
KIRJASTUS

TOIMETAJA: ins. A. PÖDRUS.

2

Tartu Riikliku Ülikooli

Raamatukogu

52661

E E S S Ö N A .

Freesimise osatähtsus metallide töötlemisel on järjest kasvamas ja ühtlasi vajatakse ikka rohkemal määral teadlikke freesijaid, kes oleksid suutelised täitma väga mitmekesiseid tööülesandeid. Käesolev raamat tahaks neid selle juures jõudumööda abistada.

Raamatus on lühidalt käsitletud üldiselt tarvitatavoid masinaid kui ka üldtöövõtteid. Puuduvad erimasinad, nagu neid kasutatakse hammasrataste valmistamiseks, ja seda põhjusel, et hammasrataste töötlemine moodustab nüüdisajal juba iseseisva ala.

Raamatu teine osa toob lühikese kokkuvõtliku ülevaate metallide hõveldamisest.

Käsikirja läbivaatamise eest avaldan parimat tänu härradele ins. E. Liiver'ile ja ins. E. Sari'le.

Tallinn, oktoobris 1942.

Autor.

A. FREESIMINE.

Sissejuhatus.

Treimise kõrval on freesimine tähtsaim laastueralduse põhimõttele rajatud metallide töötlusviis.

Kuna treimisel töödeldav ese pöörleb ja treitera paigal seisab, siis freesimisel pöörleb mitmeteraline tööriist, nn. frees. Seejuures pääseb üksik lõiketera alles täispöörde järel uuesti lõikama ja töötlusese liigub freesile vastu.

Mitmeteralise tööriistana on freesil see paremus, et kuna üksik hammas on vaid lühikest aega lõiketöös, siis üheteraliste tööriistadega võrreldes on tal märksa suurem vastupidavus nürinemisele sama lõikekiiruse juures. Allakriipsutamist väärib veel asjaolu, et freesile saab anda igasuguse kuju, mispärast ka keeruliste vormipindade freesimine ei tekita mingit raskust. Üldiselt aga on frees võrdlemisi hinnaline tööriist ja nõuab seetõttu väga hoolast ja asjatundlikku käsitsemist.

Olgugi et freesimine viimasel ajal on tunginud aladele nagu vindi lõikamine, mis varem kuulus ainuüksi treimisele, või siis asendab mitmeid hõõveldustöid, jääb ta suurtest edusammudest hoolimata siiski igapäevale nimetatud töötlusviisidest oma kindel tööpiirkond.

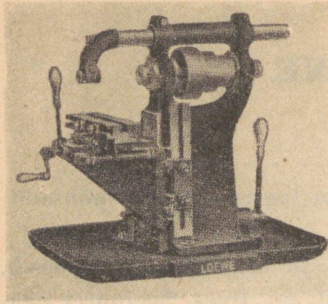
Freespinkide tüüpe.

Olenedes tööspindli asetusest võime freespingid jagada kahte suurde rühma, nimelt horisontaalse ja vertikaalse tööspindliga masinaiks. Mõlemad rühmad jagunevad ehitusviisilt omakorda veel reaks üksikutüüpideks. Peale nimetatud freespinkide on aga olemas veel suur hulk eriotstarbelisi freesmasinaid hammas- ja tigurataste, kruvikeermete, kõverpindade jne. freesimiseks.

Käsifreespink.

Lihtsamat tüüpi horisontaalse tööspindliga käsifreespinku kujutab joon. 1. Kõik töölaua liigutused toimuvad siin käsikangide *a*, *b*, *c*

abil, kuna laua käik piiratakse põrkmete *d* poolt. Malmist püstkannduri ülemises osas asetseb freespingi tööspindel. Sama püstkannduri juhtteed mööda nihkub kangi *c* abil tõstetav nurklaud. Nurklaual asetseb vända *b* abil nihutatav piki- ehk aluslaan, kuna selle peal lasub omakorda kangi *a* abil nihutatav laudsaan ehk freesimissuport. Viimase pealmine pind on töötlusesemete kinnitamise otstarbel varustatud *T*-kujuliste nuutidega. Freesimissuporti mõõdud on kirjeldatud

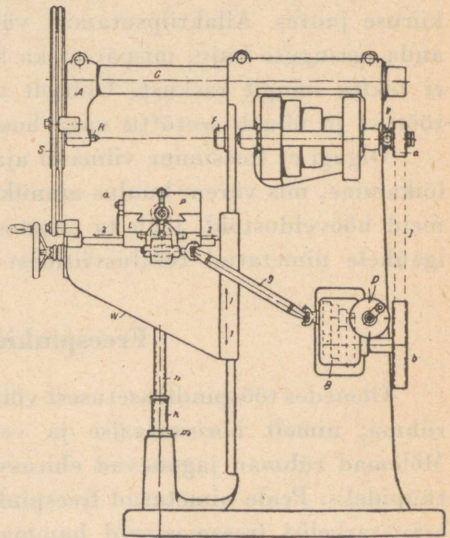


Joon. 1. Käsifreespink.

masinal kõigest 220×65 mm ja vastavalt sellele on väike ka üksikute liigutuste ulatus. Masinat, mille üldkõrgus on kõigest 330 mm, kasutatakse õmblusmasina- ja jalgrattaosade ning teiste väiksemate esemete freesimisel.

Horisontaalfreespink.

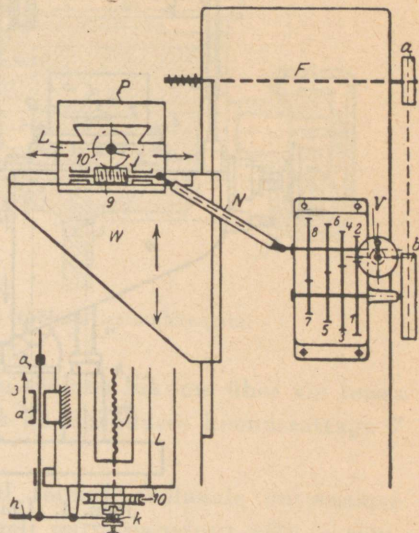
Joonisel 2 kujutatud masin kannab lühidalt horisontaalfreespingi nime ja ta peamiseks ülesandeks on mitmesugused plaanfreesimistööd. Jõuülekanne toimub lae-vahevärgilt tööspindli *F* astmeseibidele rihma abil. Et astmeseibe on kokku neli ja lisaks sellele on olemas vahevõll, siis saame üldse kaheksa mitmesugust spindli kiirusastet. Nurklaud *w* on



Joon. 2. Horisontaalfreespink.

tõstetav vända ja kahekordse kruvispindli n ja h abil. Piki-
saan L on käsiratta abil nihutatav suunas 2—2, kuna laudsaanile
ehk freesimissuportile peale käsitsi nihutamise on võimalik anda ka
automaatne ettenihke. Selleks freesimissuporti spindli otsas olev tigu-
ratas saab pöörlemisliikumise tigu ja kardaaneligenditega varustatud
painduva võlli g abil hammasratasajamilt B . Viimase rihmaratas b
aetakse rihma I abil otse tööspindli poolt.

Ettenihkeajam on toodud skemaatilisel veel kord joon. 3. Tigu 9
on tigurattaga 10 alalises ühen-
duses, viimane aga on sidur-
muhvi k kaudu ühendatav suporti
kruvispindliga. Lülitemiseks on ette
nähtud hoob h . Töötamisel on väga
oluline, et freesimissuporti kütke-
line ettenihke teatava maa järel
automaatselt välja lülitaks, sest
see võimaldab iseseisvalt kindlate
pikkuste freesimist. Seks otstar-
beks varustatakse lülitushooba
mõjutavate ja pikisuunas seata-
vate pörkmetega. Pörkmed, puu-
dutades masina küljes olevaid pii-
rajaid, panevad tööle lülituskangi
ja see omakorda lülitab välja sidur-
muhvi k , mille tagajärjel kütkeline
ettenihke silmapilkselt katkeb.

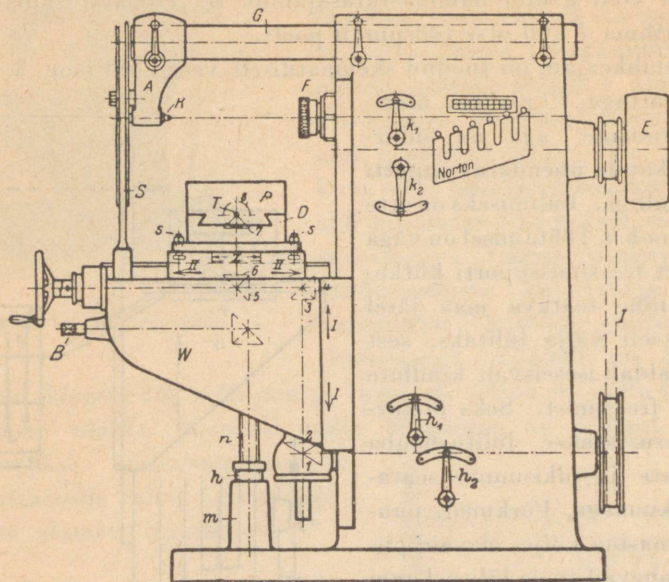


Joon. 3. Horisontaalfreespingi laudsaani
ettenihkeajami skeem.

Universaalfreespink.

Horisontaalfreespink võimaldab kõigi tööde läbiviimist, millede
juures on nõutav, et töötluseseme ettenihke suund oleks risti freesspindli
teljele. Erandi moodustavad spiraalide freesimistööd, nagu tigude,
spiraalhammasrataste, spiraalpuuride ja muude säaraste esemete free-
simine, millede juures on tingimata tarvilik, et freesimissuport oleks
nihutatav tööspindlile mitte enam risti, vaid teatava nurga all. Et nii
universaal- kui ka horisontaalfreespingi üldiseloomuga tööd on võrd-

sed, siis esimesel pilgul mõlemad masinad ei erinegi teineteisest kuigi palju. Peamine vahe seisneb vaid selles, et universaalfreespingi töölaud on pööratav ja automaatselt ettenihutatav ka nurga all. Masina juurde kuulub alaline jagamispea, mille abil saab töötluseseme ümbermõõtu jagada võrdseiks osadeks, nagu see näit. on tarvilik hammas-



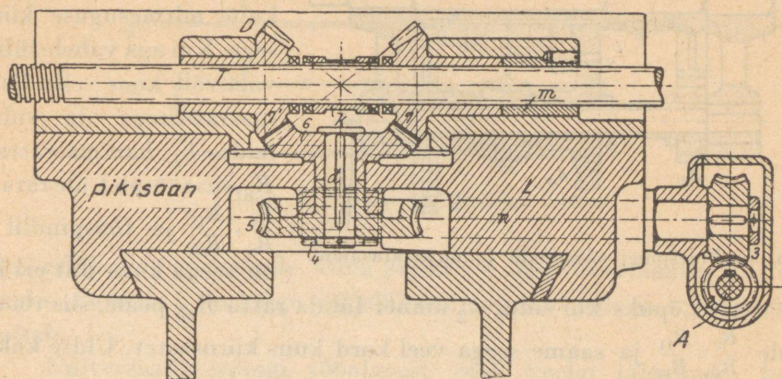
Joon. 4. Universaalfreespink.

rataste hambalünkade freesimisel. Universaal- ehk üldfreespink suudab seega täita kõik tavaliselt ettetulevad freesimistööd ja väärleb oma nime täiel määral.

Universaalfreespingi töölaud on nõudekohaselt pööratav seetõttu, et ta liigub pöördketta *D* paasides (joon. 4). Viimane aga istub alussaani tapi *Z* otsas ja on pööratav mõlemale poole kuni 45° . Pöördkettal on sisse treititud *T*-kujulised nuudid, millesse ulatuvad poltide *S* pead. Poltide pingutamiseega hoitakse ketas ja koos sellega ka töölaud soovitud asendis.

Keerulisemaks muutub pööratavale töölauale automaatse ettenihke andmine ja läbiviidav on see vaid juhul, kui ajuratas asetseb pöörd-

ketta tsentris. Joon. 5 kujutatud töölauda ajami puhul on see nõue täidetud, tapi d telgjoon langeb kokku ketta telgjoonega. Kardaaneliigenditega varustatud painduv võll annab tigu 2 ja tiguratta 3 kaudu liikumise edasi pikisaanis asetsevale tiguajamile 4, 5. Sealt kandub liikumine koonusrataste 6, 7 või 7' kaudu edasi töölauda spindlile T .



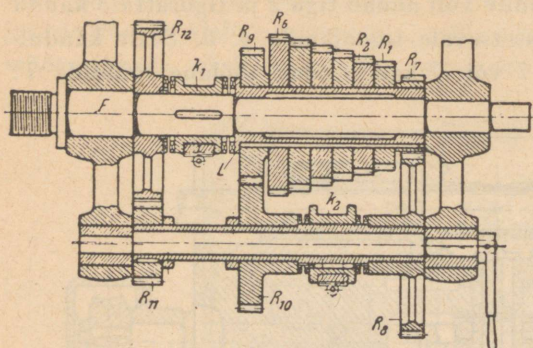
Joon. 5. Universaalfreespingi töölauda ettenihkeajam.

Spindel paneb kinnise mutri m kaudu töölauda liikuma ühes või teises suunas, olenevalt sellest, kas sidur k on ühenduses koonusrattaga 7 või 7'.

Joonisel 4 kujutatud freespingil toimub töölauale automaatse ettenihke andmine veidi teisiti ja nimelt mitte painduva võlli ja tigu-ülekannete, vaid rea koonusrataste (1—8) kaudu.

Kujutatud universaalfreespink on tööspindli käitamiseks varustatud Norton-tüübilise hammasratasajamiga. Viimane on masina püstkandurisse täielikult sisse ehitatud, kuna välja ulatub vaid rihmaseib E . Norton-ajami põhimõte seisneb teatavasti selles, et käesoleval juhul ajuvõlli peal libiseb pikisuunas hammasratas, mis on alalises ühenduses vaherattaga. Vaheratas omakorda on erilise hoova abil ühendatav tööspindliga kindlalt ühendatud astmeliste hammasratastega. Tagajärjeks on, et võime lihtsa lülamise teel saada niisama palju kiirusastmeid, kui mitu astmelist hammasratast on tööspindlil. Joon. 6 on näha tööspindel ühes astmeliste hammasratastega. Selguse

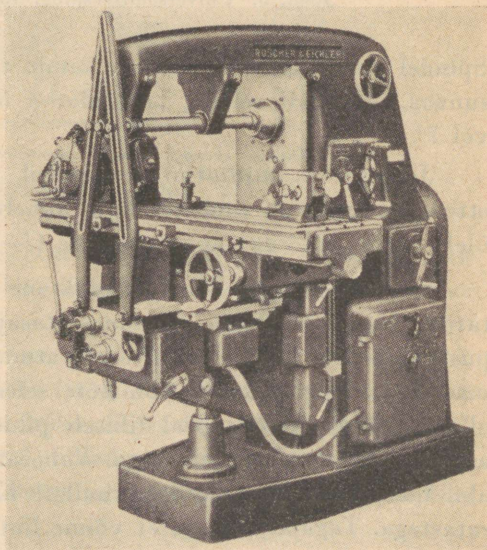
mõttes on ära jäetud nii ajuvõll kui ka vaheratas. Nagu nimetatud, võime ajuvõlli vaheratta abil ühendada ükskõik millise astmelise hammasrattaga $R_1 - R_6$. Kui



Joon. 6. Freespingi tööspindli hammasratasajam.

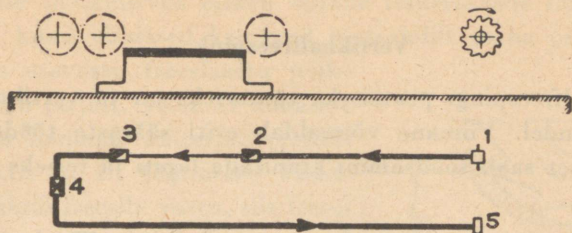
Lõpuks kui sidur k_2 ümber lülida ratta R_{10} peale, siis töötab L üle $\frac{R_9}{R_{10}} \cdot \frac{R_{11}}{R_{12}}$ ja saame seega veel kord kuus kiirusastet. Üldse kokku võime oma freespingi tööspindlit kasutada seega 18 mitmesuguse kiirusega.

Moodsat universaalfreespinki kujutab joon 7. Masin on varustatud üksikajumootoriga ja võimaldab 9 tööspindli kiirust ning 12 mitmesugust automaatetrenihke suurust. Varustuse hulgas ei puudu ka jahutusveepump ja jagamispea. Tühikäikude aja vähendamiseks säaraste pinkide töölaud varustatakse uuemal ajal peale automaatse ettenihkeseadme veel erilise kiirkäiguga. Joon. 8 on skemaatiliselt näidatud säarase pingi töötamisviisi.



Joon. 7. Universaalfreespink üksikajumootoriga.

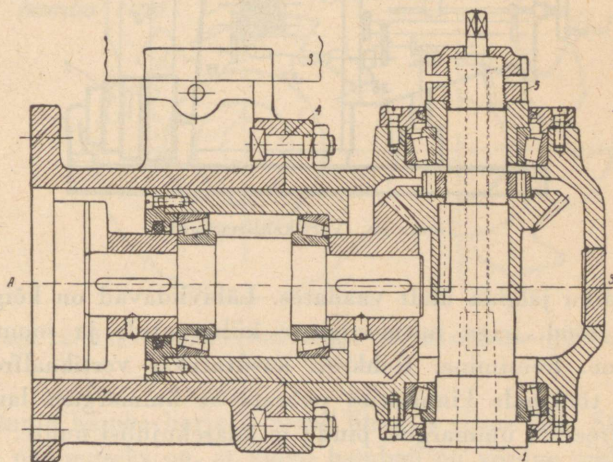
Punktis 1 lülitakse kiirkäik käsitsi sisse, punktis 2, s. o. kui frees-
 pingi töölaud puudutab sellekohast piiravat hammast, lülitakse auto-
 maatselt sisse normaalne ettenihe. Punktis 3 toimub automaatne



Joon. 8. Freespingi kiirkäigu skeem.

ümberlülimine kiirkäigule, kuna punktis 4 algab automaatne kiirtagasi-
 jooks. Punktis 5 on käigu väljalülimine automaatne ja seega laudsaan
 seisab.

Universaalfreespingi tööulatust saab veelgi laiendada, kui ta
 varustada vertikaalfreespeaga. Viimane kujutab freesspindli piken-
 dust õige nurga all (joon. 9). Vertikaalfreespea kere kinnitatakse polti-
 dega tugevasti freespingi püstkanduri külge ja chituselt on ta ena-

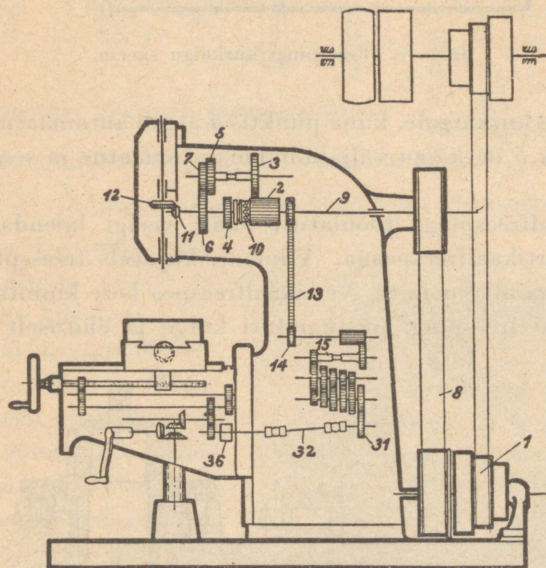


Joon. 9. Vertikaalfreespea.

masti säärane, et võimaldab pöörmist mitmesuguste nurkade all. Jõuülekanne toimub koonusrataste kaudu vertikaalsele spindlile. Viimasel on läbiminev, alt kooniline ava, koonustapiga varustatud freeside hoidmiseks.

Vertikaalfreespink.

Vertikaalfreespingi peamiseks tunnuseks on ta vertikaalselt asetatud tööspindel. Viimane võimaldab eriti sääraste tööde täitmist, kus töötlusest saab soodsamini kinnitada lapiti ja teiseks saab pare-



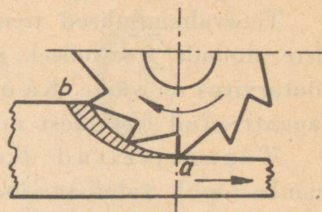
Joon. 10. Vertikaalfreespink.

mini töökäiku jälgida ülalt vaadates. Läbiviidavad on kõige mitmekesisemad tööd, nagu mitmesuguste kiilnuutide ja soonte, plaanpindade jne. freesimine. Rohkesti kasutatakse vertikaalfreespinkide juures ka töölauale kinnitatud pööratavat ümmargust lauda, mille abil võib freesida ümmargusi pindu ja kaarekujulisi nuute.

Freesisid.

Freeside liigid.

Freeside töötamisviis erineb muude lõikeriistade lõiketööst selle poolest, et kuna viimased koorivad materjalilt maha pideva ühtlase laastu, siis seevastu freesilaastu põiklõige muutub järjest. Joon. 11 kohaselt algab freesi hammas materjali eraldamist punktis *a*. Et töötlusese samaaegselt nihkub freesile vastu, siis freesi hammas, jõudes punkti *b*, on lõiganud maha kiilusarnase materjalikihi.

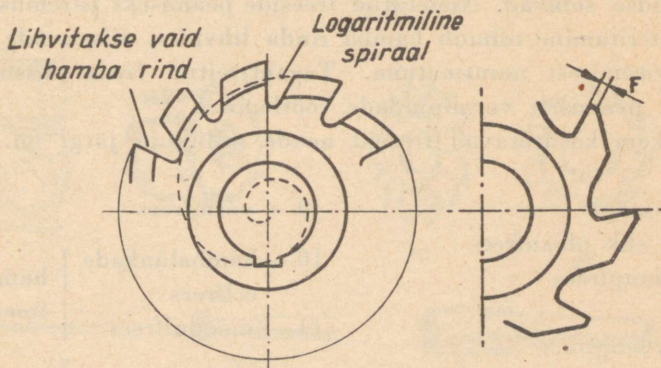


Joon. 11. Freesi töötamise põhimõte.

Valmistusviisi järgi liigitatakse freesid kahte peagruppi:

- 1) freesitud hammastega ehk teravahambulised freesid,
- 2) taganttreitud (kukaldatud) freesid.

Freesitud hammastega ehk teravahambulistel freesidel sünnib hamba valmistamine ainuüksi freesimise teel, kuna teri-



Joon. 12. Taganttreitud (vasakul) ja teravahambulise (paremal) freesi hambad.

tamine sünnib hamba harja *F* maha lihvides (joon. 12). Säärase teritamiseviisi paremuseks on, et kõigil hambail on võrdne pikkus ja nad võtavad ka võrdselt osa lõiketööst. Puuduseks aga tuleb lugeda, et

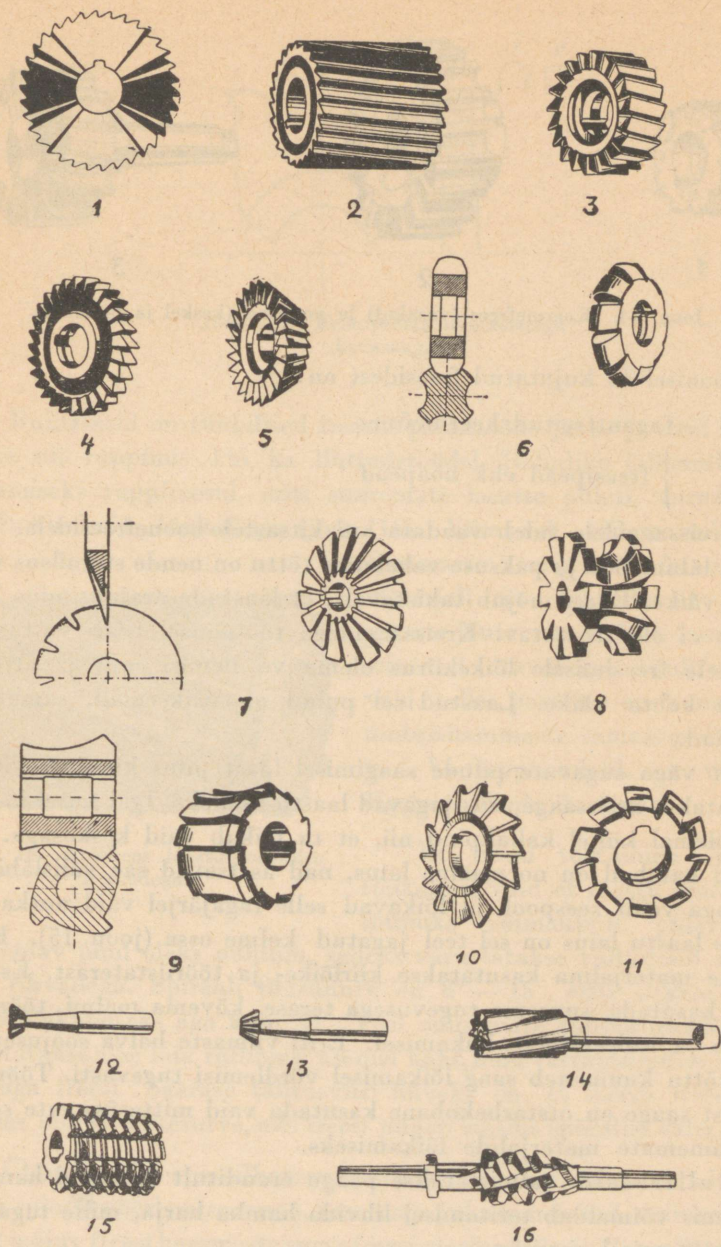
teritamise tagajärjel hamba kuju pidevalt muutub, freesi läbimõõt läheb järjest väiksemaks, samuti ka hammastevaheline laastukogumisruum. Tagajärjeks on, et laastud kiiluvad end freesi hammaste vahele kinni ja jõutarvitus freesimisel kasvab. Moodsad teravahambulised freesid on seepärast võrdlemisi väikese hammaste arvuga ja suure laastukogumisruumiga.

Teravahambulised freesid leiavad üldist kasutamist tasapinnaliste pindade freesimisel, nad lõikavad kergesti ja seejuures nende jõutarvitus on väike. Ka on lihtsama valmistusviisi tõttu nende hind taganttreitid freesidest märksa odavam.

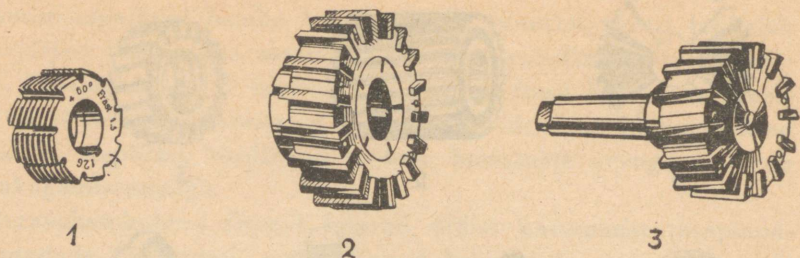
Taganttreitid (kukaldatud) freesidel sünnib ettefreesitud hamba lõplik valmistamine kukla treimisega eritreipingil. Tahapoole langev hamba kuklakõverus moodustab seejuures logaritmilise spiraali (joon. 12). Teritamiseks taganttreitid freesidel lihvitakse vaid hamba rind. Seda tuleb toimetada suure hoolega, et kõik hambad oleksid võimalikult ühepikkused ja töötamisel seetõttu võrdselt koormatud. Et karastamisel tekkinud freesi äratõmbumised aga ei ole kõrvaldatavad ja ka hoolsa järellihvimisega ei saa kaugeltki alati viskumiseta jooksvat freesi, siis tugeva laastu lõikamiseks ei ole taganttreitid freesid üldse sobivad. Nimetatud freeside peamiseks paremuseks on, et kuna teritamine toimub hamba rinda lihvides, siis nende profiil säilib teritamiseest muutmatuna. Taganttreitid freese kasutatakse seepärast peamiselt vormipindade töötlemisel.

Rohkem kasutatavad freesid nende eriliikide järgi on toodud joon. 13.

- | | | |
|---|----------------------------|--------------------|
| 1 — kreissaag | 9 — vormfrees | |
| 2 — rull- ehk plaanfrees | 10 — hambalünkade eelfrees | } hammaste freesid |
| 3 — rull-laupfrees | 11 — moodulfrees | |
| 4 — „ | | |
| 5 — nurk-laupfrees | 12 — | } nurkfreesid |
| 6 — vormfrees poolümmarguste soonte freesimiseks | 13 — | |
| 7 — taganttreitid freeside lünga-frees | 14 — tappfrees | |
| 8 — vormfrees poolümmarguste nurkade freesimiseks | 15 — | } tigufreesid |
| | 16 — | |



Joon. 13. Mitmesugused freeside liigid.



Joon. 14. Keermefrees (vasakul) ja noapead (keskel ja paremal).

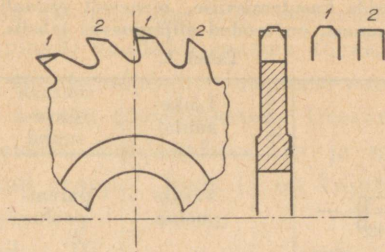
Joonisel 14 kujutatud freesidest on:

- 1 — taganttreitud keermefrees
- 2 — } freesipead ehk noapead
- 3 — }

Kreissaagidele tuleb vaadata kui kitsastele soonefreesidele. Ebasoodsa läbimõõdu ja paksuse vahekorra tõttu on nende stabiilsus võrdlemisi väike. Edasi mõjub takistavalt, et laastude ärajuhtimine külje suunas ei ole teostatav. Kreissaagidega töötamisel peab vastandina tavalisele freesimisele löikekiirus olema võrdlemisi suur ja ettenihe hamba kohta väike. Laastud sel puhul on väiksemad, samuti ka löikejõud.

Et väga sügavate pilude saagimisel laast pilus kinni ei kiiluks, kasutatakse kreissaage, mis jagavad laastu osadeks. Igal teisel hambal on mõlemal küljel kallakpind nii, et ta löikab vaid keskosaga. Ülejäänud hambail on normaalne laius, nad asetsevad sae välisläbimõõdust aga veidi seespool ja löikavad selle tagajärjel vaid nurkadega. Üldine laastu laius on sel teel jagatud kolme ossa (joon. 15). Kreissaagide materjalina kasutatakse kiirlöike- ja tööriistaterast. Esimest tuleb kasutada suurema tugevusega terase, kõvema malmi, tööriistateraste ja isoleerainete löikamisel. Eriti viimaste halva soojusejuhtivuse tõttu kuumeneb saag löikamisel võrdlemisi tugevasti. Tööriistaterasest saage on otstarbekohane kasutada vaid mittesügavate soonte ja pehmemate materjalide löikamiseks.

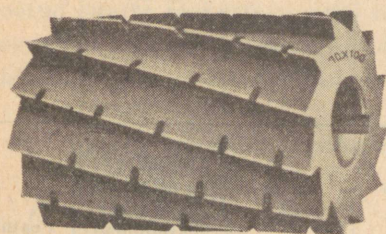
Rullfreesid valmistatakse peagu eranditult freesitud hammas-
tega, mis võimaldab teritamisel lihvida hamba harja, mille tagajärjel frees töötamisel ei visku.



Joon. 15. Erikujuliste hammastega kreissaag.

Rullfreesid on tüübilised freesid plaantööde jaoks ja neid kasutatakse nii rippimis- kui ka lihtimistödel. Rahuliku löiketoime saavutamiseks ruppifreesid, eriti suuremate laiuste puhul, varustatakse laastumurdmise lünkadega (joon. 16). Viimased soodustavad freesi-

hammaste tungimist freesitavasse materjali ja vähendavad ühtlasi masina jõutarvitust. Rull-laupfreesid erinevad tavalistest rullfreesidest vaid selle poolest, et kuna peale ümbrishammaste samaaegselt töötavad ka lauphambad, on võimalik õigete nurkade freesimine.



Joon. 16. Rullfrees laastumurdmise lünkadega.

Et freesi töötamine ei oleks tõukeline, vaid et laastu eraldamine toimuks võimalikult pidevalt ja töödeldav pind oleks puhtam, selleks varustatakse rullfreesid spiraalsete rihvadega. Spiraali tõusunurk on 8° — 15° , eriti sitkete materjalide lõikamiseks aga kuni 25° . Veel suuremate tõusunurkade puhul kasutatakse ühe laia rullfreesi asemel kaht, kuid vastusuunalise spiraaltõusuga freesi. Säärase talitusviisi hüveks on, et hävib freesi telje suunas mõjuv lõikesurve, mis freesi püüab masina spindlist välja rebida.

Üldiselt tuleb spiraalhammaste tõusunurga valikul arvestada freesipingi spindli pöörlemis-suunda, sest, nagu juba nimetatud, võib kruvitaoiselt mõjuv freesi hammaste surve freesi masina tööspindlist välja rebida.

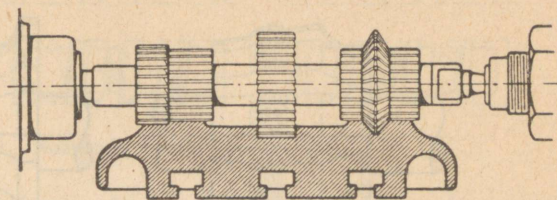
Mitmesuguste rull- ja tappfreeside kasutamiseviise, olenevalt spiraali tõusu- ja spindli pöörlemis-suunast, on toodud alljärgnevas tabelis.

Tabel 1.

Frees	Lõike-suund	Spiraali tõusu-suund	Pikisurve	Frees peab lõikama
	vasak-poolne	parem-poolne	Pikisurve freesspindli suunas	Pinna-hammastega
	parem-poolne	vasak-poolne		
	vasak-poolne	vasak- ja parem-poolne	Pikisurvet ei ole	
	parem-poolne	vasak- ja parem-poolne		
Rullfreesid	vasak-poolne	vasak-poolne	Pikisurve on suunatud spindlist väljapoole	Peamiselt laup-hammastega
	parem-poolne	parem-poolne	Sobiv kiilunurk	
	vasak-poolne	parem-poolne	Pikisurve spindli suunas	Peamiselt pinna-hammastega
	parem-poolne	vasak-poolne	Ebasobiv kiilunurk	
Tappfreesid				

Freesi lõikesuuna all mõistame selle pöörlemissuunda, kusjuures näit. universaalfreesingil, vaadates masina tagaküljelt, parempoolse lõikesuunaga frees pöörleb kellaosuti liikumise suunas.

Ebakorrapärase kujuga töötluseseemete freesimiseks ühe võttega kasutatakse rullfreesidest, rull-laupfreesidest ja muudest tavalistest freesidest kokkuseatud gruppe. Joon. 17 on kujutatud hõõvelmasina töölauda aluspinna free-



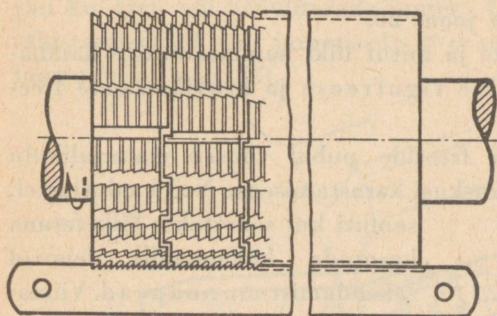
Joon. 17. Freeside grupp töötamas.

simine säärasel viisil. Aja kokkuhoid on muidugi üsna tunduv ja lisaks töö täpsus väga hea. Gruppfreeaside tööviisi iseloomustab ka

joon. 18 kujutatud metall-saelehe hammaste freesimine. Üksiku freesi valmistamine säärases laiuses oleks seotud suurte raskustega, eriti tülikas on karastamine. Freeside grupp seevastu koosneb reast üksikuist, võrdlemisi kitsaist ja külgedel sidurhammastega varustatud freesidest. Üksiku freesi asendamine, kui

see peaks mõnel põhjusel tarvilik olema, sünnib siin võrdlemisi kerge vaevaga.

Tappfreese kasutatakse väga mitmesugustel töödel. Väiksemate freeside kinnitamine sünnib seejuures lõhestatud kinnitushülsi, suuremate puhul aga enamasti koonushülsi abil.



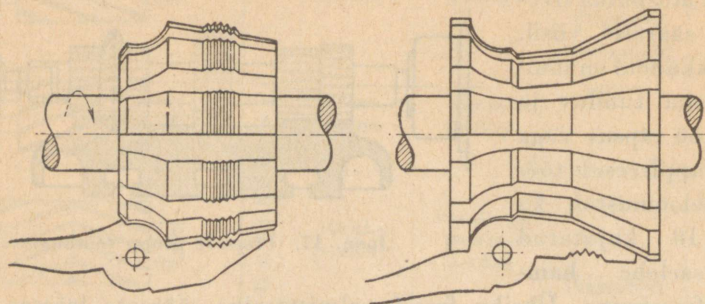
Joon. 18. Saelehe hammaste freesimine.

Suure freeside grupi moodustavad väga mitmesuguse kujuga vormfree-

sid. Siia kuuluvad peale võrdlemisi keerulise kujuga ja raadiusfreeside ka moodulfreesid hammasrataste hambalünkade freesimiseks. Vormfreesid valmistatakse taganttreimise teel; see töötlemisviis nõuab võrdlemisi suuri hambavahesid, mispärast säärasteil free-

sidel on tavaliselt ka võrdlemisi väike hammaste arv. Vormpindade töötlemisel freesitakse enamasti korruga pikad latid tervikuna või jällegi kinnitatakse terve pakk üksikuid osi paralleelkruustangide vahele.

Joonisel 19 on kujutatud montöörtangide mokapoolte freesimine erikujuliste vormfreesidega. Et säärased freesid on võrdlemisi hinna-

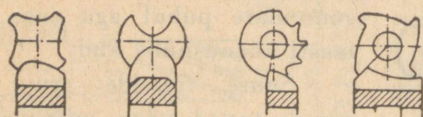


Joon. 19. Tangide mokapoolte freesimine.

lised tööriistad, siis väiksemate töötlusesemete arvu puhul nende valmistamine ei ole tasuv. Vormfreeside rakendamist mitmesuguste tööriistade freesimisel kujutab joon. 20.

Erifreespinkidel tigurataste ja mitut liiki hammasrataste hambalünkade freesimiseks kasutatakse tigufreese ja kruvikeermete freesimiseks keerme freese.

Väga suure läbimõõduga freeside puhul tõuseb materjalikulu võrdlemisi kõrgele, samuti on raskusi karastamisega. Neil kaalutlustel,

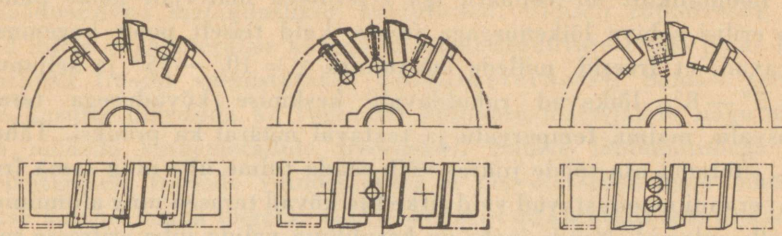


Joon. 20. Tööriistade vormfreesid.

samuti kui soovitakse lõiketerana kasutada kõvametalli, leiavad rakendamist nn. noapead. Viimaseil koosneb freesikeha kas pehmemast masinaterasest, terasvalust või väga suurte noapeade juures isegi kergemetallist. Üksi-

kute terade kinnitus sünnib kas kooniliste pidemete, pukside või kruvidega kinnitavate survepakude abil (joon. 21). Terade materjalina kasutatakse kas kiirlõiketerast või kõvametallist plaadikesi. Viimasel

juhul aga peab terade kinnitus olema eriti stabiilne, sest et nad muidu kergesti puruneda võivad.

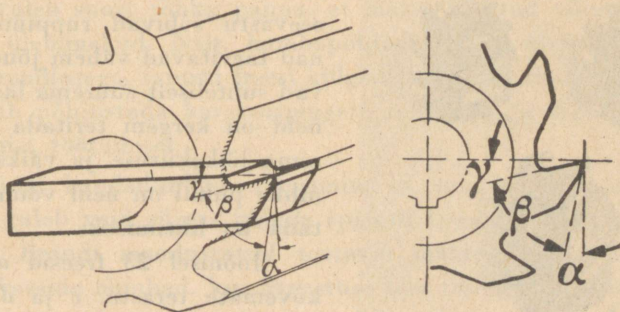


Joon. 21. Noapeade terade kinnitusviise.

Töötamine noapeadega on eriti kasulik, sest töödeldavale materjalile vastavalt saab üksikule lõiketerale anda sobivaima kuju. Edasi on jõukulutus freesimisel võrdlemisi väike, tööjõudlus aga hästi suur. Noapead on majanduslikult kasulikud just suurte tasapindade freesimisel.

Freeside lõikenurgad.

Freesi kui lõiketööriista juures leiame täpselt sarnased lõikenurgad kui trei- või hõövliterade juures. Üksikute nurkade nimetused ja tähistamisviisid on järgmised: α = seljanurk, β = kiilunurk, γ = laastunurk (joon. 22).



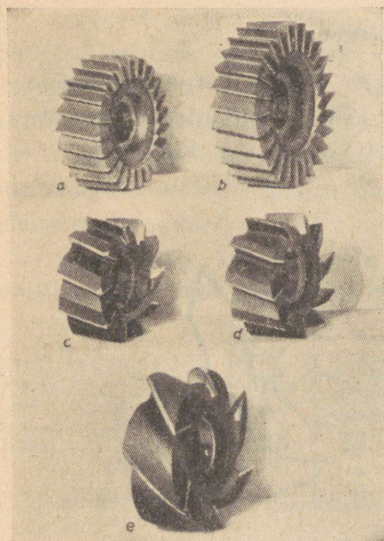
Joon. 22. Freesi lõikenurgad.

Ühe ning sama treiteraga ei saa võrdselt hästi treida mitmesuguse kõvadusega materjali — sama reegel on maksev ka freesi suhtes. Kui

5°-line laastunurk on sobivaim kõrgelt legeeritud terase freesimiseks, siis alumiiniumi jaoks see peaks olema 20°—25°.

Loomulikult on võimatu iga ettetuleva materjali jaoks pidada laos erilisi sobiva lõikenurgaga freese, kuid teiselt poolt kogemused näitavad, et freesid, millede laastunurk $\gamma = 10^\circ - 15^\circ$ ja seljanurk $\alpha = 5^\circ - 8^\circ$, lõikavad rahuldavalt keskmise kõvadusega terast, terasvalu, malmi, tempervalu ja teataval määral ka pronksi. Tähen-dab, suurema osa tööde juures võib saada toime ühe ning sama free-siga; erandi moodustavad vaid sitked ja kõvad terased ning alumiinium ja selle sulamid. Nende jaoks on kasulikum valida juba erifreese sobi-vate lõikenurkadega.

Üldiselt võib laastude järgi kergesti otsustada, kas freesi lõike-nurgad on õiged. Heaks tundemärgiks on, kui laastud on rõngas või spiraalisarnaselt keerdunud, siis frees lõikab õieti, kuna nõela-, puru- või jahusarnased laastud näitavad, et freesi lõikenurgad ei ole sobivad antud materjali free-simiseks.



Joon. 23. Rull-laupfreese mitme-guste materjalide töötlemiseks.

Hammaste arv freesidel oleneb töö iseloomust ja freesitava mater-jali kõvadusest. Üldiselt on peene-mate hammastega freesid sobivad lihtimistöodeks ja kõvema materjali lõikamiseks. Jämehambulised freesid seevastu sobivad ruppimiseks, sest nad tarvitavad vähem jõudu, lõika-vad suhteliselt suurema laastuhulga, neid on kergem teritada ning suu-rema lõikekiiruse ja väiksema ette-nihke puhul on neid võimalik kasu-tada ka lihtimiseks.

Joonisel 23 freesid *a* ja *b* on kõvemate teraste, *c* ja *d* keskmise kõvadusega teraste lõikamiseks. Frees *e* on määratud kergemetallide, s. o. alumiiniumisulamite töötlemiseks.

Freeside valmistamine.

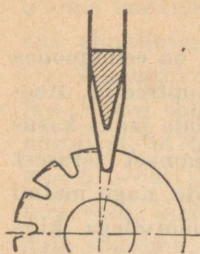
Freeside valmistamiseks vajaliku materjali valik on esmajoones mõõduandvad majanduslikud kaalutlused. Üldiselt ruppfree sid, free sid mitte väga keerulise kujuga ja sageli korduvate tööde jaoks kasu tatavad freesid valmistatakse kiirlõiketerasest. Samast terasest on kasulik tarvitada ka tugevasti kuluvate materjalide, nagu malmi ja mõnede kergemetallide freesimisel. Suurte läbimõõtudega kiir lõiketerasest freeside valmistamisel ei ole otstarbekohane materjali otse kangist maha lõigata, vaid soovitatav on kasutada seks otstarbeks ettesepistatud kettaid. Viimaste struktuur võrreldes suureläbimõõ duliste valtsitud kangidega on märksa parem, mispärast ka freeside vastupidavus on tunduvalt suurem. Kiirlõiketerase se pistamine on ala, mis nõuab väga suuri kogemusi, mispärast nimetatud tööd on kasulikum jätta sellekohaste eritehaste hoolde.

Lihtimiseks kasutatavad freesid valmistatakse sageli süsinik terasest. Erandi moodustavad vaid freesid malmi ja kergemetallide töötlemiseks, millede materjaliks on kasulikum valida kiirlõiketerast. Väikesi teravahambulisi ja raskesti karastata vaid freese, samuti sääraseid, millede materjalikulu võrreldes tööga on väga suur, val mistatakse samuti süsinik- või siis nõrgalt legeritud terasest.

Freeside karastamise tagajärg on peale temperatuuri, jahutus vahendi jne. väga suurel määral rippuv free si kujust. Freeside valmis tamisel tuleb suurt rõhku panna, et oleks välditud võimalikult kõik teravad üleminekud. Näit. hambapõhjad peavad olema valmistatud väikese raadiusega, samuti free si külgedel olevad nabad jne. Iga terav nurk võib põhjustada karastuspingete tekkimist ja free si enneaegset purunemist töötamisel.

Üldiselt hambalünkade freesimine ei erine tavalistest freesimis töödest, tuleb vaid silmas pidada spiraali freesimise ja jagamise üld reegleid. Erandi moodustavad teataval määral vaid lauphammaste ja nurkfree side hambad, kus arvestuse teel tuleb leida sobiv jagamis pea kallutusnurk.

Taganttreitud (kukaldate) freeside valmistuskäik peale kuk latreimise ei erine tavalisest. Nende töötlemine peab sündima vaid märksa suurema hoolega, eriti tsentreerimine peab olema täpne. Edasi



Joon. 24. Freesi hambalünkade freesimine.

tuleb hoolitseda, et hambalünkade freesimisel töölusese seisaks korralikult torni peal kinni ega saaks end ära pöörata, vastasel korral hammaste jagamine ei ole õige ja frees, kui teda tublisti järel ei lihvita, töötab viskumisega. Kui vähegi võimalik, tuleb seejärel kasutada kiiluga varustatud hoidtorni. Tagantreitud freeside hambalünkade freesimiseks on sobiv frees, mille hambanurk on 18° — 22° piirides (joon. 24). Järgnevaks kuklatreimiseks kõlbab ainult sellekohane eritreipink või siis eriseadmega varustatud universaaltreipink.

Freeside teritamine.

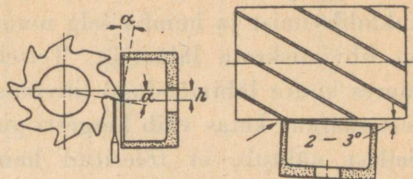
Üldiseks reegliks on, et freese tuleb teritada võimalikult sagedamini: liiga tugeva nürinemise puhul tuleb palju materjali maha lihvida, ja kui seda ei tehta küllaldase ettevaatusega, lastakse järele freesi hambad või jällegi tekivad neis lihvimispraod. Edasi kogemused näitavad, et üldine aja- ja rahakulu on freesi sagedase teritamise puhul märksa väiksem võrreldes töötamisega järjest rohkem nürineva freesiga.

Karastatud terase lihvimiseks kasutatakse lihvimiskettaid kunstlikust või loomulikust korundist. Sideaineks on enamasti keraamiline mass, millele põletamisel 1500° käes antakse vajalik tugevus. Lihvimisketta kõvaduse all mõistame üldiselt mitte ta korunditerakeste, vaid sideaine kõvadust. Nimelt selleks, et pääseksid tööle värsked teravate kantidega terakesed, peavad nüriks muutunud korunditerakesed töötamisel iseenesest välja murduma. Mida kõvem on sideaine, seda raskemini nürid terakesed murduvad välja, seda väiksem on lihvimisketta kulumine ja seda kõvem paistab meile olevat lihvimisketas. Ühe ning sama sideaine puhul lihvimisketas on seda kõvem, mida peenemad on korunditerakesed, samuti mida vähem on sideainet võrreldes terakestega. Lihvimisketaste kõvadust tähistatakse enamasti tähestiku abil, kusjuures kõvadus tõuseb koos viimasega. Karastatud terase lihvimiseks on otstarbekohased ainult pehmed ja keskmise kõvadusega lihvimiskettad kõvadusastmega *G* ja *N* vahel. Õige kõvaduse ja terasuuruse määramisel on abiks lihvimiskettaid valmistavad

tehased, tuleb vaid üles anda lihvitav materjal ja kasutada oleva lihvpingi andmed.

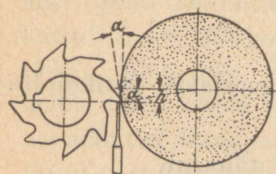
Freeditud, s. o. sirgete hammastega freeside teritamiseks kasutatakse kas potikujulisi (joon. 25) või lamedaid lihvimiskettaid (joon. 26). Igal juhul tuleb teritamisel kasutada hambatuge, mis toetub vastu hamba rinda, hoides seda liikumatult tarvilikus asendis.

Teritamisel ei ole soovitatav suruda lihvimisketast liiga tugevasti vastu teritatavat freesi hammas; hoopis kasulik on üksik hammas mitu korda üle lihvida, selle asemel et seda ühe võttega lõplikult valmis teritada. Teritamisel kasutatavad tornid peavad hästi sobima freesi puurega ega tohi vähimalgi määral viskuda, vastasel korral freesi hambad ei tule ühepikkused, töötamisel ei löika võrdselt, frees nürineb ruttu ja hambad võivad kergesti murduda. Umbes



Joon. 25. Freesi teritamine potikujulise lihvimiskettaga.

sama olukord tekib, kui teritada väga tugevasti kulunud freese eelneva ümarlihvimiseta. Tuleb nimelt kõige pealt ümarlihvpingil kõik freesi hambad lihvida ühepikkus-teks ja alles siis võib asuda nende teritamisele. Lihvimine sünnib enamasti kuivalt; juhul aga kui kasutatakse jahutusvedelikku, peab selle juurdevool olema hästi rikkalik.



Joon. 26. Teritamine lameda lihvimiskettaga.

Erilist tähelepanu tuleb pöörata freesi lõikenurgale. Freesitud hammastega freeside teritamisel tuleb see nimelt hamba kukla lihvimisega iga kord uuesti moodustada. Kui seda kuklalihvimist ei toimetata küllaldase hoolega, mille tagajärjel lõikenurk tuleb liiga suur või liiga väike, ei saa loomulikult juttugi olla freesi korralikust lõikamisest.

Kuklalihvimisel nurk α võetakse terase, malmi, vase ja pronksi freesimisel 5° , kergemetallide jaoks 8° . Juhul kui teritamiseks kasutatakse potikujulist lihvimisketast (joon.25), siis vajaliku kuklanurga

saavutamiseks freesi telg tuleb tõsta üle hambatoe-otsa suuruse võrra, mille tähistame tähega h . Kui aga kasutatakse harilikke lamedaid lihvimiskettaid, siis tuleb tõsta lihvimisketta telg suuruse h võrra üle freesi telje (joon. 26).

Nagu joon. 26 nähtub, ei võimalda harilikud lihvimiskettad sirget kuklalihvimist ja hamba selg muutub seda õõnsamaks, mida väiksem on lihvimisketta läbimõõt. Teiselt poolt freesi suurte läbimõõtude juures suure läbimõõduga lihvimisketta kasutamine on raskendatud, sest säärane ketas võib kergesti puudutada freesil ka naaberhammast. Sellest nähtub, et freesitud hammastega freeside teritamiseks on kasulikum tarvitada potikujulisi lihvimiskettaid. Et aga viimastel töötab ainult üks serv, siis peab lihvpingi telg freesi teljega olema 3-kraadise nurga all (joon. 25).

Erandina kooniliste freeside teritamisel saab kasutada ainult lamedaid lihvimiskettaid.

Seadekõrgust h (joon. 25 ja 26) arvutatakse järgmiselt:

$$h = \frac{D}{2} \cdot \sin \alpha$$

α = kuklalihvimise nurk (seljanurk)

D = freesi läbimõõt millimeetris, kui kasutatakse potikujulisi lihvimiskettaid.

Lamedate lihvimisketaste kasutamisel aga tähistab

D = lihvimisketta (mitte freesi) läbimõõtu samuti millimeetris.

Näide: Teritada frees, mille läbimõõt = 80 mm, kasutades potikujulist lihvimisketast. Kui suur on seadekõrgus h ?

$$h = \frac{D}{2} \cdot \sin \alpha = \frac{80}{2} \cdot \sin 5^\circ = 40 \cdot 0,087 = 3,48 \approx 3,5 \text{ mm.}$$

Näide: Frees vabalt valitava läbimõõduga tuleb teritada lameda lihvimiskettaga, mille läbimõõt = 120 mm. Nurk α olgu 5° , leida seadekõrgus h .

$$h = \frac{D}{2} \sin \alpha = \frac{120}{2} \cdot \sin 5^\circ = 60 \cdot 0,087 = 5,2 \text{ mm}$$

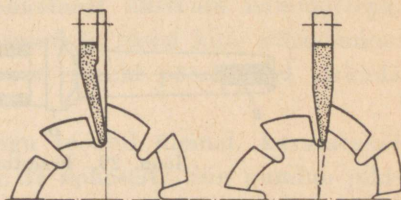
Tabel 2. Seadekõrgus freesi lihvimisel, kui teritusnurk on 5°.

Läbimõõt mm	Seadekõrgus h mm, kui $\alpha = 5^\circ$	Läbimõõt mm	Seadekõrgus h mm, kui $\alpha = 5^\circ$
10	0,4	90	3,9
20	0,9	100	4,4
30	1,3	120	5,2
40	1,7	140	6,1
50	2,2	160	7,0
60	2,6	180	7,8
70	3,0	200	8,7
80	3,5		

Freesi hamba selg ei tohi muutuda liiga laiaks, sest vastasel korral hakkab frees töötuspinda muljuma ja laastude ärajooks on samuti takistatud. Sobivaimaks lõikeserva laiuseks on 0,5—2 mm; muutub ta aga laiemaks, tuleb hamba rinda natuke järellihvida. On aga frees juba pikemat aega hooletusse jäetud, siis ei ole viga lihvimisega enam parandatav. Sel juhul ei jää muud üle kui frees pehmeks hõõgutada ja hambad järelfreesida. Et freeside teritamisel vältida kraadi tekkimist, peab lihvimisketas pöörlema lõiketerale vastu. Lihvimisketas katsub freesi küll hambatoelt ära tõsta, tuleb aga õiges asendis hoida, tarbe korral hoidtorni ümber mähitud rihma ja sellele kinnitatud vastukaalu abil.

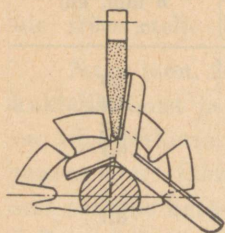
Taganttreitid freesidel lihvitakse teritamise otstarbel ainult hamba rind, kusjuures sirgete rihvadega vormfreesidel see sünnib taldrikukujuliste lihvimisketastega. Spiraalsete rihvade puhul seevastu tuleb kasutada (joon. 27) nõrgalt koonilise põiklõikega lamedaid lihvimiskettaid. Hambatugi peab siin toetuma vastu hamba selga.

Taganttreitid freesidel hamba rinda sirgjoonelisel pikendades peab see tingimata läbima freesi tsentri või, teiste sõnadega, jooksmata radiaalselt. Kõrvalekaldumised sellest reeglist mõjutavad töötlusese freesitud vormipinda, andes viimasele moonutatud kuju, ning lisaks



Joon. 27. Taganttreitid freeside teritamine.

sellele ei ole lõikenurk õige. Lihvimisel kasutatakse seepärast lihvimisketta ja freesi õigeks ülesseadmiseks joon. 28 kujutatud šablooni.



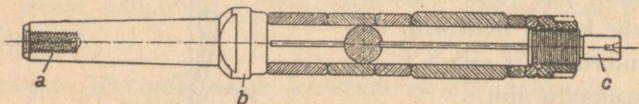
Joon. 28. Lihvimisketta ülesseadmine sabloni abil.

Värskest teritatud freesid töötavad sageli esialgu mürarikkalt; see nähtus on kõrvaldatav, kui freesi lõiketerasid pärast lihvimist õlikiviga ihutakse. Lisaks sellele sääraselt käsitsetud frees püsib hoopis kauemini terav, mispärast säärast talitusviisi on kasulik siduda iga freesi teritamisega.

Kõvametallplaadikestega freeside lihvimine nõuab erilist hoolt. Siin tuleb teritamisel lihvimiskettal tingimata lasta töötada vastu lõiketera. Edasi tuleb silmas pidada, et kasutataks ainult kõvametalli lihvimiseks sobivaid eri lihvimiskettaid siliitsiumkarbiidist, ja lõpuks peab järgnema terade üleihumine õlikiviga.

Freeside kinnitamine.

Kõige sagedamini toimub freesi ühendamine freespingi spindliga läbimineva freestorni, vaherõngaste ja pikikiilu abil. Joon. 29 kuju-

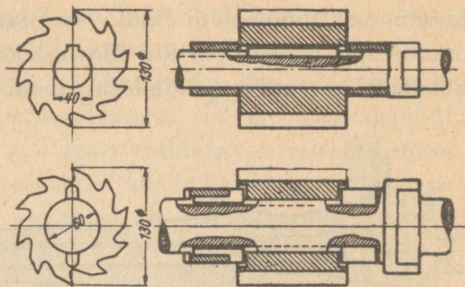


Joon. 29. Freestorn ühes vaherõngastega.

tatud freestorn kinnitatakse koonustapiga freespingi spindli avasse ja hoitakse seal spindlist läbimineva ja keermeosa *a* sisse kruvitava poldi abil kinni. Et kindlustada freestorni libisemiseta kaasavõtmist freesspindli poolt, on ta varustatud lameda osaga *b*, mis ulatub spindli vastavasse väljalõikesse. Silindriline tapp *c* on freestorni toetamiseks. Freestornile asetatakse rida mitmesuguses laiuses vaherõngaid, millede abil frees hoitakse soovitud asendis. Otstarbekohane on kasutada kruvikeerme abil reguleeritavat vaherõngast. Viimane on varustatud jaotusskaalaga, mille abil vastavat seadet on kerge loendada. Rõngas ise on valmistatud karastatud terasest.

Freestorni terav kiilusoone on sagedaseks freeside purunemise põhjuseks ja teiseks ta võimaldab vaid võrdlemisi väikese avaga freeside kasutamist. On püütud leida paremaid kinnitusviise ja üheks sääraseks tuleb lugeda joon. 30 all näidatud lahendust.

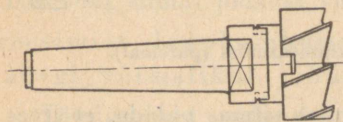
Läbimineva kiilusoone asemel varustatakse frees mõlemapoolsel otsal sisselöigetega, milledesse haaravad freestorni kaasavõtjad. Freesi puuret võib tunduvalt suurendada freesi nõrgestamata ja see on olulise tähtsusega, sest just peenike vetruv freestorn on enamasti freespingi nõrgimaks osaks.



Joon. 30. Freesi kinnitusviise.

Frees peab freestornile kergesti peale minema, ta ei tohi mingil tingimusel loksuda, kuid teda ei tohi ka pingule peale ajada. Tuleb hoolt kanda, et üksikute freestorni rõngaste vahele ei jääks mingit puru ega mustust, vastasel korral tõmbub torn kinnitusmutri pingutamisel kõveraks ja frees töötab tõukeliselt üksikute hammastega, mille tagajärjeks on ebapuhas töötuspind ja freesi kiire nürinemine. Töötamiseks masinasse kinnitatud frees ei tohi pöörlemisel viskuda rohkem kui 0,05 mm.

Umbes samadel kaalutlustel, nagu toodud ülimal, kasutatakse laupreeside kinnitamiseks torne joon. 31 kohaselt. Siin puudub piki-kiil, mille aset täidab põiktappidega varustatud karastatud terasest vahe-
rõngas. Ülekoormatuse puhul murdub ainult vahe-
rõngas, kuna frees jääb terveks; rikkumata jääb ka freestorn.

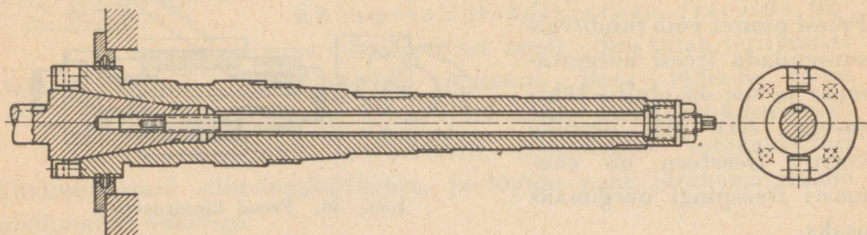


Joon. 31. Laupreesi kinnitamine tornile.

Tappfreeside kinnitamiseks on koonustapp ühes lamedate kaasavõtupindadega kõige lihtsam abinõu. Freesi löikesuund seejuures võib olla nii vasak- kui ka parempoolne. Eelduseks siinjuures on, et koonus sobiks hästi oma pessa, vastasel

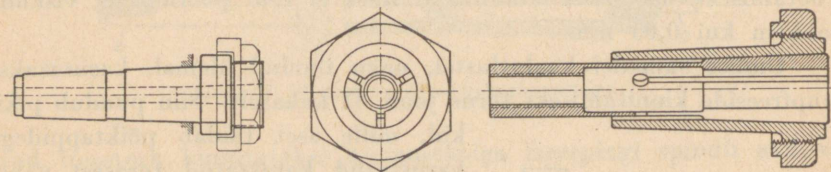
korral võib frees töötamisel kergesti lahti põruda ja puruneda või töötlusheset rikkuda.

Viimane kinnitusviis ei sobi spiraalhammastega tappfreesidele, sest et löikesurve püüab neid freespingi spindlist välja rebida. Sel puhul on otstarbekohane kinnitada tappfrees freespingi spindlist läbimineva tõmbepoldi abil, kusjuures suuremad freesid, millede koonustapp on suurem kui Morse-koonus 3, varustatakse lisaks veel lamedate kaasavõtu-pindadega (joon. 32).



Joon. 32. Tappfreesi kinnitamine freesspindli koonuspesasse.

Väikeste freeside kinnitamiseks suuremõõdulistesse spindliavadesse kasutatakse üleminekuhülssi joon. 33 kohaselt. Umbes 1—16-mm silindriliste tappidega varustatud freeside hoidmiseks on otstarbekohased lõhestatud kinnitushülssid, nn. haardepihid (joon. 33).



Joon. 33. Üleminekuhülss (vasakul) ja kinnitushülss (paremal).

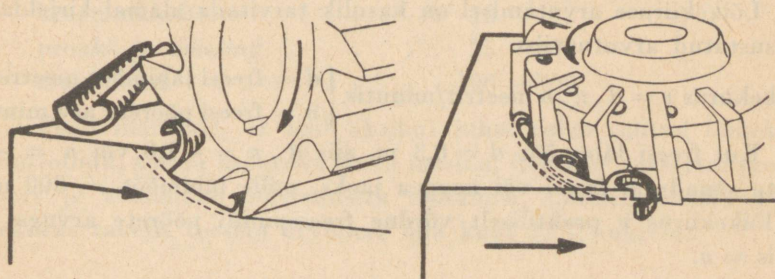
Kõigi freeside kinnitusviiside puhul tuleb silmas pidada, et frees töötamisel mingil tingimusel ei viskuks.

Lõikekiirus, ettenihe ja kinnitusabinõud.

Lõikekiirus ja selle arvutus.

Freesimisel tehakse kahe töötlusviisi vahel põhimõttelist vahet, nimelt freesimine ümbrishammastega, näit. rullfreesidega, vormfreesidega jne., ja teiseks freesimine lauphammastega (noapead ja teised laupfreesid). Kui freesimist lauphambulise freesiga võrrelda hõõveldamisega, siis näeme, et laastueraldamise viis on mõlemal juhul väga sarnane ja ühteviisi soodus, sest laast eraldatakse treiterasarnase lõiketera abil. Ainus vahe on, et freesimisel ühe lõiketera asemel töötab mitu tera ja üksiku koormus on seepärast hoopis väiksem.

Rullfreesi laast on komakujuline, kuna laupfreesil või noapeal on parallelogrammikujuline (joon. 34). Seda parallelogrammikujulist



Joon. 34. Rull- ja laupfreesi laastu kuju.

laastu võib lahutada kaheks komakujuliseks osaks — lauphamba töövõimsus on seega kaks korda suurem kui rullfreesi ümbrishambal. Ülaloodud silmas pidades võime kujundada üldise reegli: freesimist lauphambulise freesiga tuleb eelistada igal vähegi võimalikul juhul.

Töötluspinna puhtus freesimisel on sõltuv freesi viskumisest pöörlemisel. Täiesti viskumiseta jooksvat freesi on raske leida. Et aga viskumine lauphammastega freesi töös on vaevalt märgatav, siis viskava rullfreesi puhul tekivad töötluseseme pinnal vaod, mis korduvad iga freesi täispöördega ja on seda sügavamad, mida suurem on freesi viskumine.

Valitseb arvamine, nagu iseloomustaks materjali tõmbetugevus seda, kuivõrd hästi üks või teine materjal on töödeldav freesimise või treimise teel. Maksvaks aga võib väidet lugeda ainult puht-süsinikteraste suhtes, ja ka siin vaid eeldusel, et üksikud võrreldavad terased on läbi teinud võrdse soojuskäsitluse ning seega omavad ühesugust struktuuri. Legeeritud teraste juures on olukord sootuks teine. Nii näit. laseb end korralikult parendatud CrNi-teras, mille tõmbetugevus on 110 kg/mm^2 , hoopis hõlpsamini freesida kui nõrgalt legeeritud hõõgutatud tööriistateras tõmbetugevusega 70 kg/mm^2 , mille hõõgutamine aga ei ole laitmatult ühtlane. Huvitav on ka veel tähendada, et üks ning sama materjal ei tarvitse veel olla võrdselt-hästi treitav, freesitav ja puuritav, vaid siingi on suured erinevused võimalikud.

Lõikekiiruse all mõistetakse teekonda meetreis, mida teeb üksik freesi hammas minutis.

Lõikekiiruse arvutamisel on kasulik tarvitada alamal kirjeldatud lihtsustatud arvutusviisi.

Lõikekiirus $v = d \cdot \pi \cdot n$ meetrit/minutis $\begin{cases} d = \text{freesi läbimõõt meetreis} \\ n = \text{freesi pöörete arv minutis} \end{cases}$

Kui freesi läbimõõt $d = 0,3 \text{ m}$, siis $d \cdot \pi = \sim 1,0$ või $n = \sim v$, teiste sõnadega, freesi või noapea jaoks, mille läbimõõt = 300 mm , on lõikekiirus v praktiliselt võrdne freesspindli pöörete arvuga minutis = n .

Seega kui

freesi läbimõõt $d = 300 \ 150 \ 100 \ 60 \ 50 \ 30 \text{ mm}$,

siis vastav lõikekiirus $v = \frac{1}{1} \ \frac{1}{2} \ \frac{1}{3} \ \frac{1}{5} \ \frac{1}{6} \ \frac{1}{10}$ freesspindli pöörete arvust minutis.

Tähendab: kui näit. spindli pöörete arv $n = 150$ ja freesi läbimõõt $d = 60 \text{ mm}$, siis lõikekiirus $v = \frac{1}{5} \cdot 150 = 30 \text{ m/min}$.

Ka vahepealsete arvude jaoks on kerge leida vastav lõikekiirus.

Näide: Rullfreesil läbimõõduga 90 mm on lõikekiirus $v = \frac{1}{3} \cdot \frac{90}{100} = \frac{3}{10}$ freesspindli pöörete arvust.

Kui $n = 100$ pöoret/minutis, siis $v = \frac{3}{10} \cdot 100 = 30 \text{ m/min}$.

Samuti lihtsalt leiame freesspindli pöörete arvu n , kui on antud lõikekiirus v .

Kasutades valemit $n = \frac{v}{d \cdot \pi}$ või võttes abiks ülaltoodud lihtsustuse, siis kui:

$$d = 300 \ 150 \ 100 \ 60 \ 50 \ 30 \text{ mm,}$$

$$n = v \ 2v \ 3v \ 5v \ 6v \ 10v.$$

Näide: Kui freesi läbimõõt = 60 mm, löikekiirus $v = 30$ m/min., siis $n = 5v = 5 \cdot 30 = 150$.

Vahepealsete arvude jaoks leiame vastavad väärtused järgmiselt:
näit.: $d = 90$ mm ja $v = 30$ m/min., siis

$$n = \frac{0,3 \cdot v}{d} = \frac{0,3 \cdot 30}{0,09} = \frac{9}{0,09} = 100 \text{ m/min.}$$

Kasutades kiirlöiketerasest freese, on keskmine löikekiirus alamal toodud materjalide ruppimisel järgmine:

malm ja terasvalu	15 — 20	meetrit/minutis
masinateras ja tempervalu	13 — 18	„
kroomnikkelteras	10 — 12	„
pronks ja messing	25 — 35	„
alumiinium	100 — 300	„

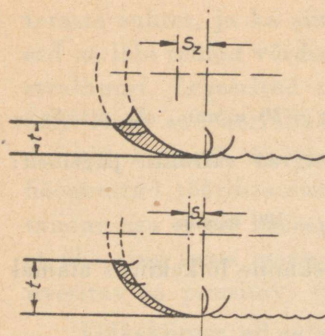
Peab märkima, et igal üksikul juhul tuleb valitud löikekiirust kontrollida, kas ta kasutada oleva masina, freesi ja freestorni jaoks on sobiv ja võimaldab põrsemiseta töötamist. Lihtimistödel võib löikekiirus tabelis toodud arvudest olla kuni 25% suurem.

Ettenihe freesimisel.

Ettenihet freesimisel tuleb teataval määral vaadelda koos löikekiiruse ja löikesügavusega. Ettenihke kiiruse all mõistame teekonna pikkust millimeetris, mida freespingi suurt ja koos viimasega töötlusese teeb ühe minuti jooksul. Ta on suuresti sõltuv löikesügavusest kui ka soovitava pinna puhtusest ja kõigub ruppimisel 100—500 mm min. ja lihtimisel 10—50 mm/min. piirides. Suuremad arvud käivad erikujuliste suure löikevõimega kiirlöiketerasest freeside kohta kerge-metallide löikamisel.

Joon. 35 kujutab freeslaastu tekkimist üks kord, kui löikesügavus on väike ja ettenihe arvestatud freesi üksiku hamba kohta on suur. Teine kord on löikesügavus suur, see-est aga ettenihe hamba kohta

väike. Nagu joonestusest nähtub, on laastusuuruse vahe üsna tunduv. Juhul kui soovitakse saada suuremat laastuhulka, on seepärast kasu-



Joon. 35. Freeslaastu suurus, olenedes löikesügavusest ja ettenihkest.

t = löikesügavus.
 S_z = ettenihe freesi hamba kohta.
 h = laastu paksus.

likum töötada suure ettenihke-kiirusega ja väikese löikesügavusega. On ekslik oletada, et suurema laastusügavusega saavutatakse freesimisel suurem laastuhulk. Suurema laastuhulga saame just võrdlemisi väikese laastusügavusega, kuid freespingi suporti suure ettenihke-kiirusega.

Kui kolmanda suurusena võtta arvesse veel löikekiirust, võime kujundada järgmise tähtsa põhireegli:

Ruppimisel, kus töötluspinna puhtus ja täpsus ei ole olulised, vaid tähtis on võimalikult suurem laastuhulk, tuleb töötada suure ettenihke-kiirusega ja väikese löikekiirusega.

Üldiselt ruppimistöõde puhul tuleb freesimisel valida väike löikekiirus (freesi pöörete arv) ja suur ettenihe; lihtimistöõdel seevastu, kus on oluline töötluspinna puhtus, suurem löikekiirus ja väiksem ettenihe.

Valmistusaeg, s. o. masinaaeg on täiel määral rippuv kasutatud ettenihke-kiirusest, mitte aga freesi löikekiirusest (pöörete arvust).

Ettenihke suuruse kohta on võimatu anda reeglit, mis oleks maksev igas olukorras, sest freesimistöõ on liialt sõltuv paljudest muutlikest asjaoludest, nagu töötluseseme materjali kõvadusest, masina seisukorrast, nõutavast pinnapuhtusest, löikesügavusest, freesi ja freestorni seisukorrast jne. Erialasest kirjandusest võib küll leida tabeleid, millel ettenihke suurus freesimisel antakse millimeetris freesi hamba kohta, kuid et see on suuresti sõltuv vastava freesi ehitusest, siis võib neid kasutada vaid teatava ettevaatusega.

Sobivaim ettenihke suurus tehakse kindlaks ikkagi katselisel teel, ja nimelt alatakse võrdlemisi väikese ettenihkega, tõstes viimast järk-

Järgult suuruseni, millist võimaldab freespingi tugevus, pidades aga seejuures silmas, et selle all ei kannataks töö puhtus.

Jahutus.

Jahutus üle kogu freesipinna valguva jahutusvedelikuga on edukaks töötamiseks tingimata tarvilik.

Jahutusvedeliku juga peab olema küllaldaselt tugev ja nii juhitud, et ta suudaks pesta maha freesi hamba rinna külge kleepunud laaste, vastasel korral viimased satuvad freesi hamba ja töötluspinna vahele, rikkudes viimase pinnapuhtust. Jahutusvedeliku ülesanne aga ei seisne mitte ainuüksi freesi jahutamises, vaid ka freesi ja töötluspinna vahelise hõõrumise vähendamises. Selleks peab jahutusvedelik sisaldama küllaldaselt määralt õli või rasva. Pehmema terase freesimisel on jahutusvedelikuks õliemulsioon, nagu seda kasutatakse ka puurimis- ja treimistöde juures, s. o. puurimisõli ja vesi segatakse vahekorras 1 : 10. Teatavaks puuduseks on säärase jahutusvedeliku võrdlemisi nõrk roostekaitsevõime, mispärast talle soovitatakse lisada kuni 5% soodat. Peab aga juurde lisama, et kuna puurimisõlisid valmistatakse mitmes eri sordis, siis on kasulik ses asjas enne õlivalmistava tehasega ühendusse astuda. Õliemulsiooniga töötades peab silmas pidama, et emulgeerunud rasv jääb suuremal määralt laastude külge kui vesi ja ühes sellega jahutusvedelik muutuks järjest lahjemaks.

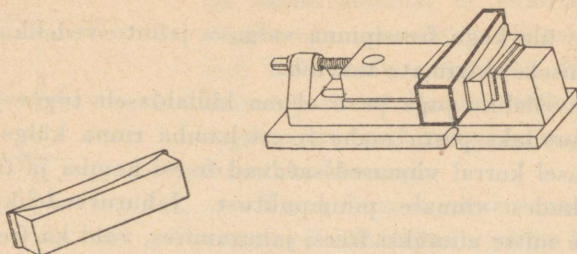
Kõvemate ja suure tugevusega legeritud ehitusteraste lõikamisel kasutatakse väga edukalt erilisi nn. lõikeõlisid. Keermefreesimiseks sobib ka segu kahest osast naeriõlist ja ühest osast petrooleumist.

Malmi freesimisel kasutatakse jahutuseks ja laastude ärapuhumiseks sageli suruõhku. Masina juures töotajale kui ka masinale aga mõjub peenike malmitolm kahjulikult, mispärast säärase tööviisi ei saa soovitada.

Kinnitusabinõud.

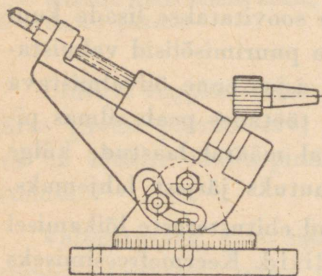
Üldisem kinnitusabinõu freespinkide juures on masinakruustangid. Viimaseid valmistatakse kas paralleelpakkidega või siis üks neist on silindrilise tapi ümber liikuv ja võimaldab seetõttu nõrgalt

koonilisi või muu ebakorrapärase kujuga tötlusesemete kinnitamist. Juhul kui sääraseid esemeid sobivate kruustangide puudusel tuleb kinnitada paralleelkruustangide vahele, on otstarbekohane kasutada liikuvat vahetükki joon. 36 kohaselt. Edasi valmistatakse rida eri-



Joon. 36. Paralleelkruustangid liikuva vahetükiga.

kujulisi kruustange, samuti sääraseid, mis oma alusel on telje ümber pööratavad ja horisontaaltasapinnas kallutatavad (joon. 37). Kinnitamine iseenesest sünnib masinakruustangide juures enamasti kruvispindli, harvem ekstsentriga või põlvkangi abil.

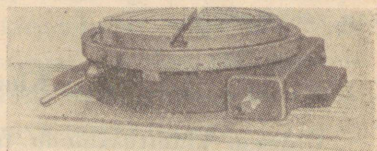


Joon. 37. Kallutatavad masinakruustangid.

Sageli ei ole tötluseset võimalik kinnitada kruustangide vahele; sel juhul kasutatakse poltidega varustatud kinnitusklambreid. Rohkem kasutatav on U-sarnane kuju. Tuleb silmas pidada, et kinnitus-

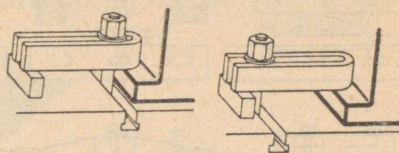
Sageli ei ole tötluseset võimalik kinnitada kruustangide vahele; sel juhul kasutatakse poltidega varustatud kinnitusklambreid. Rohkem kasutatav on U-sarnane kuju. Tuleb silmas pidada, et kinnitus-

Ümmarguste sise- ja välispindade freesimiseks kasutatakse eriti vertikaalfreespinkidel pealeasetatavaid automaatselt või käsitsi pööratavaid ümmargusi töölaudu (joon. 38). Et võimaldada tötluseseme hõlpsamat ja täpsemat jagamist osadeks, on sageli ette nähtud veel eriline auguringidega varustatud jaotusketas.



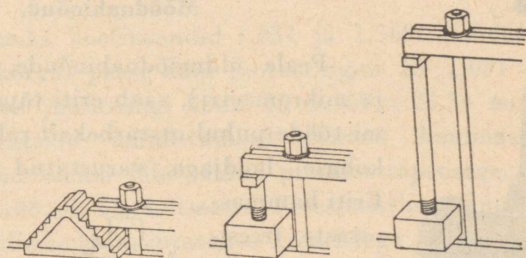
Joon. 38. Ümmargune töölaud ja selle jaotusketas.

polt ei asetseks kinnitatavast töötlesesemest liialt kaugel (joon. 39), sest selle all kannataks tunduvalt kinnituse tugevus. Paralleelse asetuse saavutamiseks tuleb kinnitusklaabri otsa toetada sobiva teraspakuga. Suuremate kõrguste juures saab kasulikult rakendada treppalust, veel suuremate juures aga alust, mille jala moodustab puhas kandiline teraspakk ja mille sisse on kruvitud T-kujulise peaga, tarviliku pikkusega polt (joon. 40).



Joon. 39. Kinnitusklaabrid: vasakul õige ja paremal väär kinnitusviis.

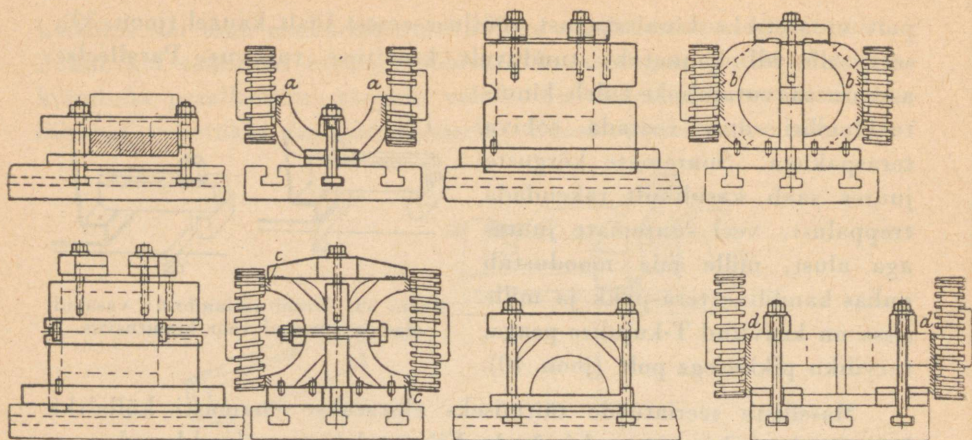
Massiliste seeriatööde täitmiseks ehitatakse enamasti küllaltki keerulised erikinnitusabinõud. Viimased aga võimaldavad see-eest kiire ja kindla kinnituse ja abinõu valmistamiseks kulutatud aeg võidetakse varsti tagasi. Lihtsamat säärast erikinnitusabinõude komp-



Joon. 40. Kinnitusklaabri alused.

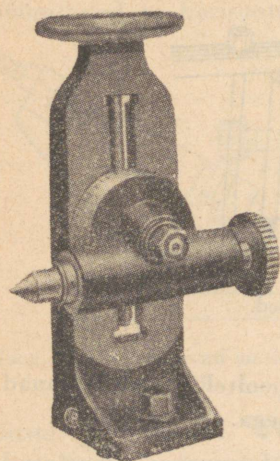
lekti kujutab joon. 41. Freesitakse telglaagri pooltel üksikud pinnad $a-d$, kusjuures on tegemist jooksva valmistusega.

Kooniliste reibalite, samuti muude saleda koonusega varustatud töötlesesemete freesimisel tuleb tavaliselt jagamispea juurde kuuluv väike kärnipukk asendada kõrgustsentriga. Viimane on kruvispindli abil vertikaalsuunas nihutatav ja igas soovitavas kõrguses kinnitav. Kärnitippu ennast on võimalik kindla nurga võrra kallutada, samuti on ta oma telje suunas hõlpsasti seatav (joon. 42).



Joon. 41. Erikinnitusabinõu komplekt.

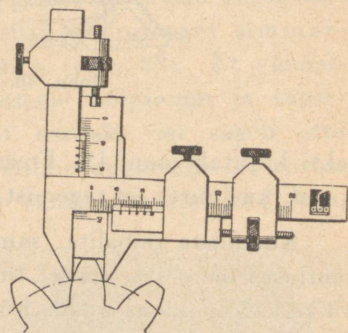
Mõõduabinõud.



Joon. 42. Kõrgustsenter.

Peale üldmõõduabinõude, nagu supleri ja mikromeetri¹, saab eriti täpsemate freesimistööde puhul otstarbekalt rakendada sellekohase hoidjaga varustatud ⁶⁰/₁₀₀ mõõdukella. Eriti hammasrattaste freesimisel saab selle abil hõlpsasti kontrollida, kas freesitav rattakeha või frees ise ei visku. Valmistöödeldud hammasratta hammaste mõõtude kontrollimiseks on olemas erisuplerid (joon. 43). Üles-alla liikuva ja jaotustega varus-

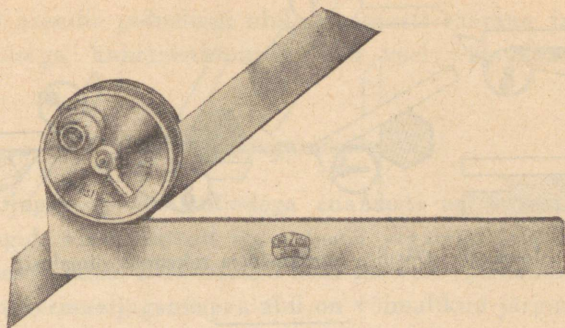
Peale üldmõõduabinõude, nagu supleri ja mikromeetri¹, saab eriti täpsemate freesimistööde puhul otstarbekalt rakendada sellekohase hoidjaga varustatud ⁶⁰/₁₀₀ mõõdukella. Eriti hammasrattaste freesimisel saab selle abil hõlpsasti kontrollida, kas freesitav rattakeha või frees ise ei visku. Valmistöödeldud hammasratta hammaste mõõtude kontrollimiseks on olemas erisuplerid (joon. 43). Üles-alla liikuva ja jaotustega varus-



Joon. 43. Erisupler hammasrattaste mõõtmiseks.

¹ Üldmõõduabinõusid vaata ka sama autori raamatust „Metalltreimine“.

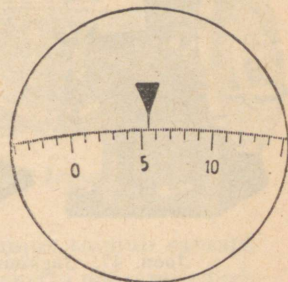
tatud keele abil saab mõõta hamba kõrgust hambapeast kuni jaotusringini. Supleri nokkadega seevastu mõõdetakse hamba paksust jaotusringi kohal. Mõõduriista juurde kuulub tabel ühes hammaste arvuga ja neile vastavate koefitsientidega. Nii leiame näit. tabelist



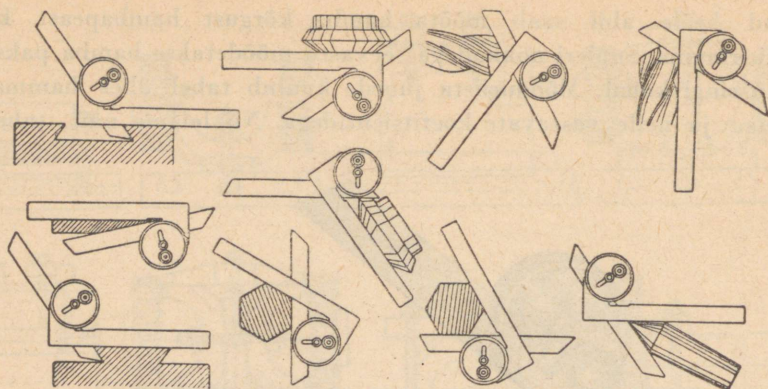
Joon. 44. Optiline nurgamõõtja C. Zeiss.

20 hamba jaoks koefitsiendid 1,031 ja 1,569. Moodul 15 jaoks oleks siis hamba kõrgus peast kuni jaotusringini $15 \cdot 1,031 = 15,46$ mm ja hamba paksus jaotusringi kohal $15 \cdot 1,569 = 23,54$ mm.

Koonusrataste valmistamisel peavad hammaste freesimisele eelnevad tööd olema läbi viidud piinliku täpsusega, vastasel korral rataste koostöö ei ole laitmatu. Freesimiseks valmis treitud ratta-keha kontrollimiseks kasutatakse kraadidega ja osakraadidega varustatud nurgamõõtjat. Teataval määral universaalne, seejuures kerge käsitseda ja täpne on C. Zeissi poolt valmistatud optiline nurgamõõtja (joon. 44). Mõõduriist on varustatud luubiga ja kraadidesse jaotatud klaasist jaotusringiga. Üksikute kraadide vahed on jagatud veel 6 ossa, mis võimaldab loendamist 10 minuti kaupa. Joon. 45 on kujutatud nimeetatud nurgamõõtja luubis nähtavat vaatevälja $\frac{1}{2}$ loomulikus suuruses seadega $5^\circ 30'$. Joon. 46 on kujutatud universaalnurgamõõtja mitmesuguseid rakendusvõimalusi.



Joon. 45. Optilise nurgamõõtja vaateväli.

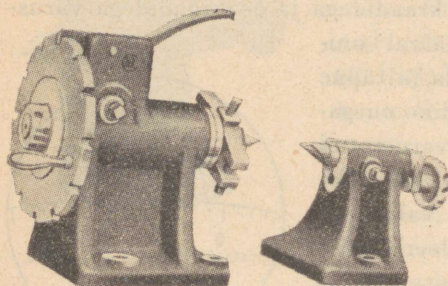


Joon. 46. Optilise nurgamõõtja rakendusvõimalusi.

Jagamispead ja nende kasutamine.

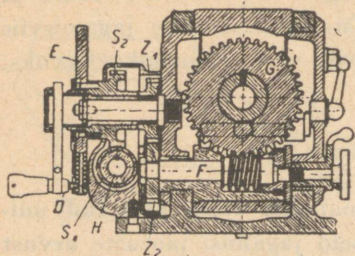
Jagamine lihtsa jagamispeadmega.

Freesimistöõde täitmisel tuleb sageli tööluseseme ümbermõõtu soonte või süvendite freesimise otstarbel jagada rohkemaks või vähemaks osadeks. Massilise valmistuse, kuid seejuures lihtsamate tööde puhul, nagu vindipuuridele nelikant- ja soonte freesimine, mutrite ja poltide kuus- ja kaheksakant-freesimine jne., leiavad kasutamist otsese jagamise põhimõttel töötavad jagamispukid (joon. 47). Viimase ehitus on väga lihtne. Ta koosneb vaid malmist valatud kerest ühes terraspindliga, mille üks ots kannab jaotusketast ja teine kärnitippu. Jaotusketas on varustatud nii mitme augu või väljalõikega, kui mitmeks osaks soovitakse jagada tööluseseme. Sobib aru-



Joon. 47. Jagamispukk.

ketta ees asetseb näitaja vänt D ühes pidemega, mis sobib täpselt auguringide avaustesse. Kui pöörata näitaja vänta D , siis see liikumine kandub hammasrataste Z_1 ja Z_2 kaudu tigule F ja sealt liikumatult spindlil asetseva tiguratta G kaudu jagamispea spindlile C . Valides jaotusketta E sobiva auguringiga, on võimalik läbi viia suur hulk mitmesuguseid jagamisi.



Joon. 49. Jagamispea põiklõige.

Tiguratas G valmistatakse kas 40, 60 või 80 hambaga ja seda kaalutlusel, et säärase hammaste arvuga on võimalik saavutada suurim hulk jagamisi. Kõige rohkem kasutatakse siiski jagamispäid, millele tigurattal on 40 hammas, kuna tigu ise on ühekäiguline. Kui säärase jagamispea näitaja vänta keerata 40 korda ringi, teeb tiguratas ja ühes sellega ka jagamisspindel ühe täispöörde. Soovitakse aga töötlusese ümbermõõtu jagada täpselt kaheks, tuleb tiguratast pöörata vaid 20 hamba võrra, tähendab: 40 jagatud kahega, s. o. $\frac{40}{2} = 20$, mitu pööret tulebki teha näitaja vändaga. Kaheksaks jagamise puhul tuleb vändaga teha $\frac{40}{8} = 5$ pööret. Nagu toodud näiteist selgub, võime kujundada järgmise reegli: Tiguratta G hammaste arv jagatud töötlusesele freesitavate jaotuste arvuga võrdub töötlusese ühe jaotuse saamiseks vajaliku näitaja vända pöörete arvuga.

$$\frac{\text{Jagamistiguratta hammaste arv}}{\text{Töötlusese jaotuste arv}} = \text{vända pöörete arv või } \frac{40}{Z} = n.$$

Jagamispeaga, mille tigurattal on 40 hammas, on võimalik ette võtta järgmisi jagamisi: 2; 4; 5; 8; 10; 20. Ja selleks on tarvilik, et jaotuskettal oleks vaid üksainus avaus.

Kui aga vahekord $\frac{\text{jagamistiguratta hammaste arv}}{\text{töötlusese jaotuste arv}} = \frac{40}{Z}$ ei moodusta täisarvu, seega ka üheks jaotuseks tarvilik vända pöörete arv ei ole täisarv, vaid sellele lisandub murdarv, siis ei piisa enam jaotusketta ühest avausest. Abiks tuleb sel juhul võtta rea auguringidega varustatud jaotuskettad.

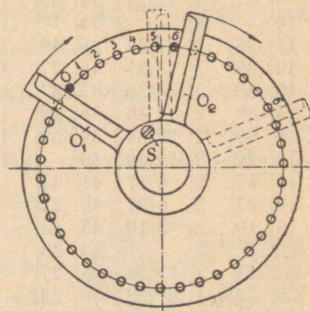
Näide: Kui on vajadus jagada töötlusese 25 osaks, siis $n = \frac{40}{Z} = \frac{40}{25} = 1\frac{15}{25}$; teeme vändaga ühe täispöörde, ülejäänud $\frac{15}{25}$ pöörde tegemiseks aga valime jaotusketta, mille auguringi avauste arv on 25, ja keerame vända 15 augu võrra edasi. Oleme kokku seega soovitud $1\frac{15}{25}$ pööret teinud. Et tavalises jaotusketaste komplektis 25 avausega ketast ei ole, siis võime viimase asemel kasutada olemasolevat ketast 20 avausega. Murru väärtus jääb muutmatuks, sest $1\frac{15}{25} = 1\frac{12}{20} = 1\frac{3}{5}$.

Joon. 50 on näha jaotusketas auguringiga. Et aukude loendamine on tülikas ja võib kergesti eksitusi juhtuda, siis, nagu joon. 50 nähtub, kasutatakse jaotuskettal seatavat harki, mille harude vahe haarab soovitud aukude arvu. Tuleb vaid silmas pidada, et aukude arv oleks ühe võrra suurem, käesoleval juhul seega 7; vända pide satub siis igal juhul vajaliku avause sisse.

Jagamispeadel 40-hambalise jaotus-
tiguga on enamasti olemas jaotuskettaid järgmiste auguringidega: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 27, 29, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49. Nagu kogemused näitavad, võimaldavad need suurima jagamiste arvu.

Jagamisi nende abil võimaldavad 2—50 piirides kõik arvud; 50—100 aga ainult paarisarvud ja säärased arvud, mis on jagatavad 5-ga. Üle 100 on üksikud hüpped juba suuremad. Lähemad andmed võimalike jagamiste üle leiame tabelist 3. Olemas on jaotuskettad järgmiste auguringidega: 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 23, 27, 29, 31, 33, 37, 39, 41, 43, 47, 49.

Juhul kui tekib vajadus jagada töötlusese näit. 51 osaks, mida normaalsete jaotusketastega ei ole võimalik teha, siis sel puhul, kui jääda kirjeldatud jagamisviisi juurde, tuleb valmistada erijaotusketas, mille aukude arv on 51. Eespool toodud valemi kohaselt vända pöörete arv on 40, tähendab, üksiku jaotuse saavutamiseks tuleb vändapidet edasi pöörata selle eriketia jaotusringil 40 augu võrra.



Joon. 50. Jaotusketas, mille hargivahe seatud jagamiseks kuuekaupa.

Tabel 3. Kaudne jagamine jagamispeaga, mille ülekande arv = 40.

Jaotuste arv	Anguring	Vända täispöörete arv	Anguringi aukude arv	Jaotuste arv	Anguring	Vända täispöörete arv	Anguringi aukude arv	Jaotuste arv	Anguring	Anguringi aukude arv	Jaotuste arv	Anguring	Anguringi aukude arv	Jaotuste arv	Anguring	Anguringi aukude arv
2	—	20	—	26	39	1	21/39	50	20	16/20	90	27	12/27	152	19	5/19
3	39	13	13/39	27	27	1	13/27	52	39	30/39	92	23	10/23	155	31	8/31
4	—	10	—	28	49	1	21/49	54	27	20/27	94	47	20/47	156	39	10/39
5	—	8	—	29	29	1	11/29	55	33	24/33	95	19	8/19	160	20	5/20
6	39	6	26/39	30	39	1	13/39	56	49	35/49	—	—	—	164	41	10/41
7	49	5	35/49	31	31	1	9/31	58	29	20/29	98	49	20/49	165	33	8/33
8	—	5	—	32	20	1	5/20	60	39	26/39	100	20	8/20	168	21	5/21
9	27	4	12/27	33	33	1	7/33	62	31	20/31	104	39	15/39	170	17	4/17
10	—	4	—	34	17	1	3/17	64	16	10/16	108	27	10/27	172	43	10/43
11	33	3	21/33	35	49	1	7/49	65	39	24/39	110	33	12/33	180	27	6/27
12	39	3	13/39	36	27	1	3/27	66	33	20/33	115	23	8/23	184	23	5/23
13	39	3	3/39	37	37	1	3/27	68	17	10/17	116	29	10/29	185	37	8/37
14	49	2	42/49	38	19	1	1/19	70	49	28/49	120	39	13/39	188	47	10/47
15	39	2	26/39	39	39	1	1/39	72	27	15/27	124	31	10/31	190	19	4/19
16	20	2	10/20	40	—	1	—	74	37	20/37	128	16	5/16	195	39	8/39
17	17	2	6/17	41	41	—	40/41	75	15	8/15	130	39	12/39	196	49	10/49
18	27	2	6/27	42	21	—	20/21	76	19	10/19	132	33	10/33	200	20	4/20
19	19	2	2/19	43	43	—	40/43	78	39	20/39	135	27	8/27	210	21	4/21
20	—	2	—	44	33	—	30/33	80	20	10/20	136	17	5/17	220	33	6/33
21	21	1	19/21	45	27	—	24/27	82	41	20/41	140	49	14/49	230	23	4/23
22	33	1	27/33	46	23	—	20/23	84	21	10/21	144	18	5/18	240	18	3/18
23	23	1	17/23	47	47	—	40/47	85	17	8/17	145	29	8/29	248	31	5/31
24	39	1	26/39	48	18	—	15/18	86	43	20/43	148	37	10/37	280	49	7/49
25	20	1	12/20	49	49	—	40/49	88	33	15/33	150	15	4/15	300	15	2/15

Tähistame tähega z — töötluseseeme soovitava jaotuste arvu;

$i = \frac{1}{40}$, s. o. vändaga tuleb teha 40 pööret tööt-
luseseeme ühe täispöörde saamiseks; (jagamis-
tiguratta hammaste arv = 40)

n — vända pöörete arv ühe soovitava jaotuse
saamiseks;

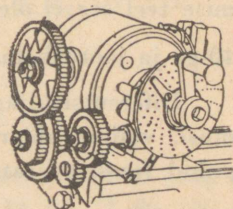
L — kasutatav auguring (aukude arv selles ringis);

l — aukude arv, mille võrra vända tuleb pöörata
üle täispöörde.

Näide: Töötleseme ümbermõõt tuleb jagada kuueks võrdseks osaks. Antud $z = 6$; $i = \frac{1}{40}$; $n = \frac{40}{z} = \frac{40}{6} = 6\frac{4}{6}$, tähendab, ühe osajagamise läbiviimiseks on tarvis 6 vända täispöoret, kuna jääk $\frac{4}{6}$ on suhteliselt võrdne suhtega l/L . Kui valime auguringi $L = 39$ auguga, siis $4:6 = l:39$ ja siit leiame, et $l = \frac{4 \cdot 39}{6} = 26$. Tähendab: peale kuue täispöörde tuleb vânta veel 26 augu võrra edasi keerata. Jaotusketta auguringi valikul tuleb ainult silmas pidada, et arvutamisel resultaadina saadud arv oleks igal juhul täisarv.

Kokkuvõttes: ühe osajagamise läbiviimisel suhe $n = \frac{40}{z}$ näitab vända täispöörde arvu, tekkiv murdeline jääk aga tuleb asendada võrdse murruga, mille nimetaja võrdub ühe olemasoleva auguringi aukude arvuga. Lugeja sel juhul määrab aukude arvu, mille võrra tuleb vânta täispöördeile lisaks veel edasi keerata.

Diferentsiaaljagamise abil on võimalik läbi viia kõik ettetulevad jagamised, kaasa arvatud ka paaritud arvud. Kasutamist leiab diferentsiaaljagamine neil juhtumel, kui üks eespool kirjeldatud jagamisviisidest ei anna tulemusi. Diferentsiaaljagamiseks tuleb vabastada jaotusketas E , mis pöörleb siis vabalt koos võlliga H , ühendatult viimasega tiguülekande $S_1 S_2$ kaudu (joon. 49). Edasi tuleb jagamispea spindel ja võll H omavahel ühendada vahetusratastega. Et võll H vahetusrataste kaudu on ühendatud jagamispea spindliga C , siis pöörates vânta D pöörleb ka spindel C , kuid ühtlasi vahetusrataste ja võlli H abil saab pöörlemisliikumise ka jaotusketas E (joon. 48, 49, 51). See jaotusketta lisaliikumine vända pöörlemisel võimaldabki meil nn. diferentsiaaljagamist. Vaherattaste arvust olenevalt pöörleb jaotusketas vändaga D samas suunas või jällegi vastassuunas.

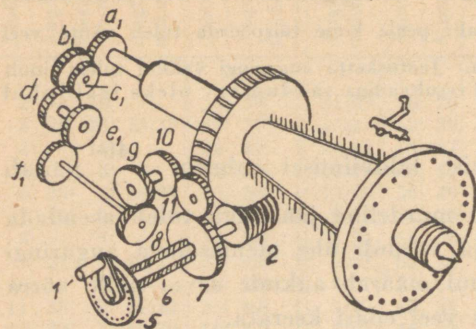


Joon. 51. Jagamispea seatud diferentsiaaljagamiseks.

Vaherattad istuvad, nagu nende nimigi ütleb, ajaja ja aetavate rataste vahel. Neil ei ole mingit mõju ülekande suurusele, küll aga mõjutavad nad aetava ratta pöörlemis-suunda. Ühe vaheratta puhul ajaja ja aetav ratas pöörlevad ühesuunaliselt, kahe ratta puhul aga vastassuunaliselt.

Diferentsiaaljagamisel toimub jagamisvända pöörete arvu loendamine pöörleva jaotusketta suhtes. Jaotusketas 5 (joon. 52) koos

lahtiselt tiguvõllil 2 asetseva hültsiga 6 saab, nagu juba nimetatud, pöörlemisliikumise jagamispea spindlilt hammasratasülekanne $\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$ ja rataste 8, 9, 10, 11, 7 kaudu.



Joon. 52. Brown & Sharp'i jagamispea skeem.

Jagamisvända pöörete arvu hõlpsamaks loendamiseks valitakse tegelikule jagamisarvule z võimalikult lähedane abiarv x , millega jagamine olemasolevate jaotusketastega aga ei sünnita raskusi.

Näit. hammasrattale tuleb freesida 53 hammast. Kaudse jagamise teel see ei ole läbiviidav, sest $n = \frac{40}{z} = \frac{40}{53}$, kuid 53 ei koonu 40-ga ja jaotusketast 53 avausega tavaliselt komplektis ei ole olemas.

Diferentsiaaljagamisel, mis käesoleval juhul ikkagi annab tulemusi, valime abiarvuks $x = 50$. Seega tuleks liikumata jaotusketta puhul freesitav ratas jagada nagu 50 hambavaheks. Iga hambavahe jagamiseks peame siis jagamisvanta pöörama $n = \frac{40}{x} = \frac{40}{50}$ pöörde võrra, või valides jaotusketta 20 avausega saame:

$$n = \frac{40}{50} = \frac{4}{5} = \frac{16}{20}.$$

Et $\frac{1}{50}$ on suurem kui $\frac{1}{53}$, siis on tingimata tarvilik, et loendades avauseid liikumatult, paigalseisvalt jaotuskettalt, jagamisvanta ei pöörataks mitte $\frac{16}{20}$ ringi võrra, vaid natuke vähem. Sel puhul oleks siis ka freesitava eseme pöörde suurus õige.

On aga võimalik talitada ka teisiti, nimelt pöörata jagamisvanta edasi 16 avause võrra, liikumatul, 20 avausega auguringiga jaotuskettal ($\frac{16}{20}$ pööret) ja siis pöörata vanta koos jaotuskettaga veidi tagasi. Arvestades seejuures, et töötluse pöörduks samuti tagasi suu-

ruse võrra, mille moodustab auguringide vaheline arvude vahe ($\frac{1}{50} - \frac{1}{53}$). Silmanähtavalt võib jaotusketast pöörata üheaegselt jagamisvända pööramisega, kui ainult ära märkida avaus, millesse arvestuse kohaselt peab kargama vetruv vändapide.

Asume nüüd diferentsiaaljägamiseks vajalike vahetusrataste $\frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}$ arvutamisevalemile väljatoomisele. Selleks oletame, et algul pöörame jagamisvända liikumatul jaotuskettal ja hiljem juba pöörame ketast koos vändaga ühele või teisele poole. Esimese liikumise arvestame vabalt valitud, kuid x -le lähedale ja jagamist hõlpsasti võimaldavale abiarvule x . Töötluseseme pöörde suurus $1/z$ võrra saadakse siis kahe osaliikumise summast: vända pöördest nagu liikumatult seisval jaotuskettal $1/x$ pöörde võrra ja sama vända pööramisest koos pöörleva jaotuskettaga suuruse võrra $\frac{1}{z} \cdot \frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{1} \cdot \frac{1}{40}$.

Lõplikult pöörab siis töötluseseme $1/z$ võrra. Järelikult võime kirjutada:

$$\frac{1}{z} = \frac{1}{x} + \frac{1}{z} \cdot \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1} \cdot \frac{1}{40}; \quad \frac{1}{z} = \frac{1}{x} + \frac{1}{40z} \cdot \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1}; \quad \frac{1}{40z} \cdot \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1} = \frac{1}{z} - \frac{1}{x};$$

$$\frac{1}{40z} \cdot \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1} = \frac{x-z}{zx};$$

$$\text{või lõplikult: } \frac{a_1 c_1}{b_1 d_1} = \frac{40}{x} (x-z).$$

Jagamispea juurde kuulub tavaliselt vahetusrataste komplekt järgmiste hammaste arvuga: 24, 24, 28, 32, 40, 44, 48, 56, 64, 72, 86, 100.

Näide: Freesida tuleb hammasratas 53 hambaga. Valime abiarvuks $x = 50$, siis

$$n = \frac{40}{50} = \frac{4}{5} = \frac{16}{20}$$

(s. o. 16 avaust auguringil, mil on 20 avaust).

$$\frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{40}{x} (x-z);$$

$$\frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{40}{50} (50-53) = -\frac{40 \cdot 3}{50}$$

Jaotusketas ja jagamisvânt käesoleva näite puhul peavad pöörlema vastassuunaliselt, sest murd on negatiivne, s. o. miinusmärgiga. Otsitav ülekanne on teostatav järgmiste vahetusratastega:

$$\frac{a_1 \cdot c_1}{b_1 \cdot d_1} = \frac{40 \cdot 3}{50} = \frac{32 \cdot 72}{40 \cdot 24} = \frac{72 \cdot 32}{40 \cdot 24}$$

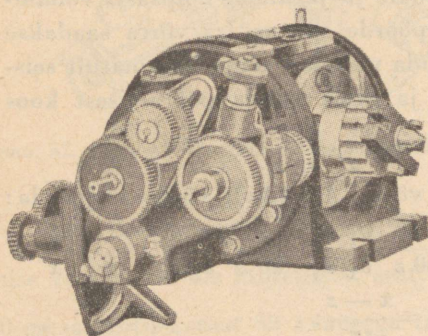
Vahetusrataste valikul tuleb silmas pidada, et

$$a_1 + b_1 > c_1 \text{ ja } c_1 + d_1 > b_1$$

või rataste a_1 b_1 raadiuste summa peab olema suurem kui ratta c_1 raadius. Samuti jälle $c_1 + d_1$ raadiuste summa suurem kui b_1 raadius. Tarvilik on see põhjusel, et rattad tegelikult ka ära mahuksid neile määratud ruumalal.

Universaaljagamispea jagamis-vahetusratastega.

Jagamine sünnib siin auguringiga varustatud jaotusketast kasutamata, lihtsalt teljele d asetatud vända abil (joon. 54). Teljelt d kandub



Joon. 53. Reineckeri universaaljagamispea jagamisvahetusratastega.

liikumine vahetusrataste 1, 2, 3, 4 kaudu üle teljele e . Jagamispea sisemuses lõpeb viimane kettasarnase osaga f , millele on kinnitatud oma telgedega kaks pöörlevat hammasrattast 5. Mõlemad hammasrattad kammivad telje e pikendust moodustava võlli g otsas istuva rattaga 6. Võllid e ja g liiguvad vabalt ega ole omavahel ühendatud. Edasi hammasrattad 5 kammivad ka hammasratta 17 sisemise ham-

mastikuga. Viimane diferentsiaaljagamisel ja spiraalide freesimisel aetakse ringi hammasratta 16 poolt, muidu aga pidurdatakse ta pingutuskrivi h kaudu ja seisab paigal.

Hammasrattad 7, 5, 6 moodustavad diferentsiaalitaolise ajami ja põhjustavad, et võll g teeb neli pööret samaaegselt, kui telg e teeb ainult ühe pöörde. Võllilt g hammasrataste 8, 9 ja tiguajami 10, 11 kaudu pannakse liikuma jagamispea spindel c .

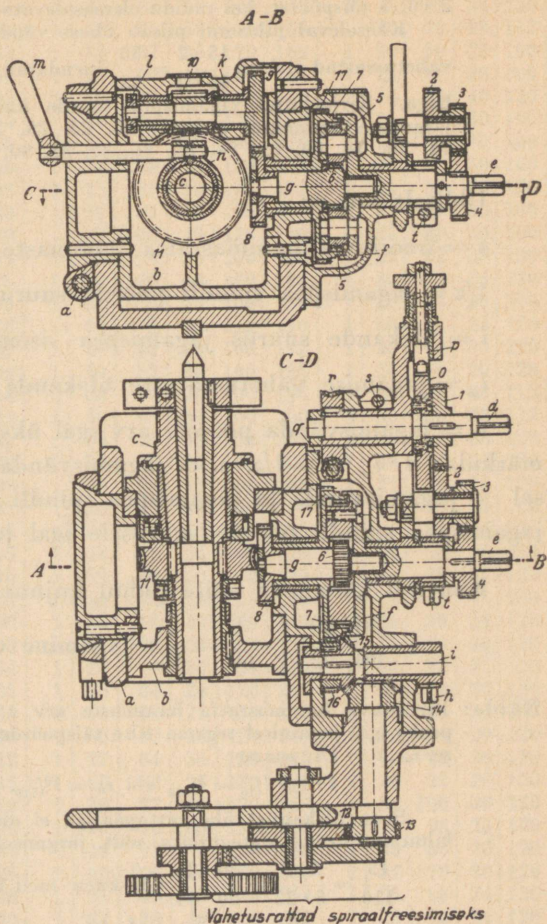
Jagamisvänt, s. o. telg d teeb iga jagamisliigutuse puhul ainult ühe täispöörde. Erandi moodustavad vaid väiksemad jagamisarvud kuni umbes viieteistkümmeni, mispuhul tuleb jagamisvänta keerata 2—5 täispöörde võrra. Eksitusi aukude valesti loendamiseega, nagu neid aukudega varustatud jaotusketastega kergesti juhtuda võib, siin ette tulla ei saa.

Jaotusketta aset täidab käesoleval juhtumil teljele *d* kinnitatud ainsa väljalõikega varustatud ketas *o*. Vedruuga varustatud pide *p* tõmatakse enne jagamist ketta väljalõikest välja, ja kui viimane koos teljega *d* on teinud ühe täispöörde, kargab pideme hammas uuesti väljalõikesse.

Jagamispeaga on võimalik toimetada ka diferentsiaaljagamist. Sel juhul kasutatakse lisaaset jagamispea spindli avause asetatud poldi näol. Viimasele kinnitatud hammasratas, vaherataste 12, 13, 14, 15, 16 kaudu, paneb jagamisvända keeramise puhul pöörlema normaalselt paigalseisva hammasratta 17. Sel teel saadud lisaliikumine võimaldabki diferentsiaaljagamise. Pidurkrugi *h* peab sel juhul olema vabastatud.

Kaudse jagamise puhul tuleb vahetusrattad 1, 2, 3, 4 valida sääraselt, et jagamisvânt teeks ühe või tarbe korral rohkem; kuid ikkagi ainult täispöördeid.

Näide: Tuleb freesida hammasratas 46 hambaga. Jagamispea tigu ülekande suurus on $\frac{1}{60}$, diferentsiaalajami oma aga $\frac{4}{1}$. Jagamispea kogu ülekande suurus on seega $\frac{1}{60} \cdot \frac{4}{1} = \frac{1}{15}$. Telge *e* (joon. 54), millel istub viimane vahetusrattas (4), tuleb seega iga jagamise puhul pöörata $\frac{15}{46}$ võrra. Kui jagamis-



Joon. 54. Joon. 53 kujutatud jagamispea põik- ja pikilõige.

vänt teeb ühe täispöörde, siis peab vahetusrataste ülekande suurus olema $15/16$. Kas nimetatud ülekannet on võimalik saavutada kahe hammasrattaga, nende vahele asetatud vaheratta või kahe rattapaariga, on rippuv kasutada olevaist vahetusrattaist. Tarbe korral peab jagamisvänt tegema 2 või 3 täispööret, kui midu olemasolevate vahetusratastega toime ei saa.

Käesoleval juhtumil piisab ühest vända täispöördest ja kasutatavad vahetusrattad oleksid $\frac{15 \cdot 2}{46 \cdot 2} = \frac{30}{92}$ ühendatud omavahel vaherattaga 80 hambaga. Kirjeldatud jagamispea juurde kuulub vahetusrataste komplekt järgmiste hammaste arvuga: 20, 24, 25, 27, 28, 30, 36, 40, 45, 50, 60, 74, 76, 78, 80, 82, 84, 85, 86, 87, 88, 90, 92, 93, 94, 98, 100, 112, 120.

Üldiselt kui on

z = freesitava hammasratta hammaste arv,

$1/z$ = jagamispea spindli pöörde suurus igal üksikul jagamisel,

i = ülekande suurus jagamispea sisemuses,

i_w = jagamise vahetusrataste ülekande suurus,

n = jagamisvända pöörete arv igal üksikul jagamisel, siis võime märkida: $n \cdot i_w \cdot i = 1/z$, s. o. jagamisvända pöörete arv igal jagamisel \times jagamisvända ja jagamispea spindli kogu ülekande suurus = jagamispea spindli pöörde suurusele igal jagamisel.

Kontroll käesoleva näite puhul kujuneks järgmiseks:

$$1 \cdot \frac{30}{80} \cdot \frac{80}{92} \cdot \frac{4}{1} \cdot \frac{1}{60} = \frac{1}{46}; \text{ jagamine on seega õige.}$$

Näide: Freesitava hammasratta hammaste arv $z = 110$; $i = 1/15$. Jagamisvänt peaks igal jagamisel tegema ühe täispöörde. Sel juhul, kasutades valemit $n \cdot i_w \cdot i = 1/z$, saame:

$$1 \cdot i_w \cdot 1/15 = 1/110 \text{ või } i_w = 15/110.$$

Seda ülekannet ühe rattapaariga ei ole võimalik teostada, seepärast lahutame arvud algteureiks, näit. järgmiselt:

$$\frac{15}{110} = \frac{5 \cdot 3}{5 \cdot 22} = \frac{30 \cdot 24}{60 \cdot 44} \text{ või kuna meil ratas 44 hambaga komplektis}$$

$$\text{ei ole, siis: } \frac{15}{110} = \frac{3 \cdot 5}{11 \cdot 10} = \frac{24 \cdot 60}{88 \cdot 120}$$

Valime sellekohased rattad, kusjuures 24 ja 60 on ajajad ja 88 ja 120 aetavad hammasrattad. Hammasratas 60 hambaga tuleb telje d ja ratas 120 telje e otsa asetada.

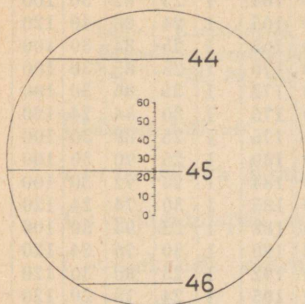
Jagamistabel kirjeldatud jagamispea jaoks kujuneb vabriku andmeil järgmiseks:

Jagamistabel.

<i>z</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>z</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>	<i>z</i>	<i>n</i>	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	<i>d</i>
2	5	60	80		40	54	1	60	90	50	120	152	1	30	76	25	100
3	5	80	40 50		100	55	1	40	88	60	100	155	1	45	93	24	120
4	4	50	60 90		80	56	1	45	84	50	100	156	1	30	78	28	112
5	3	80	40 50		100	58	1	60	87	45	120	160	1	30	80	25	100
6	3	50	80		60	60	1	60	80	40	120	164	1	25	82	30	100
7	3	60	74		84	62	1	45	93	50	100	165	1	24	88	40	120
8	2	50	60 90		80	64	1	50	80	45	120	168	1	25	84	30	100
9	2	50	80		60	65	1	27	78	60	90	170	1	25	85	30	100
10	2	60	90		80	66	1	80	88	30	120	172	1	25	86	30	100
11	2	60	80		88	68	1	45	85	50	120	175	1	36	84	24	120
12	2	50	60		80	70	1	36	84	50	100	176	1	25	88	30	100
13	2	45	80		78	72	1	50	80	40	120	180	1	25	90	30	100
14	2	45	60		84	74	1	60	74	25	100	184	1	25	92	30	100
15	1	80	40 50		100	75	1	60	100	40	120	185	1	30	74	24	120
16	1	50	60 90		80	76	1	60	76	25	100	188	1	25	94	30	100
17	1	60	85 100		80	78	1	60	78	28	112	190	1	30	76	24	120
18	1	50	100		60	80	1	60	80	25	100	192	1	25	80	30	120
19	1	60	90		76	82	1	50	82	30	100	195	1	24	78	20	120
20	1	60	90		80	84	1	50	84	30	100	196	1	30	98	28	112
21	1	60	80		84	85	1	50	85	30	100	200	1	30	100	28	112
22	1	60	50		88	86	1	50	86	30	100	204	1	30	85	25	120
23	1	60	50		92	88	1	50	88	30	100	205	1	30	82	24	120
24	1	50	90		80	90	1	50	90	30	100	208	1	27	78	25	120
25	1	60	50		100	92	1	50	92	30	100	210	1	30	84	24	120
26	1	45	80		78	94	1	50	94	30	100	215	1	30	86	24	120
27	1	60	45 50		120	95	1	60	76	24	120	216	1	30	90	25	120
28	1	60	50		112	96	1	50	80	30	120	220	1	30	88	24	120
29	1	45	80		87	98	1	60	98	28	112	224	1	27	84	25	120
30	1	45	80		90	99	1	30	88	40	190	225	1	30	90	24	120
31	1	45	80		93	100	1	60	100	28	112	228	1	30	76	20	120
32	1	45	60 50		80	104	1	27	78	50	20	230	1	30	92	24	120
33	1	40	80		88	105	1	60	84	24	120	234	1	30	78	20	120
34	1	50	60 45		85	108	1	60	90	25	120	235	1	30	94	24	120
35	1	36	80		84	110	1	60	88	24	120	240	1	30	80	20	120
36	1	25	100		60	112	1	27	84	50	120	245	1	24	98	30	120
37	1	30	90		74	115	1	60	92	24	120	246	1	30	82	20	120
38	1	30	90		76	116	1	30	87	45	120	250	1	24	100	30	120
39	1	30	90		78	120	1	30	80	40	120	252	1	28	98	25	120
40	1	30	90		80	124	1	45	93	30	120	258	1	30	86	20	120
41	1	30	80		82	125	1	60	100	24	120	260	1	27	78	20	120
42	1	30	80		84	128	1	25	80	45	120	264	1	25	88	24	120
43	1	30	80		86	130	1	27	78	40	120	270	1	25	90	24	120
44	1	30	80		88	132	1	50	88	24	120	276	1	30	92	20	120
45	1	30	80		90	135	1	50	90	24	120	280	1	24	100	25	112
46	1	30	80		92	136	1	45	85	25	120	282	1	30	94	20	120
47	1	30	80		94	140	1	24	100	50	112	288	1	25	80	20	120
48	1	25	90		80	144	1	25	80	40	120	294	1	30	98	20	120
49	1	30	80		98	145	1	30	87	36	120	300	1	30	100	20	120
50	1	30	80		100	148	1	30	74	25	100						
52	1	30	78 60		80	150	1	30	100	40	120						

Märkus: Vahetusrattad *a*, *b*, *c*, *d* on joon. 54 märgitud vastavalt 1, 2, 3, 4.

Nagu tabelist nähtub, ei saa me kõiki jagamisi kirjeldatud viisil läbi viia, vaid mõnel juhul tuleb appi võtta diferentsiaaljagamine. Arvestuse käik sel juhul on täiesti sarnane, nagu seda õppisime tundma jaotuskettaga varustatud jagamispea juures.



Joon. 55. Optilise jagamispea vaateväli.

Optiline jagamispea.

Täpsuselt täiuslikem on firma Carl Zeissi poolt turule lastud optiline jagamispea. Jagamistigu aset täidab siin liikumatult jagamispea spindlile kinnitatud, kraadidesse jaotatud klaasist jaotusring.

Joon. 55 kujutab säärase jagamispea mikroskoobis nähtavat vaatevälja. Paigalseisva mikroskoobis asetseva 0-st kuni 60 minutini jagatud skaala all liigub jagamispea spindlil asetsev klaasist kraadidesse jagatud jaotusring. Joon. 55 kujutab jagamispea seadet $45^{\circ}23,5'$. Jagamine toimub siin vastavate tabelite abil.

Spiraalide freesimine freespingil.

Spiraalisarnaste soonte freesimisel tuleb freespingi laud pöörata nurga võrra, mille moodustavad freesitav spiraalsoon ja töötlusese telgjoon.

Lisaks sellele jagamispea spindel koos töötluseselega peab pöörlema sääraselt, et nad aja kestel, mil töölaud freesitava kruvijoone tõusu võrra sirgjooneliselt edasi liigub, teeksid täispöörde. Töölaua ja jagamispea liikumiste kooskõlastamiseks tuleb mõlemate spindlid ühendada omavahel vahetusratastega.

Jaotuskettaga varustatud jagamispea puhul jaotusketta ja jagamispea vaheline ühendus tuleb lahti ühendada ja jagamisvända pide asetada ühte jagamisketta aukudest. Selle tagajärjel on jaotusketas jagamisvända kaudu ühendatud jagamispea spindliga.

Jagamispeadel, millel jagamine sünnib vahetusrataste abil, peab normaalselt paigalseisev ratas 7 (joon. 54) spiraalide freesimise

puhul pöörlema. Pöörlemisliikumine antakse talle vahetusrataste ja jagamispea sisemuses olevate rataste kaudu edasi. (Seejuures tuleb pidurkruvi t pingutamisega võll e ja ketas omavahel siduda, jagamise puhul seevastu tuleb t vabastada ja pidurkruvi h kinni tõmmata).

Vajalike vahetusrataste arvutus toimub sarnaselt, nagu treipingil keermelõikamisel.

Võrdlus frees- ja treipingi vahel kujuneks järgmiseks:

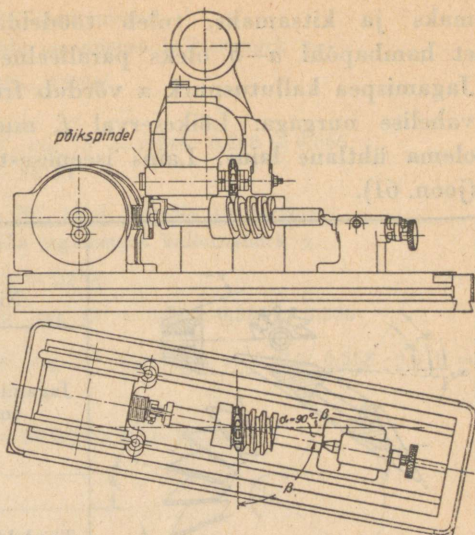
Freespink		Treipink
Freesitav spiraal		Lõigatav kruvikeere
Töölaua spindli kruvikeere	tavaliselt	Juhtspindli kruvikeere
Jagamispea spindli C pöörde suurus ajuvõlli H ühe täispöörde puhul		$E_2 = 1/4''$ $i = 1/40$
Töölaua (suporti) spindli otsas olev vahetusratas	1-kordne = b 2-kordne = d	Juhtspindli vahetusratas
Jagamispea ajuvõlli vahetusratas	a	Esimene ajav vahetusratas

Näide: Freesida spiraal, mille kruvikeermes tões $E_1 = 8''$, kusjuures $i = 1/40$ ja $E_2 = 1/4''$. Leida sobivad vahetusrattad.

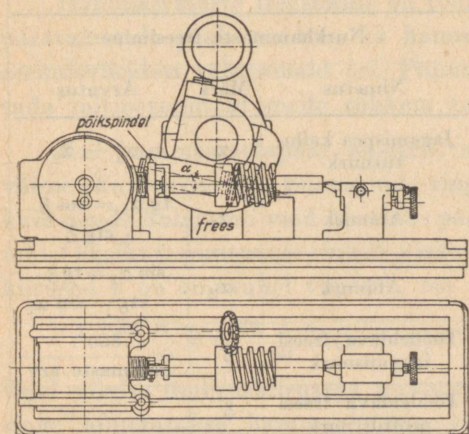
$$\text{Lahendus: } A = \frac{E_1}{E_2} \cdot i = \frac{8 \cdot 1}{1/4 \cdot 40} = \frac{8 \cdot 4}{40} = \frac{32}{40} = \frac{a}{b}$$

Ülekanne seega ühekordne; vahetusrattad tuleb omavahel ühendada sobiva vahe­rattaga.

Freesspingi töölauda (suporti) pöördenurk on piiratud, kuna laud pörkab lõpuks vastu masina keret. Juhul kui laua pöördenurk on väga suur ja laua pööramine osutub võimatuks, mida eriti tigude freesimisel sageli ette tuleb, siis ei ole töö läbiviidav teisiti kui vaid erilise lisaseadme abil. Selle lisaseadme freesspindel aetakse masina tööspindli poolt ja ta asetseb viimasega 90° nurga all. Seisab nimetatud freesspindel horisontaalselt ja täpselt töötlusese keskkohal, asudes seejuures pealpool freesitavat eset, siis ei tule freesimissuportit mitte nurga β , vaid nurga $\alpha = 90^\circ - \beta$ võrra nullasendist ära pöörata (joon. 58). Seisab seevastu freesspindel töötlusese kõrval ja täpselt viimase telgjoone kõrgusel, siis tuleb freesspindlit nurga α võrra horisontaalasendist ära pöörata. Freesimissuport aga jääb nullasendisse ega pöörata üldse ära (joon. 59).



Joon. 58. Tigude freesimine horisontaalselt pealpool töötluset asetseva freesiga.

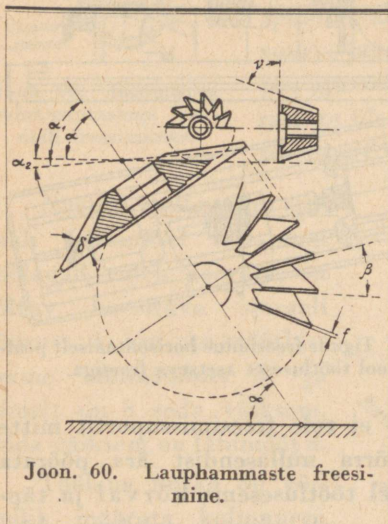


Joon. 59. Tigude freesimine töötlusese kõrval asetseva kallutatud freesiga.

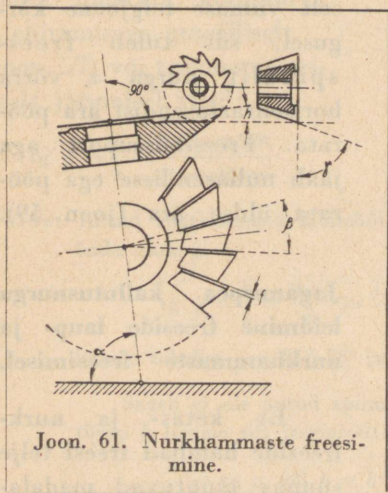
Jagamispea kallutusnurga leidmine freeside laup- ja nurkhammaste freesimisel.

Et ketas- ja nurkfreeside hambad freesi telje suunas muutuvad madala-

maks ja kitsamaks, tuleb töödeldav frees sedavõrd kallutada, et hambapõhi $a-b$ oleks paralleelne freespingi laudsaani pinnale. Jagamispea kallutusnurk α võrdub freesi hamba põhja ja telgjoone vahelise nurgaga. Lõikeserval f , mida teritamisel lihvitakse, peab olema ühtlane laius. Laius iseenesest oneneb freesimissügavusest h (joon. 61).



Lauphammaste freesimine		
Nimetus	Märk	Arvutus
Jagamispea kallutusnurk	α	$\cos \alpha = \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \gamma$
Töödeldava freesi jagamismurk	β	$\frac{360^\circ}{\text{hammade arv}}$
Tööfreesi nurk	γ	



Nurkhammaste freesimine		
Nimetus	Märk	Arvutus
Jagamispea kallutusnurk	α	$\alpha_1 - \alpha_2$
Abinurk	α_1	$\operatorname{tg} \alpha_1 = \cos \beta \cdot \operatorname{ctg} \delta$
Abinurk	α_2	$\sin \alpha_2 = \operatorname{tg} \beta \cdot \operatorname{ctg} \gamma \cdot \sin \alpha_1$
Töödeldava freesi jagamismurk	β	$\frac{360^\circ}{\text{hammade arv}}$
Töödeldava freesi profiili nurk	δ	
Tööfreesi nurk	γ	

Näide: Ketasfreesile tuleb freesida 26 lauphammast.

Tööfreesi nurk $\gamma = 75^\circ$. Leida jagamispea kallutusnurk α .

$$\text{Lahendus: } \beta = \frac{360^\circ}{26} = 13,84^\circ = 13^\circ 50'$$

$$\gamma = 75^\circ$$

$$\cos \alpha = \text{tg } 13^\circ 50' \cdot \text{ctg } 75^\circ = 0,246 \cdot 0,268 = 0,066.$$

$$\text{Kallutusnurk } \alpha = 86^\circ 13'.$$

Näide: Nurkfreesile, mille nurk $\delta = 70^\circ$, tuleb freesida 16 hammast.

Tööfreesi nurk $\gamma = 75^\circ$. Leida jagamispea kallutusnurk α .

$$\text{Lahendus: } \beta = \frac{360^\circ}{16} = 22,5^\circ = 22^\circ 30'$$

$$\text{tg } \alpha_1 = \cos 22^\circ 30' \cdot \text{ctg } 70^\circ = 0,924 \cdot 0,364 = 0,336$$

$$\alpha_1 = 18^\circ 33'$$

$$\sin \alpha_2 = \text{tg } 22^\circ 30' \cdot \text{ctg } 75^\circ \cdot \sin 18^\circ 33' = 0,414 \cdot 0,268 \cdot 0,318 = 0,035;$$

$$\alpha_2 = 2^\circ$$

$$\text{Kallutusnurk } \alpha = 18^\circ 33' - 2^\circ = 16^\circ 33'.$$

Silinderhammasrataste freesimine.

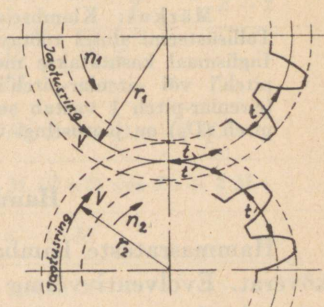
Silinderrattad ja nende arvutus.

Hammasrataste freesimine on tööala, mille paremaks mõistmiseks paratamatult peab tundma ka hammasrataste arvutus- ja konstrueerimisviisidest tähtsamaid osi. Püüame seepärast alljärgnevalt selgitada mitmesuguseid meile rohkem tarvilikke mõisteid.

Kui hammasrattapaar pöörleb, siis võime kujutleda rea puutuvaid ringe, kuid nende hulgas on vaid üksainus paar, millel üksikute puutuvate ringide ümbruskiirused v on omavahel võrdsed, või

$$v = \frac{2\pi r_1 n_1}{60} = \frac{2\pi r_2 n_2}{60} \quad (\text{joon. 62}).$$

Neid võrdse ümbruskiirusega puutuvaid ringe nimetatakse hammasrataste jaotusringideks ja nende läbimõõtu märgitakse D_t -ga.



Joon. 62. Hammasratta põhisuurused.

Et mõlema ratta hammaste koostöötamine oleks laitmatu, peab kummalgi jaotusringil mõõdetud vahe ühe hamba küljest teise hamba samapoolse küljeni, nn. hambumissamm t , olema võrdne.

Hambumissammu t on võimalik valida vaid säärases suuruses, et jaotusringi übermõõt U oleks t -ga jäägita jagatav, sest ainult sel juhul hammaste arv z on täisarv.

$$Z = \frac{U}{t} = \frac{D_1 \cdot \pi}{t}$$

Hammasrataste arvutusel lihtsustamise mõttes ei minda aga välja jaotusringi hambumissammust t , vaid nn. moodulsammust, võttes abiks arvu π , mis kujutab übermõõdu ja läbimõõdu suhet.

Moodul $M = \frac{t}{\pi}$; seega moodul 1, avaldatud millimeetreis, on võrdne arvuga $\pi = 3,14$; moodul 2 = 2. 3,14 jne. või, teiste sõnadega, hambumissamm t on alati mitmekordne arv π .

Kasutatavate moodularvude rida on $0,25 \div 5,0$, suurenedes algul 0,25 võrra, seega moodul 0,25; 0,50; 0,75; 1,0 jne., $5,0 \div 10$ suurenedes 0,5 võrra ja 10-st alates suurenedes 1 võrra, seega 11, 12, 13 jne. Viimased Saksa tööstusnormid aga näevad ette alljärgneva moodularvused, mida ka meil on kasulik silmas pidada.

DIN moodularvude rida.

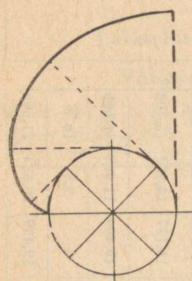
0,3 (0,35). 0,4 (0,45). 0,5 (0,55). 0,6 (0,65). 0,7. 0,8. 0,9. 1. 1,25. 1,5. 1,75. 2. 2,25. 2,5. 2,75. 3. 3,25. 3,5. 3,75. 4. 4,5. 5. 5,5. 6. 6,5. 7. 8. 9. 10. 11. 12. 13. 14. 15. 16. 18. 20. 22. 24. 27. 30.

Märkus: Klambreis olevaid arvused võimalust mööda mitte kasutada. Tollisüsteemi alusel töötavais maades, näit. Põhja-Ameerika Ühendriikides ja Inglismaal kasutatakse moodulsüsteemi asemel arvestamiseks nn. diametral-pitch'i või circular-pitch'i. Circular-pitch (C_p) on hambumissamm tollides (circular-pitch 1 vastab seega hambumissammule 25,4 mm), kuna diametral-pitch (D_p) on jaotusringi ühetollise kaare pikkusele jagunevate hammaste arv.

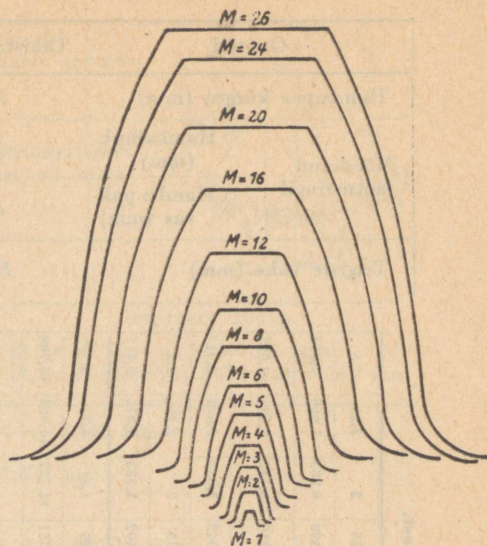
Hamba kuju ja mõõtmed.

Hammasrataste hambaprofiilina kasutatakse enamasti evolvent-kõverat. Evolventi võime kujundada, kui näit. ringile keritud niiti nii maha kerime, et viimane oleks kogu aja pingulolekus, kusjuures niidiots kui ka iga teine niidi punkt moodustavad evolventi (joon. 63).

Hammaste arvust olenevalt hamba kuju muutub ja tuleb seega iga kord eraldi välja konstrueerida. Joon. 64 kujutab üksikut hammast loomulikus suuruses, kusjuures vastava ratta hammaste arv on kõigil juhtumeil võrdne = 40, moodul aga erinev ja nimelt $1 \div 26$; ühes sellega kasvab loomulikult ka jaotusringi läbimõõt D_t .



Joon. 63. Evolventkõver.



Joon. 64. Hambaprofiil oleneb moodulist (loomul. suurus).

Tabel 4. Silinderrataste arvutus.

Otsitud	Tähistamisviis	Arvutus
Moodul (mm)	M	$\frac{t}{\pi}$ või $\frac{D_a}{Z+2}$ või $\frac{D_t}{Z}$
Hambumissamm (mm)	t	$M \cdot \pi$ või $\frac{D_t \cdot \pi}{Z}$ või $\frac{D_a \cdot \pi}{Z+2}$
Hammaste arv	Z	$\frac{D_t}{M}$ või $\frac{D_t \cdot \pi}{t}$
Jaotusringi läbimõõt (mm)	D_t	$M \cdot Z$ või $D_a - 2M$
Väline läbimõõt (mm)	D_a	$M(Z+2)$ või $D_t + 2M$
Hamba laius (mm)	b	$6 \div 10 M$
Hamba kõrgus (mm)	h	$2,1666 M$
Hambatüve kõrgus (mm)	h_1	$1,1666 M$

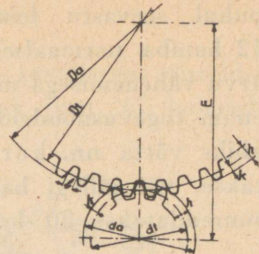
Tabel 5. Hambamõõtmised olenevalt mooduli suurusest.

Otsitud		Tähistamisviis	Arvutus
Hambapea kõrgus (mm)		k	M
Mõõdetud jaotusringil	Hambalünk (mm)	l	} $\frac{t}{2}$ või $\frac{M \cdot \pi}{2}$
	Hamba pak-sus (mm)	s	
Telgede vahe (mm)		E	$\frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot M$

Moodul	M	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
Hambumissamm	t (mm)	0,785	1,571	2,356	3,142	3,927	4,712	5,498	6,283	7,069	7,854
Hambalünk-hamba pak-sus	$l = s$ (mm)	0,393	0,785	1,178	1,571	1,963	2,356	2,749	3,142	3,534	3,927
Hambatüve kõrgus	h_1 (mm)	0,292	0,583	0,875	1,167	1,458	1,750	2,042	2,333	2,625	2,917
Hambapea kõrgus	k (mm)	0,25	0,5	0,75	1	1,25	1,5	1,75	2	2,25	2,5
Hamba kõrgus	h (mm)	0,542	1,083	1,625	2,167	2,708	3,25	3,792	4,333	4,875	5,417
Moodul	M	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5
Hambumissamm	t (mm)	8,639	9,425	10,210	10,996	11,781	12,566	13,351	14,137	14,923	15,708
Hambalünk-hamba pak-sus	$l = s$ (mm)	4,320	4,712	5,105	5,498	5,891	6,283	6,675	7,069	7,462	7,854
Hambatüve kõrgus	h_1 (mm)	3,208	3,5	3,791	4,083	4,375	4,666	4,958	5,25	5,541	5,833
Hambapea kõrgus	k (mm)	2,75	3	3,25	3,5	3,75	4	4,25	4,5	4,75	5
Hamba kõrgus	h (mm)	5,958	6,5	7,041	7,583	8,125	8,666	9,208	9,75	10,291	10,833
Moodul	M	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
Hambumissamm	t (mm)	17,279	18,850	20,420	21,991	23,562	25,132	26,704	28,274	29,845	31,416
Hambalünk-hamba pak-sus	$l = s$ (mm)	8,639	9,425	10,210	10,995	11,781	12,566	13,352	14,137	14,923	15,708
Hambatüve kõrgus	h_1 (mm)	6,416	7	7,583	8,166	8,75	9,333	9,916	10,499	11,083	11,666
Hambapea kõrgus	k (mm)	5,5	6	6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10
Hamba kõrgus	h (mm)	11,916	13	14,083	15,166	16,25	17,333	18,416	19,499	20,583	21,666

Joon. 65.
Silinderrataste arvutus.

Näide: Määrata üksikud mõõdud silinderratasajamil, mille moodul = 5 ja hammaste arv on vastavalt 30 ja 50.



Lahendus:

Väiksem ratas.

$$d_t = M \cdot Z = 5 \cdot 30 = 150 \text{ mm}$$

$$d_a = M(Z+2) = 5(30+2) = 160 \text{ mm}$$

Suurem ratas.

$$D_t = M \cdot Z = 5 \cdot 50 = 250 \text{ mm}$$

$$D_a = M(Z+2) = 5(50+2) = 260 \text{ mm}$$

$$t = M \cdot \pi = 5 \cdot 3,14 = 15,708 \text{ mm}$$

$$l = s = \frac{t}{2} = \frac{15,708}{2} = 7,854 \text{ mm}$$

$$k = M = 5 \text{ mm}$$

$$h = 2,1666 M = 2,1666 \cdot 5 = 10,833 \text{ mm}$$

$$E = \frac{Z_1 + Z_2}{2} \cdot M = \frac{30 + 50}{2} \cdot 5 = 200 \text{ mm.}$$

Silinderrataste freesimine.

Silinderrataste freesimine toimub jagamispeaga varustatud universaalfreesingil, kusjuures tööriistana kasutatakse kettakujulist nn. moodulfreesi, mille hambavorm vastab täpselt hambalünga vormile (joon. 66). Olgugi et teoreetiliselt hambalünga profiil iga hambaarvu jaoks on erisugune, suurema hammaste arvu (kuid võrdse hambumissammu juures) profiilivahed on ometi sedavõrd väikesed, et teatava hammastegrupi piirkonnas tuleb toime üheainsa freesiga. Näit. hammasrattad, millede hammaste arv on 26 ja 34 vahel, freesitakse ühe ning sama freesiga, kusjuures selle vorm vastab täpselt vaid 26 hambaga rattale. Säärasel viisil on võimalik freesida silinderrattaid alates 12 hambast kuni lõpmatuseeni, s. o. hammaslatini. Väiksema hambumissammu puhul tuleb toime kaheksanumbri- lise moodulfreeside komplektiga, kuna suuremate hambumissammude



Joon. 66.
Moodulfrees.

puhul seevastu leiab kasutamist 15-numbriline komplekt. Alla 12 hamba normaalselt ei ole võimalik minna, sest ühes hammaste arvu vähenemisega muutub hambatüvi järjest nõrgemaks ega rahulda enam tugevusnõudeid. Juhul kui see süiski osutub tarvilikuks, tuleb abiks võtta nn. korrektsioon, s. o. hambatüve kõrgust vähendada, või jällegi hambumisnurk, mille suurus normaalselt on 15°, suurendatakse 20°-le.

Kaheksast moodulfreesist koosnev komplekt (moodul 1 ÷ 7).

Frees nr.	1	2	3	4	5	6	7	8
Hammasratta hammaste arv	12 ÷ 13	14 ÷ 16	17 ÷ 20	21 ÷ 25	26 ÷ 34	35 ÷ 54	55 ÷ 134	134 ÷ hammaslatini.

Viieteistkümnest moodulfreesist koosnev komplekt (moodul 8 ÷ 20).

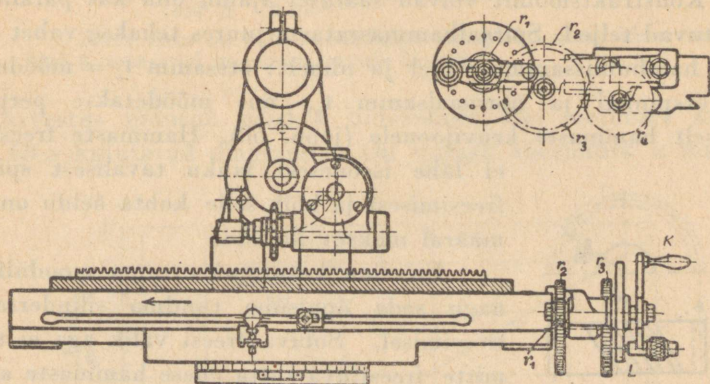
Freesi nr.	1	1½	2	2½	3	3½	4	4½
Hammasratta hammaste arv	12	13	14	15 ÷ 16	17 ÷ 18	19 ÷ 20	21 ÷ 22	23 ÷ 25

Freesi nr.	5	5½	6	6½	7	7½	8
Hammasratta hammaste arv	26 ÷ 29	30 ÷ 34	35 ÷ 41	42 ÷ 54	55 ÷ 79	80 ÷ 134	135 ÷ hammaslatini.

Hammaste freesimiseks treitud rattakeha kinnitatakse kärnisüvenditega varustatud võllile, viimane omakorda asetatakse jagamispea ja väikese ratsevarva kärnide vahele. Eriline kaasavõtja jagamispea-poolses otsas takistab võlli vabalt pöörlemast. Joon. 67 kujutab tavalist silinderratta freesimisviisi. Silinderrataste freesimisel universaalfreesingil tuleb arvestada seda, et rataste läbimõõt on piiratud jagamispea spindli kõrgusega, mõõdetult laudsaani pinnast. Spindli kõrgust püütakse kunstlikult suurendada sel teel, et nii jagamispea kui ka ratsevarva alla asetatakse terasest pakud.

Hammaslattice freesimine.

Hammaslattice freesimisel peab jagamine tavalisega võrreldes sündima põikisihis. Jagamivänt peab seepärast joon. 67 kohaselt



Joon. 67. Hammaslatti freesimine.

üle vahetusrataste mõjuma freespingi suporti spindlile ja suportit ikka ühe osajaotuse võrra edasi nihutama. Kogu jagamisseade on võrdlemisi lihtne ja koosneb vaid jagamivändast, jaotuskettast ja seatavast hoidnurgast, millele on võimalik kinnitada ka vahetusrattaid.

Freesimisel hammaslatti liigutatakse suporti alussaanil abil freesi suunas.

Näide: Freesida hammaslatti, mille samm = 25 mm. Freespingi suporti spindli kerme tõus = 8 mm.

Jagamiseks suporti spindel peab igakordselt tegema $\frac{25}{8}$ pööret.

Vahetusratstel on ülekanne $\frac{r_4 \cdot r_2}{r_3 \cdot r_1} = \frac{5}{4}$;

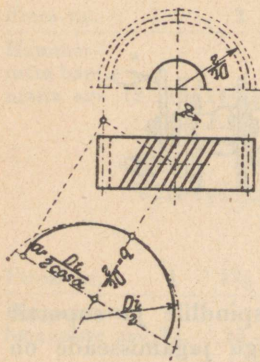
Seega $\frac{\text{jagamisvända pöörete arv}}{\text{suporti spindli pöörete arv}} = \frac{r_4 \cdot r_2}{r_3 \cdot r_1} = \frac{5}{4}$.

Jagamiseks tarvilik jagamisvända pöörete arv = $\frac{25}{8} \cdot \frac{5}{4} = \frac{125}{32} = 3 + \frac{29}{32}$.

Valime jaotusketta, mille auguringil on 32 auku. Teeme jagamisvändaga 3 täispööret ja lisaks sellele pöörame vänta 29 augu võrra edasi.

Spiraalhammasratate freesimine.

Spiraalhammasrattaiks nimetatakse sääraseid, millel hambad jooksevad spiraaljoonena ratta kehal. Neil rattail on seetõttu hambumissammu suurusest hoolimata vaikne tõuketa jooks ja hea tõhutegur. Konstruksioonilt võivad säärasel ajalil olla kas paralleelsed või ristuvad teljed. Spiraalhammasratate juures tehakse vahet kahe-
suguse hambumissammu vahel ja nimelt: otssamm t_s , mis mõõdetakse ratta otspinnal ja normaalsamm t_n , mis mõõdetakse perpendikulaarselt hammaste krukijoonele (joon. 68). Hammaste freesimine ei lähe iseenesest lahku tavalisest spiraalifreesimisest ja kõik selle kohta öeldu on täiel määral maksev ka siin.



Joon. 68. Sobiva freesi leidmine spiraalhammasratta freesimiseks.

Freesina kasutatakse sama moodulfreesi, nagu seda õppisime tundma silinderratate freesimisel. Sobiva freesi valik aga ei toimu mitte freesitava ratta enese hammaste arvust olenevalt, vaid aluseks võetakse ühe kindla, ettekujutatava silinderratta hammaste arv z_i . Ettekujutatava ratta jaotusringi raadius leitakse järgmisel viisil. Kujutleme silindri, mille läbimõõt võrdub freesitava ratta jaotusringi läbimõöduga D_i . Kui nüüd seda silindrit lõigata nii, et lõikepind oleks perpendikulaarne spiraalratta hammaste joonele, siis lõikepinna kuju

on ellips. Ellipsi lühem telg $b = \frac{D_i}{2}$ ja pikem telg $a = \frac{D_i}{2 \cdot \cos \alpha}$, kus α on hammaste spiraaljoone tõusunurk. Selle ellipsi kõverusraadius $\frac{D_i}{2}$ võrdub säärase ratta jaotusringi raadiusega, mille hammaste arv z_i tuleb freesi valiku juures arvesse võtta. Pärast antud suuruste sellekohast matemaatilist ümbermoodustamist saame $\frac{D_i}{2} = \frac{D_i}{2 \cdot \cos^2 \alpha}$ ja viimasest avaldusest leiame pärast asendamist, et ettekujutatava silinderratta hammaste arv $z_i = z \cdot \frac{1}{\cos^3 \alpha}$;

z = freesitava spiraalratta tegelik hammaste arv

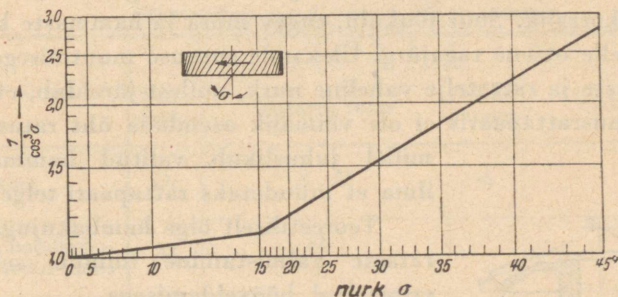
α = hammaste spiraaljoone tõusunurk.

Näide: Freesida hambad spiraalhammasrattale, mille hammaste arv $z = 20$.
Normaalsammu moodul = 4, tõusunurk $\alpha = 30^\circ$. Leida sobiv moodulfrees.

$$z_i = z \cdot \frac{1}{\cos^3 \alpha} = \frac{20}{0,866^3} = \sim 31 \text{ hammast.}$$

Sobiv frees on kaheksanumbrilise komplekti moodulfrees nr. 5 moodul 4, määratud hammaste arvule 26—43.

Arvestus muutub märksa lihtsamaks, kui seejuures kasutada joon. 68-a kujutatud diagrammi. On spiraali tõusunurk α teada, siis



Joon. 68-a. Diagramm sobiva freesi leidmiseks.

leiame avalduse $\frac{1}{\cos^3 \alpha}$ väärtuse otse diagrammist järgmiselt:

Näit. tuleb freesida spiraalhammasrattas, mille hammaste arv = 32 ja spiraalitõus 20° , siis $z_i = z \cdot \frac{1}{\cos^3 \alpha}$; diagrammis 20 kraadile

vastab avalduse $\frac{1}{\cos^3 \alpha}$ väärtus = 1,2, seega $z_i = 32 \cdot 1,2 = 38$.

Tavaliselt kolmekümne kahe hambaga silinderratta freesimiseks kasutatava freesi nr. 5 või $5\frac{1}{2}$ asemel tuleb seega spiraalhammasratta juures kasutada freesi nr. 6.

Koonushammasrataste freesimine.

Tähtsamad konstruktsiooni mõõdud.

Joonisel 69 on kujutatud koonusrataste paar: *JBC* ja *BGC* on algkoonused, millede tipud langevad kokku rattatelgede pikenduste lõikepunktidega *C*.

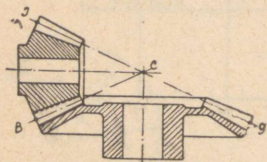
Koonusrataste valmistus, samuti nende kohalemonteerimine, nõuab suurimat hoolt ja täpsust. Kui valmistus on puudulik või rattad on kohale monteeritud nii, et algkoonuste tipud ei satu kokku rattatelgede pikenduste lõikepunktiga või jällegi ratta telgedevaheline nurk ei ole võrdne algkoonuste nurkade poole summaga, siis rataste koostöö ei ole korralik. Suur jõukulu, tugev müra ja hammaste kiire kulumine on selle otsene tagajärg. Ülekande suuruse muutmisega muutub ka hammaste ja rattatelje vaheline nurk, millest järeldub, et koostöötavas koonusrattapaaris ei ole võimalik asendada üht ratast teisega, millel juhuslikult valitud hammaste arv, ilma et muudetak rattapaari telgede asend.

Teoreetiliselt õige hambakujuga koonusrataste valmistamine toimub sellekohasel erimasinal hõõveldamisega.

Alati absoluutselt õige hambavorm ei ole ilmtingimata nõutav, mispärast koonusrataste freesimine toimub sageli ka univer-

saalfreespinkidel. Tööriistaks selle töö juures on kettakujuline vormfrees, nn. moodulfrees. Tuleb silmas pidada, et freesitud hammaste juures hambakuju muutub seda ebasoodsamaks, mida väiksem on hammaste arv ja mida suurem on hamba laius. Reeglüks on seepärast, et freesitud koonusrataste hammaste arv ei tohi olla alla 25 hamba, kuna hamba laius ei tohi ületada $\frac{1}{3}$ algkoonuse külje pikkusest. Et hambad ja samuti ka hambalüngad vähenevad koonuse tipu suunas, tuleb kumbki hambakülj freesida eraldi ning freesi paksus ei tohi olla suurem kui hambalünga laius koonusratta sisemisel küljel.

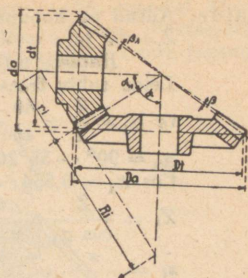
Koonusrataste konstrueerimine ei ole enam freesija, vaid juba konstruktori ülesanne, mispärast me ka siin ei puuduta lähemalt arvutusviise.



Joon. 69. Koonusrataste paar.

Koonusrataste freesivormi määramine.

Koonusrataste freesimisel freesivormi ei määrata tegeliku hammaste arvu põhjal, vaid aluseks võetakse mõttelise silinderratta hammaste arv z_i ; selle ratta jaotusringi raadiuseks on koonusratta täienduskoonuse külg R_i või vastavalt r_i (joon. 70).



Joon. 70. Koonusrattapaari konstruktsiooni elemendid.

Tabel 6. Koonusrataste freesivormi määramine.
(Rattateljed moodustavad 90°-se nurga.)

Otsitud	A R V U T U S			
	Tähis- tamine	Suurem ratas	Tähis- tamine	Väiksem ratas
Jaotusring	D_t	$Z \cdot M$	d_t	$z \cdot M$
Välise hambajao- tuse moodul (mm)	M	$\frac{D_t}{Z}$		$\frac{d_t}{z}$
Sisemise hambajao- tuse moodul (mm)	m	$\frac{D_t - 2 \cdot b \cdot \sin \alpha_1}{Z}$		$\frac{d_t - 2 \cdot b \cdot \sin \alpha_2}{z}$
Jaotusringi nurk	α_1	$\frac{D_t}{d_t} = \frac{Z}{z} = \operatorname{tg} \alpha_1$	α_2	$\frac{d_t}{D_t} = \frac{z}{Z} = \operatorname{tg} \alpha_2$
Mõtteline raadius	R_i	$\frac{D_t}{2 \cdot \cos \alpha_1}; \frac{M \cdot Z}{2 \cdot \cos \alpha_1}$	r_i	$\frac{d_t}{2 \cdot \cos \alpha_2}; \frac{M \cdot z}{2 \cdot \cos \alpha_2}$
Mõtteline ham- maste arv	Z_i	$\frac{2 R_i}{M}; \frac{Z}{\cos \alpha_1}$	z_i	$\frac{2 r_i}{M}; \frac{z}{\cos \alpha_2}$
Hamba laius (mm)	b	maks. = $\frac{M \cdot Z}{6 \cdot \sin \alpha} = \frac{1}{3}$ koonuse külje pikkusest		
Sisemise hamba- länga laius (mm)	l	maks. = $\frac{m \cdot \pi}{2} = \frac{(M \cdot Z - 2 \sin \alpha_1 \cdot b) \cdot \pi}{2 Z}$		

l = tähistab ühtlasi freesi suurimat lubatavat paksust jaotusringi kohal.
 Z ja z on vastavalt suurema ja väiksema hammasratta tegelik hammaste arv.

Näide: Antud on koonusrattapaar, mille hammaste arv

$Z = 60$ ja $z = 40$ hammast, moodul = 6.

Rataste teljed moodustavad nurga = 90° ja hamba laius = 50 mm.
Leida sobiv frees.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{Z}{z} = \frac{60}{40} = 1,5; \text{ leiame tabelist } \alpha_1 = 56^\circ 20'$$

$$\alpha_2 = 90^\circ - 56^\circ 20' = 33^\circ 40' \text{ (vt. joon. 70).}$$

$$\cos \alpha_1 = 0,554; \cos \alpha_2 = 0,832$$

$$Z_i = \frac{Z}{\cos \alpha_1} = \frac{60}{0,554} \cong 108 \text{ hammast;}$$

$$z_i = \frac{z}{\cos \alpha_2} = \frac{40}{0,832} \cong 48 \text{ hammast.}$$

Suurema ratta jaoks sobib moodulfrees nr. 7 moodul 6; frees on määratud hammaste arvule 55—134 ning väiksemale rattale frees nr. 6 moodul 6, määratud hammaste arvule 35—54. Mõlemaid freese leiame kaheksanumbrilisest moodulfreeside komplektist.

$$\text{Lubatav hambalaius } b_{\text{maks.}} = \frac{M \cdot Z}{6 \cdot \sin \alpha} = \frac{6 \cdot 60}{6 \cdot 0,832} \cong 72 \text{ mm.}$$

Antud juhul hambalaius on kõigest 50 mm.

Leitud freesile suurim lubatav paksus sisemise jaotusringi kohal tohib olla:

$$l = \frac{(M \cdot Z - 2 \sin \alpha_1 \cdot b)}{2 \cdot Z} = \frac{(6 \cdot 60 - 2 \cdot 0,832 \cdot 50) \cdot 3,14}{2 \cdot 60} \cong 7,25 \text{ mm.}$$

Jagamispea kallutusnurga määramine.

Hammaste freesimiseks universaalfreespingil treitud koonusratas tuleb liikumatult kinnitada universaaljagamispea spindlile. Viimasele aga tuleb anda säärane kallak, et koonusratta hambatüve joon oleks paralleelne freespingi suporti pinnale (joon. 71).

Kui α = hambatüve joone ja koonusratta telgjoone vaheline nurk ning ühtlasi ka jagamispea spindli kallutusnurk (joon. 72),

α_1 = algkoonuse külje ja koonusratta telgjoone vaheline nurk,

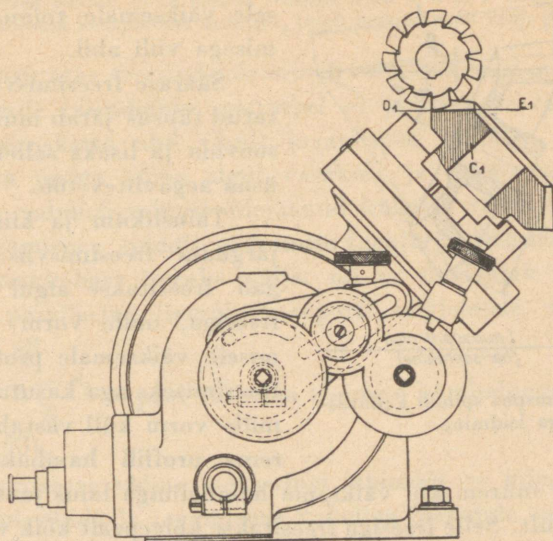
β = hambatüve joone ja algkoonuse külje vaheline nurk,

l = algkoonuse külje pikkus (mm), siis jagamispea spindli kallutusnurk $\alpha = \alpha_1 - \beta$.

Praktikas sageli esineva juhu jaoks, et koonusrataste teljed moodustavad omavahel 90° -se nurga, on

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{z}{Z}, \text{ s. o. } = \frac{\text{väiksema ratta hammaste arv}}{\text{suurema ratta hammaste arv}}$$

Näide: Tuleb freesida koonusratas, mille hammaste arv $z = 25$, moodul $M = 3$ (välise hambaprofiili jaoks). Hambatüve kõrgus $h_2 = 4$ mm. Vastarattal on $Z = 50$ hammast ja rataste telgedevaheline nurk $= 90^\circ$. Leida jagamispea kallutusnurk α .



Joon. 71. Koonusratta freesimine.

Märkus: Üldiselt koonusrataste hambatüve kõrgus h_2 on samane silinderrataste omaga $= 1,166 \cdot M$ seega käesoleval juhul peaks olema $\sim 3,5$ mm, valitud on aga 4 mm, et võimaldada vabamat rataste koostöötamist.

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{z}{Z} = \frac{25}{50} = \frac{1}{2} = 0,500.$$

Tabelist leiame vastava nurga, mille suurus on $\sim 26^\circ 30'$.

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{h_2}{l} = \frac{h_2 \cdot 2 \cdot \sin \alpha_1}{M \cdot z} = \frac{4 \cdot 2 \cdot 0,446}{3 \cdot 25} = 0,047.$$

Tabelist leiame $\beta = 2^\circ 40'$; $\alpha = \alpha_1 - \beta = 26^\circ 30' - 2^\circ 40' = 23^\circ 50'$.

Koonusrataste freesimisviise.

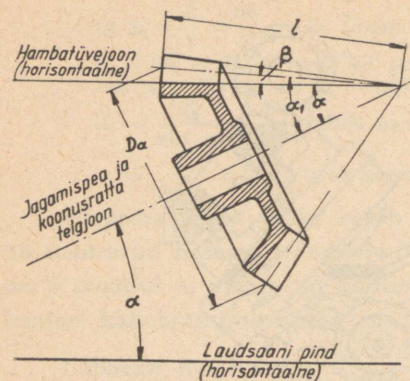
Koonusrataste hambalünkade freesimist võib toimetada mitmel viisil. Lihtsamaks viisiks on, kui hambalünk freesitakse ette freesiga, mille vorm vastab koonusratta hambalünga sisemisele vähemale profiilile. Siis freesitakse väline profiil teise freesiga, mille vorm vastab hambalünga välisele profiilile.

Freesida tuleb viimase operatsiooni puhul aga ainult nii sügavalt, et väline, s. o. suurem hambalünga profiil oleks juba puhtalt nähtav.

Üleminek välisest profiilist sisemisele väiksemale toimub ületöötlemisega viili abil.

Säärase freesimisviisiga saavutatud täpsus jätab muidugi tublisti soovida ja lisaks sellele on see ka üsna aegaviitev töö.

Täiuslikum ja kiirem on aga järgmine freesimisviis. Hambalüngad freesitakse algul samuti ette freesiga, mille vorm vastab sisemisele väiksemale profiilile. Järelfreesimiseks aga kasutatakse freesi, mille vorm küll vastab välise suurema profiili hambaküljele, kuid



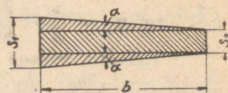
Joon. 72. Jagamispea spindli kallutusnurga leidmine.

paksus ei ole suurem kui väiksema hambalünga laius jaotusringi kõrgusel mõõdetult. Selle freesiga freesitakse kõigepealt kõik vasakpoolsed ja siis kõik parempoolsed hambaküljed või jällegi ümberpöörduvalt. Et saavutada vajalikku hambalünga laienemist seest väljapoole, tuleb jagamispea allakinnitatud pööratava ja kraadidesse jaotatud plaadi abil pöörata keskjoonest vastavalt ühele või teisele poole. Tuleb silmas pidada, et pöörata tuleb nimelt jagamispead, mitte aga freespingi laudsaani. Kui tähega S_1 tähistada välise hambalünga laiust ja S_2 -ga sisemist, siis hambalünga kogulaienemine on $S_1 - S_2$ (joon. 73).

See laienemine tuleb jaotada võrdselt mõlemale hambaküljele; on näit. sisemine hambalünk 3 mm võrra välisest kitsam, siis jagamispea tuleb pöörata nii, et frees lõikaks välisest hambaküljest 1,5 mm maha, sisemise profiili aga jätaks puutumata.

Nurka, mille võrra tuleb pöörata jagamispead, võime hõlpsasti määrata järgmiselt:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{s_1 - s_2}{2 \cdot b}, \text{ kusjuures } b = \text{hambalaius (joon. 73).}$$



Joon. 73. Koonusratta hambalünk.

Näide: $s_1 = 9$ mm; $s_2 = 6$ mm; $b = 30$ mm,

$$\text{siis } \operatorname{tg} \alpha = \frac{s_1 - s_2}{2b} = \frac{9 - 6}{2 \cdot 30} = \frac{1}{20} = 0,05.$$

Tabelist leiame, et $\operatorname{tg} 0,05$ -le vastab nurk $\cong 2^\circ 50'$, mille võrra, frees-
pingi laudsaani keskjoonest arvatult, tuleb jagamispead külje poole pöörata.

Kolmas kasutatav freesimisviis erineb eelmisest vaid selle poolest, et hambalünkade laiendamise otstarbel ei pöörata tervet jagamispead, vaid jaotusketta abil ainult jagamispea spindlit. Pööramine sünnib teatava nurga võrra algul vasakule ja pärast sellepoolsete hambakülgede valmifreesimist ülejäänud külgede töötlemiseks jälle paremale. Jagamispea spindli pööramise tagajärjel freesitav hammas nihutatakse keskkohast natuke välja, nii et töödeldav hambakülge ei ole enam paralleelne freespingi suporti telgjoonele, vaid sellele väikese nurga all.

Kui $x = \frac{s_1 - s_2}{2}$ = pool välise ja sisemise hambalünga vahest =
= mm (joon. 73),

D_i = koonusratta väline jaotusringi läbimõõt = mm,

i = jagamisvända ja jagamispea vaheline ülekande suurus,

n = jagamisvända pöörete arv,

$$\text{siis } n = \frac{x}{D_i \cdot \pi \cdot i}$$

Näide: Olgu $D_i = 150$ mm; $s_1 = 9$ mm; $s_2 = 6$ mm; $i = 1/40$. Leida n .

$$x = \frac{s_1 - s_2}{2} = \frac{9 - 6}{2} = 1,5 \text{ mm.}$$

$$n = \frac{x}{D_i \cdot \pi \cdot i} = \frac{1,5 \cdot 40}{150 \cdot 3,14} = \frac{1}{7,85} \text{ või ümmarguselt } \frac{1}{8},$$

tähendab, vasakpoolse hambakülje freesimiseks tuleb jagamisvânta 31-augulisel ringil pöörata 4 augu võrra ühele poole ja pärast algseisu tagasiasumist sama arvu aukude võrra teisele poole.

Mõlema viimati kirjeldatud freesimisviisi puhul on ainult välisel hambaküljel õige kuju, kuna sisemisel poolel on lahkuminek kõige suurem. Suurte hambalaiuste puhul tuleb seepärast mõnel juhul arvestada vähest järeleaitamist.

Tigurataste freesimine.

Tigurataste üldandmeid.

Tiguajamit kasutatakse peamiselt juhtumeil, kui soovitakse saada võrdlemisi suuri ülekande suhteid (vähimalt 1:5). Hammasratasajamitega võrreldes on tiguajami paremus vähene ruumitarvitus, peale selle on ta isepidurdav ajam. Tigu valmistatakse enamasti terasest ja tiguratas pronksist. Ainult madalama hambasurve ja väikese kiiruse juures leiab materjalina kasutamist ka malm.

Olenedes tigu kruvikäikude arvust tehakse vahet ühe- ja mitmekäiguliste tiguajamite vahel. Ühekäiguliste tigude puhul ei tohi tiguratta hammaste arv olla alla 40 ja mitmekäiguliste puhul alla 50 hamba, vastasel korral muutub hambumine ebasoodsaks. Erilist rõhku tuleb tiguülekannete juures panna täpsele telgede vahele; niipea kui sellest küllaldasel määral kinni ei peeta, väheneb tigu ja tiguratta hammaste kokkupuutepind suuresti ja tagajärjeks on väga tugev hammaste kulumine.

Tiguratta valmistamiseks kasutatakse tigufreeze, ja selle jaotusringi läbimõõt ning hammaste vorm peavad täielikult ühtima tigu omadega. Et tigufreezid tavaliselt on taganttreitud hambaseljaga, siis teritamisel lihvides hambarinda freezi läbimõõt väheneb. See-

pärast on üldiselt kombeks kujunenud enne selgusele jõuda kasutada oleva tigufreezi mõõtude üle ja neid aluseks võttes alles asuda tiguajami konstrueerimisele.

Tigurataste peamõõdud määratakse enamasti moodulsüsteemi alusel järgmiselt:

M — tiguratta moodul
 T — hambumissamm = ühekäigulise tigu kruvikeerme tõus = $\pi \cdot M$

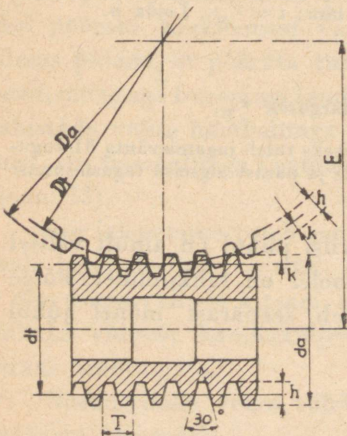
Z — tiguratta hammaste arv = $\frac{D_t}{M}$

D_t — tiguratta jaotusringi läbimõõt = $Z \cdot M$

D_a — tiguratta välisläbimõõt = $(Z+2) \cdot M$

d_a — tigu välisläbimõõt = $d_t + 2M$

d_t — tigu jaotusringi läbimõõt = $d_a - 2M$



Joon. 74. Tiguülekanne.

h — tigu keerme sügavus = $2,166 \cdot M$

E — telgede vahe = $\frac{D_t + d_t}{2}$

α — tigu tõusunurk; $\operatorname{tg} \alpha = \frac{M}{d_t}$

Näide: Tigujami jaoks, mille ülekande suhe on 1 : 60, moodul $M = 5$ ja mille ühe-käigulise tigu läbimõõt $d_a = 80$ mm, leida tähtsamad mõõtmed.

$$T = \pi \cdot M = 3,14 \cdot 5 = 15,708$$

$$D_t = Z \cdot M = 60 \cdot 5 = 300 \text{ mm}$$

$$D_a = (Z + 2) \cdot M = (60 + 2) \cdot 5 = 310 \text{ mm}$$

$$h = 2,166 \cdot M = 2,166 \cdot 5 = 10,83 \text{ mm}$$

$$d_a = 80 \text{ mm}$$

$$d_t = d_a - 2M = 80 - 2 \cdot 5 = 70 \text{ mm}$$

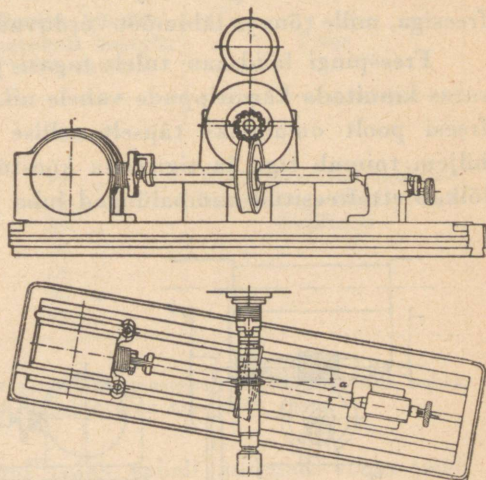
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{M}{d_t} = \frac{5}{70} = 0,071; \alpha \approx 4^\circ 5'$$

$$E = \frac{D_t + d_t}{2} = \frac{300 + 70}{2} = 185 \text{ mm}$$

Freesimisviisid.

Tigurataste freesimisel tuleb teha vahet eel- ja järelfreesimise vahel. Eelfreesimine toimub jagamispea abil, kuna tööriistana kasutatakse kettakujulist moodulfreesi, mille välisläbimõõt vastab tigu välisläbimõõdule. Frees tuleb üles seada sääraselt, et ta asetseks täpselt freesitava ratta kesk- kohal, kuna freespingi laudsaan tuleb pöörata tõusunurga võrra, olenevalt tigu tõususuunast, kas vasakule või paremale.

Freesimine ise toimub sel teel, et freespingi laudsaan koos töötluseseemega tõstetakse alt üles freesile vastu ja freesimissügavust määratakse sellekohase seatava piiraja abil. Kui üks hambalünk on freesitud, vändatakse laudsaan seda võrd alla, et oleks võimalik jagamispea abil edasi ja



Joon. 75. Tiguratta eelfreesimine.

gada, vändatakse siis laudsaan jälle üles kuni piirajani ja freesitakse nii üks hammas teise järele. Säärasel viisil freesides saame vajalikud poolümmarguse põhjaga kallakhambad.

Tigu tõusunurka, mille võrra freespingi laudsaan nullpunktist ära tuleb pöörata, arvutatakse järgmiselt:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{\pi \cdot d_t}, \text{ kusjuures } l = \text{tigu kruvikeerme tõus mõõdetult jaotusringi kohal (mm).}$$

$$d_t = \text{tigu jaotusringi läbimõõt (mm).}$$

Tigu jaotusringi läbimõõt ja tõus peavad olema antud ühes ning samas mõõtühikus, vastasel korral tuleb need ühtlustada. On näit.

$$d_t = 178 \text{ mm ja } l = 4'' \text{, siis, kuna } l'' = 25,4 \text{ mm,}$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{l}{\pi \cdot d_t} = \frac{4 \cdot 25,4}{3,14 \cdot 178} = 0,182. \text{ Tabelist leiame, et } \alpha = 10^\circ 20'.$$

On aga tigu keermetõus antud moodulsammuna, siis

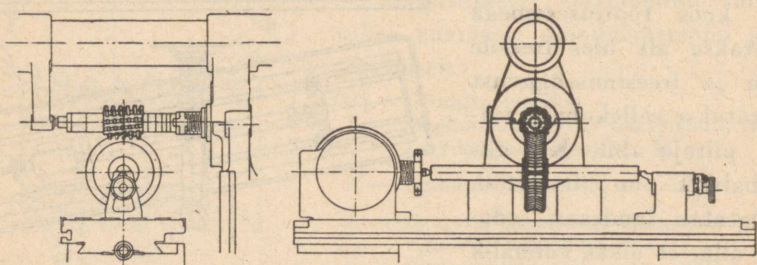
$$\operatorname{tg} a = \frac{M}{d_t} = \frac{\text{moodul}}{\text{jaotusringi läbimõõt}}.$$

Kasutades eespool toodud näidet tiguga, mille moodul $M = 5$ ja jaotusringi läbimõõt $d_t = 70$ mm, siis

$$\operatorname{tg} a = \frac{M}{d_t} = \frac{5}{70} = 0,071; a \cong 4^\circ 5'.$$

Ettefreesitud tiguratta järelfreesimine toimub silindrilise tigu-freesiga, mille tõus ja läbimõõt võrduvad tigu samade mõõtudega.

Freespingi laudsaan tuleb tagasi pöörata nullasendisse ja tiguratas kinnitada kärnitippude vahele nii, et ta vabalt pöörleks ja tigu-freesi poolt omandaks täpselt sellise pöörlemisliikumise, nagu see hiljem toimub tigu ja tiguratta koostöötamisel (joon. 76). Tigufrees lõikab ettefreesitud hambalüngad juba puhtalt välja, kusjuures frees-



Joon. 76. Tiguratta järelfreesimine.

pingi laudsaan tuleb pikkamisi nii kõrgele üles vändata, et hamba-
põhjad täie sügavuseni üle töödeldaks, s. o. tigufreesi ja tiguratta
telgede vahe vastaks arvutusel saadud mõõdule.

Freespingi koormuse arvutamine.

Töötamisel huvitab freesijat küsimus, kas ta freespink on mak-
simaalsel määral koormatud või on antud mootori võimsuse puhul
ajaühikus tekkivat laastuhulka võimalik veelgi tõsta. On olemas küll
täpsed, ent ühtlasi aegaviitvad arvutusviisid, mistõttu neid tööstus-
olukorras on raske rakendada. Alljärgnev arvutusviis tugineb aga
suurtööstuste praktilistele kogemustele, on kiire ja seejuures küllal-
daselt täpne. Täiel määral maksev ei ole ta küll väga suurte plaan- ja
pikifreespinkide juures, kuid iseloomustamiseks sealgi kõlvuline.

Arvutamiseks on meil tarvilik teada ühe minuti jooksul mootori
ühe hobujõu kohta tekkiv suurim lubatav laastuhulk kantsentimeetris.
Vajalikud, praktikas väljakujunenud andmed on toodud allpool tabeli-
kujuliselt.

Töödeldav materjal	Suurim lubatav laastuhulk hobujõu kohta minutis	Frees
Malm	20 cm ³	Kiirlõiketerasest ümbris- hammastega lõikav frees (rullfrees)
Süsinikteras, tõmbetugevusega 60—70 kg/mm ²	10 „	
CrNi teras VCN35 parendatult	6 „	
Terasvalu	10 „	
Tempervalu	12 „	
Pronks	15 „	
Messing	32 „	
Alumiinium	50 „	

Märkus: Tabel on maksev ümbrishammastega lõikavate freeside kohta.
Lauphammaste puhul võib tabelis toodud arve kuni 50% tõsta.

Taganttreitid freeside puhul tuleb tabeli andmed võtta veidi
madalamad, kuid tugeva freestorni ja hästi teritatud freesi puhul
võivad need olla isegi kuni 20% võrra suuremad. Eelduseks aga see-

juures on, et freespink oleks küllalt tugev ja töötaks täiesti võnkevabalt.

Näide: Antud töötuseseme materjaliks on parendatud CrNi teras VCN35, mahalõigatav materjalikiht $a = 10 \text{ mm} = 1 \text{ cm}$, freesi laius $b = 75 \text{ mm} = 7,5 \text{ cm}$.
Valitud: ettenihke kiirus = $68 \text{ mm/min.} = 6,8 \text{ cm/min.}$, tööriist = rullfrees. Pingi ajumootor $N = 7,5 \text{ HJ}$.

Tabeli kohaselt on VCN35 jaoks suurim lubatav laastuhulk iga hobujõu kohta minutis = 6 cm^3 . Antud ja valitud tingimustes oleks kogu mahalõigatav laastuhulk:

$a \times b \times s = 1,0 \times 7,5 \times 6,8 = 51 \text{ cm}^3$ minutis. Selleks tarvilik mootorivõimsus peaks olema

$$N = \frac{51}{6} = 8,5 \text{ HJ.}$$

Et pingi ajumootori tugevus on kõigest $7,5 \text{ HJ}$, siis töötaks freesmasin ülekoormatult. Tuleb mahavõetav kiht vähendada 10 pealt $10 \times \frac{7,5}{8,5} = 8,8$ peale või, teiste sõnadega, lõigata maha kahe laastuna. Teise võimalusena jääb ettenihke kiirust vähendada $68 \times \frac{7,5}{8,5} = 58 \text{ mm/min.}$ peale. Mõlemal juhtumil oleks pingi suurim lubatav koormus saavutatud.

B. HÖÖVELDAMINE.

Sissejuhatus.

Hööveldamise ja freesimise vahelise võistluse tõttu on hõöveldamistöo ulatus küll tublisti tagasi läinud, hõöveldamine kui tööharu püsib aga sellest hoolimata endiselt. Hõövlitera on nimelt odav tööriist, mida edukalt saab kasutada igasugu plaantööde juures. Et freeside alghind kui ka korrashoid on märksa kallimad, siis on lihtsakuju- lised freesid tasuvad ainult seeriatööde puhul. Juurde tuleb veel, et kuna freesimisel tekivad võrdlemisi suured jõud ja töötlusese tugev soojenemine, siis väga õhukesed esemed freesimiseks hästi ei sobi.

Kohase töötlusviisi valiku juures on enamasti mõõduandev masinaaeg, mida katsume selgitada alljärgneva näitega.

1. Olgu töödelda 1,3 m pikkune liist, mille laius on 15 mm.

a) Hõöveldamine: Lõikekiirus $v = 15$ m/min. Ettenihe = 1 mm. Töökäigu pikkus 1,5 m.

Töölaua tagasijooksu kiirus on töökäigu kiirusest 2 korda suurem.

$$\text{Töökäigu } t_a \text{ kestus} = \frac{1,5}{15} = 0,1 \text{ min.}$$

$$\text{Tagasijooksu } t_r \text{ kestus} = \frac{1,5}{2 \cdot 15} = 0,05 \text{ min.}$$

Töölaua ühe edasi-tagasikäigu kestus $t_a + t_r = 0,15$ min. Arvesse võttes aega käigu ümberlülilmiseks saame $t_a + t_r = 0,20$ min.

Masin vajab edasi-tagasikäiguks seega 0,2 min. Kuna töötamine sünnib 1-mm ettenihkega, siis 15 mm laia liistu hõöveldamiseks tuleb teha 15 säarast käiku.

Hõöveldamise aeg on seega $15 \cdot 0,2 = 3$ min.

- b) Freesimine. Töötlusese, milleks on sama 1,3 m pikkune liist, liigub pikisuunas freesile vastu. On masina ettenihke suurus 100 mm/min. ja töökäigu pikkus 1,38 m, siis on freesimiseks vajalik aeg $t_f = \frac{1380}{100} = 13,8 \sim 14$ min.

Seega: hõõveldamise aeg 3 min.,
freesimise aeg 14 min.

2. Olgu töödelda ese, mille laius = 350 mm ja pikkus = 60 mm.

- a) Hõõveldamine: Kui $v = 15$ m/min., ettenihke = 1 mm, tagasijooksu kiirus on töökäigust 2 korda suurem ja töökäigu pikkus 450 mm, siis:

$$\text{töökäigu aeg } t_a = \frac{0,45}{15} = 0,03 \text{ min.}$$

$$\text{tagasijooksu aeg } t_r = 0,015 \text{ min.}$$

$$\underline{t_a + t_r = 0,045 \text{ min.}}$$

Ümberlülamise aja arvel tõstame 0,07 minutini. 60-mm töötlusese laius ja 1-mm ettenihke puhul peab töölaud tegema 60 edasi-tagasikäiku.

Hõõveldamise aeg on seega $60 \cdot 0,07 = 4,2$ min.

- b) Freesimine: Kui ettenihke = 100 mm/min., siis kui töökäigu pikkus = $60 + 80 = 140$ mm:

$$\text{freesimise aeg } t_f = \frac{140}{100} = 1,4 \text{ min.}$$

Seega: hõõveldamise aeg 4,2 min.,
freesimise aeg 1,4 min.

Ülaltoodud arvestusest võime teha järelduse, et pikkade ja kitsaste pindade töötlemine sünnib kasulikumalt hõõveldamise teel, kuna hõõvelmasina laud töötleset minutis 15 m võrra edasi nihutab. Freesimisel see aga oleks ainult 100—120 või paremal juhul 170 mm. Freesimisele aga töötab jälle kasulikumalt lühikeste laiade töötluspinde puhul, kuna frees haarab korraka terve laius.

Kogemused aga näitavad nüüd, et freesitud töötlusese ära tõmbuvad. On välja kujunenud seega järgmine tööviis riistmasinate ehitamisel: ruppimine, s. o. jämetöötlemine freespingil ja järgnevalt

lihtimine või peentöötlemine hõõveldamise teel. Pingete kaotamiseks peab töölusele ainult mõlema töökaigu vahel mõne aja rahulikult lamama. Vormpindade töötlemisel on freesimine kasulik, sest frees annab korraga valmisvormi.

Ettetoodud arutlusest selgub, et kõik õhukesed esemed on soovitatav hõõveldada. Tugevad töölusesemed hõõveldatakse, kui on tegemist pikkade, kitsaste ja siledapinnaliste liistusarnaste osadega. On aga nende töötuspinnad lühikesed, kuid laiad, siis on otstarbekam neid freesida. Keerulise kujuga esemeid on kasulik freesida, välja arvatud üksikvalmistuse puhul, kus töö lihtsakujulise hõõvliteraga tuleb odavam.

Hõõvelmasinad.

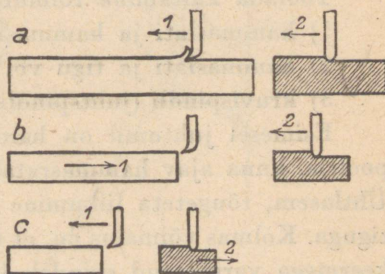
Vastandina trei- ja freespinkidele töötavad hõõvelmasinad sirgjoonelise edasi-tagasi pea- või tööliikumisega. Laastu lõikamiseks vajalik ettenihke on seejuures mitte pidev, vaid tõukeline.

Olenedes tööluseseme suurusest ja kujust on võimalikud järgmised kolm töötamisviisi:

- Hõõveldatav töölusele seisab liikumatult paigal, kuna hõõvlitera teeb nii pea- kui ka ettenihke-liikumise (joon. 77-a).
- Töölusele teeb pealiikumise, kuna tera seevastu teeb vaid ettenihke-liikumise.
- Hõõvlitera teeb pealiikumise, töölusele — ettenihke-liikumise.

Esimest tööviisi rakendatakse väga suuremõduliste või väga raskete esemete puhul. Näitena võiks siin nimetada masinat plekiserivate hõõveldamiseks.

Lahutatud töö- ja ettenihke-liikumised on kasulikud ainult keskmiste mõõtudega töölusesemete puhul. Siin asetseb hõõveldatav eseme tavaliselt edasi-tagasi liikuv töölaual, kuna suportile koos hõõvli-



Joon. 77. Hõõvelmasinate mitmesuguseid töötamisviise.

teraga antakse küljepealne ettenihke-liikumine. Selle masinagrupi esindajaks on pikihöövelpink.

Lõppeks väga väikeste töötlusesemete puhul on kõige sobivam pealiikumist lasta teha hõõvliteral, kuna ettenihe antakse töötlusese-mele. Masin muutub sel puhul võrdlemisi lihtsakujuliseks. Siia kuuluvad peale põikhöövel- ehk šepingpinkide veel stoospingid.

Pikihöövelpink.

Pikihöövelpink iseloomustab ta võrdlemisi pikk edasi-tagasi liikuv töölaud, ja kasutamist leiab ta horisontaal-, vertikaal- ja kallakpindade hõõveldamisel. Kuna töö iseloom nõuab, et horisontaalsete pindade töötlemisel tera peab nihkuma põigiti üle hõõveldatava pinna, siis pingi ehitus kujuneb lühidalt järgmiseks. Alussängil lasub liikuv töölaud ja selle ajam, edasi kaks püstkandurit ühes neid ühendava üles-alla liigutatava põiktalaga. Viimasele on kinnitatud tera hoidisport. Lõpuks veel töölaua ja suporti lülitusseadmed (joon. 78 ja 79).

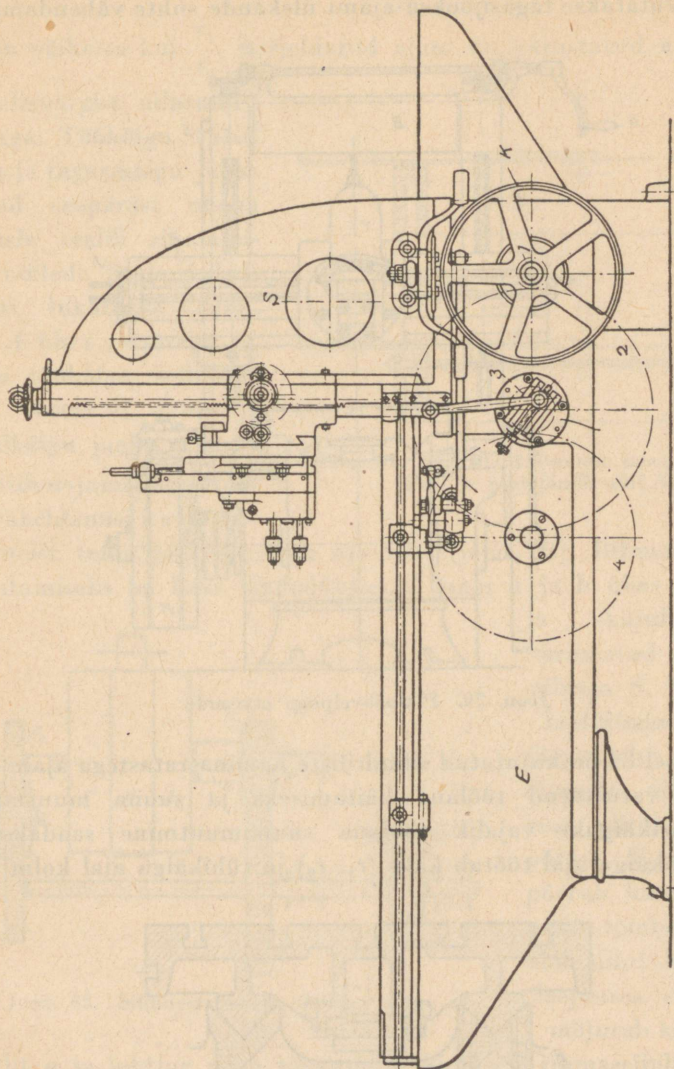
Läikuva töölaua ülesandeks on töötluseseeme kandmine ja sellele tööliikumise andmine. Selleks et laud töötamisel ei painduks või ära ei tõmbuks, peab ta olema küllaldaselt tugev, mis otstarbeks ta varustatakse rea ribidega. Töötluseseeme kinnitamiseks on ette nähtud T-kujulised nuudid. Laud peab olema alussängil hästi juhitud ja kergesti liikuma. Juhtimiseks on harilikult prismaatilised juhtliistud, ja et õli neil hästi ei taha püsida, siis tavaliselt nähakse ette rida pöörlevaid õli sees jooksvaid ja juhtpinda puutuvaid õlitamisrulle (joon. 80).

Töölaua käitamine toimub kas

- 1) hammaslati ja hammasratta,
- 2) hammaslati ja tigu või
- 3) kruvispindli (juhtspindli) ja mutri abil.

Esimesel juhtumil on hammaslatt kinnitatud töölaua alumisele poolele, kuna ajav hammasratas omakorda on kinnitatud alussängile. Ühtlasem, tõugeteta liikumine saadakse, kui hammasratas asendada tiguga. Kolmas võimalus on, et töölaua all panna pöörlema pikk kruvikeermega varustatud spindel, kuna vastasmutter on kinnitatud töölaua külge (joon. 81). Spindliga ajam töötab hästi ühtlaselt ja rahu-likult, mispärast ta sobib eriti raskemaile masinaile.

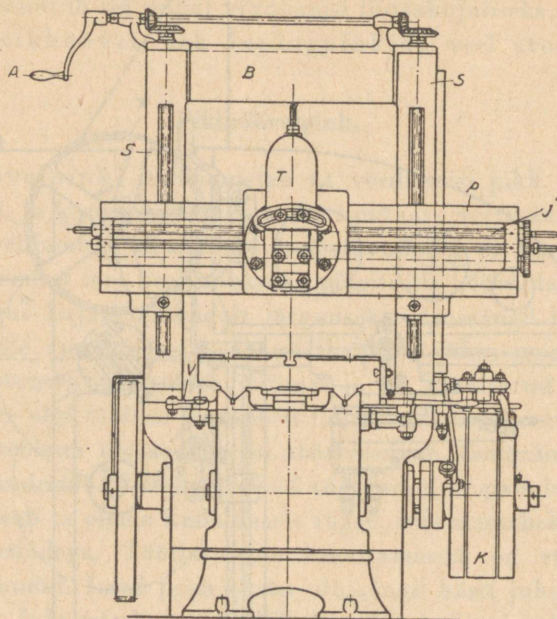
Selleks et hõõvelpingi töölaua sirgjoonelist liikumist muuta edasi-tagasikäiguks, on tarvis erilist seadet. Edasi on masina tööjõudluse



Joon. 78. Pikihõõvelpingi külgsaade.

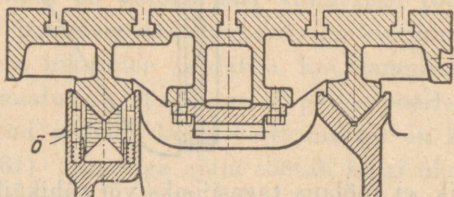
tõstmiseks tarvilik, et töölaua tagasijooks või tühikäik oleks kiirendatud. Töölaua suunamuutmine saavutatakse masinavõlli liikumise

ümberlülamise teel, kusjuures see võib sündida hammasrataste, rihmade, sidurite või ajumootori enese abil. Laua kiirendatud tagasijooks seevastu saavutatakse tagasijooksu-ajami ülekande suhte vähendamisega.



Joon. 79. Pikihöövelpingi otsvaade.

Joonisel 82 on kujutatud silindriliste hammasratastega ajam hammaslatiga varustatud töölauda käitamiseks ja suuna muutmiseks. Edasi-tagasikäiguks vajalik töölauda suunamuutmine saadakse sel teel, et töökäigu ajal töötab kaks (r_1 , r_2) ja tühikäigu ajal kolm ham-



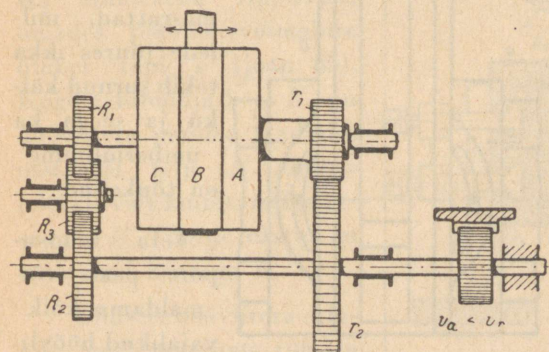
Joon. 80. Pikihöövelpingi töölaud.

masrattast (R_1, R_2, R_3). Vaheratta R_3 mõjul toimubki käigu ümberlülimine. Töölaua kiirendatud tagasijooksu põhjustab ülekanne $\frac{R_1}{R_2}$, mis on väiksem kui $\frac{r_1}{r_2}$. Kirjeldatud ajam on varustatud ainult ühe

lae-vahevärgist allatuleva rihmaga. Töökäigu, vabakäigu ja tagasikäigu jaoks peavad seepärast olema igauhele eraldi rihmaseibid, millede peale vaheldamisi lükatakse rihm. Seib A ühes rattastega r_1 , r_2 on töökäigu, seibid B ja C vastavalt vaba- ja tagasikäigu jaoks.

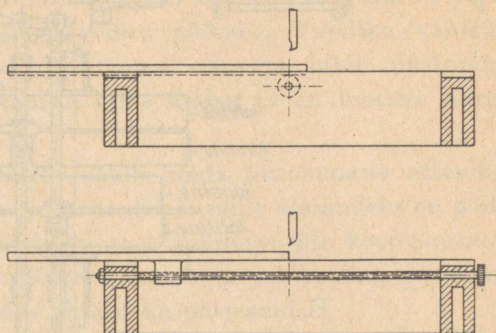
Rihmajami puhul töötab vaheldamisi kaks rihma, neist teine jookseb kogu aja risti (joon. 83).

Rihmade ümberpaigutamiseks on kaks rihmalükkajat kangi a ja b ühes kahvlitega



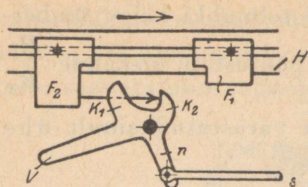
Joon. 82. Silinderrattastega töölaua ajam.

kahvlit a ja lahtine rihm tõugatakse kinniselt rihmaseibilt lahtisele. Ristuv rihm aga jääb nuudi erilise kuju tõttu veel lühikeseks ajaks lahtisele seibile ja alles siis viib kahvel b rihma tagasijooksu-seibile.



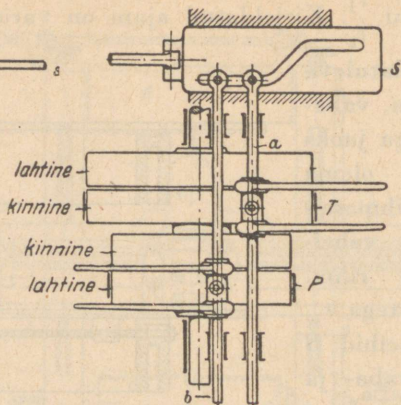
Joon. 81. Töölaua käitamine hammaslati abil (ülal) ja juhtspindli abil (all).

ja \lrcorner -kujulise nuudiga varustatud tüürimis-siibriga S . Käigu ümberlülimine sünnib järgmiselt: töökäigu lõppedes tõukab töölaua piiraja F_2 vastu pörget K_2 ja sellega pöörab kangi n . Viimane tõmbab kangi s abil siibri S vasakule. Seejuures siibri nuut mõjutab kõigepealt



Mõlema rihma ümberpaigutamine ei sünni seega mitte korraga, vaid üksteise järele,

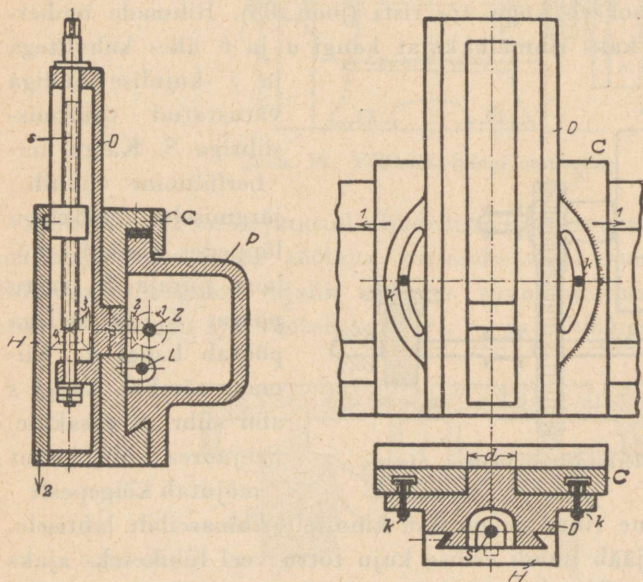
ja tagajärjeks on, et töölaua käigu ümberlülitimisel ei esine mingit järsku töuget. Peale pörkmete K_1 ja K_2 on ette nähtud veel käsihoob V , mille abil on võimalik tarbe korral toimetada ümberlülimist ka käsi.



Joon. 83. Töölaua rihmajam.

Üldiselt töötavad rihmajamid märksa pehmemalt kui hammasrattad, millele juures ikka tekib surnud käiku ja seega ka ümberlülimine on tõukeline.

Tera hoidisport peab võimaldama kõik vajalikud hõõvli-tera ettenihke- liikumised. Et tegemist on peamiselt ristuvate horisontaal- ja



Joon. 84. Hõõvli-tera hoidisport.

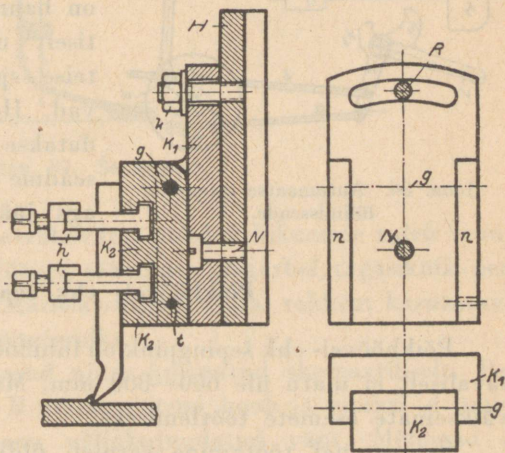
vertikaalliikumistega, siis üldiselt suporti ehitus sarnleb suuresti treipingi suporti omaga.

Alus- ehk põiksaan C (joon. 84) peab võimaldama ettenihet horisontaalsuunas, selleks liigub ta piki põiktala P , suunas $I - I$. Üles- alla liikumist võimaldab püstsaan H ja ta reguleerimine toimub spindli s kaudu. Kallakpindade hõõveldamiseks on aga veel tarvilik, et püstsaan annaks end teatava nurga võrra pöörata. Vajaliku vahelüli moodustabki pöördeisib (liira), mis oma esiosaga juhhib püstsaani, tagumisel küljel omab aga tapi d , mille ümber ta on teatava nurga võrra pööratav.

Töötamisel tuleb mõlemale saanile anda automaatne ettenihe. Selleks asetseb pingi põiktalas juhtspindel L , mille ülesandeks on põiksaani käitamine. Püstsaan seevastu saab liikumise üle koonusrataste $1, 2, 3, 4$ tõmbespindlilt Z . Koonusrataste mõjul hakkab pöörlema spindel s , tõstes või langetades ühtlasi ka püstsaani H .

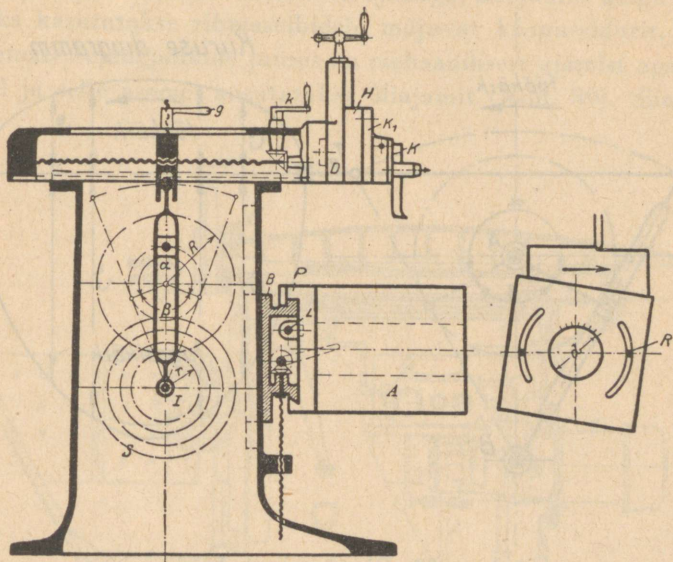
Kirjeldatud suporti põhikujule tuleb lisaks veel liikuv terahoidja. Hõõvlitera asjata kulumise vältimiseks tuleb ta nimelt tagasikäigul natuke üles tõsta, nii et ta ei puudutaks töötluspinda. Selleks on terahoidja osa K_2 kinnitatud rippuvalt, omades pööramisvõimaluse ümber tapi g (joon. 85). Kogu terahoidja kere K_1 on hõõvlitera parema seadmise otstarbel telje N ümber pööratavalt kinnitatud püstsaanile H . Pöörde ulatus on määratud kaarega R .

Üldiselt hõõvlitera ettenihe peab toimuma töö- ja tühikäigu vahelises ajavahemikus, seega tõukeliselt ja peaaegu silmapilkselt. Et ettenihe toimub just töölauda käigu ümberlülamise momendil, siis nii ettenihkeks kui ka ümberlülamiseks kasu-



Joon. 85. Kiikuv terahoidja.

seisab paigal, siis masina töötamine on võrdlemisi rahulik. Lihkur on juhitud kastkere ülemises osas, milles ta kergesti edasi-tagasi liigub, ühtlasi kannab lihkur ka hõõvlitera suportit (joon. 87). Suportil on üldjoontes samad osad nagu pikihõõvelmasina omal, puudub ainult põiksaan, sest selle järele siin vajadust ei ole.



Joon. 87. Šepingpink.

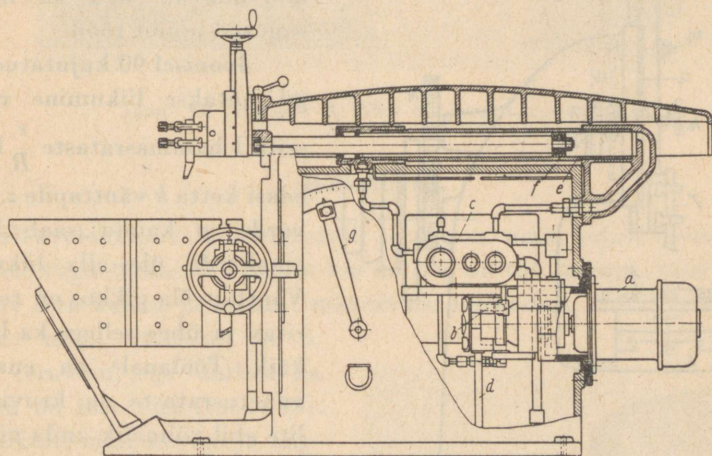
Lihkuri käitamiseks lac-vahevärgi pöörlev liikumine tuleb muuta sirgjooneliseks, kusjuures tööaja säästmise otstarbel tagasikäik peab olema kiirendatud. Seks otstarbeks viimasel ajal rohkem kasutatavat ajamit nimetatakse õõtsvântajamiks.

Joonisel 88 on nimetatud ajam kujutatud skemaatiliselt. Peaosad moodustavad punkti *B* ümber õõtsuv hoob ja punkti *A* ümber pöörlev ning hammasrattana väljakujundatud vänt. Mõlemad on omavahel ühendatud vabalt hooba mööda üles-alla liikuva neljakandilise kiviga. Kui nüüd rihmaseibi kaudu anda pöörlev liikumine hammasrattale *r* (joon. 87), siis paneb viimane pöörlema temaga ühendes oleva ratta *R*. Pöörlevat liikumist on sunnitud kaasa tegema nelja-

pealne ettenihe saadakse ekstsenterseibilt ja vardalt töölauda horisontaalspindli otsas istuva pörkratta järk-järgulise edasinihutamisega. Mõne ehitusviisi puhul on töölaud horisontaalse tapi *d* ümber pööratav, mis hõlbustab tunduvalt kallakpindade hõõveldamist.

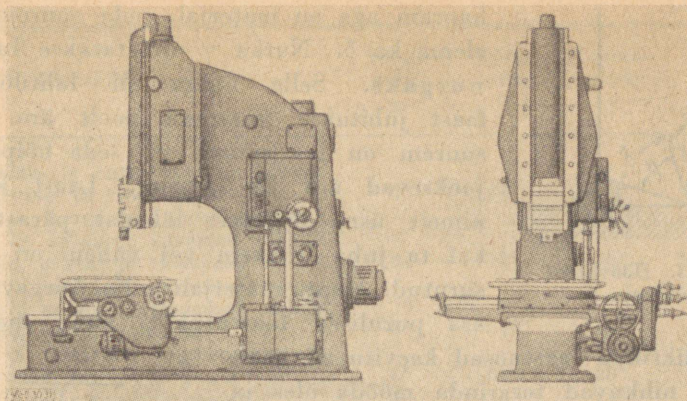
Peale kirjeldatud õõtsvõtjame ehitatakse šepingpinke ka hammaslatist ja hammasrattast koosneva ajamiga, kusjuures käigu ümberlüümiseks kasutatakse rihmaseibidele mõjuvat koonussidurit.

Uuemate šepingpinkide juures on mehaanilisest ajamist aga täiesti loobutud ja selle asemel kasutatakse õliajameit (joon. 89). Siin lihkur



Joon. 89. Fr. Klopp'i õliajamiga šepingpink.

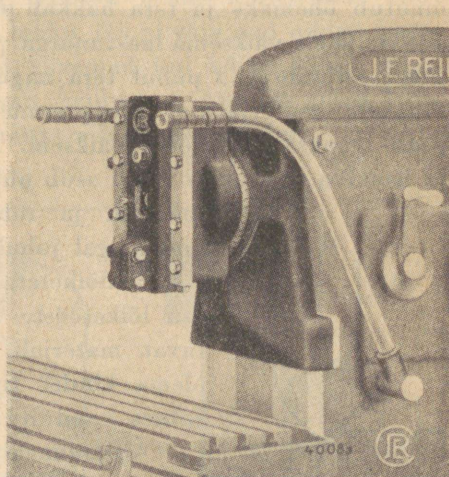
on ühendatud pika silindri sees edasi-tagasi liikuva kolviga. Viimane saab oma liikumise järgmiselt: Elektrimootoriga *a* ühendatud pump *b* imeb imitoru *d* kaudu õli üles ja pumpab selle silindrisse *e*, lükates töökolvi *f* vasakule edasi. Sobival momendil lülitakse lülituskarbis *c* õlivool ümber ja see lükkab nüüd kolvi jälle tagasi. Kolvi ja ühes sellega ka lihkuri käigu kiirust on võimalik muuta hoova *g* abil astmeteta täiesti soovi kohaselt. Samuti saab lülitusseadme abil anda lihkurile iga soovitud käigu pikkuse. Säärase pingi töötamine sünnib täiesti tõugeteta, mistõttu ta sobib eriti täpsemate tööde täitmiseks. Vabriku andmeil on lihkuri liikumiskiirust võimalik astmeteta regu-



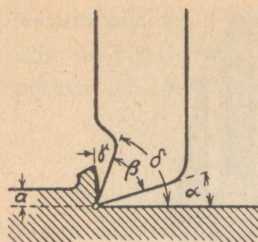
Joon. 91. Heymer & Piltz'i õliajamiga stoospink.

Höövliterad.

Hööveldamiseks kasutatavad terad on oma kujult treiteradega üldiselt väga sarnased. Nii siin kui ka seal on töö tulemus täiel määral rippuv tera kujust ja viimast määravaist nurkadest. Nurk β on kiilunurk; mida väiksem on β , seda teravam, aga ühtlasi ka õrnem on lõiketera (joon. 93). Järelikult, mida kõvem ja hapram on töödeldav materjal, seda suurem peab olema ka kiilunurk β . Seljanurga α ülesandeks on tera ja töötluspinna vahelise hõõrumise vähendamine. Ühtlasi peab ta võimaldama terale õhu ja jahutusvedeliku juurdepääsu. Nurgad $\alpha + \beta$ kokku moodustavad lõikenurga δ . Mida pehmem on hõõveldatav materjal, seda väiksem võib olla lõikenurk δ ; mida kõvem ja

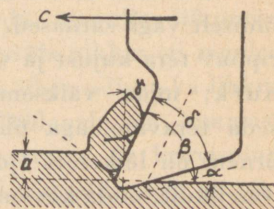
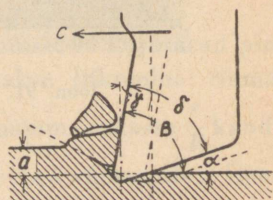


Joon. 92. Reinecker'i stoossimiseade.



Joon. 93. Hõõvlitera põhikuju.

puhul üksikud laastuosad keevituvad nagu kokku, nihkuvad terarinda mööda üles ja moodustavad pideva kooriva laastu (joon. 94). Tera seljapoolse külje läbi surutakse hõõveldatav materjal kokku. Mida väiksem on seljanurk α , seda suurem on töödeldava materjali kokkusurutud pindala ja seda suurem peab olema ka jõud, millega tera surutakse vastu materjali. Hõõvlitera selja vastu sihitud surve püüab nimelt löikeriista eemale suruda, laast muutub õhemaks ja tera hakkab põrisema. Teiselt poolt väiksema laastunurga γ ja eriti suure seljanurga α puhul tera nagu haagib sügavale materjalisse. Ruppterade juures peab seepärast α olema väiksem. Põriseva ja haakiva töötamise vahel asub nüüd kõige

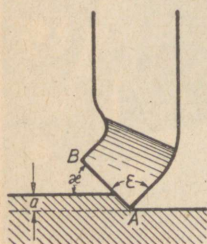


Joon. 94. Väikese ja suure laastunurgaga hõõvliterad.

soodsam ja rahulikum löikamine, mida tuleb püüda igal juhul saavutada.

Pealöiketera AB (joon. 95) teeb ära tähtsama osa löiketööst. Selleks et ta haaraks hõõveldatavat materjali küllaldase laiussega, peab teral olema kindel tipunurk ϵ ja asuma töötluspinna suhtes seadenurga α all.

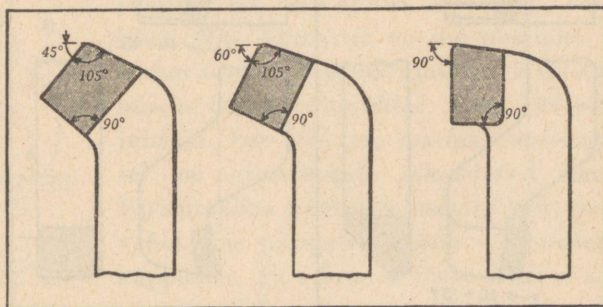
Alljärgnevalt tabel kiirlöiketerasest tera sobivamate nurkadega mitmesuguste materjalide löikamisel:



Joon. 95. Hõõvlitera.

Töödeldav materjal	Selja- nurk α	Kiilu- nurk β	Laastu- nurk γ	Seade- nurk % (umbes)
Kõvamalm ja eriti kõvad ja haprad valgevase- ja pronksiliigid	6°	84°	0°	—
Teras ja terasvalu, tõmbetugevusega üle 70 kg/mm ² , kõvemad malmisordid, pronks ja valgevask	8°	74°	8°	30°—40°
Teras ja terasvalu, tõmbetugevusega 60—75 kg/mm ² , pehmemad malmisordid, pehme valgevask	8°	68°	14°	50°
Teras ja terasvalu, tõmbetugevusega 40—60 kg/mm ²	8°	62°	20°	50°
Raud ja pehmemad terasesordid	8°	55°	27°	50°
Alumiiniumisulamid ja vask	10°	40°	40°	—

Väga head, vastupidavad hõövliterad, mis võimaldavad töötamist märksa suurema löikekiirusega ka sääraste kõva koorega materjalide juures, nagu terasvalu, kõvamalm jne., on kõvametallist terad. Nende valmistamine sünnib nn. metallkeraamilisel teel ja nad koosnevad peamiselt koobaldist, volframist, titaanist ja teistest säärastest metallidest. Kõvametallid ei ole terased, nende käsitlemine läheb seepärast viimaseist ka tunduvalt lahku. Nii ei vaja nad mingit karastamist, sellest hoolimata on nad kõvemad kui kõige kõvem teras, ühtlasi aga viimaseist ka tunduvalt hapramad. Lihvida tuleb kõvametallide puhul alati vastutera, mitte aga ümberpöördult.



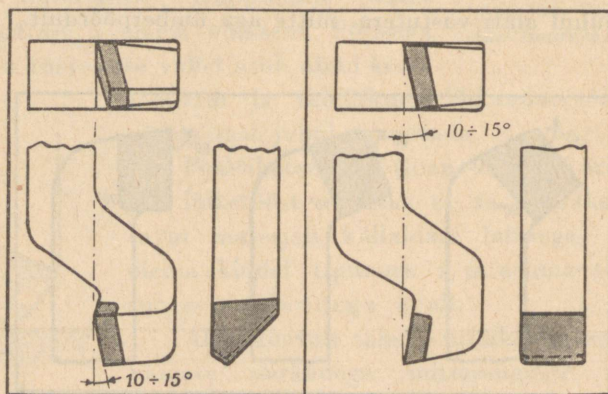
Joon. 96. Kõvametallist ruppimisterad.

Kõvametallist terade lõikenurgad erinevad tunduvalt nurkadest, mida õppisime tundma kiirlõiketerasest terade juures. Kiilunurk β on siin üldiselt märksa suurem.

Allpool on toodud tabelikujuliselt mitmesuguste materjalide töötlemiseks sobivamad kõvametallist terade lõikenurgad, ühtlasi ka lõikekiirused ja ettenihke suurused:

Töödeldav materjal	Treitera lõikenurgad			Lõikekiirus		Ettenihke mm töökäigu kohta	Lõike-sügavus mm
	α	β	γ	ruppimine m/min.	lihtimine m/min.		
Pehme süsinik-terras	5—8	65—70	15—18	80—160	100—250	kuni 1,5	kuni 5
Kõva süsinik-terras	5—8	70—73	10—12	50—100	65—200	„ 1,25	„ 4
Kroomnikkel-terras	5—8	70—73	10—12	60—80	80—160	„ 1,0	„ 3,5
Malm	5—8	78—80	3—6	45—70	60—100	„ 1,5	„ 3,0
Kõvamalm . . .	2—4	86	0	4—8	6—14	„ 0,8	„ 2,0
Messing	5—8	72—74	8—15	200—450	kuni 650	„ 1,0	„ 3,0
Alumiinium . .	8—10	42—45	30—45	kuni 1200	„ 2000	„ 1,0	„ 4,0

Joonisel 96 on kujutatud kõvametallist hõõvliterade kujud, mis-suguseid neid valmistajate eritehaste poolt soovitatakse kui kõige sobivamaid ruppimistöödeks. Joon. 97 seevastu näeme sobivaid lih-timisterasid nii terava kui ka laia teraotsaga.

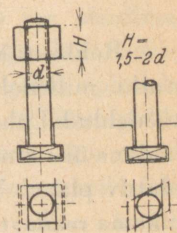


Joon. 97. Kõvametallist lihtimisterad.

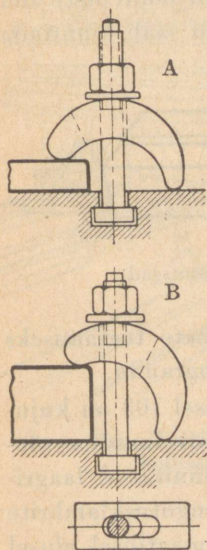
Tootamisel kõvametallist teradega tuleb erilist rõhku panna sellele, et hõõvelpink oleks küllaldaselt tugev ja töötaks täiesti võnkevabalt. Edasi on väga tähtis, et hõõvlitera ots hoidjast ei ulatuks liiga palju välja, sest väikseimgi läbipaindumine on ohtlik kõvametallist plaadikesele ja ta puruneb.

Töötlusese kinnitamine hõõveldamisel.

Hõõveldamisel sünnib töötlusese kinnitamine masina töölaule peagu eranditult poltide ja mitmesuguste klambritaoliste kinnitusabinoode abil. Poldidel on enamasti neljakandiline pea, mis lükatakse töölauda T-kujulistesse nuutidesse. Hõlpsamad aga on kasutada rombikujulise peaga poldid, mida ei ole tarvis pikalt edasi nihutada, vaid nad mahuvad igas kohas peaga hästi läbi ja kerge pöördega paremale on nad lukustatud (joon. 98). Kinnituspoltide jaoks tavalised mutrid peakõrgusega $0,8 - 1 d$ ($d =$ poldi läbimõõt) ei ole hästi sobivad, märksa paremad on erimutrid, millede peakõrgus $= 1,5 - 2 d$. Nii poldid kui ka mutrid peavad olema valmistatud korralikust masinaterasest.



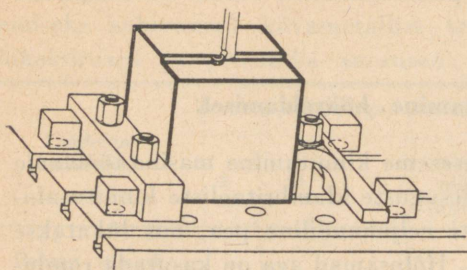
Joon. 98.
Kinnituspoldid.



Joon. 99.
Kinnituskäpp.

Peale tavaliste U-kujuliste kinnitusklaamrite, mida õppisime tundma juba freesimise osas, kasutatakse hõõveldamisel hea eduga veel erikujulisi kõveraid kinnituskäppi (joon. 99). Viimastel on see paremus, et töötlusese teatava paksuse juures ei ole tarvis toetamiseks mingit aluspakku. Joon. 100 on kujutatud juhtum, kus sobivate masinakruustangide puudusel on otstarbekalt rakendatud kinnituskäppi. Kuubitaoline töötlusese asetseb kahe paralleellistust vahel, kus parajasti jätkub veel ruumi kinnituskäppadele. Et viimased liistu tõttu ei saa libiseda, siis suruvad nad vastu töötlusesele ning hoiavad seda väga tugevasti kinni.

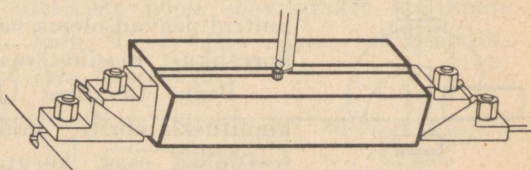
Paralleelkruustangide sarnast kinnitust saadakse veel kahest kiilusarnasest osast koosneva nurga kasutamisel (joon. 101). Neist alumine pool kinnitatakse töölauale, kuna pealmine pool kallakpinna tõttu kruvi survel nihkub ette- ja allapoole. Pikkade töötlusesemete juures tuleb vaid silmas pidada, et töölaud oleks küllaldaselt tugev ega painduks läbi. Kasulik on seepärast asetada kinniturngad T-nuudiga varustatud alusplaadile ja see omakorda kinnitada hõövelpingi töölauale.



Joon. 100. Käppkinnitus erijuhtumina.

Rohkesti kasutatakse ka tavalisi ühest tükist valmistatud kinniturnurki, millel mõlemad pinnad peavad olema aga täpselt ja puhtalt töödeldud. Lühemate tugevamate töötlusesemete hõöveldamisel on küllaldane üks kinniturnurk, teise poole moodustab lihtsalt poldi otste alla ulatuv plaat. Väiksemate esemete puhul, missuguseid saab kinnitada pikema reana, tuleb kasutada kaht kinniturnurka.

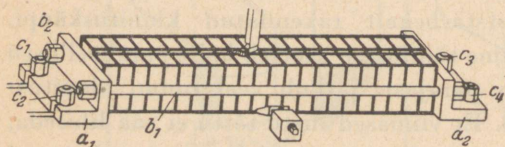
Joon. 102 nurkade a_1 ja a_2 vahel poldide b_1, b_2 abil hoitakse kinni suurem hulk plaaditaolisi esemeid. Poldid $c_1 - c_4$ on nurkade kinnitamiseks töölauale.



Joon. 101. Kinniturnurgad.

Keerulise ja ebakorrapärase kujuga töötlusesemete toetamiseks saab edukalt kasutada väikesi väljakruvitavaid tungraudu.

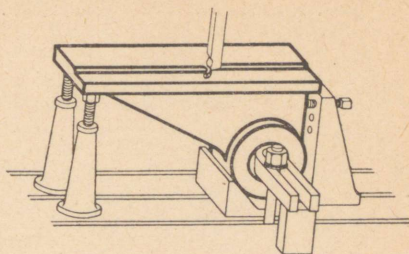
Joonisel 103 on kujutatud hõövelmasina töölauale kinnitatud laagripukk. Pingutusklambrite abil prismaatilisel alusel hoitav pukkk toetatakse otsast kahe säärase tugi-



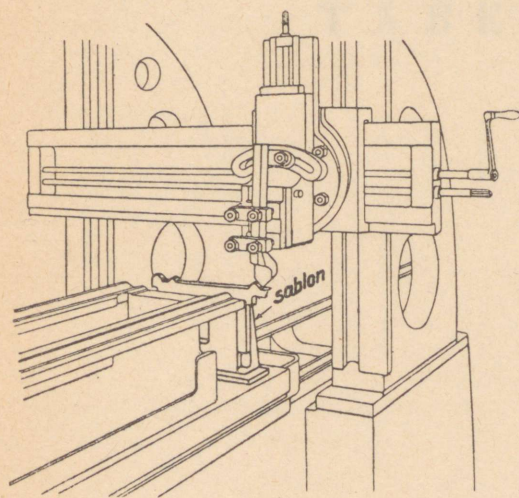
Joon. 102. Materjali hulgaline kinnitamine nurkade abil.

puki poolt. Väga oluline on seejuures hõõveldamise suund, sest kinnitus on vaid sel juhul rahuldav, kui hõõvlitera löikab joonestusel märgitud viisil. Juhul kui see on vastupidine, muutuvad tugipukid tarbetuks, kuna töötlusese ikkagi kas vedrutatakse üles või siis kistakse hoopis lahti.

Niihästi hõõveldatava eseme ülesseadmine kui ka tegelik hõõveldamistöö sünnib enamasti juba varem ettemärgitud kriipsude järgi. Keerulisemate ja peamiselt täpsemate tööde puhul on sellest aga vähe. Näitena on joon. 104 kujutatud treipingi sängi hõõveldamine.



Joon. 103. Tugipukid.



Joon. 104. Treipingi sängi hõõveldamine kajušablooniga järgi.

Teadupärast peab see sündima suure täpsusega, kui soovitakse, et treipingi spindelkast, suport ja kärnipukk püsiks alaliselt õiges asendis. Säärasteil juhtumel leiab rakendamist eriline kajušabloon, mil on täpne hõõveldatav profiil. Joon. 104 asetseb niisugune šabloon hõõveldatava sängi taga ja hõlpsamaks väljareguleerimiseks on ta üles-alla ja külje peale nihutatav. Hõõveldaja võib nüüd tera seada ja üksikuid pindu hõõveldada otse šablooni järgi, ilma et tal tarvitseks jälgida märkimiskriipse.

I. Terase kaalutabel.

Ühe jooksva meetri kaal kg-des; 1 m³ kaaluks on võetud 7850 kg; *d* — läbimõõt või vastavalt paksus mm-eis.

<i>d</i> mm	Kaal, kg/m		<i>d</i> mm	Kaal, kg/m		<i>d</i> mm	Kaal, kg/m	
	○	□		○	□		○	□
5	0,154	0,196	30	5,549	7,065	80	39,458	50,240
6	0,222	0,283	32	6,313	8,038	85	44,545	56,716
7	0,302	0,385	34	7,127	9,075	90	49,940	63,585
8	0,395	0,502	36	7,990	10,174	95	55,643	70,846
9	0,499	0,636	38	8,903	11,335	100	61,654	78,500
10	0,617	0,785	40	9,865	12,560	105	67,973	86,546
11	0,746	0,950	42	10,876	13,847	110	74,601	94,985
12	0,888	1,130	44	11,936	15,198	115	81,537	103,816
13	1,042	1,327	46	13,046	16,611	120	88,781	113,040
14	1,208	1,539	48	14,205	18,086	125	96,334	122,656
15	1,387	1,766	50	15,413	19,625	130	104,195	132,665
16	1,578	2,010	52	16,671	21,226	135	112,364	143,066
17	1,782	2,269	54	17,978	22,891	140	120,841	153,860
18	1,998	2,543	56	19,335	24,618	145	129,627	165,046
19	2,226	2,834	58	20,740	26,407	150	138,721	176,625
20	2,466	3,140	60	22,195	28,260	155	148,123	188,596
21	2,719	3,462	62	23,700	30,175	160	157,834	200,960
22	2,984	3,799	64	25,253	32,154	165	167,852	213,715
23	3,261	4,153	66	26,856	34,195	170	178,179	226,865
24	3,551	4,522	68	28,509	36,298	175	188,815	240,406
25	3,853	4,906	70	30,210	38,465	180	199,758	254,340
26	4,168	5,307	72	31,961	40,694	185	211,010	268,666
27	4,495	5,723	74	33,762	42,987	190	222,570	283,385
28	4,834	6,154	76	35,611	45,342	195	234,438	298,496
29	5,185	6,602	78	37,510	47,759	200	246,615	314,000

Märkus: Kiirlõiketerase kaal on umbes 10% võrra suurem tabelis toodud arvudest.

II. Tabel tollide ülevaamiseks millimeetrisse.

Toll	0	$\frac{1}{16}$	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{16}$	$\frac{1}{4}$	$\frac{5}{16}$	$\frac{3}{8}$	$\frac{7}{16}$	Toll
0	0,000	1,588	3,175	4,763	6,350	7,938	9,525	11,113	0
1	25,401	26,989	28,576	30,164	31,751	33,339	34,926	36,514	1
2	50,802	52,389	53,977	55,565	57,152	58,740	60,327	61,915	2
3	76,203	77,790	79,378	80,966	82,553	84,141	85,728	87,316	3
4	101,604	103,191	104,778	106,367	107,954	109,541	111,130	112,720	4
5	127,005	128,592	130,179	131,766	133,353	134,940	136,527	138,114	5
6	152,406	153,993	155,580	157,167	158,754	160,341	161,928	163,515	6
7	177,807	179,394	180,981	182,568	184,155	185,742	187,329	188,916	7
8	203,208	204,795	206,382	207,969	209,556	211,143	212,730	214,317	8
9	228,609	230,196	231,783	233,370	234,957	236,544	238,131	239,718	9
10	254,010	255,597	257,184	258,771	260,358	261,945	263,532	265,119	10

Toll	$\frac{1}{2}$	$\frac{9}{16}$	$\frac{5}{8}$	$\frac{11}{16}$	$\frac{3}{4}$	$\frac{13}{16}$	$\frac{7}{8}$	$\frac{15}{16}$	Toll
0	12,700	14,288	15,876	17,463	19,051	20,638	22,226	23,813	0
1	38,101	39,689	41,277	42,864	44,452	46,039	47,627	49,214	1
2	63,502	65,090	66,678	68,265	69,853	71,440	73,028	74,615	2
3	88,903	90,491	92,078	93,666	95,254	96,841	98,429	100,020	3
4	114,304	115,891	117,478	119,066	120,654	122,241	123,830	125,420	4
5	139,705	141,292	142,880	144,467	146,054	147,642	149,230	150,820	5
6	165,106	166,693	168,280	169,867	171,455	173,042	174,630	176,220	6
7	190,507	192,094	193,681	195,268	196,856	198,443	200,030	201,620	7
8	215,908	217,495	219,082	220,669	222,256	223,843	225,430	227,020	8
9	241,309	242,896	244,483	246,070	247,657	249,244	250,831	252,420	9
10	266,710	268,297	269,884	271,471	273,058	274,645	276,232	277,820	10

III. Trigonomeetriliste funktsioonide väärtusi.

$\sin 0^\circ \div 45^\circ$ ja $\cos 45^\circ \div 90^\circ$.

S I N U S								
Kraad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	Kraad
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,017	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	0,035	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	0,052	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	0,070	86
4	0,070	0,073	0,076	0,078	0,081	0,084	0,087	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	0,105	84
6	0,105	0,107	0,110	0,113	0,116	0,119	0,122	83
7	0,122	0,125	0,128	0,131	0,133	0,136	0,139	82
8	0,139	0,142	0,145	0,148	0,151	0,154	0,156	81
9	0,156	0,159	0,162	0,165	0,168	0,171	0,174	80
10	0,174	0,177	0,179	0,182	0,185	0,188	0,191	79
11	0,191	0,194	0,197	0,199	0,202	0,205	0,208	78
12	0,208	0,211	0,214	0,216	0,219	0,222	0,225	77
13	0,225	0,228	0,231	0,233	0,236	0,239	0,242	76
14	0,242	0,245	0,248	0,250	0,253	0,256	0,259	75
15	0,259	0,262	0,264	0,267	0,270	0,273	0,276	74
16	0,276	0,278	0,281	0,284	0,287	0,290	0,292	73
17	0,292	0,295	0,298	0,301	0,303	0,306	0,309	72
18	0,309	0,312	0,315	0,317	0,320	0,323	0,326	71
19	0,326	0,328	0,331	0,334	0,337	0,339	0,342	70
20	0,342	0,345	0,347	0,350	0,353	0,356	0,358	69
21	0,358	0,361	0,364	0,367	0,369	0,372	0,375	68
22	0,375	0,377	0,380	0,383	0,385	0,388	0,391	67
23	0,391	0,393	0,396	0,399	0,401	0,404	0,407	66
24	0,407	0,409	0,412	0,415	0,417	0,420	0,423	65
25	0,423	0,425	0,428	0,431	0,433	0,436	0,438	64
26	0,438	0,441	0,444	0,446	0,449	0,451	0,454	63
27	0,454	0,457	0,459	0,462	0,464	0,467	0,469	62
28	0,469	0,472	0,475	0,477	0,480	0,482	0,485	61
29	0,485	0,487	0,490	0,492	0,495	0,497	0,500	60
30	0,500	0,503	0,505	0,508	0,510	0,513	0,515	59
31	0,515	0,518	0,520	0,522	0,525	0,527	0,530	58
32	0,530	0,532	0,535	0,537	0,540	0,542	0,545	57
33	0,545	0,547	0,550	0,552	0,554	0,557	0,559	56
34	0,559	0,562	0,564	0,566	0,569	0,571	0,574	55
35	0,574	0,576	0,578	0,581	0,583	0,585	0,588	54
36	0,588	0,590	0,592	0,595	0,597	0,599	0,602	53
37	0,602	0,604	0,606	0,609	0,611	0,613	0,616	52
38	0,616	0,618	0,620	0,623	0,625	0,627	0,629	51
39	0,629	0,632	0,634	0,636	0,638	0,641	0,643	50
40	0,643	0,645	0,647	0,649	0,652	0,654	0,656	49
41	0,656	0,658	0,660	0,663	0,665	0,667	0,669	48
42	0,669	0,671	0,673	0,676	0,678	0,680	0,682	47
43	0,682	0,684	0,686	0,688	0,690	0,693	0,695	46
44	0,695	0,697	0,699	0,701	0,703	0,705	0,707	45
Kraad	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Kraad
C O S I N U S								

IV. Trigonomeetriliste funktsioonide väärtusi.

$\text{Cos } 0^\circ \div 45^\circ$ ja $\text{sin } 45^\circ \div 90^\circ$.

C O S I N U S								
Kraad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	Kraad
0	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	89
1	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	0,999	0,999	88
2	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	0,999	87
3	0,999	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	0,998	86
4	0,998	0,997	0,997	0,997	0,997	0,996	0,996	85
5	0,996	0,996	0,996	0,995	0,995	0,995	0,995	84
6	0,995	0,994	0,994	0,994	0,993	0,993	0,993	83
7	0,993	0,992	0,992	0,991	0,991	0,991	0,990	82
8	0,990	0,990	0,989	0,989	0,989	0,988	0,988	81
9	0,988	0,987	0,987	0,986	0,986	0,985	0,985	80
10	0,985	0,984	0,984	0,983	0,983	0,982	0,982	79
11	0,982	0,981	0,981	0,980	0,979	0,979	0,978	78
12	0,978	0,978	0,977	0,976	0,976	0,975	0,974	77
13	0,974	0,974	0,973	0,972	0,972	0,971	0,970	76
14	0,970	0,970	0,969	0,968	0,967	0,967	0,966	75
15	0,966	0,965	0,964	0,964	0,963	0,962	0,961	74
16	0,961	0,960	0,960	0,959	0,958	0,957	0,956	73
17	0,956	0,955	0,955	0,954	0,953	0,952	0,951	72
18	0,951	0,950	0,949	0,948	0,947	0,946	0,946	71
19	0,946	0,945	0,944	0,943	0,942	0,941	0,940	70
20	0,940	0,939	0,938	0,937	0,936	0,935	0,934	69
21	0,934	0,933	0,931	0,930	0,929	0,928	0,927	68
22	0,927	0,926	0,925	0,924	0,923	0,922	0,921	67
23	0,921	0,919	0,918	0,917	0,916	0,915	0,914	66
24	0,914	0,912	0,911	0,910	0,909	0,908	0,906	65
25	0,906	0,905	0,904	0,903	0,901	0,900	0,899	64
26	0,899	0,898	0,896	0,895	0,894	0,892	0,891	63
27	0,891	0,890	0,888	0,887	0,886	0,884	0,883	62
28	0,883	0,882	0,880	0,879	0,877	0,876	0,875	61
29	0,875	0,873	0,872	0,870	0,869	0,867	0,866	60
30	0,866	0,865	0,863	0,862	0,860	0,859	0,857	59
31	0,857	0,856	0,854	0,853	0,851	0,850	0,848	58
32	0,848	0,847	0,845	0,843	0,842	0,840	0,839	57
33	0,839	0,837	0,835	0,834	0,832	0,831	0,829	56
34	0,829	0,827	0,826	0,824	0,822	0,821	0,819	55
35	0,819	0,817	0,816	0,814	0,812	0,811	0,809	54
36	0,809	0,807	0,806	0,804	0,802	0,800	0,799	53
37	0,799	0,797	0,795	0,793	0,792	0,790	0,788	52
38	0,788	0,786	0,784	0,783	0,781	0,779	0,777	51
39	0,777	0,775	0,773	0,772	0,770	0,768	0,766	50
40	0,766	0,764	0,762	0,760	0,759	0,757	0,755	49
41	0,755	0,753	0,751	0,749	0,747	0,745	0,743	48
42	0,743	0,741	0,739	0,737	0,735	0,733	0,731	47
43	0,731	0,729	0,727	0,725	0,723	0,721	0,719	46
44	0,719	0,717	0,715	0,713	0,711	0,709	0,707	45
Kraad	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Kraad
S I N U S								

V. Trigonomeetriliste funktsioonide väärtusi.

Tg $0^\circ \div 45^\circ$ ja cotg $45^\circ \div 90^\circ$.

T A N G E N S								
Kraad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	Kraad
0	0,000	0,003	0,006	0,009	0,012	0,015	0,017	89
1	0,017	0,020	0,023	0,026	0,029	0,032	0,035	88
2	0,035	0,038	0,041	0,044	0,047	0,049	0,052	87
3	0,052	0,055	0,058	0,061	0,064	0,067	0,070	86
4	0,070	0,073	0,076	0,079	0,082	0,085	0,087	85
5	0,087	0,090	0,093	0,096	0,099	0,102	0,105	84
6	0,105	0,108	0,111	0,114	0,117	0,120	0,123	83
7	0,123	0,126	0,129	0,132	0,135	0,138	0,141	82
8	0,141	0,144	0,146	0,149	0,152	0,155	0,158	81
9	0,158	0,161	0,164	0,167	0,170	0,173	0,176	80
10	0,176	0,179	0,182	0,185	0,188	0,191	0,194	79
11	0,194	0,197	0,200	0,203	0,206	0,210	0,213	78
12	0,213	0,216	0,219	0,222	0,225	0,228	0,231	77
13	0,231	0,234	0,237	0,240	0,243	0,246	0,249	76
14	0,249	0,252	0,256	0,259	0,262	0,265	0,268	75
15	0,268	0,271	0,274	0,277	0,280	0,284	0,287	74
16	0,287	0,290	0,293	0,296	0,299	0,303	0,306	73
17	0,306	0,309	0,312	0,315	0,318	0,322	0,325	72
18	0,325	0,328	0,331	0,335	0,338	0,341	0,344	71
19	0,344	0,348	0,351	0,354	0,357	0,361	0,364	70
20	0,364	0,367	0,371	0,374	0,377	0,381	0,384	69
21	0,384	0,387	0,391	0,394	0,397	0,401	0,404	68
22	0,404	0,407	0,411	0,414	0,418	0,421	0,424	67
23	0,424	0,428	0,431	0,435	0,438	0,442	0,445	66
24	0,445	0,449	0,452	0,456	0,459	0,463	0,466	65
25	0,466	0,470	0,473	0,477	0,481	0,484	0,488	64
26	0,488	0,491	0,495	0,499	0,502	0,506	0,510	63
27	0,510	0,513	0,517	0,521	0,524	0,528	0,532	62
28	0,532	0,535	0,539	0,543	0,547	0,551	0,554	61
29	0,554	0,558	0,562	0,566	0,570	0,573	0,577	60
30	0,577	0,581	0,586	0,589	0,593	0,597	0,601	59
31	0,601	0,605	0,609	0,613	0,617	0,621	0,625	58
32	0,625	0,629	0,633	0,637	0,641	0,645	0,649	57
33	0,649	0,654	0,658	0,662	0,666	0,670	0,675	56
34	0,675	0,679	0,683	0,687	0,692	0,696	0,700	55
35	0,700	0,705	0,709	0,713	0,718	0,722	0,727	54
36	0,727	0,731	0,735	0,740	0,744	0,749	0,754	53
37	0,754	0,758	0,763	0,767	0,772	0,777	0,781	52
38	0,781	0,786	0,791	0,795	0,800	0,805	0,810	51
39	0,810	0,815	0,819	0,824	0,829	0,834	0,839	50
40	0,839	0,844	0,849	0,854	0,859	0,864	0,869	49
41	0,869	0,874	0,880	0,885	0,890	0,895	0,900	48
42	0,900	0,906	0,911	0,916	0,922	0,927	0,933	47
43	0,933	0,938	0,943	0,949	0,955	0,960	0,966	46
44	0,966	0,971	0,977	0,983	0,988	0,994	1,000	45
Kraad	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Kraad

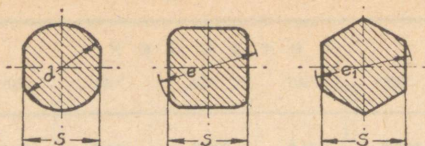
C O T A N G E N S

VI. Trigonomeetriliste funktsioonide väärtusi.

Cotg $0^\circ \div 45^\circ$ ja tg $45^\circ \div 90^\circ$.

C O T A N G E N S								
Kraad	0'	10'	20'	30'	40'	50'	60'	Kraad
0	∞	343,8	171,9	114,6	85,94	68,75	57,29	89
1	57,29	49,10	42,96	38,19	34,37	31,24	28,64	88
2	28,64	26,43	24,54	22,90	21,47	20,21	19,08	87
3	19,08	18,07	17,17	16,35	15,60	14,92	14,30	86
4	14,30	13,73	13,20	12,71	12,25	11,83	11,43	85
5	11,43	11,06	10,71	10,39	10,08	9,788	9,514	84
6	9,514	9,255	9,010	8,777	8,556	8,345	8,144	83
7	8,144	7,953	7,770	7,596	7,429	7,269	7,115	82
8	7,115	6,968	6,827	6,691	6,561	6,435	6,314	81
9	6,314	6,197	6,084	5,976	5,871	5,769	5,671	80
10	5,671	5,576	5,485	5,396	5,309	5,226	5,145	79
11	5,145	5,066	4,989	4,915	4,843	4,773	4,705	78
12	4,705	4,638	4,574	4,511	4,449	4,390	4,331	77
13	4,331	4,275	4,219	4,165	4,113	4,061	4,011	76
14	4,011	3,962	3,914	3,867	3,821	3,776	3,732	75
15	3,732	3,689	3,647	3,606	3,566	3,526	3,487	74
16	3,487	3,450	3,412	3,376	3,340	3,305	3,271	73
17	3,271	3,237	3,204	3,172	3,140	3,108	3,078	72
18	3,078	3,047	3,018	2,989	2,960	2,932	2,904	71
19	2,904	2,877	2,850	2,824	2,798	2,773	2,747	70
20	2,747	2,723	2,699	2,675	2,651	2,628	2,605	69
21	2,605	2,583	2,560	2,539	2,517	2,496	2,475	68
22	2,475	2,455	2,434	2,414	2,394	2,375	2,356	67
23	2,356	2,337	2,318	2,300	2,282	2,264	2,246	66
24	2,246	2,229	2,211	2,194	2,177	2,161	2,145	65
25	2,145	2,128	2,112	2,097	2,081	2,066	2,050	64
26	2,050	2,035	2,020	2,006	1,991	1,977	1,963	63
27	1,963	1,949	1,935	1,921	1,907	1,894	1,881	62
28	1,881	1,868	1,855	1,842	1,829	1,816	1,804	61
29	1,804	1,792	1,780	1,767	1,756	1,744	1,732	60
30	1,732	1,720	1,709	1,698	1,686	1,675	1,664	59
31	1,664	1,653	1,643	1,632	1,621	1,611	1,600	58
32	1,600	1,590	1,580	1,570	1,560	1,550	1,540	57
33	1,540	1,530	1,520	1,511	1,501	1,492	1,483	56
34	1,483	1,473	1,464	1,455	1,446	1,437	1,428	55
35	1,428	1,419	1,411	1,402	1,393	1,385	1,376	54
36	1,376	1,368	1,360	1,351	1,343	1,335	1,327	53
37	1,327	1,319	1,311	1,303	1,295	1,288	1,280	52
38	1,280	1,272	1,265	1,257	1,250	1,242	1,235	51
39	1,235	1,228	1,220	1,213	1,206	1,199	1,192	50
40	1,192	1,185	1,178	1,171	1,164	1,157	1,150	49
41	1,150	1,144	1,137	1,130	1,124	1,117	1,111	48
42	1,111	1,104	1,098	1,091	1,085	1,079	1,072	47
43	1,072	1,066	1,060	1,054	1,048	1,042	1,036	46
44	1,036	1,030	1,024	1,018	1,012	1,006	1,000	45
Kraad	60'	50'	40'	30'	20'	10'	0'	Kraad
T A N G E N S								

VII. Võtmeavaused.



Võtmeavaus s mm	Kaks- kant d mm	Neli- kant e mm	Kuus- kant e ₁ mm	Juurdekuuluvate krivikeermete läbimõõdud	
				toll	mm
3	3,5	4	3,5	—	1
3,5	4	4,5	4,0	—	1,2 ja 1,4
4	4,5	5	4,6	—	1,7
4,5	5	6	5,2	—	2
5	6	6,5	5,8	—	2,3
5,5	7	7	6,4	—	2,6
6	7	8	6,9	—	3
7	8	9	8,1	—	3,5
8	9	10	9,2	—	4
9	10	12	10,4	—	4,5 ja 5
10	12	13	11,5	—	5,5
11	13	14	12,7	¼	6 ja 7
12	14	16	13,8	—	—
14	16	18	16,2	5/16	8
17	19	22	19,6	3/8	9 ja 10
19	22	25	21,9	7/16	11
22	25	28	25,4	½	12 ja 14
24	28	32	27,7	—	—
27	32	36	31,2	5/8	16
30	35	40	34,6	—	—
32	38	42	36,9	¾	18 ja 20
36	42	48	41,6	7/8	22 ja 24
41	48	52	47,3	1	27
46	52	60	53,1	1 1/8	30
50	58	65	57,7	1 ¼	33
55	65	72	63,5	1 3/8	36
60	70	80	69,3	1 ½	39
65	75	85	75,0	1 5/8	42
70	82	92	80,8	1 ¾	45
75	88	98	86,5	1 7/8	48
80	92	105	92,4	2	52
85	98	112	98	2 ¼	56
90	105	118	104	—	60
95	110	125	110	2 ½	64
100	115	132	116	—	68

VIII. Freespingi laudsaani nurgad spiraalsete rihvade freesimiseks.

Kruvi- joone tõus <i>h</i> mm	Töötluseseme läbimõõt <i>d</i> mm												
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
50	32,3	43,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
75	23	32,3	40,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
100	18,3	25,2	32,1	38,1	43,2	—	—	—	—	—	—	—	—
125	14	21,2	26,3	31,1	37	41,2	45	—	—	—	—	—	—
150	11,5	17,3	22,5	27,4	32,1	36,1	40	43,2	45,1	—	—	—	—
175	10,2	15,1	19,5	24,2	28,1	32	35,5	39	41	44,4	45,1	—	—
200	9	13,1	17,3	21,2	25,1	28,4	31	35,3	38,1	40,5	42	—	—
225	8	11,5	15,4	19,2	22,4	26	29,2	32,1	35	37,2	40	—	—
250	7,1	11	14,1	16,5	20,4	23,5	26,3	29,3	32,1	34,4	36,5	39,1	41,2
275	6,3	9,4	12,5	15,5	18,5	21,5	24,3	27,1	29,4	31,5	34,1	36	38,4
300	6	9	11,5	14,4	17,3	20	22,5	25,1	28,1	30,1	32,2	34,1	36,1
325	5,4	8,2	11,1	13,4	16,1	18,5	21,4	23,3	25,5	28	30,1	32,1	34,1
350	5,1	7,4	10,1	12,4	15,1	17,2	19,5	22,2	24,1	26,2	28,2	30,1	32
375	4,5	7,1	9,3	11,2	14,1	16,2	18,3	21,2	22,5	24,4	27	28,3	30,3
400	4,3	6,4	9	11	13,1	15,2	17,2	19,3	21,3	23,2	24,2	27,1	28,5
425	4,1	6,2	8,3	10,3	12,3	14,1	16,3	18,3	20,2	22,1	23,5	25,4	27,2
450	4	6	8	10	11,5	13,4	15,4	17,1	19,5	21,2	22,5	24,2	26
475	3,5	5,4	7,3	9,3	11,1	13	14,4	16,3	18,2	20	21,4	23,2	24,5
500	3,4	5,3	7,1	9	10,4	12,3	14	15,4	17,3	19	20,3	22,1	23,3
525	3,2	5	6,4	8,3	10,1	11,5	13,2	15	16,4	18,2	19,5	21,1	22,4
550	3,1	4,5	6,3	8,1	9,4	11,2	12,5	14,2	15,5	17,2	18,5	20,2	21,5
575	3,1	4,4	6,1	7,4	9,2	10,5	12,2	13,5	15,2	16,4	18,1	19,3	20,5
600	3	4,3	6	7,3	9	10,2	11,5	13,1	14,4	16	17,3	18,2	20
625	2,5	4,1	5,4	7,1	8,4	10	11,2	12,4	14,1	15,4	16,5	18	19,3
650	2,5	4	5,3	6,5	8,1	9,4	10,4	12,1	13,3	14,5	16,1	17,2	18,4
700	2,3	3,5	5,1	6,2	7,4	9	10,1	11,2	12,4	14	15	16,1	17,3
750	2,2	3,3	4,5	6	7,1	8,2	9,3	10,4	11,5	13	14,1	15,1	16,2
800	2,1	3,2	4,2	5,4	6,4	7,5	8,5	10	11,1	12,1	13,2	14,2	15,2
850	2,1	3,1	4,1	5,2	6,2	7,2	8,3	9,3	10,3	11,1	12,3	13,3	14,3
900	2	3	4	5	6	7	7,5	9	9,5	10,5	11,5	12,4	13,4
950	2	2,5	3,5	4,4	5,4	6,2	7,3	8,3	9,3	10,2	11,1	12	12,5
1000	1,5	2,4	3,4	4,3	5,1	6,1	7,1	8	9	9,5	10,4	11,3	12,2

Märkus: Arv koma järel näitab kraadide murdosa kuuendikes, s. o. 10-te minutite kaupa. Näit. kui töötluseseme kruvihoone tõus $h = 600$ mm ja läbimõõt = 50 mm, siis leiame tabelist = $14,4^\circ$. Tähenab: laudsaani tuleb $14\frac{4}{6}^\circ = 14^\circ 40'$ võrra nullseisust ära pöörata.

Kirjandust.

Hülle — Valkola. Työkalukoneet. I ja II osa.
Stock. Fräser Handbuch.
A. Theegarten. Fräsen.
V. Valkola. Jyrsijän käsikirja.
Werkstattbücher Heft 6, 22, 51.
Schuchardt & Schütte. Technisches Hilfsbuch.
Modselevski i Spaskov. Fresernie stanki.

SISUKORD.

	Lk.
Eessõna	3
A. FREESIMINE.	
Freesmasinatest üldiselt.	
Sissejuhatus	5
Freespinkide tüüpe	5
Freesid.	
Freeside liigid	13
Freeside lõikenurgad	21
Freeside valmistamine	23
Freeside teritamine	24
Freeside kinnitamine	28
Lõikekiirus, ettenihe ja jahutus.	
Lõikekiirus ja selle arvutus	31
Ettenihe freesimisel	33
Jahutus	35
Kinnitus- ja mõõduabinõud.	
Kinnitusabinõud	35
Mõõduabinõud	38
Jagamispead ja nende kasutamine.	
Jagamine lihtsa jagamisseadmega	40
Universaaljagamispea	41
Universaaljagamispea jagamis-vahetusratastega	48
Optiline jagamispea	52
Spiraalide freesimine freespingil	52
Jagamispea kallutusnurga leidmine freeside laup- ja nurkhammaste freesimisel	55

Silinderhammasrataste freesimine.	Lk.
Silinderrattad ja nende arvutus	57
Hamba kuju ja mõõtmed	58
Silinderrataste freesimine	61
Hammaslattide freesimine	63
Spiraalhammasrataste freesimine	64

Koonushammasrataste freesimine.	
Tähtsamad konstruktsiooni mõõdud	66
Koonusrataste freesivormi määramine	67
Jagamispea kallutusnurga määramine	68
Koonusrataste freesimine	69

Tigurataste freesimine.	
Tigurataste üldandmeid	72
Freesimisviisid	73

Freesingi koormuse arvutamine	75
--	----

B. HÖÖVELDAMINE.

Höövelmasinatest üldiselt.	
Sissejuhatus	77
Pikihöövelpink	80
Põikhöövel- ehk šepingpink	86
Stoospink	90
Höövliterad	91
Töötluseseme kinnitamine hööveldamisel	95

TABELID.

I. Terasse kaalutabel	100
II. Tabel tollide üleviimiseks millimeetrisse	101
III. Trigonomeetriliste funktsioonide väärtusi (sinus ja cosinus)	102
IV. " " " (cosinus ja sinus)	103
V. " " " (tangens ja cotangens)	104
VI. " " " (cotangens ja tangens)	105
VII. Võtmeavaused	106
VIII. Freesingi laudsaani nurgad spiraalsete rihvade freesimiseks	107

A-14587

2
1