

163 14
Duple

INSENER A. MUTT

METALLIDE LÕIKAMINE
JA
LÕIKETERAD

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“

Duplum

INSENER A. MUTT

METALLIDE LÕIKAMINE
JA
LÕIKETERAD

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“

TALLINN 1947



12537

A= 16314

ARHIIVKOGU

Saateks.

Masinaehitusele omistatakse NSV Liidus suurt tähelepanu. Masinaehitus, nagu väidab sm. Stalin, on rasketööstuse südamikuks. Sellepärast uus stalinlik viisaastak näeb ette selle tööstusharu hoogsat ja igakülgset kasvu. Masinaehituse ja kogu metallitööstuse laiendamine on tähtsamaid aluseid NSV Liidu tehnilis-majandusliku sõltumatuse edasisel kindlustamisel.

Eesti NSV metallitööstusele on seega pandud rahvamajanduse taastamise ja arendamise 4. viisaastakuga suured kohustused. Neil põhjusil näeb see plaan ette ENSV metallitööstuse kiire arendamise tempo.

Selle ülesande täitmine on võimalik ainult siis, kui maksimaalselt ära kasutatakse tänapäeva töötlemistehnika viimaseid saavutusi. Töö produktiivsuse tõusuks on meie tehastes suured seesmised reservid, millede avastamine on võimalik seni kasutatud lõikerežiimide järjekindla revideerimise teel. Ka tööriista õige valiku, tema konstruktsiooni kohandamise teel antud töötlemisolukorrale on võimalik, nagu seda näitavad stahhaanovlaste rikkalikud kogemused, tuua tööprotsessi uusi produktiivsuse tõusu reserve.

Eestikeelses tehnilises kirjanduses puudusid seni lõiketeooriat ja lõiketerade konstruktsiooni käsitlevad teosed. Käesolev raamat püüab seda tühikut täita. Ta on mõeldud eeskätt tehnikumide metalli lõikamise ja lõiketerade kursuse õpikuna, mille kava on materjali ulatuse ja paigutuse määrajaks. Autor loodab aga, et ta suudab kasulik olla ka tegelikule töötajale tehnoloogilise protsessi ülesehitamisel.

Mõnigi küsimus oleks vajanud tegeliku töö seisukohalt sügavamat käsitlemist, õpiku ruumi piiratuse tõttu pidi see aga paratamatult jääma üldsõnalisemaks.

Käsitletud materjalidega laialdasemaks tutvumiseks on asja vastu huvi tundjail avanenud Nõukogude korra kehtimahakkamisega Eestis rikkalikud võimalused NSV Liidus ilmunud tehnilise literatuuri ja uurimis-instituutide teaduslike tööde

näol. NSV Liidus on arendatud teaduslikku uurimist käesolevas raamatus käsitletud küsimuste kohta suuremal määral kui kusagil mujal maailmas, millega on seletatav NSV Liidus saavutatud tehniline progress.

Lõiketeooria arengu raamides esinevad alguses rohkelt Lääne-Euroopa uurijad, mis annab tunnistust endise tsaari-riigi vähesest huvist teadusliku uurimise vastu. Alles Nõukogude korra tulekuga hakkavad domineerima ka sellel alal NSV Liidu uurijad. Praegu on lõiketeooria uurimise peamisteks edasiarendajateks NSV Liidu eesrindlikud uurimisinstituudid ja tehaste laboratooriumid.

Autori poolt on esmakordselt tarvitusele võetud uudeid tehnilisi termineid ja vastavaid lühendeid (ette-nihe millimeetrit tiiru kohta—mm/t), mis meil seni üldse puudusid.

Avaldan tänu ETTUK-i osakonnajuhatajale ins. H. Uuemõisale rea tulusate näpunäidete eest raamatu läbivaatamisel.

Autor.

I. SISSEJUHATUS.

Metallide mehaaniline töötlemine sai erilise hoo möödunud sajandi esimesel poolel. Tõsi küll, esimesed teated metallide töötlemise üle ulatuvad isegi vanaaega, vastavad seadmed aga jäid konstruktiivselt primitiivseiks ja peaaegu samaks kuni uusaja alguseni. Esimesi konstruktiivseid parandusi metallide mehaanilise töötlemise seadeldistes tuleb siduda tolleaegse kuulsa kunstniku, teadlase ja inseneri Leonardo da Vinci nimega. Kuna metallitöötlemise pinkide käivitamiseks kasutati peamiselt elavat jõudu, inimeste ja loomade näol, siis ka nende pinkide erilist arenemise tendentsi ei ilmnenud. Hoogne areng algab alles aurumasina leiutamise järele.

XVIII sajandi lõpul ja XIX sajandi algul asetleidnud suured sõjalised kokkupõrked põhjustasid seninägematu sõjariistade tööstuse arengu, mis omakorda ei jätnud mõju avaldamata metallitöötlemise pinkide arenemisele.

Tolleaegset pinkide ehitamise kiiret ja tähelepanuväärset arengut mõjutas palju inglasest mehaanik Modseley, kes võttis tarvitusele ristsupordi (1794. a.) ja vahetatavad hammasrattad (1797. a.). Peale seda tõuseb järjekindlalt pinkide kvaliteet nii töö täpsuse kui ka produktiivsuse mõttes, jõudes 1880. a. automaattreipingi leiutamisega tolleaegse pingiehituse tippsaavutuseni.

Pinkide areng esitas üha suuremaid nõudeid ka tööriistamaterjalile. 1900. a. ilmub turule kiirlõiketeras, 1907. a. stelliidid ja 1926. a. alates on leidnud laialdast kasutamist ülikiirlõikelised kõvad sulamid (eriti volframkarbiidi baasil).

Kaasaegsete pinkide suurt produktiivsust ei saavutata mitte ainult pinkide võimsuse suurendamisega, mis garanteerib suuri lõikekiirusi, vaid ka pingil kasutatavate terade materjali ja konstruktsiooni järjekindla parandamise teel.

Tööriista töö parendamiseks ja otstarbekamaks muutmiseks on eeskätt tarvis tungida selle töö olemusse, leida side seda tööd mõjutavate tegurite vahel, ja alles siis võib teos-

tada vastavaid uuendusi täiesti teaduslikul alusel. Esimesena tundis nende küsimuste vastu huvi prantslane *Coquilhat*, kes teostas aastatel 1848—1849 süstemaatilisi uurimusi materjali vastupanu küsimuses puurimisele, 1868.—1870. aastatel uuris laastutekkimise protsessi vene professor *Time*, kes täiesti õieti luges seda tähtsamaks lähtebaasiks lõiketeooriale.

Lõiketeooria suurimaks edasiviijaks ja arendajaks tuleb lugeda kuulsat Ameerika eksperimentaatorit ja uurijat *F. Taylor* it, kes tegeles metallide lõikamise küsimuste uurimisega kogu oma eluaja. Oma klassilises teoses „Metallide lõikamise kunst”, mis oli tema 26-aastase eksperimenteerimise ja uurimistöö tulemuseks ja kokkuvõtteks, andis *F. Taylor* aluse kasulikema lõikerežiimi määramiseks mitmesuguste lõikamist mõjutavate tegurite õige kombineerimise teel.

Sellest ajast peale on tegelnud kõigis arenenud tehnikaga mais rida teadlasi metallide lõikamise küsimuste uurimisega. Selleks on loodud uurimisinstituute ja rakendatud sellele tööle tehaste laboratooriume. Eriti suure ulatuse on selline uurimistöö võtnud Nõukogude Liidus.

Lõiketeooria on pinkide konstrueerimise ja ratsionaliseerimise üheks lähtebaasiks ja tema tundmine võimaldab lahendada kaasaegse kõrge tehnikaga metallitööstuses esinevaid töötlemisprobleeme otstarbekalt ja ökonoomselt. Ta on ühtlasi ka tööriista konstrueerimise aluseks.

Vaatamata suurele hulgale uurimustele ei ole paljudki lõiketeoorias puudutatud küsimused lõplikult lahendatud ja ees seisab veel küllaltki palju tööd sellel alal. Seniseid tulemusi aga saame eduga kasutada metallide töötlemise taseme järjest kõrgemale tõstmiseks.

II. LÕIKETERA MATERJALID.

Lõiketera produktiivsus oleneb suurel määral tema materjalist. Lõiketera materjal peab suutma alal hoida oma lõikeomadusi pikema aja jooksul. Lõikeomaduste kadumist põhjustavad laastuvõtmisel tekkiv soojus ja mehaaniline kulumine.

Tööriista lõikeserva vastupanu mehaanilisele kulumisele ja temperatuuri kahjulikule mõjule nimetatakse lõiketera püsivuseks; teda mõõdetakse minutites, s. o. ajaga, mille jooksul ta hoiab alal oma lõikeomadusi. Lõiketera püsivuse

aega ei mõjuta mitte ainult tema materjali iseloom, vaid ka selle termiline töötlemine.

Praegu tarvitatakse metallide lõikamiseks kasutatavate lõiketerade materjalina väga mitmesuguse koostisega sulameid. Järgnevalt vaatleme ligemalt üksikuid materjalide rühmi.

Süsinikterased.

Süsinikterase omadustele avaldavad tugevat mõju tema keemiline koostis ja sisemine struktuur. Lõiketera materjaliks kasutamise puhul ei tohi ta sisaldada omadusi kahjustavaid aineid: fosfori ja väävli sisaldavus ei tohi tõusta üle 0,02 — 0,03%. Eriti halb on fosfor, kuna ta põhjustab terase rabadust külmas olekus. Väävli sisaldavus raskendab terase termilist töötlemist.

Süsiniku sisaldavus kõigub vastavalt kasutamise otstarbele 0,6—1,7% piirides. Süsiniku % tõusuga suureneb terase kõvadus ja väheneb sitkus, ühes sellega raskeneb ka terase termiline töötlemine.

Sisemise struktuuri suhtes ei tohi teras sisaldada gaasi mulle, räbu pesi, pragusid ja struktuuri ebahütlust.

Tööriistateras tavaliselt valmistatakse elektriühjades, mille järele teda valtsitakse või sepiistatakse.

Peale tera lõikeservale vastava kuju andmist karastatakse teda 750—840° juures, mille järele noolutatakse, s. o. soojeendatakse uuesti kuni 200°-ni karastamisel saadud rabeduse kaotamiseks. Suure süsinikusisaldavusega süsinikterasest terad omandavad peale karastamist üsna kõva lõikeserva ja nad lõikavad päris kõvu metalle väikese lõikekiiruse juures. Süsinikterasest lõiketerad aga pole kuigi soojuskindlad. Soojenemisel üle 300° kaotavad nad kiiresti oma lõikeomadused ja kõvaduse, mistõttu selle terase kasutamine on võrdlemisi väikesel alal võimalik. Silumisläästude puhul, kui on nõutav suur pinnasiledus ja puhtus, on süsinikterasest terad hästi kasutatavad väikeste lõikekiiruste juures.

Kiirlõiketerased.

Möödunud sajandi 60-ndatel aastatel tehti kindlaks, et mangaani sisaldavuse suurendamine ja volframi lisand tõstavad terase soojuskindlust, s. t. kõvaduse alalhoidu omadust kõrgete temperatuuride juures. Viimane omadus võimaldas tõsta

sellest materjalist valmistatud terade lõikekiirust tunduvalt. Kuna sellest terasest valmistatud terad, soojendatuna karastustemperatuurini ja selle järel aeglaselt jahutatuna, omandavad suurt kõvadust, siis hakati neid hüüdma „isekarastuvateks”.

Käesoleva sajandi algul sai Taylor, katsetades isekarastuva terase sortidega ja püüdes veelgi parandada nende omadusi, kõrgväärtusliku terase, mida ta nimetas kiirlõiketeraseks. Viimane ületas kõik senituntud tööriistaterased oma lõikeomadusilt ja produktiivsusest. Tabelis nr. 1 on toodud tüüpilisemate süsinik- ja eritööriistade keemilised koostised.

Tabel nr. 1

Keemiline koostis % %	Süsinik-teras	Isekarast. teras	Kiirlõike-teras
Volfram (W)	—	5,4	14—20
Kroom (Cr)	—	0,4	3—6
Vanaadium (V)	—	—	0,25—1,0
Süsinik (C)	0,8—1,7	1,15	0,55—0,85
Mangaan (Mn)	1,08	1,58	< 0,3
Räni (Si)	0,2	1,04	0,1—0,3
Väävel (S)	0,017	—	< 0,02
Fosfor (P)	0,017	—	< 0,015

Mitmesuguste elementide sisaldavus kiirlõiketerases on suurtes piirides kõikuv. Kuna kiirlõiketeras on levinumaks lõiketerade valmistamise materjaliks, siis vaatleme tema omadusi lähemalt.

Kaasaegsele kiirlõiketerasele esitatakse järgmised põhinõuded:

Kiirlõiketeras peab omama

- 1) püsivust kuumas olekus; 600—650° juures peab teras pideva või katkelise töö-puhul hoidma alal oma lõikevõimet;
- 2) head vastupidavust kulumisele kõrgendatud t° juures;
- 3) küllaldast kõvadust nii külmas kui ka kuumas olekus.

Kiirlõiketerase omadused olenevad nii keemilisest koostisest kui ka terase sisemisest struktuurist. Eriti tugevat mõju kiirlõiketerase soojuskindlusele avaldavad volfram ja kroom. Kulumiskindlust tõstavad koobalti ja vanaadiumi lisandid. Liigne legeerivate metallide sisaldavus vähendab terase sepiatavust ja kõvadust. Tabelis nr. 2 on toodud mitmesuguste NSV Liidu tööstustes kasutatavate kiirlõiketeraste keemiline koostis.

Tabel nr. 2

Kiirlõiketerase mark	C % %	W % %	V % %	Cr % %	Co % %
RK — 5	0,65—0,77	17,0—18,5	1,0—1,4	3,6—4,5	4,5—5,5
RF — 1	0,7 —0,8	17,5—19,0	1,0—1,4	3,8—4,6	—
RF — 2/EJ262/	0,72—0,85	11,0—13,0	2,0—2,6	4,1—4,6	—
R	0,7 —0,78	17,0—18,0	0,5—0,80	3,6—4,8	—
R — O	0,6 —0,75	16,0—17,5	0,2—0,6	3,8—4,5	—

Võrdluseks olgu toodud kiirlõiketerase sort, mida eriti viimasel ajal on hakatud USA-s kasutama: mark Mo-Max, süsinikku 0,75—0,85%, krooni 4,0%, molübdeeni 8,0%, volframit 2,0%, vanaadiumi 1,0%.

Kiirlõiketeraste asendajad.

Kiirlõiketeraste peamine legeriv metall — volfram on paljudes maades defitsiitne, mis andis tõuke kiirlõiketeraste asendajate leidmiseks vähelegeeritud teraste hulga. Seni pole see küsimus siiski rahuldavat lahendust leidnud.

Paljude asendajate puuduseks on:

- 1) madal lõikevõime,
- 2) halb sepiatavus,
- 3) karastustemperatuuride kitsas intervall, karastusel kergesti tekkivad praod, tundlikkus teritamise suhtes (ülekuumenemise hädaoht).

NSV Liidus tarvitusel olevad asendajad on toodud tabelis nr. 3.

Tabel nr. 3

Mark	C %	V %	Mo %	Co %	Cr %	Mn %	W %	Ni %
J — 116	0,6—0,8	0,8—1,2	—	1,5—2,1	9—10,5	0,4	—	—
J — 172	1,0—1,2	2,1—2,5	—	1,1—1,7	11—13	0,4	—	—
J — 184	0,85	1,35	—	—	7,9	0,3	4,24	—
J — 260	1,0	2,50	3,70	—	5,1	0,32	—	0,35
J — 290	1,1	1,60	3,60	—	4,2	0,30	2,65	—
EJ — 296	1,0—1,3	2,8—3,5	2,5—3,5	—	3,8—4,5	—	2,5—3,2	—
							2,5	
EJ — 277	1,2—1,4	3,5—5,0	2,5—3,5	—	3,8—4,5	—	—	—
EJ — 276	1,0—1,2	2,2—2,8	2,3—3,0	—	3,8—4,6	0,4	2,2—2,9	—

Kiirlõiketeraste asendajate kasutamine annab väga mitmesuguseid tulemusi. Kõige suurema efektiga on võimalik asendajaid kasutada võrdlemisi väikeste lõikekiiruste juures. Neil juhtudel on asendajad kiirlõiketerastega samaväärsed, mõnel juhul (EJ — 260, EJ — 290) isegi ületavad neid oma püsivusega. Vastavate tehaste andmeil on ka EJ — 276 ja EJ — 277 kõrgete lõikeomadustega. Vanaadiumi sisaldavuse tõttu omavad nad sama karastus- ja noolustemperatuuride intervalli, nagu kiirlõiketerased ja on sama sepiatavusega. Selles suhtes jätavad aga EJ—116 ja EJ—172 palju soovida. Kiirlõiketeraste asendajate termilisele töötlemisele tuleb pöörata erilist tähelepanu.

Kõvad sulamid.

Viimasel ajal on laialdast levikut leidnud nn. „kõvade sulamite“ kasutamine lõikeserva moodustajana. Kõvad sulamid lubavad töötada suurte lõikekiirustega, säilitades seejuures alal kõvadust ja lõikeserva teravust, kuna neil on suurem soojuskindlus kui parematel kiirlõiketerastel. Kõvad sulamid on ka suure kulumiskindlusega, mis on eriti hinnatav nende metallide lõikamisel, mille laast tugevasti kulutab tera lõikeserva, nagu malm, pronks, kõva teras ja teised.

Kõvade sulamite eri margid erinevad üksteisest nii keemilise koosseisu kui ka valmistusviisi poolest. Esimesena neist ilmus turule 1907. a. stelliit, mida valmistatakse valamise teel ja mis erineb kiirlõiketerasest sellega, et temas on raud asendatud suuremate legerivate metallide kogustega.

Stelliidist terad on heade lõikeomadustega, kuid haprad. Peab töötama suure ettevaatusega ja tähelepanuga, et nende häid lõikeomadusi ära kasutada.

Stelliitide sulamistemperatuur on 1280—1350°. Lõikeserva kõvadus kaob 700°-st kõrgema temperatuuri juures. Stelliiti kasutatakse tavaliselt teisest materjalist terakehale pealejoodetava plaadikese näol.

Stelliitide koostis on järgmine: Cr — 20—35%, Co — 35—55%, W — 9—15%, Fe — 5%, C — 1,3—2%. Kõvadus on 7,5—7,8 Moosi järgi.

Viimasel ajal on stelliitide kasutamine lõiketeradena vähenenud, kuna neid tõrjuvad välja nn. „kõvametallplaadid“.

Kõvametallplaatide valmistamiseks kasutatakse kõrge sulamistemperatuuriga metallide ja nende karbiidide segu, millele

lisatakse sageli sideainena juurde koobaltit. Mainitud segu soojendatakse surve all kuni paakumiseni, mis annab äärmiselt kõva plaadikese.

Alates 1926. a. turustas Saksa firma Krupp volframist ja volframkarbiidist valmistatud kõvametallplaate „widia” nime all. Samasse rühma kuuluvad ka USA-s valmistatav „carballoy” ja NSV Liidus valmistatav „pobediit”. Kuna nii volfram kui volframkarbiid on väga kõrge sulamistemperatuuriga (volfram — 3370° ja volframkarbiid — 2700°), siis neile sulamitele omane äärmiselt suur kõvadus püsib isegi soojendamisel 1200—1300°-ni. See suur kõvadus lubab neid materjale kasutada lõiketeradena isegi selliste materjalide töötlemisel, nagu Mn-teras, klaas, kivi, portselan ja teised. Eriti hästi sobivad nad seal, kus laast on murdelaast, nagu see esineb malmi, pronksi ja alumiiniumi juures.

1931. — 1932. a. ilmus Ameerikas turule uus sulam „ramet”, mis koosnes tantalist ja tema karbiidist. Tema sulamistemperatuur on 4400°, s. o. tunduvalt kõrgem kui W-karbiidil. Ramet on väga väikese soojusjuhtivusega, mida tuleb arvestada temast valmistatud plaatide jootmisel.

Samal ajal turustati Euroopas veel üks kõvametallsulam, „titanit”, mis koosnes Ti ja Mo karbiidide segust. Omades kõiki eelnevat sulamite omadusi ületas ta neid oma kõrge hapendumiskindlusega kõrge temperatuuri juures. Ta osutus ka produktiivsemaks teistest ja oli hästi kasutatav terase töötlemisel.

Järgnevas tabelis nr. 4 on toodud tähtsamate sulamite keemilised koostised.

Pobediit RE-8 ja pobediit 21 on NSV Liidus praegu kasutamisel ka terase töötlemise puhul, samuti ka sulam „reniks”, kus koobalt on asendatud nikliga.

Omades suurt soojuskindlust ja vastupidavust kulumisele lubavad kõvametallsulamid üsna suuri lõikekiirusi, mis tõstab tera produktiivsust mitmekordseks. Eriti kasulik on neid rakendada automaatpinkidel, kus tera vahetamine on seotud suure ajakuluga.

Arvesse võttes nende sulamite erakordset kallidust kasutatakse neid peamiselt teisest materjalist terakehale peale joodevatvate plaatide näol.

Jootena kasutatakse peamiselt elektrolüütilist vaske, mille sulamistemperatuur on 1080°. Ta garanteerib küllaldast jootmiskindlust ja soodustab soojuse ärajuhtimist. Kasutatakse ka

teisi jooteid, nagu konstantaan (s.-t. on 1300°), hõbe (s.-t. on 960°), messing (s.-t. on 900°) jt. Jootmise puhul tuleb tähele panna, et jootekiht terakeha ja plaadi vahel tuleks võimalikult õhuke, mis garanteerib plaadi paremat püsimist.

Tabel nr. 4

Sulami nimetus	C %	W %	Co %	Ti %	Cr %	Ni %	Mo %	Ta %
1. Widia	6,0	86,4	7,6	—	—	—	—	—
2. Carballoy	6,0	81,0	13,0	—	—	—	—	—
3. Pobediit	5,6	84,0	10,0	—	—	—	—	—
4. Pobediit RE—8	5,8	86,2	8,0	—	—	—	—	—
5. Pobediit α —15	7,0	73,0	5,0	12,5	—	1,0	1,5	—
6. Pobediit α —21	7,6	66,0	8,0	17,0	—	—	1,5	—
7. Titaniit	13,6	—	—	38,0	1,0	13,0	34,0	—
8. Kutaniit	9,5	—	1,0	35,0	—	13,0	41,5	—
9. Elvotiit	9,4	46,6	13,0	26,0	1,0	—	—	—
10. Sergoniit	8,0	—	—	37,0	1,0	15,0	39,0	—
11. Ramet	6,0	—	—	—	—	9,0	—	85,0

Väga täpsete pindade saamiseks kasutatakse sageli teemant-tera. Nagu teada, on teemant kõvim materjal, mida tuntakse, ta peab hästi vastu ka kulumisele. Kuna teemant on võrdlemisi rabe, siis lõikenurgad peavad olema suured.

Teemant on pobediidist 400—500 korda kallim, tema püsivus aga 1500—2000 korda suurem. Teemandi lubatav lõikekiirus on üsna suur (200—1000 m/min). Töötab teemant väikeste (0,1—0,25 mm) lõikesügavustega ja ettenihetega. Teemant-tera ei kannata lööke. Tera tuleb alati tööst eemaldada enne pingi seismapanekut.

Lõiketerade terminine töötlemine.

Lõiketera omadused, eriti aga tema püsivus, ei olene mitte ainult tera materjalist, vaid suurel määral ka selle materjali terminisest töötlemisest. Terminise töötlemise all mõistame lõõmutamist, karastamist ja noolutamist.

Lõõmutamist kasutatakse tööriistas leiduvate sisepingete kaotamiseks, mis on tekkinud eelneva mehaanilise töötlemise tagajärjel. Sisepinged põhjustavad karastamisel pragusid, kaardumisi, mõõdete muutumist jne. Lõõmutamine parandab ka tööriista materjali sisemist struktuuri, tehes seda ühtlasemaks

ja luues seega järgneva termilise töötlemise jaoks soodsad eel-
dused.

Kiirlõiketerast lõõmutatakse aeglase ja ühtlase soojendamise-
tega 850—870°-ni ja selle temperatuuri juures hoidmisega seni,
kuni tööriist on ühtlaselt läbi soojenenud. Jahutamine peab
peale lõõmutamist toimuma samuti ühtlaselt, kas ahjus või mõ-
nes teises aeglast jahtumist võimaldavas keskkonnas. Tööriista-
terase lõõmutamise tingimused on samad, ainult soojendamis-
temperatuur on 750—800°.

Tööriistaterase karastamine on tarvilik lõikeservale vaja-
liku kõvaduse andmiseks. C-terase karastustemperatuur oleneb
süsiniku sisaldavusest terases ja tööriista mõõdetest. Ta on seda
kõrgem, mida vähem teras sisaldab süsinikku ja mida suuremad
on tööriista mõõted. Karastustemperatuur kõigub tabelis nr. 5

Tabel nr. 5

Süsiniku sisaldavuse %	Karastus- temperatuur
0,65—0,80	840—790°
0,81—0,95	790—765°
0,96—1,10	777—755°
1,11—1,25	770—750°

toodud piirides. Lõikeserva kõvadus oleneb suurel määral veel
sellest keskkonnast, milles toimub jahutamine peale karastamist.
Tööriista kõvadus tuleb seda suurem, mida suurem on jahutus-
keskkonna soojusmahtuvus, soojusjuhtivus ja liikuvus. Kõige
tugevamini karastab vesi, kuhu on juurde lisatud soodat, sellele
järgneb puhas külm vesi. Sooja vee karastustoime on väiksem,
veel väiksem on see õlil. Keskkonna valik oleneb terase iseloo-
must. Väiksema süsinikusisaldavusega teraseid tuleb karastada
tugevamini karastavas keskkonnas, kuna suure süsinikusisal-
davusega teraste karastamine peab toimuma õlis.

Kiirlõiketerase soojendamine toimub kahes järgus. Alguses
tuleb soojendada aeglaselt kuni helekirsspunase hõõgvärvuseni,
s. o. 800—850°-ni pragude tekkimise vältimiseks, sealt edasi
kuni helevalge hõõgvärvuseni, s. o. 1250—1350°-ni toimub
soojendamine kiiresti. Peale mõneminutilist väljapidamist selle
temperatuuri juures tuleb tööriist kiiresti, kuid ühtlaselt jahu-
tada. Jahutuskeskkonnaks kasutatakse suruõhku, õli ja sula-

tatud pliid. Kiirlõiketerase karastustemperatuurile avaldavad märgatavat mõju volframi ja kroomi sisaldavus.

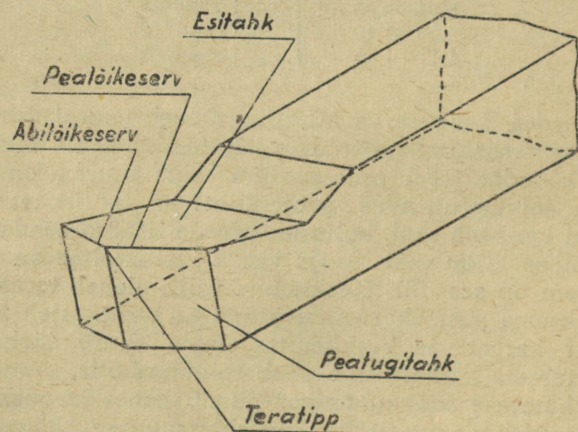
Vaatamata kõrgele karastustemperatuurile omab kiirlõiketeras peeneteralist struktuuri. Tuleb märkida, et kiirlõiketerasest tööriista lõikeomadused ei olene karastuskeskkonnast, vaid ainult karastustemperatuurist. Suure volframi %-ga teraseid võib jahutada ka ainult õhus.

Noolutada tuleb kõiki kiirlõiketerasest tööriistu, kuna seetõttu suureneb nende sitkus ja samaaegselt ka kõvadus. Noolustustemperatuur on 500—600°. Mitme noolutuse tulemusena suureneb ka lõiketera püsivus. Väljapidamine noolustustemperatuuri juures peab olema 30—60 minutit. Noolutust tuleb teostada kas ahjus või õhus.

III. TREIMINE.

Treitera geometria.

Iga tera koosneb OST 6897 — 6898 järgi kiilutaolisest tera peast ja supordisse kinnitamiseks vajalikust tera kehast. Pinda, mida mööda libiseb treimisel laast, nimeta-

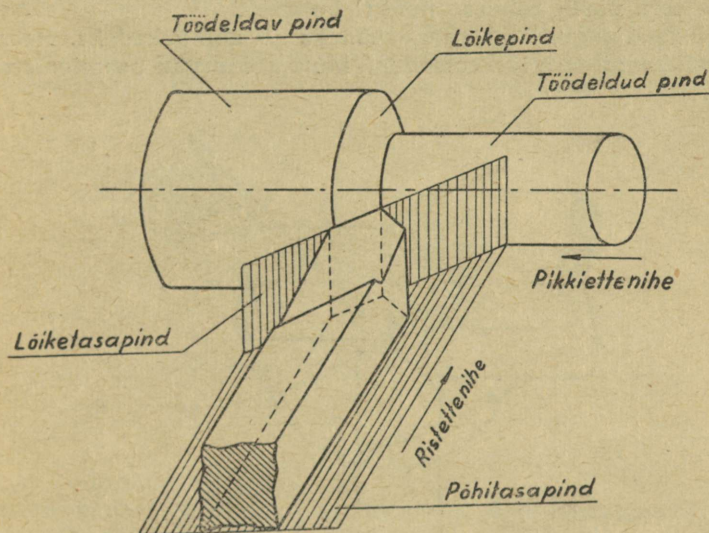


Joon. 1.

takse esitahuks, kuna töödeldava eseme pool asuvaid terapindu — tugitahkudeks (joon. 1). Esitahu ja tugitahkude lõikumisel tekkinud teravad servad on lõikeservad.

Pealõikeserv teeb peamise töö laastuvõtmisel, lõigates materjalilt laastu laastulaiuse ulatuses, kuna abilõikeserv lõikab laastu tagant lahti, omades teisejärgulist tähtsust. Vastavalt lõikeservadele nimetatakse tugitahkusi peatugitahuks ja abitugitahuks. Abilõikeservi võib olla kas üks või kaks, vastavalt tera otstarbele.

Lõikeservade ristumiskohta nimetatakse tera tipuks. Tera tipp võib olla projektsioonis kas terav või ümardatud. Tera tipu kaugust tera tugipinnast nimetatakse tera tipu kõr-



Joon. 2.

guseks ja märgitakse tähega h . Suurimat kaugust tera tipu ja esitahu vastasserva vahel, mõõdetuna rööbiti tera külgedega, nimetatakse tera pea pikkuseks ja märgitakse tähega l .

Töödeldav ese omab laastuvõtmisel järgmisi pindu: 1) töötlemata pind, 2) töödeldud pind ja 3) lõikepind (joon. 2).

Töötlemata pinnaks nimetatakse seda pinda, millelt toimub laastuvõtmine.

Töödeldud pind saadakse peale laastuvõtmist. Ta võib olla silindriline, tasapinnaline või profiilne.

Lõikepinna moodustab esemel pealõikeserv. Ta on üleminekuks töötlemata pinnalt töödeldud pinnale.

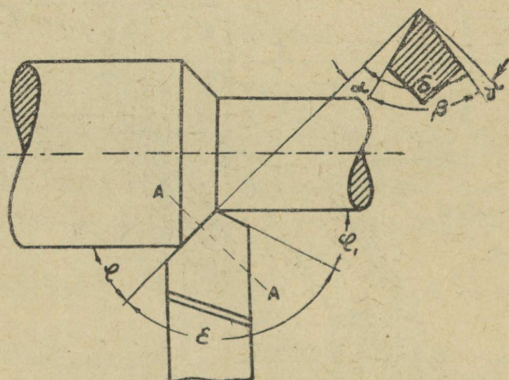
Tera nurkade kindlaksmääramiseks on OST 6898 järgi aluseks kaks lähtetasapinda: põhitasapind ja lõiketasapind.

Põhitasapind on rööbiti piki- ja põikiettenihkega (joon. 2). Treiterade, samuti ka hõõvelterade juures võetakse selleks tasapinnaks tera alumine tugipind.

Lõiketasapind on puutujaks lõikepinnale pealõike-servaga kokkupuutekohal.

Tera nurki tuleb vaadelda kahel viisil: 1) kui geomeetrilise keha nurki ja 2) kui nurki lõikeprotsessis. OST-i järgi vaadeldakse tera nurki esimese punkti kohaselt.

Nurgad jagunevad peanurkadeks ja abinurkadeks. Peanurgad määravad tera lõikeomadusi, kuna abinurgad peamiselt terakuju.



Joon. 3.

Peanurkade hulka kuuluvad (joon. 3):

- lõikenurk δ — esitahu ja lõiketasapinna vahel,
- esinurk γ — esitahu ja lõikepinnaga risti asuva tasapinna vahel,
- teritusnurk β — esitahu ja peatugitahu vahel,
- peaseadenurk α — peatugitahu ja lõiketasapinna vahel.

Toodud nurkade definitsiooni puhul on lõiketasapind loetud põhitasapinnaga risti olevaks. Selge on, et

$$\delta = \alpha + \beta \text{ ja} \\ \alpha + \beta + \gamma = 90^\circ.$$

Abinurkade hulka kuuluvad:

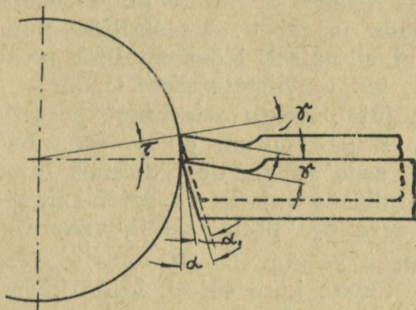
abiseadenurk α_1 — abitugitahu ja abilõikeserva läbis-
tava ning põhitasapinnaga risti oleva tasapinna vahel,

peanurk projektsioonis φ — pealõikeserva pro-
jektsiooni ja ettenihkesuuna vahel,

abinurk projektsioonis φ_1 — abilõikeserva pro-
jektsiooni ja ettenihkesuuna vahel,

tipunurk projektsioonis ε — pealõikeserva ja
abilõikeserva projektsioonide vahel,

pealõikeserva kallutusnurk λ — pealõikeserva
ja tera tippu põhitasapinnaga rööbiti läbiva sirge vahel. Kui
seejuures tera tipp on pealõikeserva kõrgeimaks punktiks, siis



Joon. 4.

loetakse seda negatiivseks, on aga tera tipp madalaimaks pea-
lõikeserva punktiks, siis loetakse seda positiivseks.

Eeltoodud nurkade definitsioonid on õiged ainult siis,
kui tera telg on risti pikiettenihkesuunaga ja rööbiti risti-
ettenihkesuunaga ning tera tipp asetseb ühel kõrgusel pingi
kärnitippe ühendava sirgega. Jooniselt 4 nähtub, et juhul, kui
tera tipp asub kärnitippe ühendavast sirgest (mis ühtlasi on ka
treitava eseme telgjooneks) kõrgemal, suureneb esinurk γ ja
väheneb lõikenurk δ . Tera tipu asumisel allpool töötüki telg-
joont suureneb seadenurk α ja väheneb esinurk γ , järelkult
suureneb ka lõikenurk δ . Sisetreimisel on nurkade muutumine
vastupidine.

Tera nurkade mõju lõikeprotsessile on määratu suur. An-
tud töötlemisviisi jaoks õieti valitud nurgad võimaldavad tõsta
lubatavat lõikekiirust, tõsta produktiivsust, vähendada energia-
kulu ja tõsta töödeldud pinna kvaliteeti.

Vaatleme nende nurkade mõju lõikeprotsessile.

Seadenurga α õige valik vähendab lõikepinna ja peatugitahu vahelist hõõrumist. Liiga suure seadenurga puhul väheneb teritusnurk β , mis vähendab ka tera tugevust, kalkust ja soojuskindlust. Peale selle kipub liiga suure seadenurgaga tera värisema ja sisse sööbima.

Liiga väikese seadenurga juures halvenevad lõiketingimused, hõõrumine suureneb, millega käib kaasas soojuse suurem eraldumine ja tera püsivuse vähenemine. Töödeldud pinna kvaliteet (puhtus ja siledus) aga tõuseb.

Olenevalt töödeldava materjali, tera materjali ja töötlemise tingimuste iseloomust kõigub seadenurga suurus $2-12^\circ$ vahel. Pehmete ja sitkete metallide puhul võetakse seadenurk suurem kui kõvade ja rabedate metallide puhul. Koorimisel on ta suurem kui silumisel. Kõvametallist plaadikestega teradel on α väiksem kui tööriistaterasest teradel.

Esinurk γ mõjutab laastu tekkimist ja selleks rakendatavat energiakulu. Mida suurem on γ , seda kergemini tungib tera materjalis, seda vähem deformeerub laast ja seda väiksem on laastuvõtmiseks vajalik energia. Liiga suure esinurga puhul nõrgeneb tera pea põiklõige ja väheneb tema tugevus.

Esinurga suurus kõigub $0-30^\circ$ vahel. Kergete metallide treimisel võib ta tõusta kuni 40° -ni. Mida kõvem on töödeldav metall, seda väiksem peab olema γ , rabedate metallide puhul tehakse ta väiksem kui sitkete puhul.

Teritusnurk β oleneb α ja γ valikust. Kõvade ja rabedate metallide töötlemisel kasutatakse tera küllaldase tugevuse tagamiseks suuremat teritusnurka kui sitkete ja pehmete metallide puhul. Samal põhjusel on ta suurem ka kõvametallplaatide kasutamisel.

Lõikenurk δ oleneb esinurga valikust. Ta kõigub $50-90^\circ$ piirides, kusjuures alumine piir on pehmete, ülemine piir eriti kõvade metallide töötlemisel (malmvaltsid).

Peanurk projektsioonis φ määrab laastu paksuse ja sellega mõjutab tera tootvust, energiakulu, töödeldud pinna kvaliteeti, tera värisemist jne. Koorimisel võetakse ta 45° mustade metallide puhul ja 60° kergete metallide puhul.

Abinurk projektsioonis φ_1 võetakse $5-20^\circ$ piirides. Ta vähendab tagumise abitugitahu hõõrumist vastu töödeldavat eset. Tema liigne suurendamine aga vähendab terapea tugevust.

Tabel nr. 6 sisaldab tähtsamate teranurkade suurusi, mitmesuguste materjalide töötlemisel kiirlõiketerasest teradega.

Tabel nr. 6

Töödeldav materjal	α^0	γ^0	δ^0	φ^0
Teras ja terasevalu $\sigma_t < 40 \text{ kg/mm}^2$	8	30	60	45
" " " $\sigma_t = 40-50 \text{ kg/mm}^2$	8	25	65	45
" " " " 50-60 "	6	20	70	45
" " " " 60-80 "	5	10	80	30
" " " " 80-100 "	5	5	85	—
Cr = Ni = teras $\sigma_t = 70-80$ "	5	14	76	45
Cr = teras $\sigma_t = 70-80$ "	5	5	85	—
Hall malm $H_B < 150$ "	6	15	75	
" " $H_B = 160-180$ "	4	12	78	
" " $H_B = 220-260$ "	4	6	84	
Tempermalm $H_B < 140$ "	8	20	70	
" " $H_B = 140-160$ "	6	15	75	
" " $H_B = 170-190$ "	6	12	78	
Valge malm $H_B > 300$ "	3	0-3	90-87	
Vask, alumiinium, babiit	8	25-30	65-60	
Keskmine pronks ja messing	8	10	80	
Kõva pronks	6	5	85	

Tabelis 6 märgitud σ_t on tõmbetugevus ja H_B on kõvadus Brinelli järgi.

Kõvametalplaatide puhul on seade- ja esinurk teistsugune, vastavalt töödeldavale materjalile, kui kiirlõiketerase juures. Tabel nr. 7 annab nende suuruse kohta pildi.

Tabel nr. 7

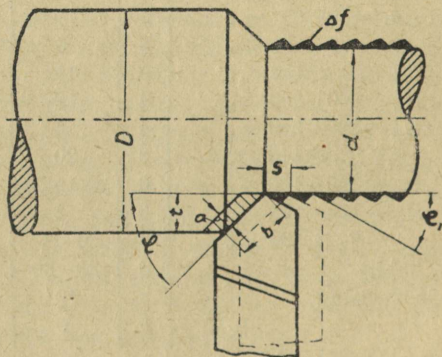
Töödeldav materjal	γ^0	α^0	Töödeldav materjal	γ^0	α^0
Pehme teras	22	5	Vask	24	6
Karastatud teras	0	4	Pronks	0-3	5
Kiirlõiketeras	8	4	Pehme messing	8-13	5
Roostekindel teras	3	3	Alumiinium ja sulam	24	6
Gadfieldi teras	3	3	Eboniit, bakeliit	0	6
Malm, tempermalm	8	4	Portselan, marmor	0	3

Laastu tekkimise protsess.

Treimisel mahavõetava materjalikihi ja laastu mõõted on määratavad ettenihke, treimissügavuse ja peanurk projektsioonis suurustega.

Ettenihke OST 6898 järgi nimetatakse löiketera edasiliikumist eseme suhtes ettenihkesuunas ühe eseme tiiru jooksul. Mõnikord arvestatakse ettenihet ka minutites ja märgitakse tähega s .

Lõikesügavuseks nimetatakse töötlemata ja töödeldud pin-



Joon. 5.

dade vahelist kaugust, mõõdetuna ristjoonel. Lõikesügavust mõõdetakse millimeetrites ja märgitakse tähega t .

Peale ettenihke ja lõikesügavuse tuleb tegelda ka laastu laiuse ja paksusega, kuna löikeprotsessis ja sellega seotud nähtuste juures omab tähtsust laastu laius ja paksus, aga mitte lõikesügavus ja ettenihke.

OST 6898 järgi loetakse laastu laiuseks töötlemata ja töödeldud pindade vahelist kaugust mõõdetuna löikepinnal (joon. 5). Laastu paksus on löikepinnale risti mõõdetav löikepinna kahe teineteisele järgneva asendi kaugus (treimisel ühe tiiru järel). Laastu paksust märgitakse tähega a , laiust tähega b .

Suhe laastu laiuse ja lõikesügavuse vahel ühelt poolt ja laastu paksuse ja ettenihke vahel teiselt poolt väljendub valemite:

$$b = \frac{t}{\sin \varphi} \text{ mm}; \quad (1) \quad a = s \cdot \sin \varphi \text{ mm} \dots\dots (2)$$

Laastu põiklõikepind on võrdne ettenihke s ja lõikesügavuse t korrutisega või laastu paksuse a ja laiuse b korrutisega. Laastu põiklõikepinda märgitakse tähega f ja mõõdetakse mm^2 .

$$f = s \cdot t = a \cdot b \text{ mm}^2 \dots\dots\dots (3)$$

Laastu põiklõikekuju oleneb suurel määral tera peanurgast projektsioonis. Kui φ on 90° , siis laastu põiklõige on püstkülk, φ suuruse vähenemisega väheneb ka laastu paksus a ja suureneb laastu laius b , põiklõike pindala f aga jääb samaks. Nagu eespool toodud laastu paksuse ja laastu laiuse ning laastu põiklõike definitsioonidest nähtub, käivad laastuelementide mõõted maha võetava materjali kihi kohta ega ole seotud lõikeprotsessi jooksul deformeeritud laastuga.

Tuntakse tegelikku laastu põiklõiget ja nominaalpõiklõiget. Tegelik põiklõige on nominaalpõiklõikest Δf võrra väiksem, nagu see nähtub joon. 5, s. t.

$$f_t = f - \Delta f.$$

Pinda Δf nimetatakse laastu jääkpinnaks. Laastu jääpinna suurus on olulise tähtsusega töödeldud pinna puhtusele.

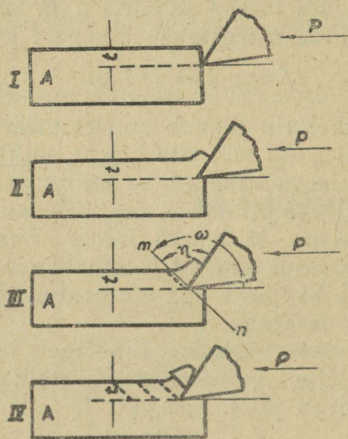
Oletame, et latilt A on tarvis maha võtta metallikiht paksusega t (joon. 6). Tera liikumisel noole suunas tekib metallis otse tera ees survepinge. Jätkuval tera edasiliikumisel pinge järjest suureneb, metalli deformeerumine tõuseb. See jätkub seni, kuni survepinge ületab metallosakeste sisesideme tugevuse, näiteks lõikes $m-n$, mille tulemusena toimub samas lõikes laastuelemendi lahtimurdumine. See laastuelement eraldub ja langeb materjali küljest ära. Lõiget $m-n$ nimetatakse lõhestumispinnaks, nurka ω , mille ta moodustab tera liikumise suunaga, — lõhestumisnurgaks.

Peale esimese laastuelemendi äramurdumist toimub materjali deformatsioon uuesti kuni teise laastuelemendi murdumiseni.

Prof. T i m e katsetega tehti kindlaks, et metalliosakeste kokkusurumine ja deformatsioon toimub ainult nurga η piires, millist nurka nimetatakse mõjunurgaks.

Time oma katsetega tõestas, et

- 1) lõikenurga δ suurenemisega väheneb mõjunurk η ,
- 2) lõhestumisnurk ω muutub väga kitsastes piirides ($140-155^\circ$) isegi selliste erinevate omadustega metallide töötlemisel, nagu teras ja plii, kus lõikenurga suurused erinevad kuni kaks korda,



Joon. 6.

- 3) küllaldase praktilise täpsusega võib võtta lõhestusnurga suuruseks keskmiselt

$$\omega = \delta + \eta = 150^\circ.$$

Terve rida hilisemaid uurimusi on kinnitanud Time järelt.

Tera töö juures tuleb eritella pealõikamist ja abilõikamist. Esimene teostatakse pealõikeservaga, teine abilõikeservaga.

Abilõikamine avaldab seda suuremat mõju, mida rohkem läheneb ühele abilõikeserva ja pealõikeserva suhe. Ta raskendab lõikeprotsessi. Lõikamist nimetatakse vabaks, kui puudub abilõikamine.

Metalli lõikamise juures toimub suurem või väiksem materjali deformeermine. Selleks kulub teatud hulk tööd, mida nimetame deformatsioonitööks. Deformatsioonitöö lõikamisel oleneb materjali tugevusest ja deformeeritavusest.

Peale metalli deformeerimise teostab lõiketera ka laastu eraldamist, s. t. metalli lõikamist. Selle juures kulu­vat tööd nimetame lõikamistööks. Lõikamistöö suurus oleneb materjali lõiketugevusest ja lõikamise pikkusest.

Peale selle esineb tera liikumisel veel hõõrumine, mille ületamine nõuab samuti tööd.

Nii siis koosneb kogu lõikeprotsessi teostamiseks kulutav töö kolmest komponendist: 1) deformatsioonitööst, 2) lõikamistööst ja 3) hõõrumistööst.

Igaüks neist kolmest komponendist allub oma eriseadustele ja sama ühise põhjuse mõjul (ettenihke või lõikesügavuse muutumine) muutuvad erisuguselt.

Prof. Glebovi andmeil jagunevad lõiketööd malmi ja terase juures järgmiselt:

deformatsioonitöö malmil	40—65%,	terasel	65—85%,
lõikamistöö	„ 25—45%,	„	5—25%,
hõõrumistöö	„ 10—15%,	„	10—15%.

Katsed näitavad, et näidatud kõikumised olenevad ainult laastu põiklõikepinnast. Väiksemad piirid vastavad väiksematele põiklõikepindadele (1 mm² ümber) ja vastupidi.

Töödeldava metalli omaduste, tera geomeetria, laastu põiklõikepinna, lõikekiiruse ja teiste töötlemise tingimuste muutumine mõjutab ka laastu tekkimise protsessi kulgemist. Väliselt avaldub see eeskätt laastu kujus.

Tuntakse nelja tüüpi laastu: 1) elementaarset, 2) astmelist, 3) voolavat ja 4) murdelaastu.

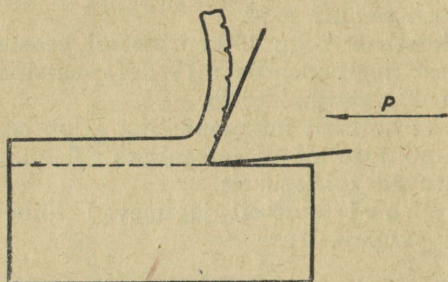
Elementaarseks nimetatakse sellist laastu, mis eraldub töödeldavast materjalist omavahel mittemingisugust sidet omavate tükikeste, laastu elementide näol.

Selline laast tekib kõvade ja rabedate metallide lõikamisel suure lõikesügavusega ja suure lõikenurgaga (90° ümber) teraga.

Materjali sitkemaks muutumisel ja lõikesügavuse vähenemisel läheb elementaarne laast üle astmeliseks, mis jookseb teralt maha lindina, kus üksikud elemendid on siiski veel selgesti näha.

Edasise metalli sitkuse tõusuga, kõvaduse vähenemisega, lõikenurga ja lõikesügavuse vähenemisega muutuvad üksikute elementide piirjooned lindis järjest vähem märgatavaks ja laast muutub voolavaks.

Rabedate metallide lõikamisel võrdlemisi väikese lõikenurga juures tekib sageli nn. murdelaast (joon. 7). Sellise laastu välispind on sile, kuna sisepinnal on üksikute elementide piirjooned märgatavad. Murdelaast eraldub tavaliselt lühikeste lintidena.



Joon. 7.

Ühelt laastutiübilt teisele üleminek on järk-järguline, vastavalt loeteldud tegurite muutumisele. Mida pehmem on töödeldav materjal, väiksem lõikesügavus, mida väiksem lõikenurk ja lõikekiirus, seda rohkem omab laast voolavat kuju.

Terakasvaja.

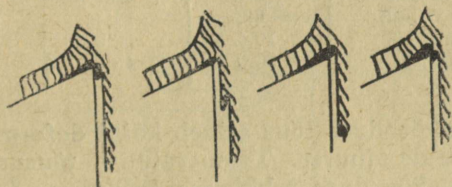
Kui vaadelda tööd lõpetanud lõiketera, siis sageli võib märgata tema lõikeserval väikest metallikihi, mõnikord kõrgusega kuni 3—4 mm, mis on väga tugevasti tera küljes kinni. Seda kihikest nimetatakse terakasvajaks. Terakasvaja materjal on tugevasti kokku surutud, ta ei kuulu töödeldavale esemele ega ka laastule. Lõikamisel tekkiva võrdlemisi kõrge temperatuuri ja lõiketungi mõjul kinnitub ta nii tugevasti tera külge, et tema kõrvaldamise katsel võib tera murduda. Herberti poolt teostatud katsed näitavad, et terakasvaja kõvadus on suurem kui materjalil, millest ta tekib, ületades viimast mõnikord 2—3 korda.

Terakasvaja tekib peamiselt sitkete materjalide puhul, kuna voolav laast ei suuda teda paigast liigutada, vaid surub teda tugevamini tera külge.

Rabedate materjalide juures ta ei püsi teral, kuna iga uus laastuelement tõukab ta minema.

Terakasvaja tekib ainult teatud lõikekiiruste intervallis. Üsna suurte ja üsna väikeste lõikekiiruste juures puudub terakasvaja. Terakasvaja suurus kogu aja muutub, tema suurenemisele järgneb äramurdumine, nagu nähtub joon. 8.

Terakasvaja kaitseb teatud määral tera mehaanilise kulumise eest, samuti parandab tera töö soojuselist režiimi, eemaldades soojuse tekkimise keskust pealõikeservast.



Joon. 8.

Terakasvaja tõukab tera esemest eemale ja eseme pind muutub krobeliseks. Samuti kannatab töötlemise täpsus, kuna terakasvaja suurenemise perioodil eseme läbimõõt järjest väheneb, terakasvaja äramurdumismomendil aga järsku suureneb.

Rea uurijate arvates saab hoiduda terakasvaja tekkimisest, kui töötada lõikekiirustega üle 70 m/min, või alla 5 m/min, samuti ei teki terakasvajat lõikenurkade juures alla 60°. Esi- mesel juhul põhjustab suur lõikekiirus laastu kõrget temperatuuri, mis pehmendab terakasvaja materjali sel määral, et laast viib ta juba tekkimismomendil. Väikese lõikekiiruse juures aga on laastu temperatuur nii madal, et terakasvaja ei jää püsima lõikeservale.

Töötlemise kõvenemine.

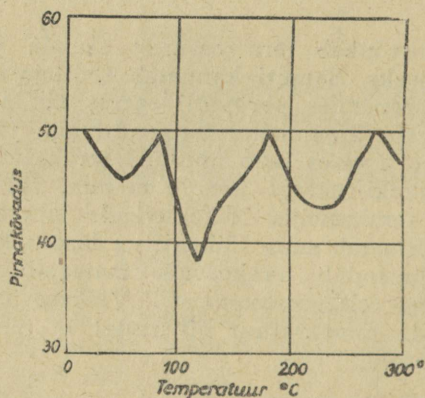
Metallist eralduv laast deformeerub enne põhimassist lahtirebimist seda rohkem, mida sitkem on metall. Seoses laastu elemendi deformatsiooniga peavad muutuma ka töödeldud pinna mehaanilised omadused. Vastavad katsed on tõepoolest näidanud, et nii laastu kui ka töödeldud pinna kõvadus märgatavalt tõuseb, võrreldes materjali põhimassiga. Seda kõvenemist nimetatakse töötlemise kõvenemiseks.

Töötlemise kõvenemise suurus oleneb märgatavalt materjali iseloomust, nagu see nähtub tabelist nr. 8, kus on toodud Herberti pendelaparaadi abil määratud kõvadused.

Tabel nr. 8

M a t e r j a l	Esialgne kõvadus	Lõplik kõvadus	Suurenemise % %
Pehme teras	21,2	31,5	48,5
Kõva C-teras	71,0	89,0	25,3
Alumiinium	5,5	10,7	95,0
Vask, valam	6,8	24,4	252,0
Messing	19,4	32,0	65,0
Hall malm	30,0	40,8	36,0

Suur pinnakõvaduse tõus esineb kõigi deformeeruvat laastu andvate metallide juures. Temperatuuri tõusuga muutub ka metallide pinnakõvaduse tekkimise kalduvus. Joon. 9 on too-

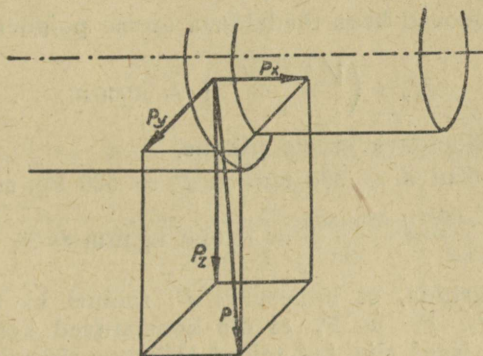


Joon. 9.

dud tüüpiline pinnakõvaduse tekkimise kõver olenevalt temperatuurist. Selliste kõverate iseloomustavaks jooneks on mitme maksimumi ja miinimumi olemasolu. Need miinimumid ja maksimumid korduvad kindlate temperatuuride juures. Teraste juures on pinnakõvaduse tekkimine minimaalne 100—150° piires. Sellise lainetaolise töötlemise kõvenemise muutumise põhjused pole veel küllaldaselt selgitatud. Võib ainult oletada, et vastavad miinimumid ja maksimumid olenevad metalli struktuuri muutustest.

Laastu surve lõiketerale.

Materjal avaldab märgatavat vastupanu laastuvõtmisele, mis avaldub lõiketera elementides tekkivates tungides.



Joon. 10.

Nende tungide resultanttungi nimetatakse lõikesurveks ja märgitakse tähega P . See resultanttung koosneb treimisel kolmest komponenttungist: 1) lõiketungist P_z , 2) ettenihketungist P_x ja 3) radiaaltungist P_y (joon. 10).

Selge on, et

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_x^2 + P_y^2} \text{ kg.} \dots \dots \dots (4)$$

Nende komponenttungide kindlaksmääramine on olulise tähtsusega pingi ja lõiketera konstrueerimise ja ka nende ekspluatatsiooni seisukohalt.

Tung P_z koos lõikekiirusega määravad lõikamiseks vajaliku võimsuse, ta kutsub pingi peatööliikumise mehhanismides esile pinged, mida tuleb pingi konstrueerimisel arvestada, ta koormab lõiketera jne.

Tung P_x koormab ettenihkemehhanismi, kuna tung P_y , tõugates tera töödeldava eseme juurest ära, painutab reaktsioonina seda eset.

Tung P_z loob pöördmomendi töödeldaval esemel, mille peab ületama pingi tööspindli pöördmoment. Kui märgime

töödeldava eseme läbimõõduna d mm ja lõikamise pöördmomentina M kgmm ja P_z kg, siis

$$M = \frac{P_z \cdot d}{2} \text{ kgmm.} \quad \dots \quad (5)$$

P_z ja P_y loovad koos töödelava eseme paindemomendi

$$M_v = \left(\frac{\sqrt{P_z^2 + P_y^2}}{6} \right) \cdot L \text{ kgmm,} \quad \dots \quad (6)$$

kus L on töödelava eseme pikkus.

Näide. Kui $d = 300$ mm ja $P_z = 520$ kg, siis

$$M = \frac{P_z \cdot d}{2} = \frac{520 \cdot 300}{2} = 78\,000 \text{ kgmm} = 78 \text{ kgm.}$$

Tuleb märkida, et lõikesurve P , samuti ka tema komponenttõugid P_z , P_y , ja P_x ei ole konstantsed kogu lõikeprotsessi jooksul isegi siis, kui teised lõiketegurid püsivad muutumatutena. Nad muutuvad vastavalt laastu tekkimise faasidele, nagu näitab joon. 11. Neist diagrammidest nähtub, et P_z , P_y ja P_x muutumised ei lange alati ühte. Need muutumised on tihedalt seotud üksikute laastuelementide tekkimisega.

Kolmest komponenttõugist on tavaliselt kõige suuremaks P_z ja väiksemaks P_x .

Normaalsete lõiketingimuste juures nürinemata sirge lõikeservaga teraga võib ligikaudselt kirjutada

$$P_z : P_y : P_x = 1 : 0,4 : 0,25.$$

Peab aga meeles pidama, et lõiketingimuste muutumine võib seda suhet tugevasti muuta.

P_y on normaalsete lõikenurkade ja suure laastu põiklõike juures umbes $0,2 \cdot P_z$, väikeste laastu põiklõikete juures tõuseb ta kuni $0,6 \cdot P_z$, kuna 90° lähedaste lõikenurkade juures on ta isegi $0,8 \cdot P_z$.

P_x on soodsatel lõiketingimustel ja terava lõikenurga puhul $(0,1-0,25) \cdot P_z$, tera nürinemisega aga võib tõusta kuni $0,5 \cdot P_z$.

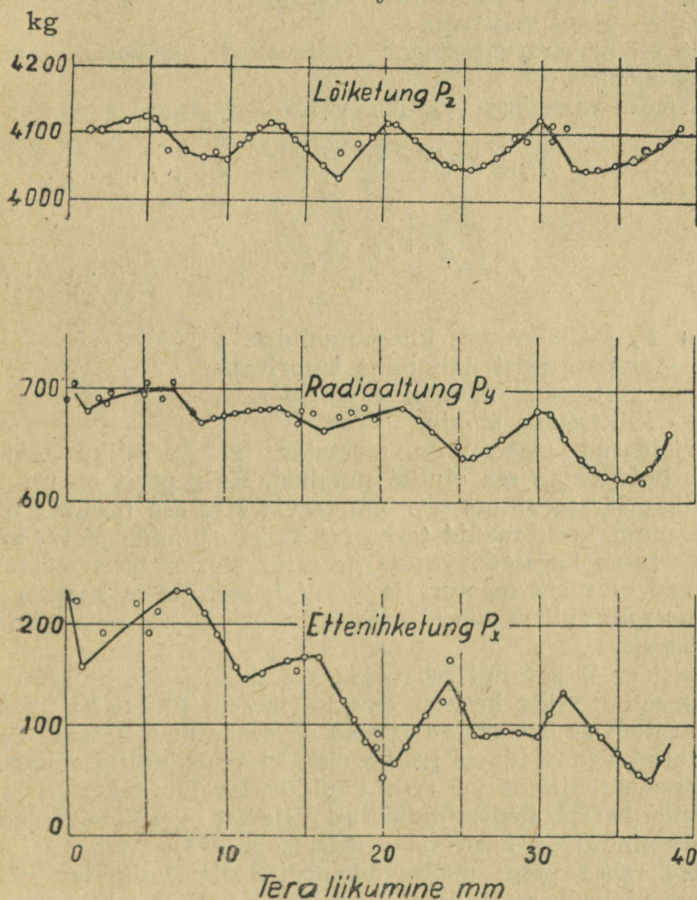
Laastuvõtmisel tekkivaid tunge mõõdetakse vastavate seadeldiste abil. Mõõtmise meetodid jagunevad kaudseteks ja otsesteks.

Kaudse meetodi juures mõõdetakse pinge poolt laastuvõtmiseks kasutatav efektiivne võimsus ja kui on teada löikekiirus P_z , ei tee arvutamine raskusi, kuna

$$Nef = \frac{P_z \cdot v}{75 \cdot 60} HJ$$

või

$$P_z = \frac{Nef \cdot 75 \cdot 60}{v} \text{ kg} \dots \dots \dots (7)$$



Joon. 11.

Pingi efektiivse võimsuse määramiseks kasutame valemit

$$N_{ef} = N_m \cdot \eta_m \cdot \eta_p \cdot 1,36 \text{ HJ}, \dots \dots \dots (8)$$

kus N_m on pingi mootori poolt kasutatav võimsus kilovattides (A — amprid, V — völdid)

$$N_m = \frac{A \cdot V}{1000} \text{ kW.}$$

η_m — mootori kasutegur,

η_p — pingi kasutegur,

1,36 — ümberarvutustegur (kilovattide ümberarvutamisel hobujõududeks).

Asetades valemisse (7) N_{ef} väärtuse, saame

$$P_z = \frac{N_m \cdot \eta_m \cdot \eta_p \cdot 4500 \cdot 1,36}{v} \text{ kg} \dots \dots \dots (9)$$

või

$$P_z = \frac{A \cdot V \cdot \eta_m \cdot \eta_p \cdot 6,12}{v} \text{ kg}, \dots \dots \dots (10)$$

kus P_z — löiketung kilogrammides,

A — ampermeetri näitamine amprites,

V — voltmeetri näitamine völdides,

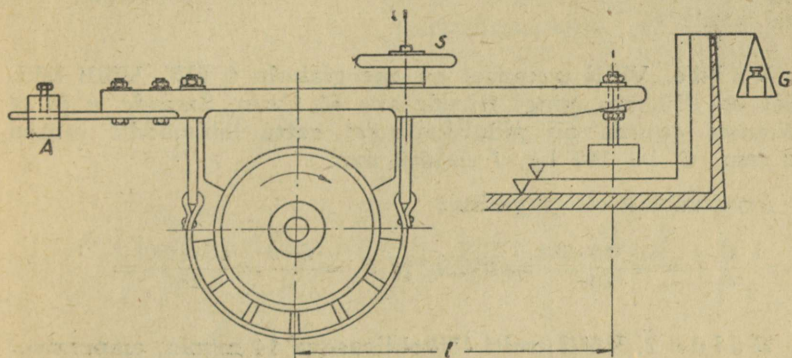
v — löikekiirus m/min.

Kirjeldatud meetod on teostatav iga korraliku töökoja oludes, kuid omab rea olulisi puudusi. Kõigepealt on sel teel võimalik määrata ainult P_z . On tarvis ette ära määrata mootori ja pingi kasukraadid terve rea löikerežiimide jaoks, mille andmeil tuleb koostada vastav graafik. Normaalselt määratud kasukraad ei vasta mootori ja pingi kasukraadile koorma all. Selle meetodi abil saadavad tulemused ei saa olla neil põhjusil kuigi täpsed.

Otsestest löiketungi mõõtmise meetodeist on lihtsaim pidurdusmeetod, mida kasutas oma uurimuste juures ka Taylor. Selle meetodi suurimaks vooruseks on seadeldise lihtsus. Tema on ehitatud Prony piduri põhimõttel. Pingi spindlile on plaaniseibi asemele kinnitatud eriline pidurseadeldis vastava ratta näol, mida haarab ümber pidurlint. Viimast on võimalik soovikohaselt pingutada käsiratta s abil (joon. 12).

Möödetakse pingi poolt löikeprotsessiks kulutatav võimsus enne pidurdusratta kohale asetamist voltmeetri ja ampermeetri abil ning tehakse kindlaks spindli tiirude arv. Seejärel

jäetakse pink seisma ja asetatakse paigale pidurratas, tasakaalustatakse pidur raskuse A abil. Pink lastakse käima sama tiirude arvu juures, millega ta töötas enne laastuvõtmisel, ja pingutatakse käsiratta abil pidurlinti seni, kuni kulutatav võimsus (jälgitav voltmeetritl ja ampermeetritl) tõuseb samale kõrgusele kui eseme töötlemisel. Samal ajal tasakaalustatakse detsimaalkaaludel raskusega G piduri kangi. Sellises seisundis tasakaalustatakse hõõrdetungi Q moment hõõrderattal raskuse G momendi poolt öla pikkusega l .



Joon. 12.

Võime kirjutada

$$Q \cdot \frac{d}{2} = G \cdot l, \dots \dots \dots (11)$$

kust saame:

$$Q = \frac{2 \cdot G \cdot l}{d} \text{ kg}, \dots \dots \dots (12)$$

kus Q — hõõrdetung kg,
 G — tasakaalustav raskus kg,
 l — tungi G öla pikkus mm,
 d — pidurratta läbimõõt mm.

Siit edasi ei tee raskusi määrata P_z , kuna sama tiiruvarvu juures ja sama energiakulu juures peavad ka pingi spindlile mõjuvad pöördmomendid olema võrdsed. Järelikult võime kirjutada

$$Q \cdot d = P_z \cdot D,$$

kust saame

$$P_z = \frac{Q \cdot d}{D} \text{ kg, } \dots \dots \dots (13)$$

kus P_z — löiketung kg,

D — treitava eseme läbimõõt mm.

Selle meetodi nõrkuseks on tulemuste vähene täpsus, kuna pink ei tööta pidurdamisel ja löikeprotsessis päris võrdsetes tingimustes. Peale selle on võimalik ka selle meetodiga määrata ainult P_z .

Näide. Võlli treimisel on energiakulu 6 kW. Võlli läbimõõt on 250 mm, pingi tiirude arv 50 t/min. Samade n ja N väärtuste juures on pidurduskatsel ratta läbimõõdu juures 400 mm, $G = 140$ kg, $l = 650$ mm.

Arvutuskäik on järgmine:

$$Q = \frac{2 \cdot G \cdot l}{d} = \frac{2 \cdot 140 \cdot 650}{400} = 455 \text{ kg ja } P_z = \frac{Q \cdot d}{D} = \frac{455 \cdot 400}{250} =$$

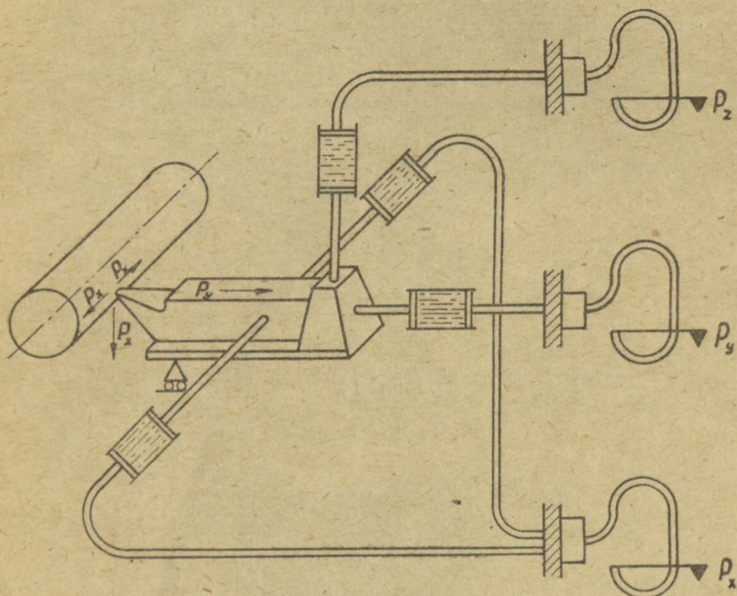
Näide 2. Võlli treiti löikekiirusega 14 m/min, ampermeter näitas 25 A ja voltmeeter 220 V. Leida P_z , kui $\eta_m = 0,9$ ja $\eta_v = 0,70$.

$$P_z = \frac{A \cdot V \cdot \eta_m \cdot \eta_v \cdot 6,12}{v} = \frac{25 \cdot 220 \cdot 0,9 \cdot 0,7 \cdot 6,12}{14} = 1518,7 \text{ kg.}$$

Praegu on kõige rohkem kasutamisel löiketungide mõõtmiseks erikonstruktsiooniga dünamomeetrid. Mitmesuguste selleks otstarbeks konstrueeritud dünamomeetrite hulgast väärivad tähelepanu hüdraulilised ja elektrilised dünamomeetrid.

Joonisel 13 on toodud šeadeldise skeem, mille abil antakse löikesurve komponenttungide mõju edasi dünamomeetritele. Löiketera on kinnitatud karbikesse, mida nimetatakse „hälliks“. Viimasel on võimalus pöörduda tugede suhtes ja liikuda tera telje suunas. Kõik need liikumised on üsna väikesed oma suuruste poolest. Löikeprotsessis tung P_z , mis on suunatud vertikaalselt, sunnib hälli tagumist otsa tõusma, mis juures ta avaldab survet hüdraulilise dünamomeetri membraanile. Samal viisil antakse edasi ka P_x ja P_y mõjutused nende mõõtmiseks määratud dünamomeetreile.

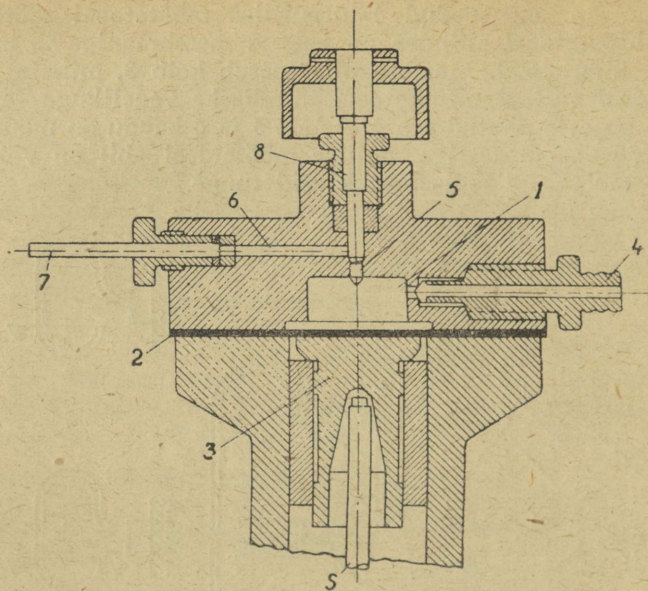
Joon. 14. on toodud hüdraulilise mõõtetootsi töötamise skeem. Mõõtetootsi silinder on kaetud membraaniga 2, mis on tihedalt kinnitatud. Membraanile toetub kolb 3, millele annab surve edasi varb S. Mõõtetootsi täitmiseks vedelikuga (glütseriiniga) on ette nähtud ava 4. Avade 5 ja 6 kaudu on mõõdetoots ühendatud manomeetriga. Sellise mõõtetootsi abil on võimalik otseselt mõõta löikamisel tekkivaid tunge.



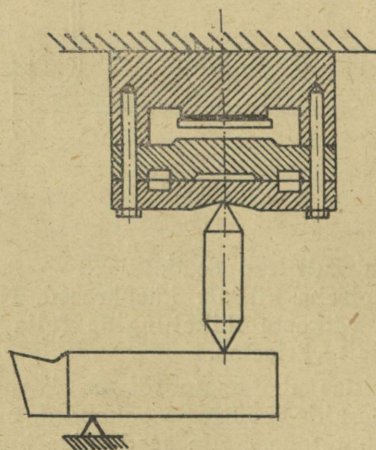
Joon. 13.

Kirjeldatud hüdraulilised seadeldised — mõõtesupordid on lihtsad ja käsitamiseks küllalt käepärased. Nende puuduseks on vähene täpsus väikeste löiketungide (alla 100 kg) juures. Ka tera kipub sageli värisema.

Peale hüdraulilise mõõtesupordi on kasutamisel veel ka elektrilised löiketungide mõõtmise vahendid, milledest levinum on kondensaatorimõõdetoots. Selle seadeldise juures antakse löiketerale mõjuv tung edasi elektrikondensaatori liikuvale plaadile, mis lähenedes või kaugenedes paigalolevast plaadist muu-



Joon. 14.



Joon. 15.

dab kondensaatori mahtuvust. Mahtuvus mõõdetakse ja sel teel saadakse lõiketungide suurused. Mõõtetootsi põhimõtteline skeem on toodud joon. 15. Kondensaatormõõdetootsiga saadavad andmed on täpsemad kui hüdraulilise mõõdetootsiga mõõtmised, kuna süsteem on praktiliselt vaba inertstungide mõjust.

Lõiketungi mõjustavad tegurid.

Lõiketungi P_z suurust mõjutavad terve rida tegureid, milledest tähtsamaid järgnevalt vaatleme.

Töödeldava materjali iseloom on üheks tähtsamaks teguriks. Töödeldava materjali vastupanu lõikamisele iseloomustavad lõikamise erisurve ja lõiketegur. OST 6898 järgi nimetatakse lõikamise erisurveks lõiketungi jagatist laastu põiklõikepinnaga.

$$p = \frac{P_z}{f} \text{ kg/mm}^2, \dots \dots \dots (14)$$

kus p — erisurve kg/mm^2 , P_z — lõiketung kg , f — laastu põiklõikepind mm^2 .

Kuna erisurve on muutuv, siis materjali täpsema iseloomustuse huvides töötati välja lõiketeguri mõiste.

OST 6898 järgi on lõiketeguriks erisurve, mida mõõdetakse järgmistel standardtingimustel:

lõikenurk	75°,
lõikesügavus	5 mm,
ettenihe	1 mm tiiru kohta,
peanurk projektsioonis	45°,
tera pealõikeserv	on sirge ja horisontaalne,
tipu ümaruse r	1 mm,
töö toimub ilma	jähutuseta.

Lõiketeguri mõõduühikuks on kg/mm^2 ja ta märgitakse tähega C_p .

Kasutades Klopstock'i andmeid tuletas ins. Kroneberg järgmise valemi, mis näitab suhet erisurve ja tõmbetugevuse või Brinelli kõvaduse vahel.

$$p = A \cdot \sigma_t^q = A_1 \cdot H_B^q; \dots \dots \dots (15)$$

kus A ja A_1 on vastavad tegurid ja q astmenäitaja, mis olenevad materjali iseloomust. Nende suurused on antud tabelis nr. 9.

Tabel nr. 9

Töödeldav metall	A	A_1	q
Pehme martäänteras	36,5	23	0,45
Kõva martäänteras	47,5	30	0,45
Cr = Ni = teras	51,5	32,4	0,45
Hall malm	—	11,6	0,40
Vask	—	36,5	0,42

Näide. Leida lõikamise erisurve halli malmi lõikamisel, kui malmi kõvadus Brinelli järgi on 150 kg/mm^2 .

$$p = A_1 \cdot H_B^a = 11,6 \cdot 150^{0,4} = 11,6 \cdot 7,4 = 85,8 \text{ kg.}$$

P_s suuruse olenevuse kohta laastu põiklõikepinnast annab ins. Kroneberg järgneva valemi:

$$\frac{P_s'}{P_s''} = \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^z, \dots \dots \dots (16)$$

kus P_s' on lõiketung laastu põiklõike f_1 juures ja P_s'' on sama põiklõikepinna f_2 juures, kuna z on materjali iseloomust olenev astmenäitaja. Astmenäitaja z suurused on antud järgnevas tabelis nr. 10.

Tabel nr. 10

Töödeldav materjal	z
Pehme teras σ_t —45 kg/mm ²	0,86
Keskmine teras σ_t —50—60 kg/mm ²	0,87
Kõva teras σ_t —75 kg/mm ²	0,80
Cr = Ni = teras	0,90
Terasevalu	0,85
Messing	0,87
Vasevalu	0,82
Elektron	0,94
Hall malm	0,86

Töö toimub ilma jahutuseta.

Näide. Cr-Ni-terase treimisel laastu põiklõikepinnaga 5 mm^2 on $P_s' = 850 \text{ kg}$. Kui suur on lõiketung, kui laastu põiklõikepind oleks 20 mm^2 ?

$$P_s'' = P_s' \cdot \left(\frac{f_2}{f_1}\right)^z = 850 \cdot \left(\frac{20}{5}\right)^{0,9} = 850 \cdot 4^{0,9} \approx 2930 \text{ kg.}$$

Laastu paksus ja laius võetuna üksikult ei mõjuta lõike-
tungi mitte ühesuguselt. Hulgaliste katsete andmeil võib öelda
järgmist:

1. Laastu paksuse a suurenemisega suureneb ka P_z , kuid
mitte proportsionaalselt, vaid aeglasemalt. See seadusepära-
sus on väljendatav valemis

$$\frac{P_z''}{P_z'} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^x \dots \dots \dots (17)$$

2. Laastu laiuse b tõusuga suureneb P_z peaaegu proportsio-
naalselt valemi järgi

$$\frac{P_z''}{P_z'} = \left(\frac{b_2}{b_1}\right)^y \dots \dots \dots (18)$$

Valemites (17) ja (18) toodud astmenäitajad olenevad ma-
terjali iseloomust ja on koondatud prof. Glebovi poolt järgne-
vasse tabelisse nr. 11.

Tabel nr. 11

Töödeldav materjal	x	y
Süsinikteras	0,85	0,97
Legeeritud teras	0,85	0,95
Terasevalu	0,80	0,95
Hall malm	0,75	0,95
Messing	0,80	0,95
Valatud vask	0,72	0,95
Pronks	0,85	0,95

Toodud valemitest ja astmenäitajate x ja y suurustest
nähtub, et laastu laiuse suurendamine mõjutab lõikesurvet tu-
gevamalt kui laastu paksuse muutumine. Järelikult on sama
põiklõikepinnaga laastu võtmisel lõiketung paksude ja kitsaste
laastude juures väiksem kui õhukeste ja laiade laastude pu-
hul.

Näide. Määrata, kui palju väheneb malmi treimisel lõi-
ketung laastu laiuse juures 2 mm paksusega 1 mm, võrreldes
sama põiklõikepinnaga laastuga, mille laius on 4 mm ja pak-
sus 0,5 mm.

Kirjutame suhte

$$\frac{P_z''}{P_z'} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^x \cdot \left(\frac{b_2}{b_1}\right)^y;$$

asetades valemisse arvud, saame

$$\frac{P_z''}{P_z'} = \left(\frac{1}{0,5}\right)^{0,75} \cdot \left(\frac{2}{4}\right)^{0,95} = 2^{0,75} \cdot 0,5^{0,95} = 1,68 \cdot 0,52 = 0,874,$$

s. t. laastu paksuse vähenemisel ja laiuse suurenemisel kaks korda samasuguse põiklõikepinna juures väheneb lõiketung ca 13%, olles vaid 87% endisest.

Peanurk projektsioonis mõjutab lõiketungi kaunis keerukalt. Alguses väheneb lõiketung seoses selle nurga suurenemisega, hiljem aga suureneb. Miinimumlõiketung esineb tērase juures $\varphi = 45^\circ$ ja malmi juures $\varphi = 60^\circ$. Tavaliselt $\varphi_1 > 30^\circ$ ei võeta seda üldse arvesse.

Lõikenurga mõju nurga muutudes $60^\circ - 90^\circ$ piirides väljendub valemis

$$\frac{P_z'}{P_z''} = \left(\frac{\delta_1}{\delta_2}\right)^m \cdot \dots \dots \dots (19)$$

Astmenäitaja m suurused on antud tabelis nr. 12

Tabel nr. 12

Töödeldav materjal	m
Pehme teras	1,0
Keskmine teras	0,8
Kõva teras	0,8
Legeeritud teras	0,85
Hall malm	1,0
Pronks	0,85
Vask	1,25
Messing	1,25

Näide. Määrata lõiketungi suurenemine, kui lõikenurk muutub 60° -st 84° -ks. Treitakse keskmist terast.

$$\frac{P_{z84}}{P_{z60}} = \left(\frac{84}{60}\right)^{0,8} = (1,4)^{0,8} = 1,31;$$

$$0,8 \log 1,4 = 0,8 \cdot 0,146 = 0,117 = \log 1,31.$$

Lõikenurga suurenemisel 40% suureneb lõiketung 31%.

Jahutusvedelike kasutamine harilikult vähendab P_z suu-
rust. See vähenemine oleneb kasutatava vedeliku füüsikalistest
omadustest. Mida suurem on vedeliku määriv toime, seda väik-
sem on lõiketung. Kui võtta 1-na lõiketung, mis tekib tööta-
misel kuivalt, siis see olenevus on väljendatav valemis

$$P_{z1} = P_{zk} \cdot W \text{ kg.} \dots\dots\dots (20)$$

Teguri W keskmised suurused on toodud tabelis nr. 13.

Tabel nr. 13

Jahutusvedelik	W
Kuivalt	1,0
Soodalahus	0,97
Seebivesi	0,95
Emulsioon	0,90
Mineraalõli	0,85
Taimeõli	0,80
Vääveldatud taimeõli	0,75

Vaatamata suurele hulgale katsetele paljude uurijate poolt,
mis peavad selgitama lõikekiiruse mõju lõiketungile, ei ole see
küsimus lõplikult lahendatud. Olemasolevad eksperimentaal-
andmed aga lubavad teha järgmisi üldisi järeldusi:

1. Väikeste lõikekiiruste muudatuste puhul, nagu nad esi-
nevad töökoja tavalistes oludes, võib tema mõju P_z -le mitte
arvestada.

2. Rabedate metallide (malm, pronks jt.) treimisel lõike-
kiiruse muutumisel nullist normaalseni väheneb lõiketung veidi
(umbes 5%).

3. Sitkete metallide (teras, alumiinium) treimisel lõikekii-
ruse muutumisel väga suurtes piirides (0—100 m/min vähe-
neb lõiketung tunduvalt (kuni 30—40%), edasisel lõikekiiruse
tõusmisel aga jääb püsivaks.

Üldiselt on praegu P_z arvutamiseks tarvitusel Taylori
poolt tuletatud valem

$$P_z = C_p \cdot s^x \cdot t^y \text{ kg,} \dots\dots\dots (21)$$

kus s — ettenihe mm/t, t — lõikesügavus mm, C_p , x ja y
suurused on olenevad töödeldavast materjalist ja on antud ta-
belis nr. 14.

Töödeldav metall	σ_t kg/mm ²	H_B kg/mm ²	C_p	α	γ
Hall malm	—	100—120	80	0,75	0,93
	—	121—160	100	0,75	0,93
	—	161—200	115	0,75	0,93
	—	201—220	130	0,75	0,93
Tempermalm	—	—	120	0,80	0,95
	—	—	135	0,80	0,95
	—	—	155	0,80	0,95
Süsinikteras	31—40	—	130	0,75	1,00
	41—50	—	150	0,75	1,00
	51—60	—	165	0,75	1,00
	61—70	—	180	0,75	1,00
	71—80	—	200	0,75	1,00
	81—90	—	230	0,75	1,00
	91—100	—	260	0,75	1,00
Kroomnikkelteras	41—50	—	163	0,75	1,00
	51—60	—	180	0,75	1,00
	61—70	—	196	0,75	1,00
	71—80	—	220	0,75	1,00
	81—90	—	250	0,75	1,00
	91—100	—	283	0,75	1,00
	üle 100	—	310	0,75	1,00
Kroomteras	50—60	—	180	0,75	1,00
	61—70	—	196	0,75	1,00
	71—80	—	220	0,75	1,00
	81—90	—	250	0,75	1,00
Valatud teras	pehme	—	140	0,80	0,95
	keskm.	—	165	0,80	0,95
	kõva	—	190	0,80	0,95
Pronks	pehme	20	60	0,75	0,93
	keskm.	21—30	80	0,75	0,93
	kõva	31—40	100	0,75	0,93
Messing	pehme	22	55	0,80	0,95
	keskm.	23—36	70	0,80	0,95
	kõva	37—46	85	0,80	0,95
Alumiinium	—	60—80	40	0,85	0,95
	—	81—100	60	0,85	0,95

Viimase valemi kasutamisel tuleb arvestada tervet rida tegureid, nagu peanurk projektsioonis, tera tipu ümarus jne., mis nõuavad teatud hulga lisaarvutusi.

C_p , x ja y suuruste tabelis toodud arvud on võetud Riikliku Masinachituse Projekteerimise Instituudi normatiividest.

Näide. Leida P_s , kui treitakse süsinikterast $\sigma_t = 55 \text{ kg/mm}^2$, ettenihkega $s = 0,1 \text{ mm/t}$, treimise sügavusega $t = 5 \text{ mm}$.

$$P_s = C_p \cdot s^x \cdot t^y = 165 \cdot 0,1^{0,75} \cdot 5 = 147 \text{ kg.}$$

Näide. Leida P_z , kui treitakse keskmise kõvadusega pronksi, ettenihkega $0,2 \text{ mm/t}$ ja lõikesügavusega 3 mm .

$$P_z = C_p \cdot s^x \cdot t^y = 80 \cdot 0,2^{0,75} \cdot 3^{0,93} = 80 \cdot 0,3 \cdot 2,78 = 66,7 \text{ kg.}$$

Tera värisemine.

Sageli tekivad lõikamisel suuremad või väiksemad tera ja eseme värisemised, mis mõjuvad halvasti tera püsivusele või isegi põhjustavad lõikeserva murdumist.

Värisemise peapõhjuseks tuleb lugeda lõiketungi lainetaolist muutumist. Kui lõiketungi muutumine satub resonantsi tera enese või eseme omavõnkumisega, siis ongi hädaohtlik värisemine käes.

Omavõnkumine on tingitud väga mitmesugustest põhjustest. Süüdi võivad siin olla treipingi hammasrataste puudulik väljatöötamine, nende ebaõige montaaž, logisevad laagrid, kärnpuki nõrk kinnitus jne.

Tera põiklõige tuleb valida küllalt suur, et tera talle mõjuvate tungide tõttu ei painduks.

Kuna peale nimetatute võib esineda veel terve rida omavõnkumise põhjusi, siis peaaegu pole olukorda, kus omavõnkumine absoluutselt puudub.

Värisemise vältimiseks peab järjekindlalt kontrollima pingi seisukorda. Eseme pinkiasetamist tuleb teostada hoolikalt ja pikkade esemete juures kasutada lünette.

Värisemisest hoidumiseks tuleb valida lõikerežiim, mille juures ei teki resonantsi. Juba tekkinud värisemise kõrvaldamiseks on tarvis muuta lõikerežiimi. Kõige efektiivsema mõjuga on lõikekiiruse muutmine. Aga ka lõikesügavuse, ettenihke või peanurga projektsioonis muutmine annavad tulemusi.

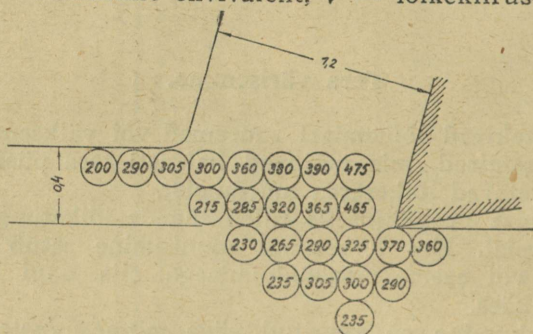
Lõikamisel tekkiv soojus.

Lõikamisel eralduv soojus tekib mehaanilise energia muutmisel soojusenergiaks. Peamisteks soojuse tekkimise põhjusteks on deformeeritava materjali osakeste omavaheline sise- ja laastu hõõrumine, laastu hõõrumine vastu tera esitahku ja lõikamistöö ise.

Kui lugeda, et kogu lõikamisel rakendatav töö muutub soojuseks, siis eralduv soojushulk oleks

$$Q = \frac{P_z \cdot v}{E} = \frac{P_z \cdot v}{427} \text{ kcal.} \quad (22)$$

kus Q on soojushulk kcal, P_z — lõiketung kg, E — 427 kcal — soojuse mehaaniline ekvivalent, v — lõikekiirus m/min.



Joon. 16.

Tagajärjerikkaks võitluseks tööriista kurjema vaenlase — soojusega, on tähtis peale selle hulga teada ka tema asukoht, või, paremini öeldes, tema kontsentratsiooni mitmesugustes tera ja laastu osades. Asi ei oleks nii hädaohtlik, kui kogu tekkiv soojushulk jaguneks ühtlaselt üle kogu eseme ja tööriista. Tegelikult on olukord teine: suured soojushulgad kontsentreeruvad ainult teatud kohtades, tõstes seal temperatuuri.

Vastavate mõõtmiste abil on selgitatud, et temperatuuri jagunemine materjalis on selline, nagu näidatud joon. 16. Nagu võis oodata, osutus temperatuur laastus kõige kõrgemaks lõikeserva ees, kuid mitte päris lõikeserva juures.

Kõrgema temperatuuriga kohalt tekib soojuse vool materjali külmemate osade poole. See vool toimub järgmistes suundades:

- 1) laastu soojusjuhtivuse tõttu liigub soojus laastu välis-
pinna suunas;
- 2) osa soojust liigub metalli sisemusse;
- 3) kolmas osa soojust liigub tera peasse ja kehasse;
- 4) kõige väiksem osa soojusest kiirgab ümbruskonda.

Ühes või teises suunas liikuvat soojushulka mõjutavad rida tegureid: lõikekiirus, laastu põiklõikekuju ja suurus, töödeldava materjali füüsikalised omadused jne.

Õieti valitud lõikerežiimi puhul on soojuse jagunemine keskmiselt järgmine:

laastusse	75%
lõiketerasse	20%
töödeldavasse esemesse	4%
ümbruskonda	1%

Ebaõige lõikerežiimi puhul tõuseb eriti tera soojenemine. Professor Friedrichi katsed näitavad, et lõikekiiruse ja laastu põiklõike suurenemise mõjul laastusse jääv soojuse hulk suureneb.

Hulgalised katsed paljude uurijate poolt lubavad küllalt kindlalt määrata lõikamise temperatuuri olenevust mitmesuguste tegureist.

Lõikekiiruse tõusuga tõuseb ka treitera temperatuur, al-
guses eriti järsult, suuremate lõikekiiruste juures toimub see
tõus aeglasemalt. Väga suurte lõikekiiruste puhul (mõned tu-
handed m/min) võib isegi tähele panna tera temperatuuri alane-
mist. See, näiliselt imelik nähe, on seletatav sellega, et väga
suurte lõikekiiruste juures väheneb tugevasti laastu deformat-
sioon, üks peamistest soojusallikaist.

Lõikeelementide kollektiivset mõju temperatuurile väl-
jendab hästi prof. Glebovi poolt katseandmetel tuletatud vale-
mid:

martäänterase töötlemise puhul

$$T^0 = 129 \cdot v^{0,5} \cdot s^{0,33} \cdot t^{0,14}, \dots \dots \dots (23)$$

kroomnikkelterase töötlemise puhul

$$T^0 = 210 \cdot v^{0,44} \cdot t^{0,11} \cdot s^{0,28}, \dots \dots \dots (24)$$

malmi töötlemise puhul

$$T^0 = 120 \cdot v^{0,5} \cdot t^{0,04} \cdot s^{0,22}, \dots \dots \dots (25)$$

Peale lõikeelementide on treitera temperatuurile mõjuvateks tähtsamateks teguriteks veel töödeldava eseme ja tera materjal, eriti nende soojusjuhtivus ja erisoojus. Suurema soojusjuhtivuse ja erisoojusega materjalide temperatuur tõuseb sama soojushulga juures vähem kui väikese soojusjuhtivuse ja erisoojusega materjalide temperatuur.

Soojuse mõju üheks tähtsamaks tulemuseks on lõiketera töökõlbmatuks muutumine. See võib toimuda kahel teel: 1) lõikeserva murdumise tõttu või 2) lõikeserva ja tugi- ja esitahkude mehaanilise kulumise tõttu.

Taylori järgi võib toimuda tera nürinemine kolmel viisil.

1. Kui lõikamisel tekkiv soojus on väike selleks, et tera pinda pehmeks muuta, siis tera kulumine toimub peamiselt laastu hõõrumise tõttu vastu tera esitahku. Esialgne sile pind muutub karedaks, mistõttu kulumine on progressiivne, kuigi mitte eriti silmapaistvalt.

2. Kui soojuse eraldumine on nii suur, et esitahu pehmenemine toimub otse lõikeprotsessi alguses, siis tera märgatav kulumine algab juba 3 minuti järele lõikamise algusest; siin on tera nürinemise põhjuseks peamiselt soojus. Nürinemine toimub progressiivselt, kuna ka temperatuuritõus on progressiivne.

3. Kui tera esitahk lõikeprotsessi jooksul ainult vähe pehmeneb, siis mõjuvad nürinamisel nii soojus kui ka kulumine.

Nürinamisprotsess toimub eri materjalide juures ka erisuguselt. Süsinikterasest tera lõikeserv hakkab nüristuma otse peale töö algust. Järk-järgult ümardub lõikeserv, kuluvad tugitahud ja esitahk, kuni toimub lõikeserva lõplik hävimine. Süsinikteras on teistest terastest sitkem, mistõttu harva esineb lõikeserva murdumisi ja saadav töödeldud pind on puhtam. Pikkade detailide puhul pole otstarbekohane kasutada tööriistaterasest terasid, kuna nad kuludes lühenevad, mistõttu detaili läbimõõt treimise lõpul suureneb.

Kiirlõiketerasest terade nürinemine toimub teisiti. Nad hoiavad lõikeserva teravuse alal kuni töö lõpuni. Kulumine algab esitahul lõikeservast veidi eemal. Järjest suurenedes jõuab ta lõpuks lõikeservani, mille saabumisel lõikeserv kiiresti hävib.

Kiirlõiketerasest tera liginemist hävimismomendile võib märgata peene joone abil, mida tera jätab töödeldavale pinnale.

Viimast nimetatakse tera nürinemise Taylori kriteeriumiks, kuna Ameerika ins. Taylor seda esimesena pani tähele.

Lõikeprotsessis tera temperatuuri tõusuga väheneb tera kõvadus kuni lõigatava materjali kõvaduseni, mille saavutamisel muutub lõikamine võimatuks. Temperatuuri, mille juures tera lõikeserv häviv, nimetatakse piiriliseks.

Terase töötlemisel on piirilisteks järgmised temperatuurid, olenevalt tera materjalist:

süsinikterasest tera puhul	200 — 250°
kiirlõiketerasest terade puhul	550 — 600°
volframkarbiidist terade puhul	800°

Tähelepanuväärt on, et malmi lõikamisel terad nürinevad palju madalama temperatuuri juures kui terase lõikamisel, mis on seletatav malmi erinevate füüsikaliste omadustega ja erineva laastutekkimise viisiga.

Esiteks on malmi lõikamisel laastu surve koondunud tera esitahule just lõikeserva lähedale. Tuleb arvestada seda, et terasel on tõmbe- ja survetugevused peaaegu võrdsed, kuna malmi juures tõmbetugevus on mitu korda väiksem kui survetugevus. Malm sisaldab süsinikku karbiidi näol, mis kulutab esitahku, nagu lihvimpulber. Ja lõpuks on malmilaast tera poole oma karedama küljega, mis samuti soodustab esitahu pinna kulumist. Need oleksid kokkuvõttes põhjused, mistõttu malmi lõikamisel terad on väiksema soojuskindlusega.

Lõikekiirus treimisel.

Lõiketera väärtuse hindamise aluseks on tema püsivus, s. o. tema vastupidavus kulumisele teatud aja jooksul kindlate töötamistingimuste juures. Kui tahame kahte lõiketera võrrelda nende püsivuse suhtes, siis tuleb luua nende tööks täiesti võrdsed tingimused.

Taylor määras katselisel teel kindlaks seose tera püsivuse ja talle vastava lõikekiiruse vahel. Lõikekiiruse tõusuga väheneb järsult tera püsivus. See seos on väljendatav valemis

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n, \dots \dots \dots (26)$$

kus T_1 ja T_2 on tera püsivused minutites, v_1 ja v_2 neile vastavad lõikekiirused, kuna n on astmenäitaja, mille suurus oleneb treitavast materjalist, lõiketera omadustest ja lõiketingimustest.

Olemasoleva katselise materjali põhjal võib astmenäitaja n suuruse kohta öelda järgmist:

- 1) malmi juures on ta suurem kui terase töötlemisel,
- 2) mida soojuskindlam on tera, seda väiksem on n ,
- 3) mida väiksem tera nürinemise aste on võetud kriteeriumina, seda väiksem on n ,
- 4) laastu põiklõike suurenemisel väheneb n .

Praktilisteks arvutusteks on antud astmenäitaja n suurused terase ja malmi töötlemisel tabelis nr. 15.

Asudes vaatlema mitmesuguste tegurite mõju lõikekiirusele, peame meeles, et selle juures tera püsivus jääb muutmatuks.

Näide. Mitu % väheneb kiirlõiketerasest treitera püsivus terase koorimisel, kui lõikekiirus tõsta 30 meetrilt min. 33 meetrini minutis?

$$\frac{T_2}{T_1} = \left(\frac{v_1}{v_2}\right)^n = \left(\frac{30}{33}\right)^8 = 0,91^8 = 0,988.$$

Vähenedmine on 53%.

Tabel nr. 15

Töötlemise iseloom	Töödeldav materjal	Tera materjal	n
Koorimine	teras	kiirlõiketeras	8
Silumine	"	" " "	10
Koorimine	malm	" " "	9
Silumine	"	" " "	11
Koorimine	teras	stelliit	5,4
Silumine	"	"	6,7
Silumine ja koorimine	malm	"	7,7
" " "	teras	W = karbiid	5
" " "	malm	"	7
Koorimine	teras	Ta = karbiid	6,3
Silumine	"	" "	7,7

Juba Taylori katsed näitasid, et materjali tõmbetugevuse ja kõvaduse tõus vähendab lõikekiirust, kui samal ajal teised lõiketingimused jäävad muutmatuks. Samu tulemusi said ka teised uurijad. Nende andmete põhjal võib öelda, et süsinikterase juures on see olenevus

$$v = \frac{C}{\sigma_t^2} \text{ m/min, } \dots \dots \dots (27)$$

kus C on materjalist olenev konstantne tegur. Legeeritud terase juures on v muutumine veidi väiksem ja praktiliselt vastaks valemile

$$v = \frac{C}{\sigma_t^{1,5}} \text{ m/min.} \dots\dots\dots (28)$$

Malmi puhul on valemi kujuks

$$v = \frac{C}{\sigma_t^{1,7}} \text{ m/min.} \dots\dots\dots (29)$$

Toodud valemid on ligikaudsed, eriti legeeritud terase osas. Tuleb märkida, et mitte alati materjali tõmbetugevus ja tera kulumine ei ole teineteisega kooskõlas. Põhjuseks on ka struktuursed erinevused.

Sageli on terasevalu, samuti ka malmi- ja pronksivalu kaetud kõva valukoorikuga. Sellise valu treimisel tuleb vähendada lõikekiirust lõiketera kiire kulumise pärast. Et alal hoida tera püsivust, võib suurendada ka treimise sügavust selliselt, et lõikeserv võtaks laastu kooriku alt.

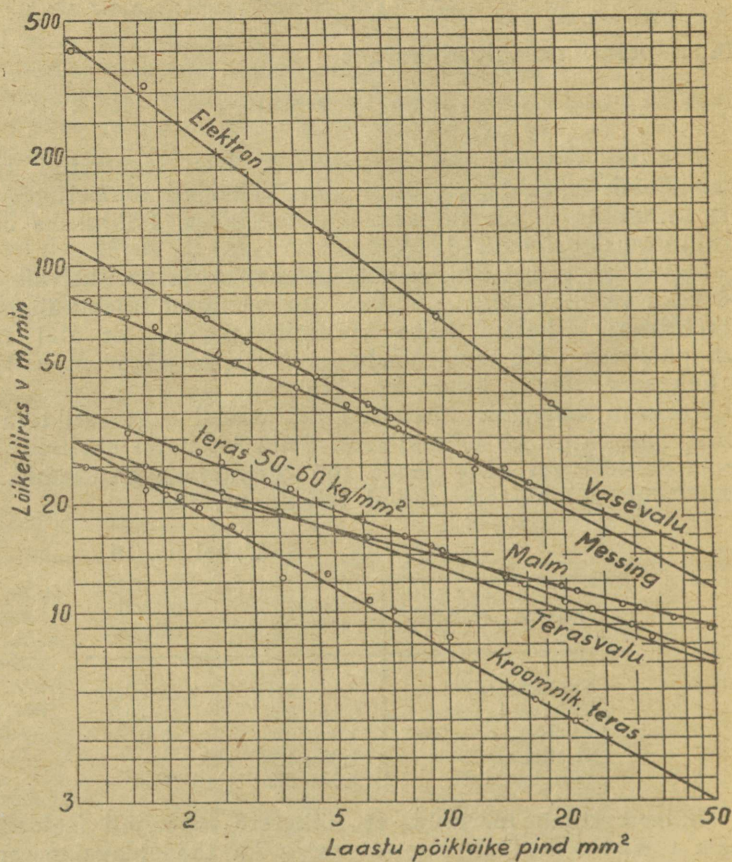
Treitera materjali omadused mõjutavad tugevasti tera püsivust, järelikult ka lõikekiirust. Seda mõju on uurinud Taylor ja Schlesinger ning nende töö tulemusena on saadud vastavad tegurid, mis on toodud tabelis nr. 16.

Tabel nr. 16

Treitera materjal	terase treimis.	malmi treimis.
Süsinikteras	0,15—0,17	0,25—0,3
Isekarast. teras	0,16—0,3	0,4 —0,5
Kiirlõik. = teras	1,0	1,0
Stelliit	1,25—1,35	—
W = karbiid	1,85—2,0	3—4

Üldiselt tuleb märkida, et lõiketera materjali iseloomustavale tegurile avaldab tugevat mõju ka töödeldava materjali iseloom. Nii näiteks on tabelist näha, et malmi juures on lõikekiiruse tõus süsinikterasest tera juurest üle minnes kiirlõike-terasest tera juurde palju väiksem kui terase treimisel. Selletub see sellega, et igal töödeldaval materjalil toimuvad laastutekkimine, sisedeformatsioonid ja teised lõikeprotsessiga kaasas käivad nähtused erisuguselt. Iseloomustavaks on tabelis nr. 17 toodud tegurid üleminekul kiirlõiketeraselt widiale.

Laastu põiklõike suurenemisel väheneb lõikekiirus märgatavalt, kui teised lõiketingimused jäävad muutumatuks. Joonisel 17 toodud diagramm (joonestatud Saksa riikliku ratsio-



Joon. 17.

naliseerimise büroo andmeil) illustreerib kujukalt seda muutust. Diagrammist nähtub, et igal materjalil toimub see lõikekiiruse vähenemine erisuguselt (jooned ei ole paralleelsed). Nii näiteks messingi treimisel laastu põiklõike suurenemisel

viiekordseks tuleb sama tera püsivuse hoidmiseks löikekiirust vähendada 2,65 korda, malmi treimisel aga sama laastu põiklõikepinna suurenemine nõuab löikekiiruse vähendamist 1,54 korda.

Tabel nr. 17

Töödeldav materjal	Tegur
Hall malm, pehme	3
Hall malm, keskmine	3,5
Hall malm, kõva	4
Messing	5
Mn=teras	1,5
Kõva terasevalu	5
Kõva teras	1,75
Keskmine teras	2,5
Pehme teras	4,0

Üldkujul on löikekiiruse olenevus laastu põiklõikepinnast väljendatav valemis

$$v = \frac{C_v}{f\omega} \dots \dots \dots (30)$$

või valemis

$$\frac{V_2}{V_1} = \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^\omega, \dots \dots \dots (31)$$

kus ω ja C_v suurused on olenevad materjali iseloomust. Prof. Glebovi poolt on AWF andmeil arvutatud vastavad ω ja C_v suurused, mis on toodud tabelis nr. 18. Sellest tabelist nähtub, et astmenäitaja ω on alati väiksem kui üks.

Tabel nr. 18

Töödeldav materjal	C_v	ω
Elektron	400	0,726
Alumiinium	250	0,678
Messing	112	0,611
Tempermalm	38	0,568
Kroomnikkelteras	28,5	0,555
Süsinikteras 30—40 kg/mm ²	56	0,412
" " 40—50 "	44	0,415
" " 50—60 "	35	0,416
" " 60—70 "	27,5	0,417
" " 70—80 "	18	0,418
Valatud vask	77	0,441
Valatud teras	28	0,370
Hall malm	26	0,270

Tabelis toodud arvud on õiged järgmistel tingimustel: töö toimub normaalteraga kiirlõiketerasest ($W = 18\%$) ilma jahutuseta, tera püsivus on 60 minutit, tera geomeetria vastab töödeldavale metallile.

Näide. Leida lõikekiirus, mida võimaldab kiirlõiketerasest tera, mille püsivus on 60 min, kui töödeldakse tempereeritud malmi lõikesügavusega 5 mm ja ettenihkega 0,4 mm/t.

$$f = 5 \cdot 0,4 = 2 \text{ mm}^2,$$

$$v = \frac{C_v}{f \omega} = \frac{38}{2^{0,568}} = 25,7 \text{ m/min.}$$

Lõiketera maksimaalse produktiivsuse seisukohalt on õige suurendada laastu põiklõiget lõikekiiruse arvel.

Tõepoolest, kui minutis mahavõetava metalli hulk Q on

$$Q = f \cdot v \text{ cm}^3/\text{min},$$

kus v on lõikekiirus m/min ja f — laastu põiklõikepind mm², siis kahe eri laastu põiklõikega ja lõikekiirusega töötava lõiketera produktiivsuse suhe on

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{f_2 \cdot v_2}{f_1 \cdot v_1}.$$

Asetades $\frac{v_2}{v_1}$ asemele tema väärtuse valemist (31), saame

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{f_2}{f_1} \left(\frac{f_1}{f_2} \right)^\omega = \left(\frac{f_2}{f_1} \right)^{1-\omega} \dots \dots \dots (32)$$

Nii siis leidsime, et tera produktiivsus kasvab võrdeliselt laastu põiklõike suurenemisele astmes $1 - \omega$, vaatamata sellele et lõikekiirus selle juures väheneb.

Selline produktsioonitõus on võimalik peamiselt seetõttu, et soojuste ärajuhtimine on suurema laastu põiklõikepinna juures parem. Kuna laastu põiklõikepinna suurenemisega suureneb ka lõiketung P_z , siis on laastu põiklõike suurendamine võimalik ainult teatud piirini.

Lõikekiiruse suurusele ei mõju mitte ainult laastu põiklõike suurus, vaid ka tema vorm, eeskätt selle vormi elemendid — laastu paksus ja laius. Nad mõjutavad lõikekiirust erinevalt. Vaatamata sellele et laiade ja õhukeste laastude puhul on lõiketung P_z suurem kui kitsaste ja paksude laastude juures (laastu põiklõikepind jääb samaks), võimaldab ta suuremaid lõikekiirusi. Ka siin on see nähtus seletatav parema soojuste ärajuhtimise võimalusega.

Üldiselt väljendub lõikekiiruse olenevus laastu paksusest ja laiusest valemis

$$v = \frac{C}{a^u \cdot b^q}.$$



Asendades a ja b ettenihke ja lõikesügavusega, saame

$$v = \frac{C}{(s \cdot \sin \varphi)^u \cdot (t / \sin \varphi)^q} = \frac{C}{s^u \cdot t^q \cdot \sin^{u-q} \varphi} \dots \dots \dots (33)$$

Astmenäitaja u kõigub 0,3 — 0,7 piirides, kuna q on piirides 0,1 — 0,3. Keskmiselt on terase juures $u = 0,67$ ja $q = 0,22$, malmi juures $u = 0,36$ ja $q = 0,15$. Vastavate katsete tulemusena võib väita, et laastu laiuse (lõikesügavuse) astendaja q on alati tugevasti (2 kuni 3 korda) väiksem kui laastu paksuse (ettenihke) astendaja u . Samuti on need astendajad malmi lõikamisel väiksemad kui terase lõikamisel.

Siit järeldub, et lõiketera maksimaalse produktiivsuse seisukohalt on kasulikum laastu põiklõikepinda suurendada laastu laiuse suurendamise teel.

Tõestame, et see järeldus on õige. Asetades tera tootvuse valemisse laastu põiklõikepinna asemele selle moodustajad, saame

$$Q = a \cdot b \cdot v \text{ cm}^3/\text{min.}$$

Oletame, et tahame võrrelda kahte lõikamist tootvusega Q_1 ja Q_2 , misjuures tera püsivus on jäänud samaks. Siis

$$Q_1 = a_1 \cdot b_1 \cdot v_1$$

ja

$$Q_2 = a_2 \cdot b_2 \cdot v_2$$

Nende lõikamiste tootvuste suhe on

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{a_2 \cdot b_2 \cdot v_2}{a_1 \cdot b_1 \cdot v_1}$$

Asetades $\frac{v_2}{v_1}$ asemele selle suhte väärtuse valemist

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{a_1}{a_2}\right)^u \cdot \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^q$$

saame

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \frac{a_2 \cdot b_2}{a_1 \cdot b_1} \left[\left(\frac{a_2}{a_1}\right)^u \cdot \left(\frac{b_1}{b_2}\right)^q \right]$$

või lõplikult

$$\frac{Q_2}{Q_1} = \left(\frac{a_2}{a_1}\right)^{1-u} \cdot \left(\frac{b_2}{b_1}\right)^{1-q} \dots \dots \dots (34)$$

Kuna eespool nägime, et u kõigub piirides 0,3 — 0,7 ja q — piirides 0,1 — 0,3, siis võime öelda, et sama tera püsivuse juures tema tootvus tõuseb laastu laiuse tõusuga suuremal määral kui laastu paksuse tõusuga (kuna $1 - q$ on suurem, kui $1 - u$).

Töö produktiivsuse huvides tuleb lõigata võimalikult suure lõikesügavusega ja väikese ettenihkega. Tegelikult töö juures tuleb katsuda kogu töötlemisvaru, kui see vähegi võimalik on, maha võtta ühe terakäiguga. Kui pinna puhtuse ja täpsuse nõude rahuldamiseks on vajalik ka silumislauastu, siis tuleb muidugi töötada suurema terakäikude arvuga.

Peanurk projektsioonis avaldab tera püsivusele kahesugust mõju. Esiteks määrab ta laastu laiuse ja paksuse, teiseks võib ta mõjutada tera püsivust ka otseselt.

Erikatsed on selgitanud, et φ puhul, mille väärtus on teatud suurusel väiksem (kriitiline suurus), omab tema muutu-

mine lõikekiirusele ainult geomeetrilist mõju, olles laastu laiuse ja paksuse määrajaks. Sel juhul on lõikekiirus arvutatav valemiga

$$v = \frac{C}{a^u b^q} = \frac{C}{s^u \cdot t^q \cdot \sin^{u-q} \varphi} \dots \dots \dots (35)$$

φ suuruste juures, mis on kriitilisest suuruselt suurem, on tema muutumisel ka tehnoloogiline mõju lõikekiirusele. Nimelt väheneb lõikekiirus sel puhul nurga suurenedes kiiremini kui väikeste φ suuruste juures. Terasi töötlemisel on kriitiline peanurk projektsioonis $\varphi = 38^\circ$, malmi juures $\varphi = 35^\circ$.

Peanurga projektsioonis mõju saab arvesse võtta täiendus-
tegurite abil, mis on toodud tabelis nr. 19 ja on arvutatud D. Smith'i katseliste andmete põhjal.

Tabel nr. 19

Materjal	Peanurk projektsioonis						
	90°	75°	60°	50°	45°	40°	30°
Teras	0,68	0,75	0,80	0,90	1,0	1,07	1,25
Malm	0,72	0,80	0,90	0,95	1,0	1,04	1,13

Vastandina oma mõjule lõiketungile avaldab lõikenurk δ märksa väiksemat mõju lõikekiirusele ja teda tavaliselt ei arvestata.

Jahutusvedelikkude kasutamine suurendab märgatavalt tera püsivust ja koos sellega võimaldab kasutada suuremaid lõikekiirusi. Seda mõju konstateeris juba Taylor. Jahutusel on suurem mõju sitkete metallide lõikamisel kui rabedate puhul. Põhjus on lihtne: sitkete materjalide juures eraldub palju rohkem soojust kui rabedate materjalide juures, ja jahutusefekt on selle tõttu ka silmapaistvam.

Jahutuse tõttu suureneva lõikekiiruse määrale mõjub terve rida tegureid. Mida suurem on ajahihiku jooksul lõiketerale voolav jahutusvedeliku hulk, seda suurem võib olla lõikekiiruse suurenemine. See reegel on aga raksev ainult teatud pii-
rini, mille ületades vedeliku hulga suurendamine enam ei või-
malda lõikekiiruse tõusu.

Töödeldava materjali kõvaduse tõusuga jahutusefekt vähe-
neb. Pehme terasi juures esineb kuni 40% lõikekiiruse tõusu
jahutuse tõttu, kuna keskmise terasi juures see on 30% ja kõva
terasi juures isegi ainult 20%.

Ka tera materjali soojuskindlus on lõikekiiruse tõusu mõjutavaks teguriks. Tayloriga poolt teostatud katsete järeldusena võib märkida järgmisi lõikekiiruse tõuse, olenevalt tera materjalist:

kiirlõiketerasest terade puhul	40%
isekarastuvast terasest terade puhul	33%
süsinikterasest terade puhul	23%

Laastu põiklõikepinna vähenemisel jahutusefekt tavaliselt samuti väheneb. Nii ei saa silumislaastu puhul jahutusega lõikekiirust tõsta üle 10%.

Lõikamisviisi järgi jaguneb treimine koorimiseks ja silumiseks. Kumbki töötlemisviis mõjub erinevalt lõikekiirusele. Silumislaast omab palju väiksemat põiklõiget kui koorimislaast, mis võimaldab märksa suuremaid lõikekiirusi. Silumise juures võib lõiketera püsivus koos lõikekiiruse tõusuga isegi tõusta.

Koorimislaastu ja silumislaastu mõõdete piirideks on võetud, lähtudes praktilistest kogemustest, lõikesügavusena $t=2$ mm ja ettenihkena $s=0,4$ mm. Normaalseks silumissettenihkeks loetakse 0,2 mm. Silumissettenihke suuruse määrab töödeldud pinnalt nõutav siledus.

Lõikekiiruse arvutamiseks on tarvilisel mitu valemit. Lihtsam neist on

$$v = \frac{C_v}{f^w} \text{ m/min,} \quad \dots \dots \dots (36)$$

mida võib kasutada lihtsamatel juhtudel. Täpsem valem omab kuju

$$v = \frac{C_v}{s^u \cdot t^q} \text{ m/min,} \quad \dots \dots \dots (37)$$

kus v on antud m/min, s — ettenihke mm/t, t — lõikesügavus mm, C_v , u ja q on materjali iseloomust olenevad suurused, mida leiame tabelist nr. 20.

Tabelis toodud suurused on Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi poolt soovitatud tarvitusele võtta NSV Liidu metallitööstuses. Nad on kasutatavad alljärgnevaid tingimusi silmas pidades.

1. Töödeldav materjal on ilma valukoorikuta. Kui treitakse koorikuga materjali lõikesügavusega kuni 3 mm, siis tuleb kasutada järgnevaid täiendustegureid: pehme malm —

0,7, keskmine malm ja pronks — 0,85, kõva malm — 0,90, terasevalu ja sepiised — 0,85.

Tabel nr. 20

Töödeldav materjal		Koorimine									Silumine								
Nimetus	H_B või σ_t	$t > 2,0 \text{ mm}$									$t < 2 \text{ mm}$								
		$s > 0,4$			$s = 0,2 \div 0,4$			$s > 0,4$			$s = 0,2 \div 0,4$			$s = 0,1 \div 0,2$					
		C_v	q	u	C_v	q	u	C_v	q	u	C_v	q	u	C_v	q	u	C_v	q	u
Hall malm	100÷120	44,3	0,26	0,43	46,8	0,26	0,355	42,3	0,2	0,42	45,1	0,2	0,35	61,0	0,2	0,164			
	120÷160	34,0	0,26	0,43	36,1	0,26	0,355	32,7	0,2	0,42	34,9	0,2	0,35	47,0	0,2	0,164			
	160÷200	22,0	0,26	0,43	23,3	0,26	0,355	21,1	0,2	0,42	22,6	0,2	0,35	30,4	0,2	0,164			
	200÷220	16,5	0,26	0,43	17,7	0,26	0,355	15,8	0,2	0,42	17,2	0,2	0,35	23,2	0,2	0,164			
Tempermalm	100÷140	41,8	0,26	0,5	43,8	0,26	0,45	40,1	0,2	0,5	42,8	0,2	0,43	65,0	0,2	0,17			
	140÷180	30,8	0,26	0,5	32,4	0,26	0,45	29,7	0,2	0,5	31,7	0,2	0,43	48,1	0,2	0,17			
	180÷220	23,1	0,26	0,5	24,2	0,26	0,45	22,2	0,2	0,5	23,6	0,2	0,43	36,0	0,2	0,17			
C-teras	30÷40	78,0	0,32	0,6	112,0	0,32	0,2	68,1	0,12	0,6	98,6	0,12	0,2	121,5	0,12	0,07			
	40÷50	62,3	0,32	0,6	91,5	0,32	0,2	55,4	0,12	0,6	80,0	0,12	0,2	98,5	0,12	0,07			
	50÷60	48,6	0,32	0,6	70,5	0,32	0,2	42,5	0,12	0,6	61,3	0,12	0,2	75,6	0,12	0,07			
	60÷70	38,0	0,32	0,6	56,3	0,32	0,2	33,8	0,12	0,6	48,6	0,12	0,2	59,0	0,12	0,07			
	70÷80	31,0	0,32	0,6	44,9	0,32	0,2	27,0	0,12	0,6	39,0	0,12	0,2	48,1	0,12	0,07			
	80÷90	22,8	0,32	0,6	32,9	0,32	0,2	19,9	0,12	0,6	29,0	0,12	0,2	35,6	0,12	0,07			
	90÷100	17,0	0,32	0,6	24,8	0,32	0,2	15,0	0,12	0,6	22,0	0,12	0,2	27,0	0,12	0,07			
	40÷50	62,5	0,26	0,52	84,7	0,26	0,185	57,5	0,12	0,5	74,2	0,12	0,22	92,5	0,12	0,08			
Cr-Ni-teras	50÷60	50,0	0,26	0,52	67,8	0,26	0,185	46,0	0,12	0,5	59,6	0,12	0,22	74,2	0,12	0,08			
	60÷70	37,5	0,26	0,52	50,8	0,26	0,185	34,4	0,12	0,5	44,1	0,12	0,22	55,3	0,12	0,08			
	70÷80	25,0	0,26	0,52	33,9	0,26	0,185	22,9	0,12	0,5	29,6	0,12	0,22	36,8	0,12	0,08			
	80÷90	18,7	0,26	0,52	25,4	0,26	0,185	17,2	0,12	0,5	22,2	0,12	0,22	27,4	0,12	0,08			
	90÷100	15,0	0,26	0,52	20,3	0,26	0,185	13,7	0,12	0,5	17,6	0,12	0,22	21,9	0,12	0,08			
	> 100	12,0	0,26	0,52	16,9	0,26	0,185	11,5	0,12	0,5	14,8	0,12	0,22	18,4	0,12	0,08			
Cr-teras	50÷60	45,0	0,26	0,52	61,0	0,26	0,185	41,5	0,12	0,5	53,6	0,12	0,22	67,0	0,12	0,08			
	60÷70	34,8	0,26	0,52	45,7	0,26	0,185	31,0	0,12	0,5	39,7	0,12	0,22	50,0	0,12	0,08			
	70÷80	22,5	0,26	0,52	29,5	0,26	0,185	20,6	0,12	0,5	36,7	0,12	0,22	33,2	0,12	0,08			
	80÷90	16,8	0,26	0,52	22,8	0,26	0,185	15,5	0,12	0,5	20,0	0,12	0,22	24,6	0,12	0,08			
Terasvalu	pehme	37,4	0,25	0,5	45,5	0,25	0,285	34,0	0,1	0,445	40,9	0,1	0,29	52,8	0,1	0,13			
	keskm	26,4	0,25	0,5	32,1	0,25	0,285	24,0	0,1	0,445	28,8	0,1	0,29	37,4	0,1	0,13			
	kõva	19,8	0,25	0,5	45,5	0,25	0,285	18,0	0,1	0,445	21,7	0,1	0,29	28,0	0,1	0,13			
Pronks	< 20	88,0	0,4	0,6	103,8	0,4	0,42	78,4	0,16	0,6	87,9	0,16	0,42	117,4	0,16	0,24			
	20÷30	66,0	0,4	0,6	77,9	0,4	0,42	55,9	0,16	0,6	65,9	0,16	0,42	88,0	0,16	0,24			
	> 30	49,5	0,4	0,6	58,5	0,4	0,42	42,0	0,16	0,6	49,5	0,16	0,42	66,0	0,16	0,24			
Messing	< 22	121,0	0,4	0,6	143,0	0,4	0,42	105,2	0,2	0,6	124,1	0,2	0,42	204,5	0,2	0,11			
	22÷36	98,0	0,4	0,6	116,6	0,4	0,42	86,0	0,2	0,6	101,5	0,2	0,42	167,5	0,2	0,11			
	36÷48	77,0	0,4	0,6	90,8	0,4	0,42	67,1	0,2	0,6	79,2	0,2	0,42	130,1	0,2	0,11			
Alumiinium	H_B																		
	60÷80	225,5	0,4	0,6	283,8	0,4	0,35	196,0	0,2	0,6	247,0	0,2	0,35	340,0	0,2	0,15			
	80÷100	181,5	0,4	0,6	228,0	0,4	0,35	158,0	0,2	0,6	198,0	0,2	0,35	272,5	0,2	0,15			

2. Tera püsivusena on võetud 60 minutit. Teistsuguse tera püsivuse puhul tuleb teostada ümberarvutust eespool toodud valemi (26) abil.

3. Tera on normaalehitusega, $\varphi = 45^\circ$, tera tipu ümaruse raadius $r = 1 \div 3$ mm, tera materjaliks on kiirlõiketeras (W sisaldavusega 18—20%), terad on normaalse termilise töötlusega.

4. Lõikamine toimub jahutuseta. 5% soodalahuse kasutamine jahutusvedelikuna tõstab järgnevas tabelis nr. 21 toodud ulatuses lõikekiirust.

Tabel nr. 21

Töödeldav materjal	σ_t kg/mm ²	v suurene- mise %
Süsinikteras	30—40	25
"	40—50	25
"	50—60	20
"	60—70	20
"	70—80	20
"	80—90	15
"	90—100	15
Legeeritud teras	40—50	25
" "	50—60	25
" "	60—70	20
" "	70—80	20
" "	80—90	20
" "	90—100	15
" "	üle 100	15
Tempermalm ja messing	pehme	20
" " "	keskmine	15
" " "	kõva	10
Alumiinium	pehme	20
"	kõva	15

Tabelis toodud protsendimäärad on maksvad koormislaastu juures. Silumislaastu puhul ei tõuse jahutusefekt üle 5—10%.

Näide. Leida lõikekiirus, kui on treida süsinikteras $= 75$ kg/mm². Treimissügavus $t = 6,3$ mm ja ettenihke $s = 0,6$ mm/t.

$$v = \frac{C_v}{s^u \cdot t^q} = \frac{31}{0,6^{0,6} \cdot 6,3^{0,32}} = \frac{31}{0,74 \cdot 1,8} = 23,2 \text{ m/min.}$$

Näide. Leida lõikekiirus, kui on treida hall malm $H_B = 165 \text{ kg/mm}^2$, lõikesügavusega 4,2 mm ja ettenihkega 0,25 mm/t.

$$v = \frac{C_v}{s^u \cdot t^q} = \frac{23,3}{0,25^{0,355} \cdot 4,2^{0,26}} = \frac{23,3}{0,61 \cdot 1,45} = 26,4 \text{ m/min.}$$

Näide. Leida lõikekiirus, kui on treida kroonnikkelteras tõmbetugevusega 86 kg/mm², Treimine toimub treimissügavusega 3,5 mm, ettenihe on 0,35 mm/t. Jahutuseks kasutatakse soodalahust.

$$v = \frac{C_v}{s^u \cdot t^q} = \frac{25,4}{0,35^{0,185} \cdot 3,5^{0,26}} = \frac{25,4}{0,82 \cdot 1,385} = 22,4 \text{ m/min.}$$

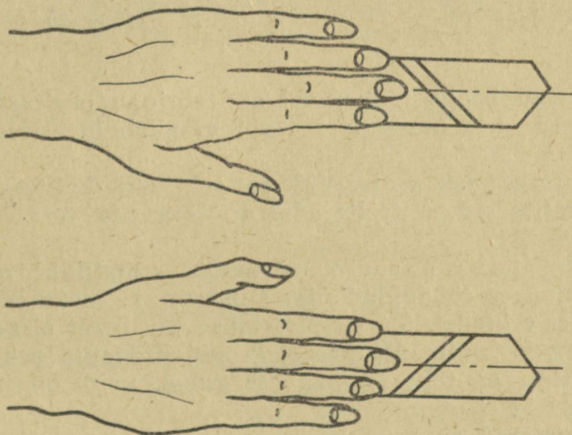
Tegelik lõikekiirus jahutuse kasutamisel on

$$v_t = 1,2v = 1,2 \cdot 22,4 = 26,9 \text{ m/min.}$$

IV. TREITERAD.

Sirge lõikeservaga terad.

Praktikas esineb väga mitmesuguseid treiteri, kusjuures erinevused ei tarvitse olla eriti suured. Enne treiterade üksik-asjalisele vaatlemisele asumist tuleb teostada üldine klassifikatsioon.



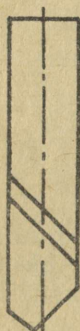
Joon. 18.

Treiterad võivad olla kas parempoolsed või vasakpoolsed. Parempoolseks teraks nimetame sellist tera, millel paremat kätt peopesaga tera poole ja sõrmedega tera tipu poole peale asetades pealõikeserv asub pöidla pool küljel. Pingil sellised terad töötavad ettenihkega vasakule (joon. 18).

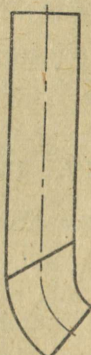
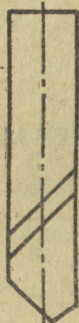
Vasakpoolsed terad omavad pealõikeserva vasaku käe samasuguselt terale asetades pöidla pool küljel. Ettenihe peab toimuma paremale.

Tera pea kuju järgi võib samuti treiteri klassifitseerida.

Sirgeteks teradeks nimetatakse selliseid teri, mille telg on igas projektsioonis sirge (joon. 19).



Joon. 19.



Joon. 20.



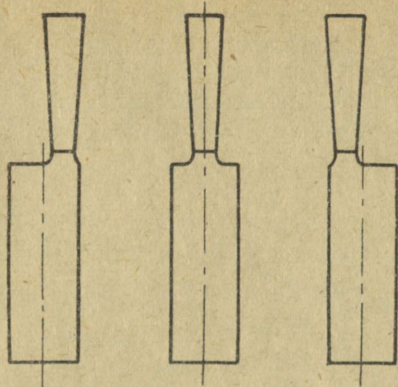
Käänatud peaga treiteradel on telgjoon pealtvaates kõver. Võib esineda kas parempoolne või vasakpoolne kõverus (joon. 20).

Painutatud peaga teradel on telgjoon külgsuunas kõver.

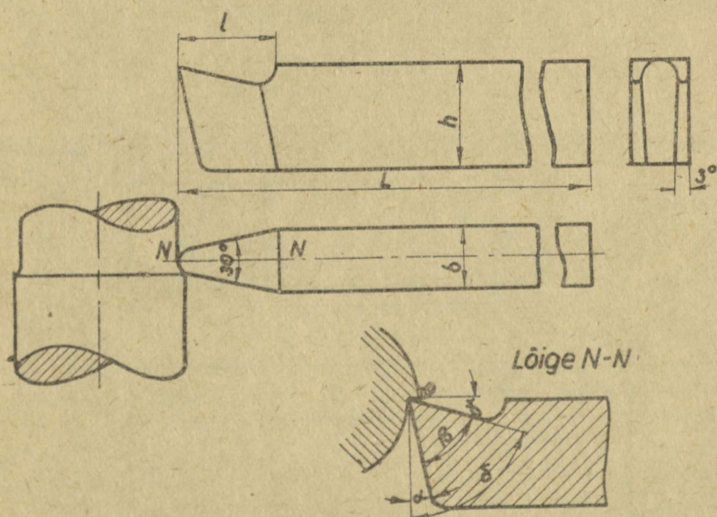
Venitatud peaga treiteradel on tera pea tera kehast kitsam (joon. 21).

Koorimistera on suure paksusega metallkihi mahavõtmiseks, kusjuures töödeldud pinna puhtus ja mõõdete täpsus ei oma erilist tähtsust. Ta valmistatakse tavaliselt sirge lõikeservaga. Tera ise võib olla kas sirge või käänatud peaga. Koorimistera tipp ei tehta kunagi teravana, vaid omab ümaruse raadiusega 1—3 mm.

Silumisterad on tarvitusel pinna viimistlemisel. Kuna nad võtavad palju väiksemat laastu, siis nende põiklõige võib

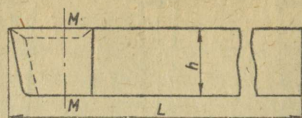


Joon. 21.

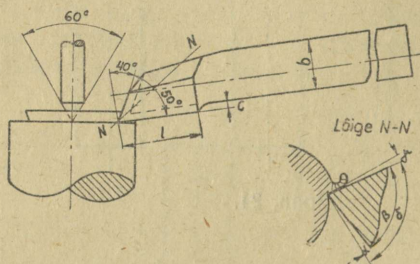


Joon. 22.

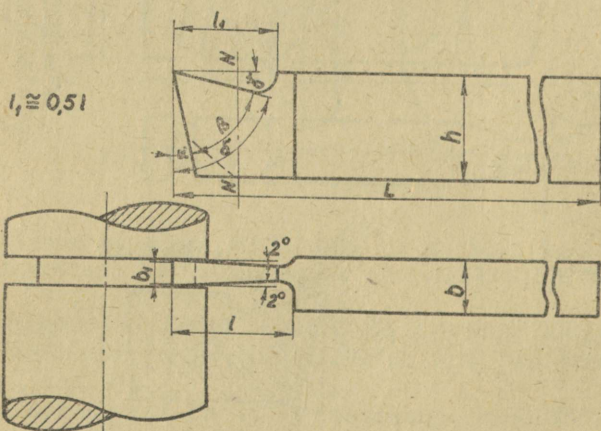
olla 20 — 50% väiksem kui koorimisteral. Suure pinnapuhutuse saamiseks on silumisterade terva tipu ümbrus tavaliselt suurema raadiusega (2—6 mm). Nad valmistatakse lõikeservade suhtes sümmeetrilistena, nii et neid võib kasutada nii parempoolse kui kavasakpoolse ettenihke juures (joon. 22).



Lõige N-M



Joon. 23.



Lõige N-N



Joon. 24.

Tasapinna treimise terad on tarvitusel tasapindade ja detailide otste treimisel (joon. 23).

Mahalõiketerad valmistatakse materjali mahalõikamiseks (joon. 24).

Tera põiklõike valik oleneb suurel määral laastu põiklõikest ja seoses sellega lõiketungist P_z . Laastu põiklõike komponentidest on olulise tähtsusega laastu laius, kuna tera pealõikeserv peab olema pikem kui laastu laius. Kuna laastu laius omakorda oleneb lõikesügavusest t ja peanurgast φ , siis minimaalne laastu laius võib olla

$$b_t = t \cdot \operatorname{ctg} \varphi \text{ mm,}$$

kus b_t on tera laius. Kuna normaaltera juures esineb alati ka abilõikeserv, siis b_t suurus on alati 1,5 kuni 3 korda suurem arvutatust.

Tera põiklõike valikul tuleb arvutamise aluseks võtta treimisel tekkinud P_z . Et tera kinnituskohalt supordisse asub teatud kaugusel e tera tipust, siis tuleb valitavat tera põiklõiget kontrollida maksimaalse lubatava P_z suhtes, arvutades tera paindele.

Tera tugevuse seisukohalt on maksimaalne lubatav lõiketung

$$P_z = \frac{\sigma_{lub} \cdot b_t \cdot h_o^2}{6 \cdot l} \text{ kg.} \quad \dots \quad (38)$$

Tera läbipaindumise seisukohalt aga võib olla maksimaalne lubatav lõiketung

$$P_{z1} = \frac{E \cdot F \cdot b_t \cdot h_o^3}{4 \cdot l^3} \text{ kg.} \quad \dots \quad (39)$$

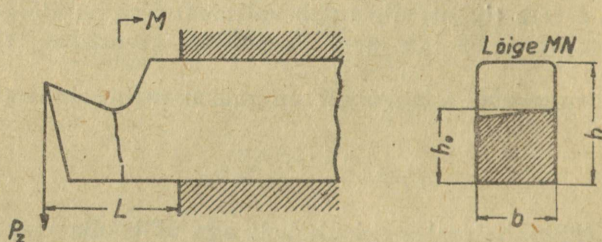
Valemites (38) ja (39) on: σ_{lub} — tera keha materjali lubatud paindepinge (tööriistaterasel 15 kg/mm² ja kiirlõikeaterasel 30 kg/mm²), b_t — tera laius mm, h_o — väikseim tera keha kõrgus (joon. 25), E — tera materjali elastsuse moodul, F — lubatav maksimaalne läbipaindumine (koorimisel võib see olla 0,1 mm ja silumusel 0,05 mm), l — tera kinnituskoha kaugus tera tipust.

Tera põiklõike mõõdet on normitud. Põiklõige võib olla kas ruudu- või püstkülikukujuline. Püstkülikukujulise põiklõike tarvitavamateks mõõdeteks on 10 × 16, 12 × 20, 16 × 25, 20 × 30, 25 × 40, 30 × 45, 40 × 60 mm. Ruudukujulistel on ruudu külje pikkusteks 12, 16, 20, 25, 30, 40 ja 50 mm.

Eespool toodud kirjeldus puudutab välistreimisel kasutatavaid treiteri. Tähtsa koha kaasaegses masinachituses omavad ka sisetreimise operatsioonid. Aukude täpsusest oleneb sageli tervete mehhanismide töö korralikkus. Sisetreimine on keeru-

kam kui välistreimine, mille põhjused on järgnevalt kokku võetud.

Sisetreimisel omab tera mõõdetele suurt mõju augu pikkus ja läbimõõt. Mida väiksem on augu läbimõõt, seda peenem peab olema tera keha, mis suure augu sügavuse juures võib kutsuda esile tera tugeva värisemise. Tera vetrumine võib esineda veel seetõttu, et enamikul juhtudest tuleb kasutada tugevasti käänatud peaga tera. Sisetreimisel on laastu ärajuhtimine alati raskendatud, mispärast tera konstruktsioon ei tohiks seda veelgi raskendada, vaid peab just seda kergendama. Sisetreimisel saavutatav täpsus on madalam välistreimuse täpsusest ja kõrgendatud täpsuse saavutamiseks tuleb auk peale treimist veel hõõritseda.

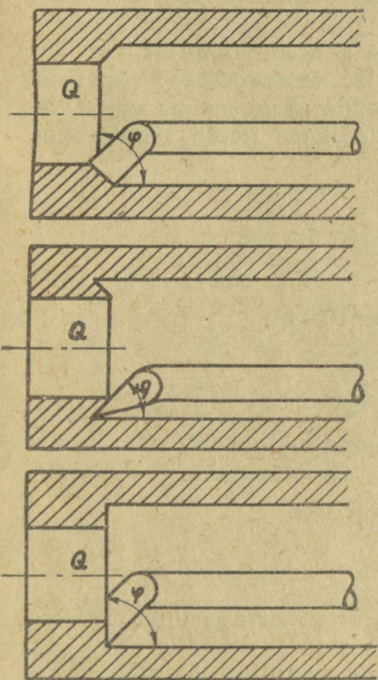


Joon. 25.

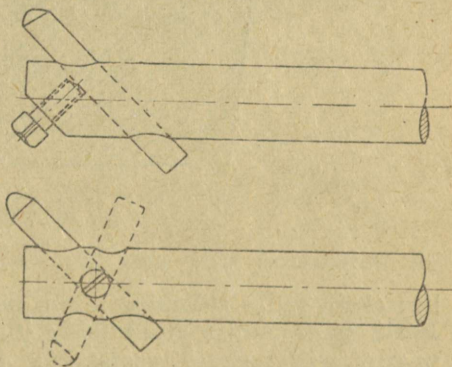
Joonisel 26 on toodud lõiketera lõikeserva mitmesugused kujud ja lõikeserva asendid ettenihke suhtes. Juhul a) on nurk φ suurem kui 90° , juhul b) on ta väiksem kui 90° ja juhul c) võrdne 90° -ga. Neist on kõige sagedamini kasutamisel esimene terakuju. Tera keha valmistatakse kas ümmargusena või kandilisena. Ümmargune kuju on eelistatud, kuna teda on kergem valmistada ja teda võib terahoidjas keerata. Sageli on tegemist väga sügavate aukudega, mispuhul ühest tükist tehtud tera ei ole kasutatav. Sel puhul tarvitatakse erilist terahoidjat, mille üks tüüp on näidatud joon. 27.

Hinnalise kiirlõiketerase kokkuhoiu otstarbel on kasulik terad, mille põiklõiked ületavad 300 mm^2 , valmistada kahest osast: tera keha harilikust süsinikterasest, lõikav osa aga kiirlõiketerasest vastava plaadikese näol. Plaadike kinnitatakse tera kehale keevitamise või jootmise teel. Kiirlõiketerasest plaadikesed on vastavalt otstarbele standarditud.

Kiirlõiketerasest plaadikese keevitamist teostatakse tavaliselt kontaktkeevituse teel, harvemini kasutatakse ääsil keevitust või autogeennekevitust. Kontaktkeevituse paremuseks on ühtlane kinnikeevitamine kogu kokkupuutepinna ulatuses, mida teiste keevitusviiside juures ei saavutata. Kiirlõiketerasest plaadikese jootmist kasutatakse väga harva. Jootmine toimub punase väsega.



Joon. 26.



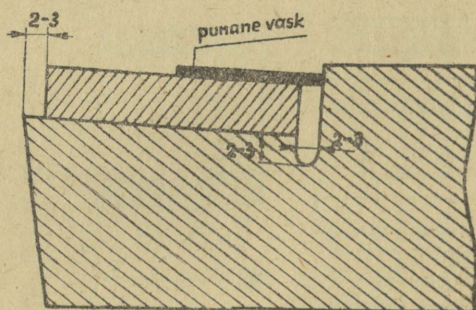
Joon. 27.

Treiteradele kõvametalplaadikestega lõikeserva moodustajana tuleb tera kehaks valida teras tõmbetugevusega 70 — 80 kg/mm² (süsiniku sisaldavus 0,8 — 1,0%), kuna tera töötab raskestes oludes ja kõvametalplaadikesed ei kannata tera värisemist. Nõrga aluse juures võib plaadike murduda. Alus on soovitatav valmistada püstkülikukujuline, et tagada küllaldast tera keha jäikust.

Kõvametallplaadikesed joodetakse tera keha külge. Keevitamine ei tule kõne alla, kuna selle juures esinev liiga kõrge temperatuur võib põhjustada plaadikeses pragusid. Enne jootmist tuleb plaadikese pinnad, mis on pööratud tera keha poole, hästi puhastada kas terasharjaga või luisuga, kogu plaadike peitsida seebikiviga rasva ja muu mustuse kõrvaldamiseks, pesta veega ja korralikult kuivatada. Tera kehale tuleb freesida plaadikesele vastav pesa, kuhu plaat tuleb korralikult sisse passida.

Jootmist on otstarbekohane teostada muffelahjus, et ära hoida otsest leegi mõju. Jootmine ise teostatakse järgnevalt.

Tera keha viiakse ahju ja soojendatakse seal kuni 600—700°-ni (tumepunane hõõgvärv). Plaadikese pessa riputatakse



Joon. 28.

booraksit, mille sulamise järele pesa traatharjaga puhastatakse. Peale puhastamist riputatakse plaadikese pessa uus kiht booraksit, mille peale asetatakse juba plaadike ise. Plaadikese peale pannakse vaskplekitükk, riputatakse veel kord booraksiga üle ja viiakse uuesti ahju, asetades tera tipp veidi ülespoole, et anda sulavale vasele võimalust joosta plaadikese alla (joon. 28). Niipea, kui vask hakkab plaadikese alt välja tulema, võetakse tera ahjust välja ja surutakse plaadike mõne terava asjaga 1—1,5 minutit vastu tera keha. Teravat eset on surumiseks tarvis sellepärast, et lai ese jahutaks plaadikese liiga järsult, mis põhjustab kergesti pragude tekkimist. Seejärel asetatakse tera sõepurusse kuni lõpliku jahtumiseni. Jahtununa lihvitakse terale vastavad lõikenurgad.

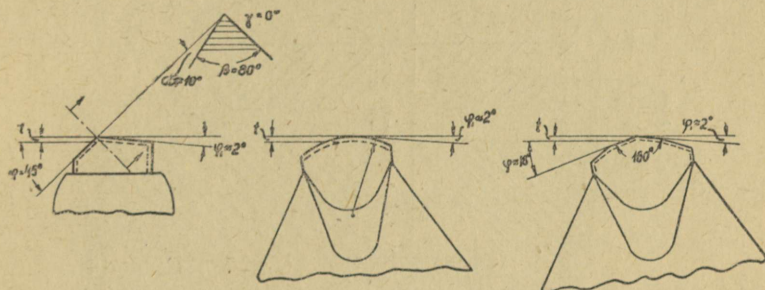
Kõvametallplaadikestega terade töötamise režiim on teine kui kiirlõiketerasest teral. Et saada temaga maksimaalseid tulemusi, tuleb silmas pidada järgnevaid reegleid.

1. Tera peab olema kinnitatud supordisse lühikeselt.
2. Tera tõstmiseks supordis tuleb tarvitada võimalikult vähe alusplekke.

3. Tera tuleb eemaldada laastust pingi käigu ajal, mitte peale seismajätmist; pingi seismajätmine tera laastus olles kutsub esile tera murdumise.

4. Tuleb vältida eseme värisemist, kuna muidu esineb tera lõikeserva murdumine.

5. Tera tuleb asetada eseme telgjoonele või 0,1 diameetrit kõrgemale.



Joon. 29.

6. Koorimislaastu puhul ei või tera olla koormatud üle poole lõikeserva pikkusest.

7. Ettenihke suhe lõikesügavusega peab olema piirides 0,25 — 0,10.

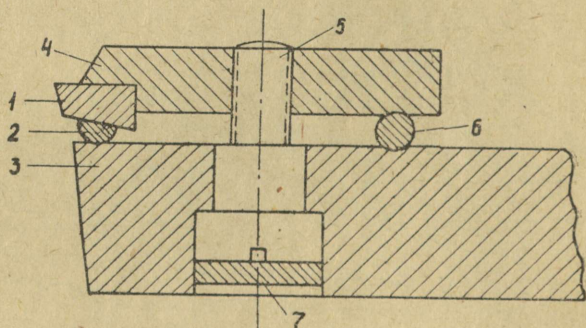
Teritamise kvaliteet avaldab suurt mõju tera püsivusele, mistõttu ei ole soovitatav teritamist teostada käsitsi, tera tipu ümaruse raadius ei tohi olla alla 0,5 mm.

Väga täpsete mõõdete ja üsna sileda pinna saamiseks kasutatakse teemantterasid. Teemant on kõvim meile tuntud materjal ja peab hästi vastu kulumisele. Peab aga mainima, et teemandi kasutamine kõva terase ja malmi treimiseks pole otstarbekohane, kuna ta on ka rabe.

Joonisel 29. on näidatud sagedamini kasutatavad teemant-tera kujud. Lõikenurgad peavad teemantteral olema suured,

nad lähenevad 90° -le või on isegi suuremad (γ on negatiivne). Seadenurk hoitakse 10° ümber. Mida kõvem on treitav materjal, seda suurem peab olema lõikenurk.

Teemant on mitusada korda kõvametallist kallim, kuid teemanttera püsivus on mitu tuhat korda suurem. Teemanttera võimaldab üsna soliidseid lõikekiirusi (200—1000 m/min). Töö peab toimuma väikeste lõikesügavustega ($t = 0,1$ — $0,25$ mm). Teemanttera püsivust ei mõõdetata mitte minutites, vaid tundides (200—1000). Teemanttera käsitlemisel tuleb olla eriti ettevaatlik, kuna nende teritamine on kaunis raske operatsioon. On nõutav, et töö toimuks ilma igasuguste tõuge-teta. Tera tuleb laastust välja viia enne pingi seismajätmist, kuna muidu on karta tera murdumist.



Joon. 30.

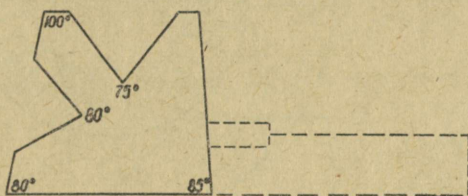
Teemant töötab hästi ka jahutuseta. Jahutus soodustab laastu eraldamist, jahutuseks kasutatakse sageli suruõhku. Teemanti saab teritada 3 kuni 5 korda. Teemandi kinnitus-viisi näitab joon. 30.

Lõiketera õige teritamine on üheks tera produktiivsuse aluseks. Kahjuks ei saada sellest sageli aru. Õige teritamise all ei tule mõista mitte ainult terale vastavate nurkade käia-mist, vaid ka teritamise režiimi ennast. Vale teritamise re-žiim võib tera püsivust vähendada kuni 40%. Massilise terade teritamise jaoks on konstrueeritud terve rida automaate, mis võimaldavad vältida vigu, mida tehakse käsitsi teritamisel.

Väga tähtis on tera püsivuse seisukohalt ühtlane lõike-serva teravus ja absoluutselt sile tahkude pind. Selle saavu-tamiseks teritatakse sageli kaks korda: alguses jämedamal

käial ja lõpuks peeneteralisel. Eriti täpsete tööde puhul isegi poleeritakse tera tahud, mis küll teeb tera teritamise kallimaks, kuid tõstab töö täpsust. Need teritamise reeglid on maksvad enamiku terade kohta, vaatamata terakujule ja materjalile. Otstarbekohane on kasutada teritamisel jahutust, mis tõstab teritamise kvaliteeti.

Kõvametallplaatidega terade teritamisel on mõningaid iseäraldusi, võrreldes tavalise tera teritamisega. Alguses tuleb teritamist toimetada jämedateralise käiaga, millega lihvitakse tera keha osa plaadikese all. Seejuures käiatakse seadenurk $2-3^\circ$ suurem, kui seda tehakse pärast plaadikesel. Sellega kergendatakse pärastist plaadikese lihvimist. Plaadikese tahkude lihvimist teostatakse samuti kahe tera jämedusega käiaga,



Joon. 31.

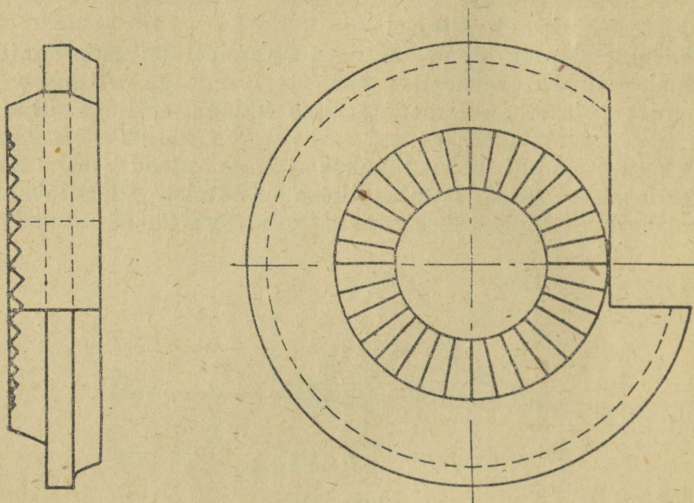
alguses teralisusega 40—60, peenlihvimine toimub käial teralisusega 80—100. Lihvimisel ei tohi tera tugevasti vastu käia suruda, kuna see kulutab käia ja võib tera rikkuda. Erilise lõikeserva teravuse saamiseks lihvitakse lõpuks veel luisuga. Tera nurkade kontrolli võib teostada vastava šablooni abil (joon. 31), mille kasutamiseviis on selge jooniselt vaadates.

Profiilterad.

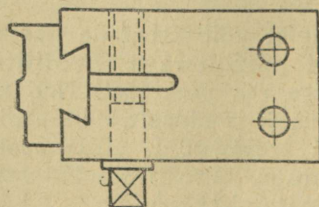
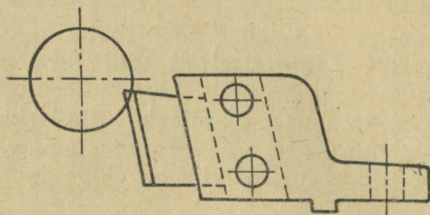
Fassongtreimist võib teostada kas tavalise teraga vastava kopiiri abil või profiilteraga. Profiilterad omavad võrreldes tavaliste teradega rea paremusi. Nad annavad võimaluse töödelda väga ühtlaselt ja täpselt, nende töö on ökonoomne. Töötuses on sageli treimistõid, mille teostamine on ökonoomne ainult profiilteraga. Profiilterade vooruseks on veel suur võimalikkude teritamiste arv.

Profiilterad on;

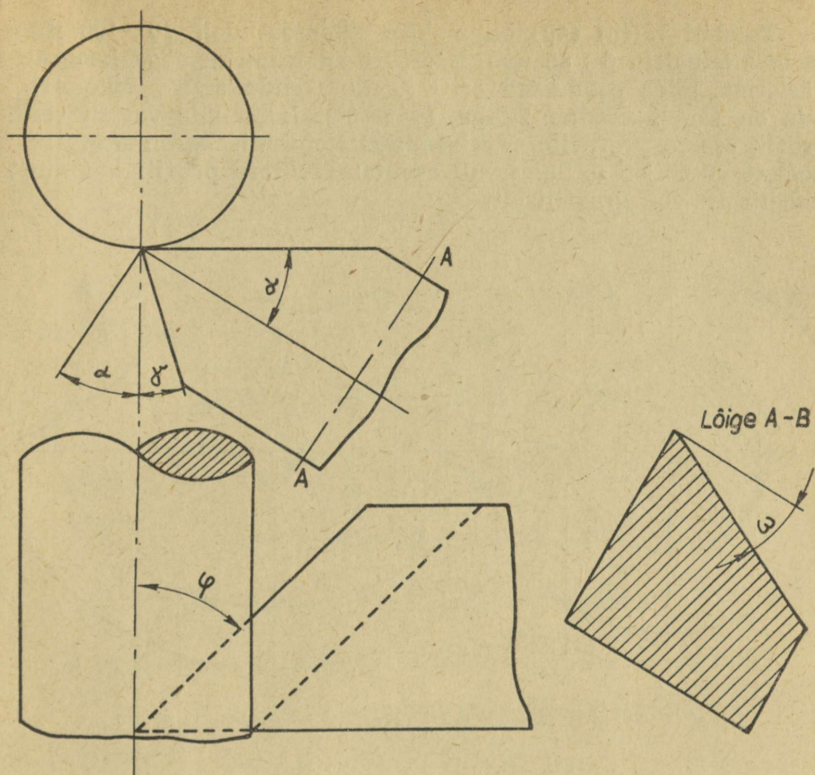
- 1) radiaalsed kettalised (joon. 32),
- 2) radiaalsed prismaatilised (joon. 33),
- 3) tangentsiaalsed prismaatilised (joon. 34).



Joon. 32.



Joon. 33.



Joon. 34.

Radiaalset tüüpi profiiltera asetatakse pinki selliselt, et garanteerida ristettenihet. Kõik selle tera lõikeserva punktid võtavad korraga laastu, laast tuleb seetõttu lai ja töötada tuleb väikeste ettenihetega (0,02—0,05 mm/t). Autotehase ZIS andmeil võib arvutada radiaalse profiiltera ettenihet järgneva valemi abil

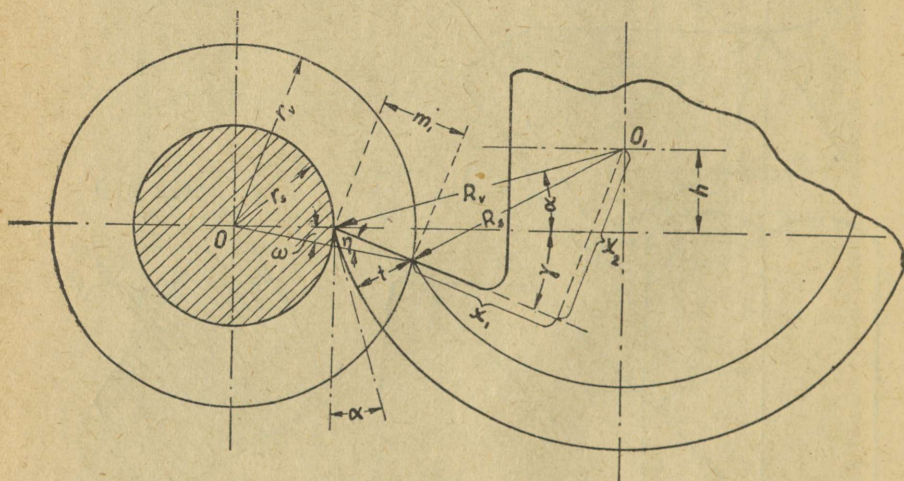
$$s = \frac{C \cdot D}{b^{0,6}} \text{ mm/t}, \dots \dots \dots (40)$$

kus D on eseme läbimõõt mm,

b — tera laius mm,

C — tegur, mille suurus oleneb materjalist ja kõigub pii-rides 0,014—0,021.

Toodud valem (40) on maksev läbimõõtudele $10 \div 100$ mm ja tera laiustele $6 \div 80$ mm. Profiilterad kipuvad väga kergesti värisema, mida soodustab eriti nende terade suur lõikenurk, mis on sageli võrdne 90° -ga ($\gamma = 0^\circ$), kuna siis vastab tera profiil eseme profiilile. Värisemisest hoidumiseks on otstarbekohane võtta $\gamma > 0$. Sel juhul arvutatakse tera profiil kas analüütiliselt või graafiliselt.



Joon. 35.

Analüütilise arvutuse puhul peavad olema antud (joon. 35)

r_v — eseme välise kontuuri raadius,

r_s — eseme sisemise kontuuri raadius,

R_v — tera välise kontuuri raadius,

h — tera esitahu ja välise kontuuri ristumisjoone asendi kaugus tera sentrijoonest,

γ — tera esinurk.

Tarvis on leida tera sisemise kontuuri raadius R_s ja koos sellega ka tera profiili sügavus t .

$$t = R_v - R_s;$$

$$R_s = \sqrt{x_1^2 + x_2^2},$$

kuna

$$x_1 = R_v \cdot \cos(\alpha + \gamma) - m_1; \quad x_2 = R_v \cdot \sin(\alpha + \gamma);$$

siis

$$R_s = \sqrt{[R_v \cdot \cos(\alpha + \gamma) - m_1]^2 + R_v^2 \cdot \sin^2(\alpha + \gamma)}; \quad (41)$$

$$m_1 = \frac{r_s \cdot \sin \omega}{\sin \eta}; \quad \sin \eta = \frac{r_s \cdot \sin \gamma}{r_v}; \quad \omega = \gamma - \eta.$$

Näide: $r_v = 100$ mm, $R_v = 60$ mm, $r_s = 80$ mm,
 $\gamma = 12^\circ$, $h = 10$ mm. Leida R_s ja t .

$$\sin \alpha = \frac{h}{R_v} = \frac{10}{60} = 0,166; \quad \alpha = 9,5^\circ;$$

$$\sin \eta = \frac{r_s \cdot \sin \gamma}{r_v} = \frac{80 \cdot \sin 12^\circ}{100} = \frac{80 \cdot 0,208}{100} = 0,166; \quad \eta = 9,5^\circ.$$

$$\omega = \gamma - \eta = 12^\circ - 9,5^\circ = 2,5^\circ;$$

$$m_1 = \frac{r_s \cdot \sin \omega}{\sin \eta} = \frac{80 \cdot 0,044}{0,166} = 21 \text{ mm};$$

$$x_1 = R_v \cdot \cos(9,5^\circ + 12^\circ) - 21 = 60 \cdot 0,93 - 21 = 35 \text{ mm};$$

$$x_2 = R_v \cdot \sin(9,5^\circ + 12^\circ) = 60 \cdot 0,36 = 21,6 \text{ mm};$$

$$R_s = \sqrt{35^2 + 21,6^2} = 41 \text{ mm};$$

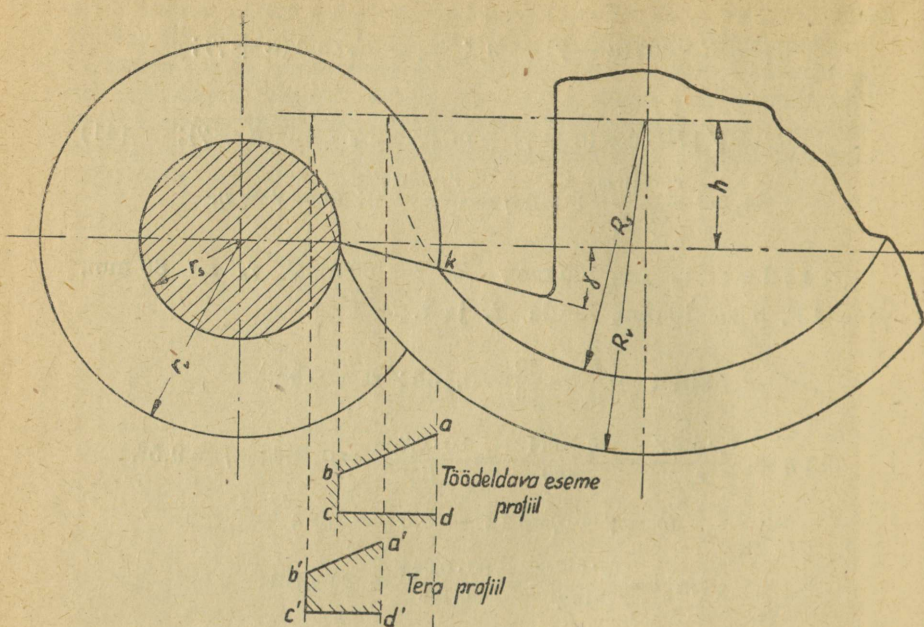
$$t = R_v - R_s = 60 - 41 = 19 \text{ mm}.$$

Graafiliselt saadakse tera profiili sisemine raadius tera esitahu ristumisel eseme välise ringjoonega (punkt k joon. 36). Joonestades ringid raadiustega R_s ja R_v kuni lõikumiseni tera sentrijoonega, saame tera profiili sügavuse, mis on eseme profiili sügavusest väiksem.

Prismaatilise profiilitera normaalasendi ja teritamise puhul (joon. 37) ei ole tera profiili sügavus t võrdne eseme profiili sügavusega m .

Kui on teada m , siis arvutatakse t suurus alljärgnevalt. Kolmnurgast abc , kus $bc = t$, on

$$t = ab \cdot \cos(\gamma + \alpha); \quad \text{kuna } x = (\alpha + \gamma),$$



Joon. 36.

kolmnurgast abO , kus $Ob = r_v$ ja $aO = r_s$, on

$$ab = \sqrt{r_v^2 + r_s^2 - 2 \cdot r_v \cdot r_s \cdot \cos \omega};$$

kusjuures

$$\omega = \gamma - \eta; \quad \sin \eta = \frac{r_s \cdot \sin \gamma}{r_v}.$$

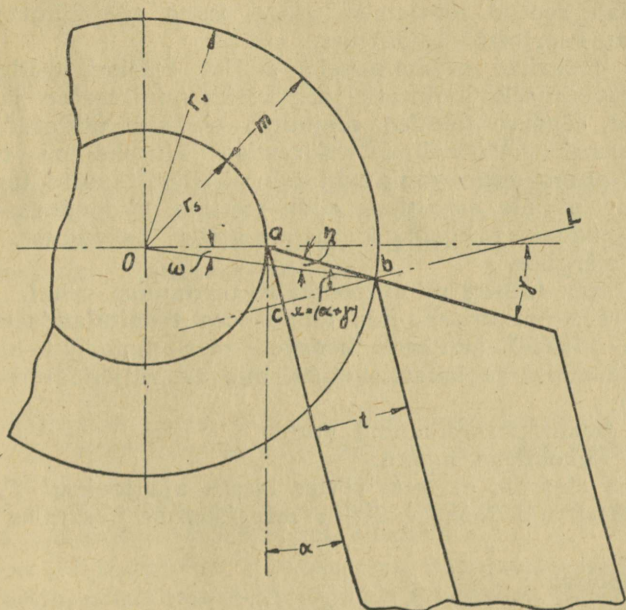
Nii siis

$$t = (\sqrt{r_v^2 + r_s^2 - 2r_v \cdot r_s \cdot \cos \omega}) \cdot \cos(\gamma + a).$$

Kui $\gamma = 0$, siis ka $\eta = 0$ ja $\omega = 0$.

$$t = (\sqrt{r_v^2 + r_s^2 - 2r_v \cdot r_s}) \cdot \cos a = \sqrt{(r_v - r_s)^2} \cdot \cos a = (r_v - r_s) \cdot \cos a. \quad \dots \dots \dots (42)$$

Nii prismaliste kui ka kettaliste profiilterade valmistamisel tuleb arvestada profiili vähenemist sügavuses. Tera laius ei muutu.



Joon. 37.

Profiilterasid kasutatakse ohtrasti keermetamisel.

Tangentsiaaltera ettenihe toimub tangentsiaalselt treitava eseme pinnale, mis garanteerib suure töötlemise täpsuse ja võimaldab töötamist selliselt, et tera lõikeserv ei ole terves ulatuses koormatud. Nende veaks on seadenurga ja esinurga muutumine lõikeprotsessi jooksul. Neid kasutatakse peamiselt silumistöödeks.

V. TREIMISE LÕIKEREŽIIMI MÄÄRAMINE.

Treipinkide ja terade ratsionaalse kasutamise küsimust tuleb vaadelda tehnoloogiliselt ja ökonoomsuse seisukohalt.

Tehnoloogiliselt me peame valmistama teatud mõõdetega eseme, mille juures on kindlustatud mõõdete täpsus ja pinna

puhtus. See tingimus dikteerib pingi suuruse, tema töötamise täpsuse, samuti aga ka terakuju ja töörežiimi.

Teiselt poolt peame aga silmas pidama ka ökonoomsuse printsiipi, s. o. madalaima omahinna saavutamist. Viimane on tihedalt seotud töötlemise ajaga, kuna tööjõukulu omab omahinnas suurimat osatähtsust.

Meie loeksime ratsionaalseks sellist režiimi, mille juures laastuvõtmiseks kulutatav aeg oleks minimaalne ja tööle esitatavad täpsuse nõuded seejuures oleksid täidetud.

Tähtsamaks töörežiimi määramise aluseks on treitera püsivuse norm, mille valik mõjutab põhiliselt muid tegureid.

Taylor püüdis esimesena anda treitera ökonoomse töötamisaja (püsivuse) küsimuse matemaatilist lahendust.

Kui märgime

T — tera tööaeg minutites kahe teritamise vahel,

t — aeg minutites, mis läheb tera teenindamiseks ühe käiamise jooksul (viimane koosneb tera materjali hinnast, tema sepistamise ja käiamiskulust, mis on väljendatud treiali tööajana),

f — laastu põiklõikepind mm,

v — lõikekiirus m/min,

siis võime oletada, et tera, võttes laastu aja jooksul T , tegelikult töötab aja jooksul $T + t$ mingisuguse keskmise kiirusega v_k .

Tõepoolest

$$Q = f \cdot v \cdot T;$$

järelikult

$$v_k = \frac{Q}{f \cdot (T + t)} = \frac{f \cdot v \cdot T}{f \cdot (T + t)} = \frac{vT}{T + t}.$$

Asetame võrrandisse väärtuse $v = \frac{C}{T^m}$,

saame

$$v_k = \frac{C \cdot T^{-m} \cdot T}{T + t} = \frac{C \cdot T^{1-m}}{T + t} \cdot \dots \dots \dots (43)$$

Kasulikem on selline T ja t suuruste vahekord, milles on garanteeritud suurim

Et leida seda vahekorda, võtame eelmise võrrandi esimese tuletise ja võrrutame ta nulliga.

$$\frac{dv_k}{dT} = C \cdot \frac{(1-m) \cdot T^{-m} \cdot (T+t) - T^{1-m}}{(T+t)^2} = 0.$$

See on võimalik, kui

$$(1 - m) \cdot T^{-m} \cdot (T + t) - T^{1-m} = 0$$

või

$$(1 - m) \cdot \left(1 + \frac{t}{T}\right) - 1 = 0,$$

kust saame

$$\frac{t}{T} = \frac{1}{1 - m} - 1 = \frac{m}{1 - m}; \quad T = \frac{t(1 - m)}{m}. \quad \dots (44)$$

Lihtsate koorimisterade juures on võetud normaalseks tera püsivuseks 60 minutit. Arvestades kõvametallplaatide küllalt suurt hinda soovib prof. Rudnik valida nende jaoks järgmised tera püsivuse normid:

terase treimisel $T = 75 - 90$ min,

koorikuta malmi treimisel $T = 75$ min,

koorikuga malmi- ja terasevalu $T = 40 - 50$ min.

Profiilterade juures võetakse see norm tavaliselt kõrgem. Samuti on tera püsivuse norm kõrgem töötades automaatpinkidel.

Kui on kindlaks määratud tera püsivuse norm, siis tuleb määrata järgmised lõikerežiimi elemendid.

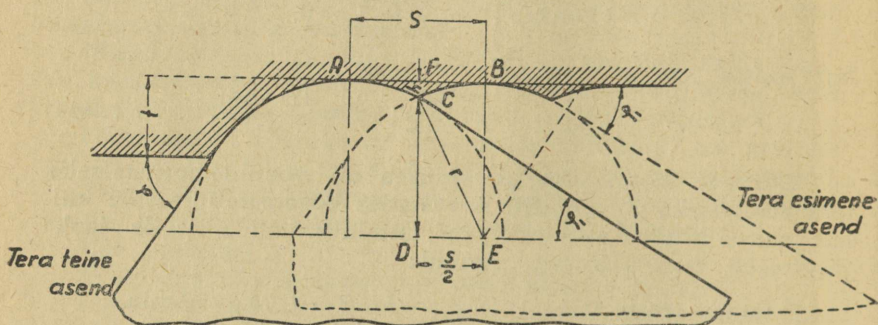
Kuna lõikesügavus avaldab tera püsivusele kõige väiksemat mõju, siis tema valik toimub esimesena. Lähtudes eespool mainitud reeglist, tuleb püüda tema võimalikku suuren-damist. Kus see on võimalik, tuleb teostada treimist ühe tera-käiguga.

Järgmisena tuleb valimisele ettenäha. Maksimaalne ette-nähe, mis on tehnoloogiliselt veel lubatav, on järgmine:

- 1) nõutavast töötlemise täpsusest,
- 2) maksimaalsest koormatusest, mida võimaldab eseme jäi-kus ja tugevus, samuti tema kinnituse tugevus pingile,
- 3) maksimaalsest koormatusest, mida võimaldab tera tuge-vus ja jäikus,
- 4) tera ja detaili värisemisest,
- 5) maksimaalsest koormatusest, mida võimaldab pingi tuge-vus, jäikus ja kulumise kindlus,
- 6) pingi võimsusest või antud tiirude arvu juures tema piirilisest pöördmomendist.

Pinna puhtuse määravad treimise jälgede kõrgus. Nende suurus oleneb ettenihkest, peanurgast projektsioonis ja tera tipu ümaruse raadiusest.

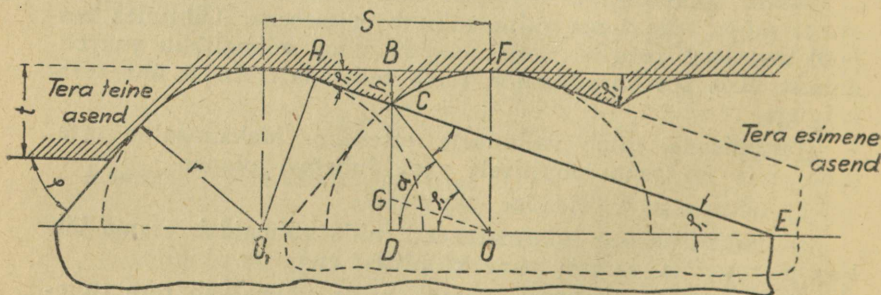
Võib esineda kolm juhtu.



Joon. 38.

1. Kui jälje külgi moodustavad tera ümaruse kaared, siis jälje kõrgus on (joon. 38)

$$h = \frac{2 \cdot r - \sqrt{4 \cdot r^2 - s^2}}{2} \text{ mm.} \dots \dots (45)$$



Joon. 39.

2. Kui jälje külgi moodustavad tera tipu ümaruse kaar ja abilõikeserv (joon. 39), siis

$$h = r - (\sin \varphi_1) \cdot \sqrt{2 \cdot r \cdot s \cdot \sin \varphi_1 + s^2 \cdot \sin^2 \varphi_1} + r \cdot \cos \varphi_1 - \frac{s}{2} \sin 2\varphi_1. (46)$$

Kui ettenihe on eriti suur, siis

$$h = \frac{\left(S - r \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi_1}{2} - r \cdot \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2} \right) \cdot \sin \varphi_1 \cdot \sin \varphi}{\sin (\varphi_1 + \varphi)} . \quad \dots \quad (47)$$

Jälje kõrgus koorimisel määrab ka töötlemisvaru silumiseks, mis peab olema minimaalselt kolm korda treimise jälgedest kõrgem. Ettenihe silumisel oleneb ka eseme läbimõõdust, olles väikeste läbimõõtude juures väiksem, üldiselt aga 0,1—1,5 mm. Eeltoodud valemite abil on saadud tabelis 22 toodud arvud.

Nagu eespool märgitud, mõjuvad treimisel töödeldavale esemele pöördmoment ja paindemoment. Nende kahe momendi ja löiketungi mõjul tekivad esemel sisepinged, mis võivad esile kutsuda deformatsioone. Nende deformatsioonide vältimiseks on tarvis hoida löiketung piirides, kus esilekutsutavad deformatsioonid ei ole veel kardetavad.

Koormatuse määramiseks, mida võib maksimaalselt lubada juhul, kui lähtume lubatud pingest, võib kasutada valemit

$$P_t = \frac{A \cdot \sigma_{ub} \cdot d_1^3}{L} \text{ kg} \quad \dots \quad (48)$$

ja lähtudes lubatavast läbipaindumisest, valemit

$$P_p = \frac{B \cdot E \cdot F \cdot d_1^4}{L^3} \text{ kg} . \quad \dots \quad (49)$$

Valemities (48) ja (49) on:

d_1 — töödeldava eseme läbimõõt töödeldud pinnal mm,

L — töödeldava eseme pikkus mm,

σ_{ub} — lubatud paindepinge kg/mm²,

E — töödeldava metalli elastsuse moodul kg/mm²,

F — lubatav läbipaindumine mm,

A ja B — eseme kinnitusviisi arvestav tegur.

Lubatav läbipaindumine võib olla koorimisel maksimaalselt 0,4 mm, silumisel 0,2 mm. Väga täpsete tööde puhul valitakse lubatavaks läbipaindumiseks pool tolerantsi.

A suuruseks on sentrite vahel treimisel 0,6, padrunis treimisel — 0,1, kui teritava esemel on üks ots padrunis ja teine toetub tagumisele kärnile, siis $A = 0,538$.

$\frac{r}{v}$ mm $\varphi = 45^\circ$;		$\varphi_1 = 15^\circ$.				
s mm/tiirule	r mm	1	1,5	2	3	5
	treimisjälje kõrgus					
0,2	0,005	0,001	0,001	0,0009	0,0001	
0,3	0,010	0,005	0,002	0,0015	0,0009	
0,420	0,020	0,010	0,010	0,005	0,002	
0,5	0,030	0,020	0,020	0,010	0,008	
0,6	0,034	0,030	0,025	0,015	0,0125	
0,7	0,046	0,040	0,030	0,020	0,015	
0,8	0,057	0,050	0,040	0,025	0,020	
0,9	0,073	0,070	0,050	0,030	0,025	
1,0	0,085	0,080	0,060	0,040	0,028	
1,1	0,100	0,092	0,065	0,044	0,030	
1,2	0,114	0,100	0,075	0,050	0,034	
1,3	0,129	0,108	0,085	0,075	0,038	
1,4	0,144	0,117	0,095	0,080	0,044	
1,5	0,159	0,128	0,107	0,085	0,050	
1,6	0,174	0,140	0,120	0,100	0,057	
1,8	0,204	0,165	0,143	0,110	0,074	
2,0	0,238	0,200	0,170	0,125	0,100	
2,5	0,414	0,280	0,250	0,200	0,150	
3,0	0,520	0,360	0,318	0,270	0,265	

B on sentrite vahel treimisel 6,0, padrunis treimisel — 1,5, kui teritaval esemel üks ots on padrunis ja teine toetub tagumisele kärnile, siis B — 5,38.

Maksimaalne tehnoloogiliselt lubatav ettenihke, lähtudes eseme tugevusest ja läbipainduvusest, väljendub valemities:

$$s_{max} = \sqrt[x]{\frac{P_t}{1,22 \cdot C_p \cdot t^y}} \text{ mm/t; } \dots \dots \dots (50)$$

$$s_{max} = \sqrt[x]{\frac{P_n}{1,22 \cdot C_p \cdot t^y}} \text{ mm/t. } \dots \dots \dots (51)$$

Kuna ettenihkesuurus oleneb suurel määral ka tera tugevusest ja läbipainduvusest, siis lähtudes valemest (38) ja (39), milles on antud maksimaalsed terale mõjuda lubatavad löike-

tungid, väljendub maksimaalne ettenihke olenevalt tera põik-
lõikest valemis

$$s_{max} = \sqrt[x]{\frac{P_z}{C_p \cdot t^y}} \text{ mm/t; } (52)$$

$$s_{max} = \sqrt[x]{\frac{P_{z1}}{C_p \cdot t^y}} \text{ mm/t. } (53)$$

Pearurk projektsioonis on kasulik valida võimalikult väike, kuna sama lõikesügavuse juures φ vähenemisega suureneb laastu laius ja väheneb laastu paksus, mis, nagu eespool öeldud, suurendab tera produktiivsust.

Praktikas aga ei vähendata φ alla 30° , kuna siis on karta tera värisemist. Silindrilisel treimisel valitakse ta harilikult $45-60^\circ$. Sellise suure φ valiku põhjuseks on peamiselt P_z ja P_y suurenemine liiga väikeste φ väärtuste puhul, mis võivad põhjustada eseme läbipaindumist.

Lõikekiirus mõjutab tera püsivust kõige tugevamini, mistõttu tema valik toimub ka viimasena. Teostub see valemi (37) abil.

Eespool käsitletud lõikerežiimi nimetatakse absoluutseks lõikerežiimiks, kuna ta pole kohandatud treipingiga kui lõikeprotsessi ühe elemendiga.

Absoluutne lõikerežiim esitab nõuded, millele pink peab vastama.

Need nõuded on järgmised:

1) Pink peab võimaldama nõutavat või sellele lähedast ettenihet,

2) pink peab võimaldama nõutavat tiirude arvu,

3) pink peab olema küllalt tugev,

4) pink oma konstruktsioonilt peab võimaldama küllalt tugevat eseme kinnitamist,

5) antud tiirude arvu juures peab pingi pöördmoment ületama lõikamiseks vajaliku pöördmomendi.

Kui pink ei vasta kas või ühelegi neist tingimustest, siis ei saa ka temal teostada absoluutset lõikerežiimi.

Pingile laastuvõtmiseks rakendatav võimsus on

$$N_{ef} = \frac{P_z \cdot v}{75 \cdot 60} \text{ HJ. } \dots \dots \dots (54)$$

Kui asendame P_z ja v nende väärtustega $P_z = C_p \cdot s^x \cdot t^y$

ja $v = \frac{C_v}{s^u \cdot t^q}$, siis saame

$$N_{ef} = \frac{C_p \cdot C_v \cdot s^{x-u} \cdot t^{y-q}}{4500} \text{ HJ. } \dots \dots \dots (55)$$

Pingi tugevuse kontrolliks tuleb arvutada peamiselt ülekandesõlmi (hammasrattad, spindlid jne.) mehaanilisele tugevusele.

Optimaalse lõikerežiimi valiku näide.

On tarvis treida kroonnikkelterasest võlli, mille mõõted on järgmised: pikkus 1200 mm, läbimõõt toorelt 96 mm, töödeldult 80 mm. Võlli materjali tõmbetugevus on 76 kg/mm^2 , treimine toimub sentrite vahel, tera on kiirlõiketerasest põiklõikega $16 \times 25 \text{ mm}$, tera tipu kaugus kinnituskohast supordisse on 50 mm. Töö toimub jahutuseta.

Kõigepealt määrame lõikesügavused koorimis- ja silumislaastude juures. Lähtudes eespool püstitatud nõudest võimalikult suure lõikesügavuse kohta, määrame koorimislaastu lõikesügavuseks 7 mm ja silumislaastule 1 mm.

Järgmisena määrame kindlaks maksimaalse lubatava ettenihke, kui lõikesügavuseks on 7 mm. Võttes kroonnikkelterase lubatavaks paindepingeks käsiraamatust 12 kg/mm^2 , saame maksimaalse lubatava koormusena, olenevalt võlli tugevusest

$$P_t = \frac{A \cdot \sigma_{lub} \cdot d_1^3}{L} = \frac{0,6 \cdot 12 \cdot 80^3}{1200} = 3072 \text{ kg.}$$

Tabelist (14) leiame $C_n = 220$, $x = 0,75$, $y = 1,0$. Valemi (50) järgi on maksimaalne lubatav ettenihe, olenevalt võlli tugevusest,

$$s_{max} = \sqrt[x]{\frac{P_t}{1,22 \cdot C_p \cdot t^y}} = \sqrt[0,75]{\frac{3072}{1,22 \cdot 220 \cdot 7}} = \sqrt[0,75]{1,635} = 1,93 \text{ mm/t;}$$

$$\log 1,635 = 0,214; \quad 0,214 : 0,75 = 0,285; \quad 0,285 = \log 1,93.$$

Nüüd tuleb leida maksimaalne lubatav ettenihe, olenevalt võlli jäikusest. $B = 6,0$, $E = 22\,000 \text{ kg/mm}^2$ ja lubatavaks läbipaindumiseks koorimise puhul võtame 0,4 mm. Siis

$$P_p = \frac{B \cdot E \cdot F \cdot d_1^4}{L^3} = \frac{6 \cdot 22000 \cdot 0,4 \cdot 80^4}{1200^3} = 1251 \text{ kg;}$$

$$s_{max} = \sqrt[0,75]{\frac{1251}{1,22 \cdot 220 \cdot 7}} = \sqrt[0,75]{0,6659} = 0,585 \text{ mm/t;}$$

$$\log 0,6659 = \bar{1},824 = -0,176; \quad -0,176 : 0,75 = -0,235 = \bar{1},765 \\ \bar{1},765 = \log 0,585.$$

Edasi leiame maksimaalse lubatava ettenihke, olenevalt tera tugevusest. Lubatud pinge paindele kiirlõiketerase puhul võtame $\sigma = 30 \text{ kg/mm}^2$. Siis

$$P_z = \frac{\sigma_{lub} \cdot b \cdot h_o^2}{6 \cdot l} = \frac{30 \cdot 16 \cdot 25^2}{6 \cdot 50} = 1000 \text{ kg};$$

$$s_{max} = \sqrt[0,75]{\frac{1000}{220 \cdot 7}} = \sqrt[0,75]{0,65} = 0,562 \text{ mm/t};$$

$$\log 0,65 = \bar{1},813 = -0,187; \quad -0,187 : 0,75 = -0,249 = \bar{1},751;$$

$$\bar{1},751 = \log 0,562.$$

Maksimaalne lubatav ettenihke, olenevalt tera jäikusest, on, kui võtta $E = 22\,000 \text{ kg/mm}^2$, $F = 0,1 \text{ mm}$,

$$P_{z1} = \frac{E \cdot F \cdot b \cdot h_o^3}{4 \cdot l^3} = \frac{22\,000 \cdot 0,1 \cdot 16 \cdot 25^3}{4 \cdot 50^3} = 1100 \text{ kg};$$

$$s_{max} = \sqrt[0,75]{\frac{P_{z1}}{C_p \cdot t}} = \sqrt[0,75]{\frac{1100}{220 \cdot 7}} = \sqrt[0,75]{0,714} = 0,638 \text{ mm/t};$$

$$\log 0,714 = \bar{1},854 = -0,146; \quad -0,146 : 0,75 = -0,195 = \bar{1},805;$$

$$\bar{1},805 = \log 0,638.$$

Kui võrrelda saadud nelja ettenihkesuurst, siis selgub, et tera poolt lubatavad ettenihked on väiksemad kui eseme enese poolt lubatavad ettenihked. Neist neljast ettenihkest tuleb rakendada pingil väikseim, s. o. 0,565 mm tiiru kohta.

Nüüd järgneb peanurga projektsioonis valik. Eespool toodud arutelu põhjal valime ta $\varphi = 45^\circ$ ja $\varphi_1 = 15^\circ$, tera tipu raadiuseks võtame $r = 1,5 \text{ mm}$.

Sellise terakuju juures on rakendatud ettenihkesuurst puhul terajälje kõrgus 0,03 mm (vt. tabel nr. 22), mis on vastuvõetav, kuna silumislääst järgneb.

Viimasena määrame lõikekiiruse v , milleks kasutame valemit (37). Tabelist nr. 20 leiame antud lõikesügavuse ja ettenihke juures $C_v = 25$, $q = 0,26$, $u = 0,52$. Saame

$$v = \frac{C_v}{s^u \cdot t^q} = \frac{25}{0,562^{0,52} \cdot 7^{0,26}} = \frac{25}{0,74 \cdot 1,66} = 20,4 \text{ m/sek.}$$

Kuna töö toimub ilma jahutuseta, siis arvutatud lõikekiirus jääb lõplikuks.

Lõikekiirus tuleb veel kohandada treipingi kiiruse astmega, mis annab arvutatule lähima lõikekiiruse.

VI. METALLIDE HÖÖVELDAMINE.

Kuigi hõõveldamine väliselt sarnaneb treimisega, on tal rida iseloomulikke erinevusi, mida protsessi vaatlemisel tuleb arvesse võtta. Kõigepealt toimub töödeldava eseme ja tera liikumine teineteise suhtes sirgjooneliselt. Tera võtab laastu ainult töökäigul, kuna tagasikäik on tühikäiguks. Ettenihe teostatakse reeglina tagasikäigu lõpul. Töö katkestus tagasikäigu jooksul jahutab tera ja seetõttu ei ole tavaliselt jahutusvedeliku kasutamine nii vajalik, kui treimise juures.

Üheks suureks hõõveldamise puuduseks tuleb lugeda tema lõikekiiruse muutlikkust ühe töökäigu jooksul nullist maksimumini ja uuesti nullini. Käigu vahetus on seotud tõukega. Asudes tööle täie põiklõikega saab tera seda suurema tõuke, mida kõvem on töödeldav materjal, mida suurem on laastu põiklõige ja lõikekiirus. Seejuures tuleb mees pidada, et tõuke suurus kasvab võrdeliselt kiiruse ruuduga. Viimane asjaolu sunnib töötama hõõveldamisel tagasihoidlike lõikekiirustega.

Normaalse hõõveldamise puhul määratakse saan- või põikhõõvelpingil (shaping) laastu põiklõikepind tavaliselt valemiga

$$f = t \cdot s \text{ mm}^2, \dots \dots \dots (56)$$

kus s on ettenihe mm,

t — lõikesügavus mm.

Keerulisem on laastu põiklõikepinna määramine profiilhõõveldamisel, nagu seda on hammasrataste hõõveldamine. Sel puhul on laastu põiklõige muutuv nii kujult kui ka suuruselt ja tuleb leida mingisugune keskmine laastu põiklõikepinna suurus.

Keskmise laastu põiklõikepinna suuruse leidmiseks läheme minutis tekkivast laastuhulgast, mis on määratav valemiga

$$Q = \frac{f_k \cdot n \cdot b}{1000} \text{ cm}^3/\text{min}, \dots \dots \dots (57)$$

kus f_k on keskmine laastu põiklõikepind mm^2 ,

n — töökäikude arv minutis,

b — hõõveldamise pikkus mm.

Eelmisest valemist saame

$$f_k = \frac{1000 \cdot Q}{n \cdot b} \text{ mm}^2. \quad \dots \quad (58)$$

Hammasrattaste juures võib hamba pindala lugeda võrdseks hambavahe pindalaga. Sel eeldusel on kogu laastuna kõrvaldatava materjali ruumalaks pool õõnessilindri ruumala, mille väline diameeter on D_1 ja sisemine D_2 , mis vastavad hammasratta pearingi ja hambajalaringi läbimõõtudele.

Kogu hammasratta töötlemise aja jooksul mahavõetud laasturuumala Q_s on

$$Q_s = \frac{\pi (D_1^2 - D_2^2) b}{2 \cdot 4 \cdot 1000} \text{ cm}^3. \quad \dots \quad (59)$$

Ratta töötlemise aeg on

$$T = \frac{t \cdot z}{s \cdot n} \text{ min}, \quad \dots \quad (60)$$

kus t on töödeldava hammasratta hambasamm mm,

s — ringettenihe ühe terakäigu kohta,

n — terakäikude arv minutis,

z — töödeldava hammasratta hammaste arv,

T — hammasratta töötlemise aeg minutites.

Ühes minutis mahavõetav laastuhulk Q on

$$Q = \frac{Q_s}{T} = \frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot b \cdot s \cdot n}{2 \cdot 4 \cdot 1000 \cdot t \cdot z}; \quad \dots \quad (61)$$

siit edasi saame

$$\begin{aligned} f_k &= \frac{1000 \cdot Q}{nb} = \frac{\pi (D_1^2 - D_2^2) \cdot b \cdot s \cdot n \cdot 1000}{2 \cdot 4 \cdot 1000 \cdot nb \cdot t \cdot z} = \\ &= \frac{\pi \cdot (D_1^2 - D_2^2) \cdot s}{\pi \cdot m \cdot 2 \cdot 4 \cdot z} = \frac{(D_1^2 - D_2^2) \cdot s}{8 \cdot m \cdot z} \text{ mm}^2. \quad \dots \quad (62) \end{aligned}$$

Asetades viimasesse võrrandisse väärtused

$$\begin{aligned} D_1 &= m \cdot (z + 2) \text{ mm}, \\ D_2 &= m \cdot (z - 2,4) \text{ mm}, \end{aligned}$$

saame

$$f_k = \frac{m^2 (8,8z - 1,76) \cdot s}{8 \cdot m \cdot z} = m \cdot s \cdot \left(1,1 - \frac{0,22}{z}\right) \quad \dots \quad (63)$$

või

$$f_k \approx 1,1 \text{ ms mm}^2 \quad \dots \quad (63a)$$

Hööveldamise lõiketungi olenevus lõikesügavusest ja ettenihkest on samasugune, nagu treimise juures. Lõiketungi leidmiseks kasutatakse sama valemit, nagu treimise juures, s. o.

$$P_z = C_p \cdot s^x \cdot t^y \text{ kg.}$$

C_p , x ja y väärtused saame tabelist nr. 14.

Juhul kui on tegemist hammasrataste hööveldamisega, siis

$$P_k = 1,1 \cdot p \cdot m \cdot s \text{ kg,} \quad \dots \dots \dots (64)$$

kus P_k on keskmine lõiketung.

Hööveldamise lõikekiiruse olenevus tera püsivusest on sama iseloomuga, nagu treimise juures, ja väljendub valemis

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^m \quad \dots \dots \dots (65)$$

Astmenäitajale m avaldavad mõju samad tegurid, mis treimise juureski, eriti aga valitud nürinemise kriteerium. Mida suurem on tera nürinemise aste, seda suurem on m . Hambalõiketerade juures kõigub m suurus 0,5—0,2 vahel. Tuleb märkida, et m suurus oleneb veel tera käigu pikkusest, mille suurenedes suureneb ka m , kuna tera löökide arv minutis väheneb ja seega paranevad töötingimused.

Hambalõiketerade püsivuse normiks võetakse tavaliselt 180 minutit, kuigi praktikas sageli leiab kasutamist suurem tera püsivus.

Praktilise lõikekiiruse arvutamiseks võib kasutada valemit, mida kasutatakse treimise lõikekiiruse arvutamisel

$$V = \frac{C_v}{s^u \cdot t^q} \text{ m/min,} \quad \dots \dots \dots (65-a)$$

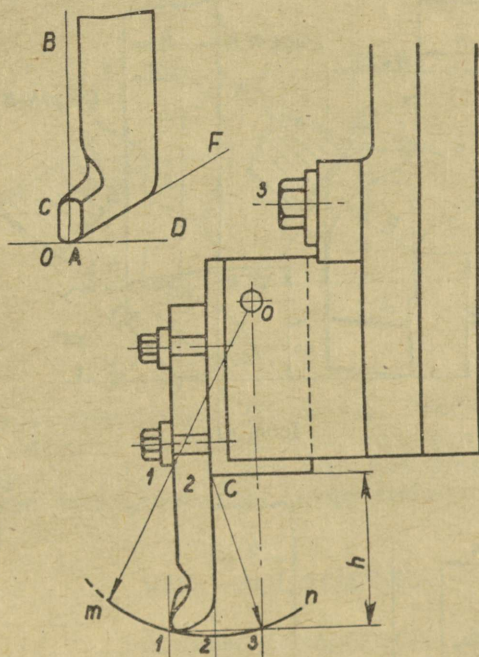
kusjuures C_v suurused tuleb võtta 20—40% väiksemad samadest treimise juures.

Lõikekiiruse küsimust hammasrataste hööveldamisel on vähe uuritud ja seetõttu ei ole võimalik tuua usaldusväärset valemit.

Ratsionaalse lõikerežiimi leidmine hööveldamisel toimub analoogiliselt treimisele, kusjuures tuleb eriti esile tõsta tera tugevuse tähtsust ettenihke määramisel. Höövelpingid on viimasel ajal jäänud moodsaate freespinkide pealetungi tõttu tagaplaanile ja neid kasutatakse peamiselt koorimistöodeks.

VII. HÖÖVLITERAD.

Hööveldamisel esitatakse tera elementidele samad nõudmised, nagu treimiselgi, mistõttu hõövliterade vorm võib olla samasugune nagu treiteral. Kuna hõövliterad töötavad palju raskemates tingimustes, võttes vastu igal terakäigul tõukeid, siis tuleb sama laastu põiklõike juures tera mõõted võtta 1,5—1,25 korda suuremad kui treiterade juures.

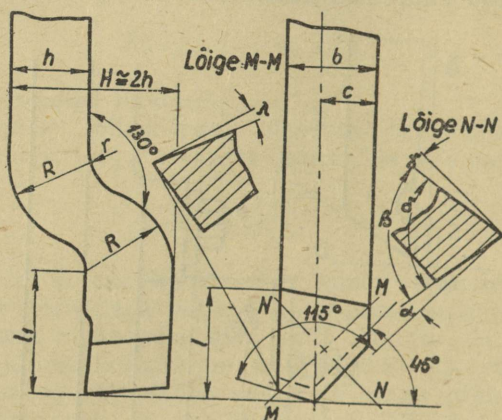


Joon. 40.

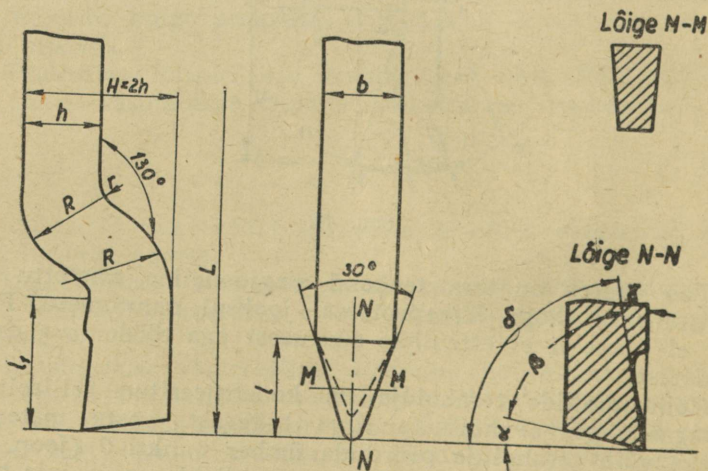
Töö juures on tera teekond sirgjooneline, mistõttu tera seadenurk on kogu lõikeprotsessi jooksul muutumatu. Peale selle ei olene α ei ettenihke suuruselt ega töödeldava eseme mõõdetest.

Höövelpinkide terahoidja on konstrueeritud selliselt, et ta tagasikäigul ei hõõruks liiga tugevasti vastu materjali. Selleks võib terahoidja pöörduda ümber punkti O (joon. 40). Tagasikäigul pöördub tera lõikeserv veidi ülespoole, mis hoiab

ära tera murdumise. Pööratav terahoidja mõjutab ka tera kuju. Tungi v mõjul tera paindub, kusjuures sama suure v puhul on painutus seda suurem, mida suurem on kaugus h ja mida väiksem on tera põiklõige. Kõige normaalsem on tera lõikeserva asend siis, kui ta asub samas vertikaaltasapinnas terahoidja pööramissentriga 0, s. o. tasapinnas 3—3 või sellest eespool.

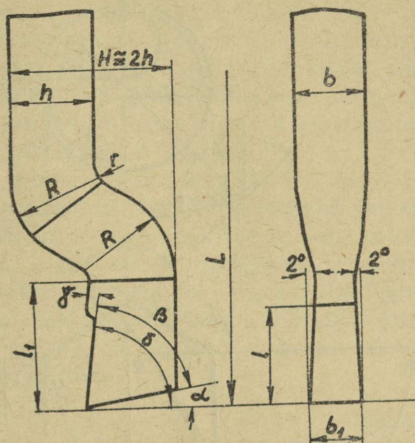


Joon. 41.



Joon. 42.

Joonisel 41 on näidatud koorimistera sagedamini kasutatav kuju. Tera pea on painutatud tahapoole lõikeserva parema asendi saamiseks terahoidjas. Silumisterad võivad olla kas kitsa või laia lõikeservaga (joon. 42). Nuutide hõõveldamiseks



Joon. 43.

kasutatakse kitsaid terasid (joon. 43). Profiilterasid kasutatakse hõõveldamisel võrdlemisi vähe, kuna profiilpindade töötlemine hõõvelpingil on kallim kui freespingil. Hõõvliterad omavad sama tera geomeetriat, nagu treiteradki.

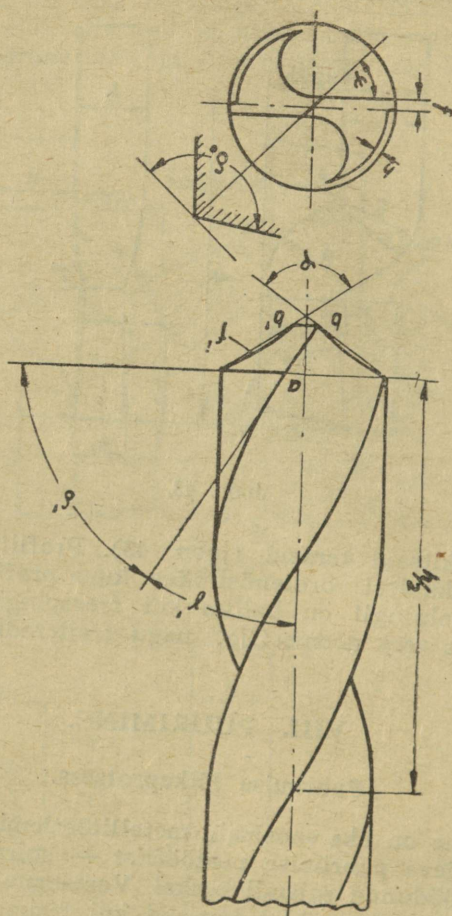
VIII. PUURIMINE.

Puurimise lõikeprotsess.

Puurimine on üks vanemaid metallitöötlemise operatsioone, kuigi tänapäeva puurimise peatööriist — spiraalpuur — leiutati alles möödunud sajandi keskel. Vaatamata sellele on puurimise lõikeprotsess vähem uuritud kui treimine, mis on tingitud puurimisprotsessi suuremast keerulikkusest ja ka puuri konstruktsiooni suuremast komplitseeritusest.

Praegu on peamiseks puurimise tööriistaks spiraalpuur. Tema leiutajaks on šveitslane Martignoni. Tarvitusele võeti algul Ameerikas, kust ta levis üle kogu maailma. Spiraalpuur

on silindriline keha, millele on freesitud kaks spiraalset soont. Vastava nurga all käiatakse puuri ots nii, et spiraalsoonte servad moodustavad lõikeservad (joon. 44).



Joon. 44.

Puuri konstruktiivsetest elementidest omab suurt tähtsust puuri tipunurk φ . Tuleb meeles pidada, et tipunurk on üheks teguriks, mis määrab puuri spiraalsoone freesimiseks kasu-

tatava freesi profiili. Peale selle vaadeldakse puuri lõikenurki lõikeservale risti olevas lõikes. Kui teatud kindla tipunurga jaoks konstrueeritud puuri teritada teise tipunurgaga, siis kaotab lõikeserv sirgjoonelisuse ja muutub kõverjooneliseks, mis põhjustab puuri kiiret kulumist.

Mida suurem on puuri tipunurk, seda suurem peab olema ettenihketung, ja puurile mõjub peale tema tiirlemiseks vajaliku pöördmomendi veel paindemoment. Katseliselt on kindlaks tehtud, et puuri tipunurk peab olema seda suurem, mida rohkem eraldub puurimisel soojust.

Normaalseks puuri tipunurgaks on $116-118^\circ$, mis sobib kõigi materjalide puurimiseks. Kogemused on siiski näidanud, et kõvade ja rabedate materjalide juures annavad paremaid tulemusi nurgad $130-140^\circ$, pehmete materjalide juures $90-80^\circ$. Peale selle on suurte tipunurkadega puurid töös stabiilsemad, s. o. kalduvad vähem kõrvale antud augu telgjoonest. Tabelis nr. 23 on toodud soovitatavad tipunurgad mitmesugustele materjalidele.

Tabel nr. 23

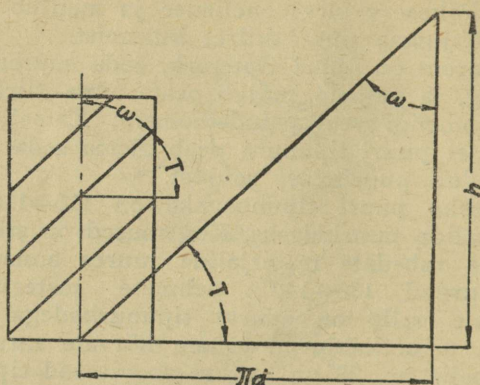
Töödeldav materjal	Tipunurk φ°	Töödeldav materjal	Tipunurk φ°
Teras ja malm	116—118	Eboniit	85—90
Messing ja pronks	130—140	Marmor	80
Vask	126	Tselluloid	85
Alumiinium	140	Bakeliit	30
Elektron, silumiin	90—100		

Joonisel 45 on näidatud kaks nurka, millest ω on spiraalsoone kallakusnurk, kuna τ on spiraalsoone tõusunurk. Spiraalpuuride juures opereerime peamiselt kallakusnurgaga. Kui spiraalisamm h ja läbimõõt d on teada, siis nurga leidmiseks saab kasutada valemit

$$\operatorname{ctg} \omega = \frac{h}{\pi d} \dots \dots \dots (66)$$

Valemist (66) ja jooniselt 46 nähtub, et sama puuri juures lõikeserva eri punktides on ka kallakusnurk erineva suurusega. Suurim on ta puuri ümbermõõdul ja väiksem puuri südamik juures. Kallakusnurk on tihedalt seotud lõikeserva esinurgaga; mida suurem on kallakusnurk, seda suurem on ka esinurk ja seda väiksem lõikenurk. Kallakusnurk tavaliselt

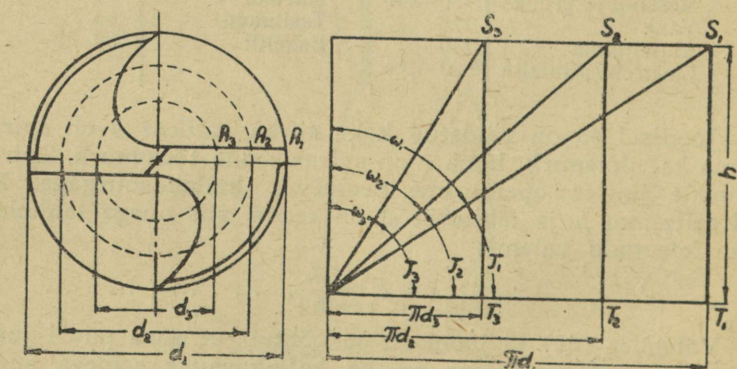
märgitakse ümbermõõdul ja oleneb puuri läbimõõdust, puuri materjalist ja töödeldavast materjalist. Kallakusnurk hoitakse 8—35° piirides.



Joon. 45.

Puuri nurgad staatilises olukorras.

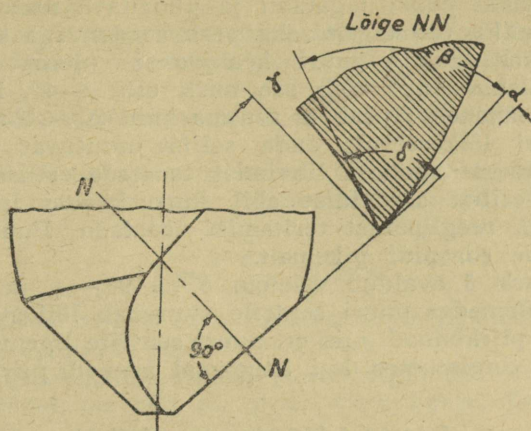
Joon. 47 on näidatud lõikeserva läbilõige tasapinnaga $N-N$, seejuures tekkinud nurkadest on α seadenurk, β — teritusnurk, γ — esinurk, δ — lõikenurk.



Joon. 46.

Esinurk moodustub puuri esitahule lõikeserval puutujaks oleva tasapinna ja kujuteldava koonuse, mille moodustajal

asuvad lõikeservad, pinnale puutujaks olevale tasapinnale risti oleva sirge vahel. Kuna puuri esitahk kujutab endast spiraalset pinda, mille kallakusnurk ω , nagu nägime eespool, on muu-



Joon. 47.

tuv olenevalt läbimõõdust, siis ka esinurk on erinevatel lõikeserva punktidel erinev. Puuri ümbermõõdul on ta kõige suurem, puuri telgjoone poole liikudes väheneb ta kuni nullini. Kui on teada puuri spiraalsoone kallakusnurk perifeeril ja puuri tipunurk, siis küllaldase praktilise täpsusega võib määrata lõikeserva esinurk γ_y diameetril d_y järgmise ligikaudse valemiga:

$$\operatorname{tg} \gamma_y = \frac{d_y}{d} \cdot \frac{\operatorname{tg} \omega}{\sin \frac{\varphi}{2}}, \quad \dots \dots \dots (67)$$

kus d on puuri suurim läbimõõt mm.

Näide. On antud: $d = 30$ mm, $\omega = 31^\circ$, $\varphi = 118^\circ$.
Läbimõõdu juures $d = 30$ mm on

$$\operatorname{tg} \gamma_y = \frac{30 \cdot \operatorname{tg} 31^\circ}{30 \cdot \sin 59^\circ} = \frac{0,60086}{0,85866} = 0,698.$$

γ_y on järelilikult 35° .

Läbimõõdu juures $d = 15$ mm on

$$\frac{15 \cdot \operatorname{tg} 31^\circ}{30 \cdot \sin 59^\circ} = \frac{0,698}{2} = 0,349.$$

γ_y on järelilikult $19^\circ 15'$.

Seadenurk α moodustub puuri tagatahule puutuja tasapinna ja kujuteldava koonuse (mille moodustajal asub lõikeserv) puutuja tasapinna vahel. Seadenurga ülesanne on vähendada hõõrumist puuri tagatahu ja puuritava materjali vahel. Puuri korraliku töö tagamiseks peab seadenurga suurus mitmesugustel kaugustel puuri keskjoonest olema ertsugune. Puuri välisläbimõõdul võib see nurk olla $5-8^\circ$, kuna puuri sideservale lähenedes peab ta tõusma kuni $20-24^\circ$ -ni.

Et puuri lõikeservale anda sellist muutuvat seadenurka, on tarvis puuri tagatahu lihvimist teostada erilisel lihvimispingil või erilise seadeldise abil, kuna käsitsi lihvimisel ei ole võimalik reeglipäraselt teritamist teostada. Puuri teritamisest räägime edaspidi pikemalt.

Lõikenurk δ avaldub valemis $\delta = 90 - \gamma$ ja on samuti muutuv. Lähenedes puuri sentrile suureneb lõikenurk. Lõikeserva need piirkonnad, mis on puuri sentrile ligemal, töötavad raskemates tingimustes kui kaugemal asuvad piirkonnad.

Laastu tekkimine puurimisel.

Rea uurijate suurearvulised uurimused lasevad järeldada, et laastu tekkimise seadused puurimisel omavad väga palju ühist samaga treimisel. Lõikeserva materjalisse tungimisel toimub ka siin materjali deformatsioon, esineb pinna kõvaduse tõus, samuti esineb terakasvaja tekkimine. Esineb aga ka rida põhilisi erinevusi.

Puur töötab viie lõikeservaga: kahe pealõikeservaga, lõikeservade sideservaga ja kahe juhtpinna servaga.

Sideserva lõikenurk on paratamatult üle 90° ja ta ei lõika, vaid ainult kaabib ja surub puuritavat metalli, mis puuri püsvusele mõjub negatiivselt. Lõikenurga muutlikkuse tõttu võrdlemisi suurtes piirides esineb laastu tugev deformatsioon ja sellega käib kaasas kõrgendatud soojuse eraldumine ning energiakulu. Soojuselises mõttes töötavad kõige halvemas olukorras need kohad, kus lõikeservad üle lähevad puuri juhtpindadeks.

Puur töötab tihedas metallimassis, süvenedes sellesse määrataval määral. See raskendab laastu eraldumist ja soodustab laastus oleva soojuse edasiandmist puurile, kuna laast kuni august väljumiseni on kokkupuutes puuriga. Puuri jahutuse teostamine on raske, mis põhjustab väikest produktiivsust, võrreldes treiteraga.

Lõikekiiruse suurus on lõikeserva eri punktides erinev, mis loob omapäraseid laastutekkimise tingimused, mis suurendavad metalli deformatsiooni, energiakulu ja vähendavad puuri värisemist.

Puurimisel teostatakse nii peatööliikumine kui ka ettenihkeliikumine puuri enese poolt, mis vähendab töötlemise täpsust.

Peatööliikumine teostatakse puuri tiirlemisel oma telje ümber.

Lõikekiirus arvestatakse puuri välisümberröödul ja mõõdetakse meetrites minutis. Tema arvutamiseks kasutatakse valemit

$$V = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ m/min.}$$

Lõikekiirus langeb seda rohkem, mida ligemal on vaadeldav lõikeservapunkt puuri telgjoonele.

Ettenihkeliikumine toimub puuri telgjoone suunas ja tema suurust mõõdetakse mm ühe puuri tiiru kohta. Ta on arvutatav valemiga

$$s = \frac{s_m}{n} \text{ mm/t,}$$

kus s_m on ettenihe mm minutis,

s — ettenihe mm tiiru kohta,

n — puuri tiirude arv minutis.

Laastu põiklõikepind on määratav puuri läbimööduga ja ettenihkega. Tema suurus on

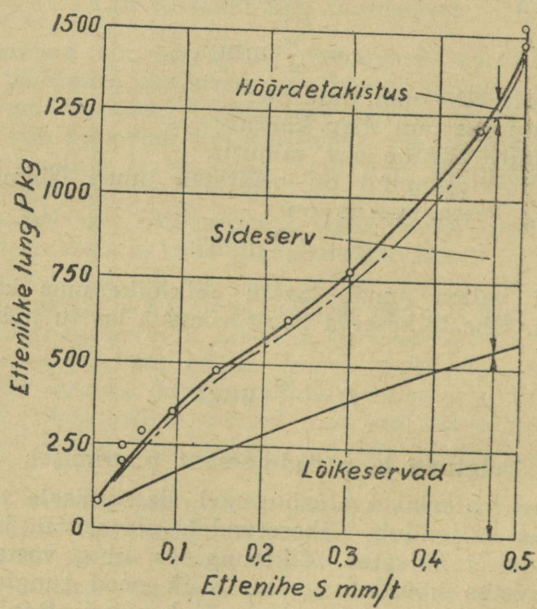
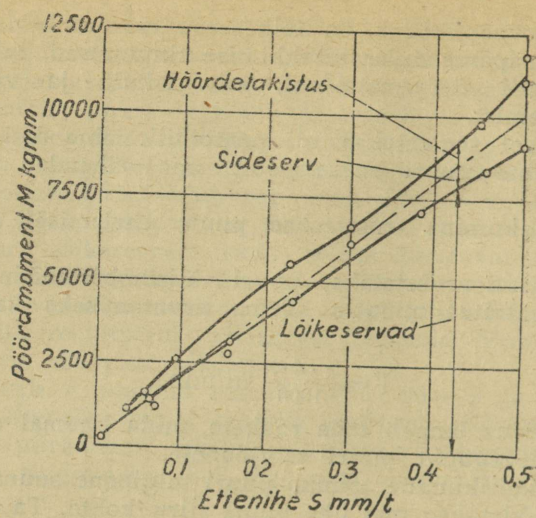
$$f = \frac{d \cdot s}{2} \text{ mm}^2. \dots\dots\dots (68)$$

Toodud valem annab laastu põiklõikepinna kahe lõikeserva kohta. Ühe lõikeserva poolt võetava laastu põiklõikepind on

$$f_o = \frac{ds}{4} \text{ mm}^2.$$

Telgtung ja pöördmoment puurimisel.

Puuritav materjal avaldab puuri sisenemisele teatud vastupanu, mis väljendub lõikeservadel, sideserval ja juhtpindadel servadel tekkivates lõiketungides ning vastavatel pindadel tekkivates hõõrdetungides. Kõik need tungid summeerides annavad telgtungi P_x , mis mõjub puuri ettenihkesuunas, ja pöördmomendi M .



Joon. 48.

Joonisel 48 on toodud Steveri katsete järgi joonestatud kõverad, mis näitavad lõikeserva, sideserva ja juhtpindade mõju telgtungi ja pöördmomenti suurusele. Neist kõveratest selgub, et lõikeservadele langeb 70—90% pöördmomentist ja umbes 50% telgtungist. Sideservale langeb umbes 10% pöördmomentist ja 40% telgtungist, laastuhõõrumine ja juhtpindade hõõrumine moodustavad umbes 20% pöördmomentist ja 10% telgtungist.

Kuigi sideserv moodustab ainult 0,1—0,25 puuri läbimõõdust, moodustab temale langev telgtung 40% kogu telgtungist.

Nii telgtung kui ka pöördmoment koormavad puurpingi mehhanismi, kutsudes temas esile suuremaid või väiksemaid sisetunge. Pöördmoment kutsub puuris esile väändepinged, kuna telgtung tekitab surve- ja paindepinged. Peale selle ei tohi puurile rakendatud pöördmoment olla suurem kui puuri saba ja puuri kinnitusemehhanismi sisepindade vahel tekkinud hõõrdetungide poolt põhjustatud pöördmoment, kuna vastasel korral hakkab puur kinnitusseadeldises ringi käima.

Telgtungi ja pöördmomenti mõõtmiseks kasutatakse puurpingi mõõtelauda, mille skemaatiline ehitus on näidatud joon. 49.

Puuri läbimõõdu muutumine mõjutab, nagu seda näha rea uurijate töö tulemustest, pöördmomenti palju suuremal määral, kui telgtungi. See on ka mõistetav, kuna puuri läbimõõtu mitte ainult ei määra laastu laiust ja sellega ka laastu põiklõikepinda, vaid ka puurile mõjuva tangentsiaaltungi öla pikkust.

Samuti mõjutab ka ettenihke muutumine pöördmomenti rohkem kui telgtungi. Ettenihke muutumise mõju aga on väiksem kui puuri läbimõõdu muutumine.

Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi poolt soovitatakse P_x ja M arvutamiseks kasutada järgmisi valemeid:

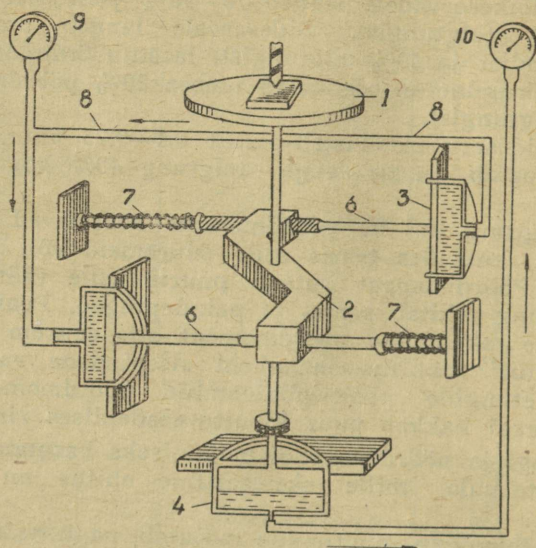
$$P_x = C_p \cdot d^x \cdot s^y \text{ kg; } \dots \dots \dots (69)$$

$$M = C_m \cdot d^u \cdot s^z \text{ kgmm; } \dots \dots \dots (70)$$

kus C_p ja C_m on materjalist olenevad tegurid, samuti ka astmenäitajad x , y , u ja z . Nende suurused on antud tabelis nr. 25.

Puuri tipunurga suurenemisel muutub puuri ots tõmbimaks. ja puur siseneb materjalisse raskemini. Tabelis nr. 24 on toodud

suhtelised telgtungi ja pöördmomendi suurused Dempster Smith'i ja Poljakovi katsete järgi kolme tipunurga suuruse juures, kui $\varphi = 120^\circ$ puhul $P_x = 1$ ja $M = 1$.



Joon. 49.

Tabel nr. 24

Töödeldav materjal	Ettenihe mm/t	Tipunurga suurus		
		90°	120°	150°
Suhteline telgtungi suurus				
Pehme malm	0,06—1,27	0,73	1	1,27
Keskmine teras	0,06—0,73	0,97	1	1,04
Suhteline pöördmomendi suurus				
Pehme malm	0,06—1,27	1,25	1	0,88
Keskmine teras	0,06—0,73	1,22	1	0,82

Nagu tabelist nähtub, suureneb telgtung seoses tipunurga suurenemisega malmi juures suuremal määral kui terase puurimisel. Pöördmoment aga väheneb märgatavalt mõlemal juhul.

Tabel nr. 25

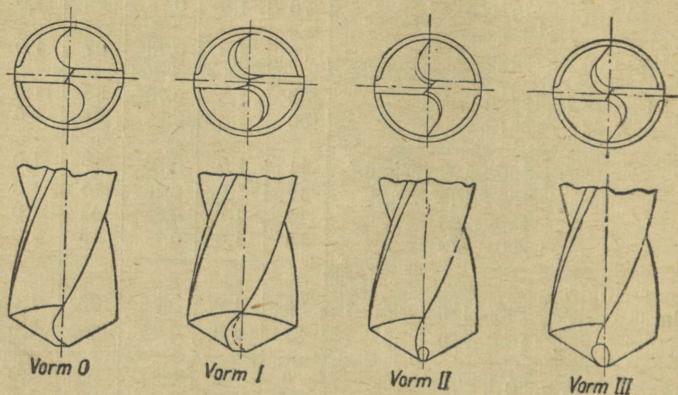
Töödeldav materjal		C_m	u	z	C_p	x	y
Teras	$\sigma_t = 30-40 \text{ kg/mm}^2$	37	1,8	0,78	44	1,0	0,78
"	" 40-50 "	44	1,8	0,78	53	1,0	0,78
"	" 50-60 "	50	1,8	0,78	62	1,0	0,78
"	" 60-70 "	58	1,8	0,78	70	1,0	0,78
"	" 70-80 "	64	1,8	0,78	79	1,0	0,78
"	" 80-90 "	70	1,8	0,78	85	1,0	0,78
Cr = teras	5140	70	1,8	0,78	97	1,0	0,78
Cr = Ni = teras	3120	49	1,8	0,78	56	1,0	0,78
"	3312	60	1,8	0,78	88	1,0	0,78
Malm	H_B 140-160 kg/mm^2	11	1,8	0,78	38	1,0	0,6
"	" 160-180 "	12	1,8	0,78	40	1,0	0,6
"	" 180-200 "	14	1,8	0,78	43	1,0	0,6
"	" 200-220 "	15	1,8	0,78	46	1,0	0,6
Tempereeritud malm	H_B 140-180 kg/mm^2	30	1,8	0,78	37	1,0	0,78
"	" 180-220 "	37	1,8	0,78	45	1,0	0,78
Pronks	$\sigma_t = 30 \text{ kg/mm}^2$	9	2,0	0,6	32	1,0	0,6
"	" 30 "	11	2,0	0,6	38	1,0	0,6
Messing	$\sigma_t = 22-36 \text{ kg/mm}^2$	5	2,0	0,75	10	1,3	0,6
Alumiinium	H_B 60- 80 kg/mm^2	13	1,8	0,78	16	1,0	0,78
"	" 80-100 "	20	1,8	0,78	24	1,0	0,78

Puuri spiraalsoone kallakusnurga ω suurenemine toob kaasa mitmete uurijate (Benedikt, Boston jt.) katsete andmeil telgtungi märgatava vähenemise. See toimub aga ainult ω suuruse ni 25—30°. Peale seda on mõju vaevalt märgatav. Samasugune, kuigi vähem silmatorkav mõju on spiraalsoone kallakuse nurga suurenemisel ka pöördmomendile.

Puuri lõikeservade sideserva pikkus on oleb suurel määral puuri südamikü läbimõõdust, järelikult puuri südamik mõjutab ka telgtungi suurust, kuna sideserva pikenemisel telgtung suureneb märgatavalt (Boston ja Oxford). Südamikü halva mõju vähendamise otstarbel sageli, eriti jämedamate puuride juures, teostatakse sideserva lühemaks lihvimist ühel joon. 50 nüida-

tud viisidest. Väikseim telgtung saadakse vorm I puhul. Pöördmomenti mõjutab siderserva pikkus vähe.

Teatud mõju telgtungile ja pöördmomentidele avaldavad veel puurimise sügavus ja jahutus. Puuri süvenedes materjalisse tõusevad pidevalt nii telgtung kui ka pöördmoment, mis on tingitud hõõrumise suurenemisest laastu ja puuri kui ka puuri ja augu seina vahel. Jahutuse kasutamisel väheneb nii telgtung kui ka pöördmoment, nagu tõestasid Boston ja Oxford'i katsed. Väheste uurimismaterjalide põhjal ei ole aga



Joon. 50.

seni suudetud nende mõjutuste ranget seaduspärasust kindlaks teha.

Lõikekiirus puurimisel.

Lõikekiirus oleneb eeskätt valitud puuri püsivuse normist. Puuri püsivus väljendub kas puhtas tööajas teritamise teritamiseni (tarvitusel NSV Liidus) või läbipuuritud aukude summaarses pikkuses (oli tarvitusel Saksamaal). Side puuri püsivuse ja lõikekiiruse vahel on väljendatav valemis

$$\frac{v_1}{v_2} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^m, \dots \dots \dots (71)$$

kus T_1 ja T_2 on puuri püsivused ning v_1 ja v_2 meile vastavad lõikekiirused. Astmenäitaja m oleneb puuritavast materjalist.

Nõukogude uurijate poolt antakse m suurused, mis on toodud tabelis nr. 26.

Tabel nr. 26

Puuri materjal	Töödeldav mat.	m
Kiirlõiketeras	malm	0,1
	teras	0,16
RE=8	malm	0,65
Pobediit	"	0,5

Nagu nähtub toodud tabelist, on m suurused kiirlõiketerasest puuride puhul peaaegu samasugused, nagu treimise juures, kuna kõvametallist lõikeservade puhul m suurus märgatavalt tõuseb.

Näide. Lõikekiirus terase puurimisel kiirlõiketerasest puuriga puuri püsivuse juures $T_1 = 75$ min on 11 m/min. Kui suur on lõikekiirus, kui puuri püsivuseks võtta $T_2 = 15$ min, kuna teised lõikerežiimi elemendid jäävad muutumatuks?

$$\text{Valemist } \frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^m \text{ saame } v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^m.$$

Asetades viimasesse valemisse v_2 , T_1 , T_2 ja m väärtused, saame

$$v_2 = v_1 \cdot \left(\frac{T_1}{T_2}\right)^m = 11 \cdot \left(\frac{75}{15}\right)^{0,16} = 14,3 \text{ m/min.}$$

$$\begin{aligned} \log 11 &= &= 1,042 \\ 0,16 \log 5 &= 0,699 \cdot 0,16 &= 0,112 \\ && \underline{\hspace{1cm}} \\ && 1,154 = \log 14,3 \end{aligned}$$

Lõikekiiruse olenevus puuritavast materjalist, puuri läbimõõdust ja ettenihkest väljendub Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi poolt praktiliseks kasutamiseks soovitatud valemis

$$v = \frac{C_v \cdot d^p}{T^{0,167 \cdot s^q}} \text{ m/min, } \dots \dots \dots (72)$$

kus C_v , p , ja q suurused on olenevad puuritavast materjalist ja on antud tabelis nr. 27.

Tabel nr. 27

Töödeldav materjal			Tihedas materjalis			Ettepuuritud auguga		
			C_v	p	q	C_v	p	q
Teras	σ_t	30—40 kg/mm ²	15,5	0,3	0,5	13,5	0,3	0,5
"	"	40—50 "	12,7	0,3	0,5	10,2	0,3	0,5
"	"	50—60 "	10,8	0,3	0,5	9,2	0,3	0,5
"	"	60—70 "	9,5	0,3	0,5	8,1	0,3	0,5
"	"	70—80 "	8,4	0,3	0,5	7,2	0,3	0,5
"	"	80—90 "	7,6	0,3	0,5	6,5	0,3	0,5
Cr-teras		5140	6,6	0,3	0,5	5,6	0,3	0,5
Cr-Ni-teras		3120	10,8	0,3	0,5	9,2	0,3	0,5
" " "		3140	8,4	0,3	0,5	7,2	0,3	0,5
" " "		3250	8,4	0,3	0,5	7,2	0,3	0,5
" " "		3312	7,6	0,3	0,5	6,5	0,3	0,5
Malm	H_B	140—160 kg/mm ³	22,7	0,15	0,35	19,3	0,15	0,35
"	"	160—180 "	19,7	0,15	0,35	16,8	0,15	0,35
"	"	180—200 "	16,7	0,15	0,35	14,2	0,15	0,35
"	"	200—220 "	14,4	0,15	0,35	12,3	0,15	0,35
Tempermalm	H_B	120—140 kg/mm ²	18,7	0,2	0,35	15,9	0,2	0,35
"	"	140—160 "	15,3	0,2	0,35	13,0	0,2	0,35
"	"	160—180 "	12,8	0,2	0,35	10,9	0,2	0,35
"	"	180—200 "	11,0	0,2	0,35	9,5	0,2	0,35

Vaadeldes tabelis toodud arvused, võime öelda, et ettenihke suurendamine vähendab löikekiirust terase puurimisel suuremal määral kui malmi puurimisel. Puuri läbimõõdu suurene-misel suureneb ka löikekiirus.

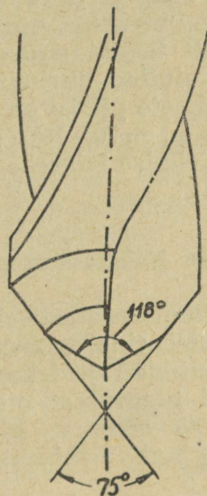
Toodud tabeli andmeil arvutatud löikekiirusi on soovitatav vähendada 10—40%, kui puurimise sügavus on suurem kui kaks läbimõõtu. Kui töö toimub ilma jahutuseta, vähendatakse löikekiirusi 15—30%.

Näide. Terase puurimisel, mille tõmbetugevus on $\sigma_t = 55 \text{ kg/mm}^2$ puuriga $d = 20 \text{ mm}$, kasutatakse ettenihet $s = 0,5 \text{ mm/t}$. Puuri püsivuseks on võetud $T = 30 \text{ min}$. Leida maksimaalne lubatav löikekiirus.

$$v = \frac{C_v \cdot d^p}{T^{0,167} \cdot s^q} = \frac{10,8 \cdot 20^{0,3}}{30^{0,167} \cdot 0,5^{0,5}} = \frac{10,8 \cdot 2,46}{1,77 \cdot 0,7} = 21,5 \text{ m/min.}$$

Augu sügavus mõjutab löikekiirust peamiselt sitkete materjalide puurimisel. Olemasolevad eksperimentaalandmed lubavad väita, et puuritava augu sügavuse suurenemisega puuri püsivus ja koos temaga ka löikekiirus märgatavalt väheneb sitkete materjalide puurimisel. Rabedate materjalide (malm, pronks jne.) puurimisel augu sügavus erilist mõju löikekiirusele ei avalda.

Puurimisel löikekiirust mõjutab tugevasti veel puuri materjal. Süsinikterasest puurid võimaldavad ainult poole sellest löikekiirusest, mis kiirlöiketerasest puurid. Kiirlöiketerasest



Joon. 51.

puuride püsivust on võimalik veelgi tõsta nende eeskujuliku termilise töötlemise teel. Viimasel ajal on hästi organiseeritud NSV Liidu tehastes hea eduga kasutamisel puuride kroomimine elektrolüütilisel teel. Kroomi erakorraline kõvadus, suur vastupidavus kulumisele, hea soojuskindlus ja terve rida teisi väärtuslikke kroomi omadusi leiavad eduga kasutamist kroomeeritud puuride töös. Praktilised katsed töökoja oludes näitavad, et kroomitud puurid võimaldavad 2—4 korda suuremat löikekiirust, võrreldes tavaliste puuridega. Puuri kõrgendatud püsivus ei ilmne mitte ainult otse peale kroomimist, vaid ka peale mitmekordset teritamist. Kroomitud puuri püsivus te-

rase puurimisel on suurem kui malmi puurimisel. Tuleb aga silmas pidada seda, et selline kroomimise positiivne efekt esineb ainult siis, kui kroomimine on teostatud õieti.

Puuri püsivuse tõstmiseks on otstarbekohane puuri tipukoonust lihvida veel täiendavalt, nagu see on näidatud joon. 51. Selliselt lihvitud puuril on normaalne tipunurk $\varphi = 116-118^\circ$, peale selle omab ta veel teist tipunurka $\varphi_1 = 70-80^\circ$.

Laboratoorsed ja töökojas teostatud katsed on näidanud, et kahekordse tipukoonuse lihvimise abil võib puuri püsivust tõsta. Teras puurimisel oli võimalik lõikekiirust tõsta kuni 30%, malmi puurimisel aga veelgi rohkem.

Tuleb silmas pidada, et kahekordse teritamise positiivne efekt saavutatakse ainult teatud täiendava tipunurga φ_1 suurus juures. Samuti on oluline lihvimise laius x .

Vastavate uurimisandmete põhjal on osutunud kasulikumaks täiendavaks tipunurgaks $\varphi_1 = 70-75^\circ$ ($\varphi = 118^\circ$ juures) ja kasulikumaks täiendava lihvimise laiuseks osutus $x = 0,2 \cdot d$ mm, kus d on puuri läbimõõt.

Optimaalne lõikerežiim puurimisel.

Optimaalse lõikerežiimi määramisel tuleb kindlasti kinni pidada selle režiimi elementide määramise järjekorrast.

Otstarbekohaseks osutunud järjekord on alljärgnev:

1) määratakse puuri tugevusest olenev maksimaalne ettenihke s_p ;

2) määratakse puurpingi mehhanismi tugevusest olenev maksimaalne ettenihke s_m ;

3) tegelikuks ettenihke suuruseks valitakse puurpingi poolt võimaldatav eelmistes punktides leitud väiksemale ettenihkele ligidane arv;

4) seoses valitud puuri püsivuse normiga määratakse lõikekiirus ja sellele vastav pingi spindli tiirude arv;

5) teostatakse pingi pöördmomenti kontroll antud tiirude arvu juures, milleks tuleb arvutada ettenihke, mida lubab pingi pöördmoment.

Aluseks võttes valemid

$$M = C_m \cdot d^u \cdot s^z \text{ kg/mm,}$$

$$P_x = C_p \cdot d^x \cdot s^y \text{ kg,}$$

ei ole raske arvutada ettenihet, mida võimaldab puurpingi

mehhanism. Pingi ettenihkemehhanismi poolt võimaldatav maksimaalne ettenihe on arvutatav järgmise valemiga:

$$s_p = \sqrt[y]{\frac{P_{max}}{C_p \cdot d^x}} \text{ mm/t.}$$

Pingi peatööliikumismehhanismi poolt lubatav maksimaalne ettenihe on

$$s_m = \sqrt[z]{\frac{M_{max}}{C_m \cdot d^u}} \text{ mm/t.}$$

Toodud valemities on:

P_{max} — maksimaalne ettenihke tung kg, mis on võimalik pingi ettenihkemehhanismi üle koormamata,

M_{max} — maksimaalne pöördmoment kgmm, mida lubab pingi peatööliikumise mehhanism,

d — puuri läbimõõt mm.

Näide. Leida maksimaalsed ettenihked, mis on võimalikud pingi ettenihke ja peatööliikumismehhanismide tugevust arvestades süsinikterase puurimisel 20 mm läbimõõduga puuriga. Puuritava terase tõmbetugevus on $\delta = 85 \text{ kg/mm}^2$, pingi $P_{max} = 1500 \text{ kg}$, $M_{max} = 60\,000 \text{ kg/mm}$.

Tabelist nr. 25 leiame $C_m = 70$, $C_p = 85$, $u = 1,8$, $z = 0,78$, $x = 1,0$, $y = 0,78$.

$$s_p = \sqrt[y]{\frac{P_{max}}{C_p \cdot d^x}} = \sqrt[0,78]{\frac{1500}{85 \cdot 20}} = 0,85 \text{ mm/t.}$$

log 1500	= 3,176
log 85	= 1,929
log 20	= 1,301
	3,230
	— 0,054

$$\log s_p = \frac{-0,054}{0,78} = 0,069 = \bar{1},931 = \log 0,85.$$

Valemi (72) järgi saame

$$s_m = \sqrt[3]{\frac{M_{max}}{C_m \cdot d^u}} = \sqrt[3]{\frac{60\,000}{70 \cdot 20^{1,8}}} = 8,8 \text{ mm/t};$$

log 60 000	= 4,778
log 70	= 1,845
1,8 log 20 = 1,8 · 1,301	= 2,341
	4,186
	0,592

$$\frac{0,592}{0,78} = 0,76 = \log 8,8.$$

Veidi keerukam on maksimaalse ettenihke arvutamine olenevalt puuri tugevusest. Tavalised tugevusõpetuses antavad valemid ei ole siin puuri keeruka konstruktsiooni tõttu rakendatavad.

Ins. Kroneberg leidis erikatsete najal, et ettenihketungi P_x poolt puuris esilekutsutavad pinged moodustavad 0,73 pöördmomendi M poolt tekitatavatest pingetest. Järelikult

$$\tau_{max} = \tau + 0,73\tau = 1,73\tau. \quad (73)$$

Väändepinge

$$\tau = \frac{M}{W} \text{ kg/mm}^2, \quad (74)$$

kus W on vastupidavuse moment. Kronebergi andmeil on spiraalpuuri juures

$$W = 0,02 \cdot d^3 \text{ mm}^3, \quad (75)$$

järelikult

$$\tau_{max} = 1,73\tau = \frac{1,73M}{W} = \frac{1,73 \cdot M}{0,02 \cdot d^3} \text{ kg/mm}^2.$$

Asetades M asemele tema väärtuse saame

$$\tau_{max} = \frac{1,73 \cdot C_m \cdot d^u \cdot s^z}{0,02 d^3} \text{ kg/cm}^2. \quad (76)$$

Nii siis, puuri tugevusest olenevalt, on maksimaalne lubatav ettenihke

$$s_{max} = \sqrt[3]{\frac{\tau_{max} \cdot 0,02 d^3}{1,73 \cdot C_m \cdot d^u}} = \sqrt[3]{\frac{\tau_{max} \cdot d^{3-u}}{86,5 \cdot C_m}} \text{ mm/t.} \quad (77)$$

Üldkujul võib viimast valemit kirjutada järgmiselt:

$$s_{max} = C_s \cdot d^r \text{ mm/t,} \quad \dots \dots \dots (78)$$

kus C_s ja r väärtused on olenevad töödeldavast materjalist ja tarvitatavast puurist. Tabelis nr. 28 on antud C_s ja r väärtused Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi andmete järgi kiirlõiketerasest puurile.

Tabel nr. 28

Töödeldav materjal	Puuri läbimõõdud					
	1—10 mm		10—17 mm		17 mm	
	C_s	r	C_s	r	C_s	r
Teras σ_t 60 kg/mm ²	0,0346	0,8	0,0063	1,54	0,12	0,5
" " 60 "	0,0264	0,8	0,0048	1,54	0,0915	0,5
Cr=teras, normal. 5140	0,0247	0,8	0,0045	1,54	0,0857	0,5
" " parend.	0,0198	0,8	0,0036	1,54	0,0686	0,5
Cr = Ni = teras 3120	0,0346	0,8	0,0063	1,54	0,12	0,5
" " " 3250	0,0297	0,8	0,0054	1,54	0,103	0,5
Malm H_B 160 kg/mm ²	0,0537	0,8	0,0072	1,67	0,199	0,5
" " 160 "	0,0363	0,8	0,0049	1,67	0,135	0,5
Tempermalm, pehme	0,0462	0,8	0,0084	1,54	0,16	0,5
" kõva	0,0346	0,8	0,0063	1,54	0,10	0,5
Pronks	0,0537	0,8	0,0072	1,67	0,199	0,5
Messing	0 0537	0,8	0,0072	1,67	0,199	0,5
Alumiinium, pehme	0,0462	0,8	0,0084	1,54	0,16	0,5
" keskmine	0,0346	0,8	0,0068	1,54	0,12	0,5

Selliselt arvutatud ettenihked on lubatavad, kui ei ole oluline augu seinte puhtus. Kui peale puurimist järgneb hõõritsemine, siis tuleb ettenihet vähendada 20—40% võrra.

Näide. Pehme terase puurimisel 15 mm puuriga on puuri poolt lubatav ettenihke

$$s_{max} = 0,0063 \cdot 15^{1,54} = 0,4 \text{ mm/t.}$$

Toodud tabeli andmetel arvutatud ettenihked võimaldavad küllalt efektiivseid puurimisrežiime, mis on stahhaanovlikele puurimisrežiimidele lähedased.

Ettenihked tuleb tugevasti vähendada, kui on tegemist sügavpuurimisega ($1 > 20d$), kuna siin on raskendatud laastu kõrvaldamine ja seejuures on tarvis garanteerida puuri püsivust pikema aja vältel ($T = 6-7$ tundi).

Puurimisel kasutatav võimsus.

Puurimisel vajalik võimsus kulub 1) peatööliikumise — puuri tiirlemise teostamiseks ja 2) ettenihkeks.

Puuri tiirlemise teostamiseks vajalik võimsus N_{ef} määratakse tavaliselt pöördmomenti M abil, kuna teda on lihtne katseliselt kindlaks määrata.

$$N_{ef} = \frac{M \cdot n}{10 \cdot 71620 \cdot \eta} \text{ HI.} \quad \dots \quad (79)$$

Ettenihke teostamiseks vajalik võimsus väljendub valemis

$$N_s = \frac{P_x \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75 \cdot 1000} \text{ HI.} \quad \dots \quad (80)$$

Järgneva näite varal selgub, et võimsus N_s on suuruselt niivõrd väike, et teda praktiliste arvutuste juures võib ära jätta.

Näide. Puuritakse keskmise kõvadusega terast ettenihkega 0,5 mm/t ja löikekiirusega 18 m/min. Puuri läbimõõt $d = 20$ mm ja pingi kasutegur on 0,75. Leida N_{ef} ja N_s .

$$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 20} = 286 \text{ t/min};$$

$$M = 50 \cdot 20^{1,8} \cdot 0,5^{0,78} = 50 \cdot 220 \cdot 0,58 \approx 6400 \text{ kgmm};$$

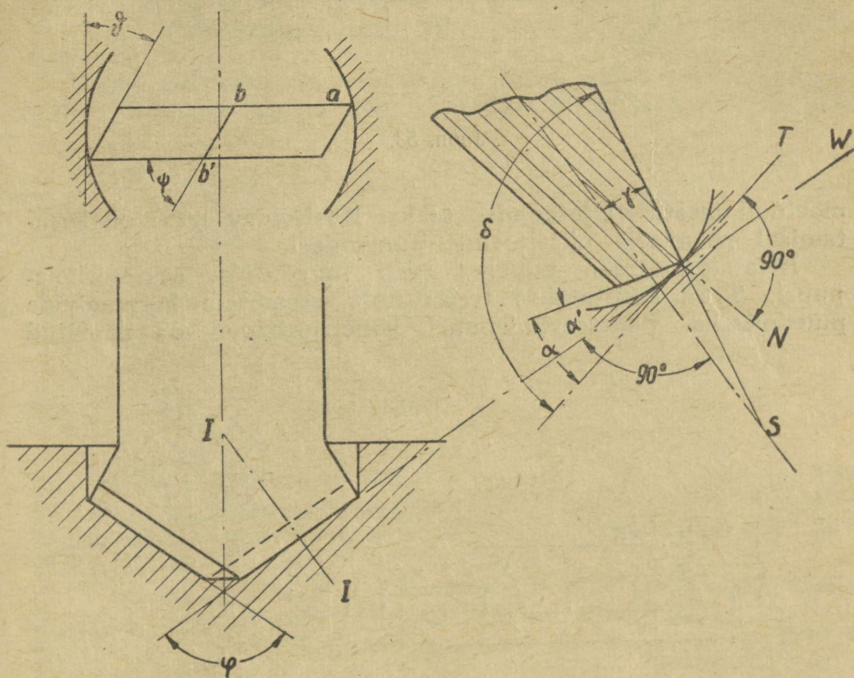
$$P_x = 60 \cdot 20 \cdot 0,5^{0,78} = 720 \text{ kg};$$

$$N_{ef} = \frac{M \cdot n}{716200} = \frac{6400 \cdot 286}{716200} = 3,4 \text{ HI};$$

$$N_s = \frac{P_x \cdot s \cdot n}{60 \cdot 75 \cdot 1000} = \frac{720 \cdot 0,5 \cdot 286}{4500000} = 0,023 \text{ HI}.$$

IX. PUURIDE KONSTRUKTSIOON.

Peale eespool käsitatud spiraalpuuri on kasutamisel lihtsamate tööde juures veel lamepuur. Lamepuur kujutab enesest silindrilist teraspulka, millel üks ots on laiaks lõõdud ja sellele otsale on käitatud lõikeservad (joon. 52). Lamepuurid töötavad halvemates tingimustes kui spiraalpuurid, kuna nende



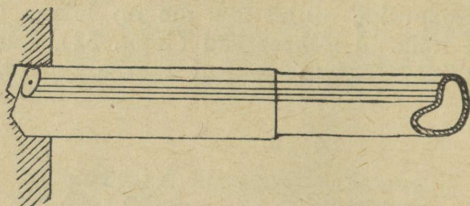
Joon. 52.

lõikenurk on tavaliselt üle 90° . Ka tema produktiivsus jätab palju soovida. Neil põhjusil kasutatakse lamepuuri praegu väga harva.

Sügavate aukude puurimiseks kasutatakse erilisi puure, mida nimetatakse kasutamise otstarbe järgi kahuri- või püssipuurideks. Joon. 53 on näidatud tüüpiline püssipuur.

Püssipuur koosneb kahest osast: kiirlõiketerasest valmistatud töötavast osast ja süsinikterasest sabast. Saba valmista-

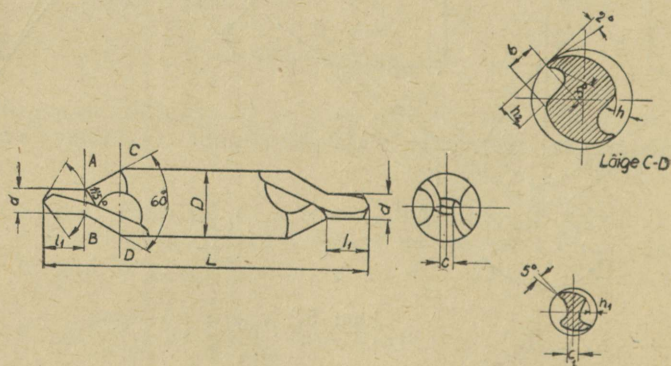
takse pikast, ühele küljele sissevaltsitud soonega torust. Soon puudub ainult selles saba otsas, mis kinnitatakse puurpingi padrunisse. Ka puuri töötavasse ossa freesitakse soon, mis on



Joon. 53.

mõeldud laastu väljatoomise teeks. Käsiteldav puur on kasutamisel peamiselt püssitorude puurimisel.

Eriotstarbeliseks puuriks võib lugeda ka sentreerimispuuri. Teda kasutatakse treitavatele esemetele kärniaukude puurimiseks. Sentreerimispuuri konstruktsioon on näidatud



Joon. 54.

joon. 54. Need puurid valmistatakse reeglina kaheotsalised. Tipunurk on 116° , koonusnurk 60° .

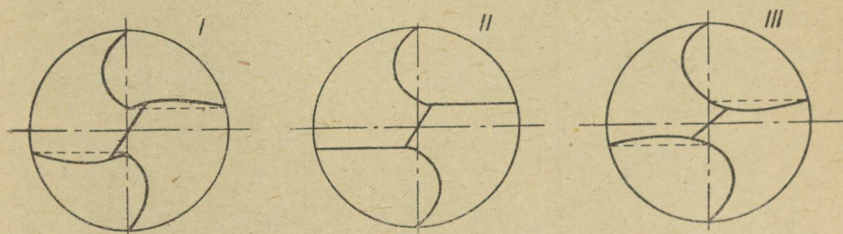
Kuna spiraalpuur leiab kõige suuremat kasutamist kaasaegses masinaehituses, siis vaatleme tema konstruktsiooni ja arvutamist pikemalt.

Puuri tähtsamaks osaks on tema lõikeserv, mis tegelikult ju ongi laastu eraldajaks. Kõik teised puuri konstruktiivosad peavad võimaldama otstarbekohast lõikeserva kuju.

Joon. 55 on toodud kolm esineda võivat lõikeserva kuju: kumer, sirge ja nõgus.

Kumer lõikeserv on täiesti lubamatu, kuna selle tõttu kitseneb spiraalsoon ja laastu paigutamise ruum jääb kitsaks. Teiseks kisub kumer lõikeserv laastu katki ja kiilub vastu puuritava augu seina; puuri töö muutub ebastabiilseks ja ebatäpseks.

Sirge lõikeserv on lühim, mis lubab sama ettenihke saamiseks kasutada väikseimat telgtungi. Sirge lõikeserv võimal-



Joon. 55.

dab kõige kergemini puuri töö protsessis alal hoida ühtlast survet kogu lõikeserva ulatuses. Ebahütlane surve lõikeservadele annab puurile kalduvuse õigest suunast kõrvale kiskuda, mis on ebatäpse augu põhjustajaks.

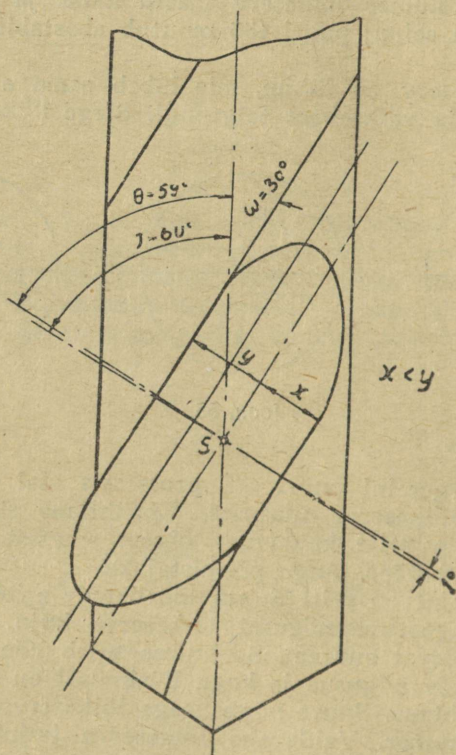
Viimasel ajal on eriti Saksa tööriistade eriteadlaste poolt hakatud propageerima nõgusat lõikeserva kuju, kuna selliste puuride iga olevat suurem. Seejuures tuleb kõne alla sirgest õige vähe erinev nõgusus ja kogu küsimusel on esialgu ainult teoreetiline tähtsus. Suure nõgususega lõikeserv on sama lubamatu, nagu kumer. Valdavaks lõikeserva kujuks on praegu sirge.

Tähtsamaks lõikeserva sirgjoonelisuse tagajaks on spiraalsoon vastav profiil. Kuna spiraalsoon freesitakse, siis on tema vajaliku profiili tagajaks kasutatava freesi kuju.

Enne freesi kuju küsimuse juurde asumist vaatleme üht puuri konstruktiivset mõõdet, mis saadakse samuti freesimisel, ja nimelt puuri südamikü läbimõõtu. Puuri südamikü läbimõõt on puuri läbimõõdust. Puuridel läbimõõduga kuni

10 mm moodustab südamiku läbimõõd 0,2—0,25 puuri läbimõõdust, kuna jämedamatel puuridel on see suhe 0,15—0,135. Puuri tugevuse tõstmiseks suureneb südamiku läbimõõd sabale lähenedes 1,4—1,7 mm iga 100 mm pikkuse kohta.

Spiraalsoone freesimiseks kasutatava freesi kuju mõjutavad spiraalsoone enese profiil, spiraalsoone kallakuse nurk,



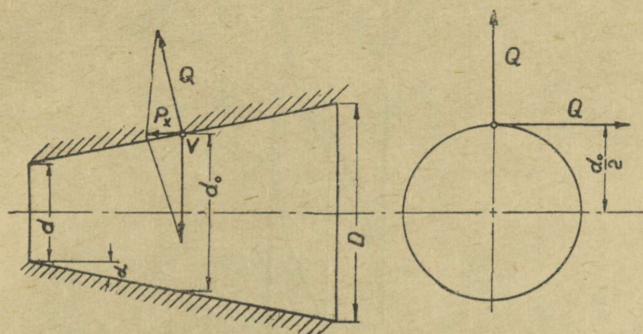
Joon. 56.

puuri tipunurk, freesi läbimõõd ja teised freesimisega seoses olevad tegurid.

Puuri spiraalsoone kuju peab garanteerima õiget laastu tekkimist lõikeserval ja laastu takistusteta ja kergelt ärajuhtimist, peab garanteerima küllaldast puuri tugevust ja võimal-

dama küllaldast ruumi laastu mahutamiseks. Spiraalsoone kuju põhielementideks on lõikeserva sirgjoonelisus, soone laius ringjoonel ja puuri südamikü paksus. Omades arvulisi andmeid nende suuruste kohta, ei ole raske tuletada soovitatavat sooneprofiili.

Puuri tipunurk on teiseks lõikeserva sirgjoonelisuse moodustajaks. Teatud kindel spiraalsoon annab sirge lõikeserva ainult temaga sobiva tipunurgaga. Kui 118° tipunurgaga puuri jaoks konstrueeritud freesiga freesida soon puurile, mida kasutatakse tipunurgaga 90° , siis saame kumera lõikeserva, kuna 140° -lise tipunurga puhul lõikeserv oleks nõgus.



Joon. 57.

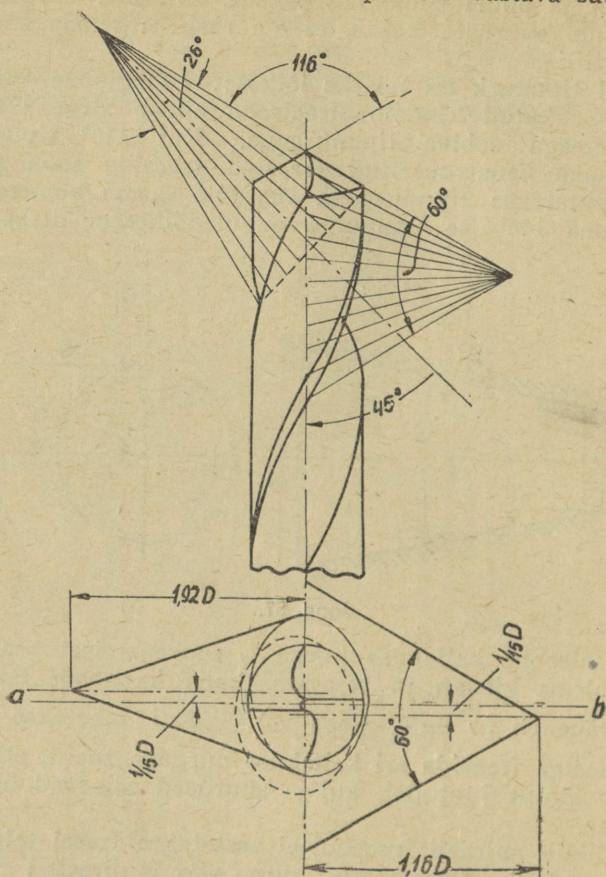
Spiraalsoone kallakuse nurga ω suurenemisel peab freesi profiil olema kitsam ja teravam, kuna ka soone laius selle juures väheneb ($b = \frac{\pi d}{4} \cdot \cos \omega$). Kui tahetakse ühe ja sama freesiga freesida eri kallakuse nurgaga soont, siis on see teostatav ainult juhtudel, kui ω suurused erinevad üksteisest õige vähe.

Harilikult spiraali freesimisel asetatakse freesi telg freesitava eseme telje suhtes teatud nurga alla ja nimelt $\tau = 90^\circ - \omega$ (joon. 56). Spiraalpuuride juures soovitatakse nurk τ võtta veidi väiksem (paar kraadi), mis annab puhtama soonepinna.

Freesi konstrueerimise juures kasutatakse mitut freesi profiili määramise meetodit, mille ligem vaatlemine ei ole käesoleva töö ülesanne. Freesi profiili määramise küsimuste käsitlemine kuulub tööriistade tehaste konstruktsioonibüroode valdkonda.

Puuri hõõrumise vältimiseks augu seinte vastu kukalda-

takse puuri juhtpind selliselt, et ainult spiraalsoone servale jääb kitsas riba, mis on määratud puurile vastava suuna and-



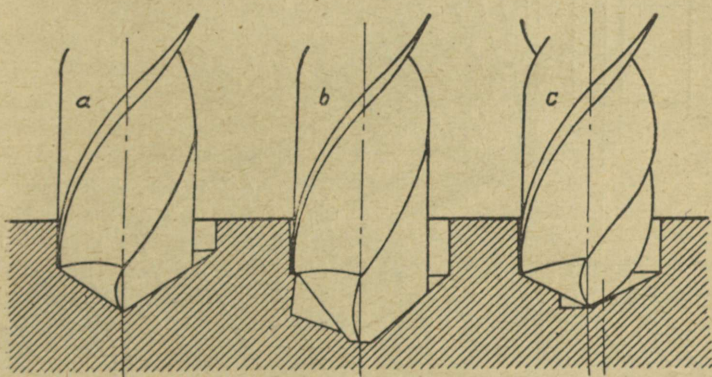
Joon. 58.

miseks ja selle hoidmiseks. Selle riba laius määratakse järgmiste valemitega:

puurid	0,25—0,65 mm	tehakse kukaldamata
„	0,7—10 „	$f = 0,32 \cdot d$
„	10,5—19,5 „	$f = 0,36 \cdot d$
„	20—50 „	$f = 0,45 \cdot d$

Puurimisel on kõige raskemates oludes puuri lõikeservad ja juhtriba alumine ots, kuna puuri välisel ümbermõõdul on lõikekiirus ja ühes sellega ka soojuse eraldumine kõige suurem. Seetõttu soovitatakse ka juhtriba alumises osas 2—4 mm ulatuses kukaldada, mis tuleb teostada puuri teritajal.

Puuri töö kergendamiseks tehakse puuri läbimõõt saba poolt otsast väiksem. See läbimõõdu vähenemine on tavaliselt 0,05—0,07 mm iga 100 mm pikkuse kohta. Selline puuri koonilisus vähendab hõõrumist ega lase puuri liialt soojeneda. Puuri läbimõõdu vähenemine järgnevatel teritamistel ei avalda eri-



Joon. 59.

list mõju augu läbimõõdule, kuna puur alati puurib enese läbimõõdust suurema augu.

Puuri kooniline saba tuleb arvutada töö juures tekkiva pöördmomenti üleandmise tagamise otstarbel. Pöördmoment antakse üle täiel määral hõõrumise teel.

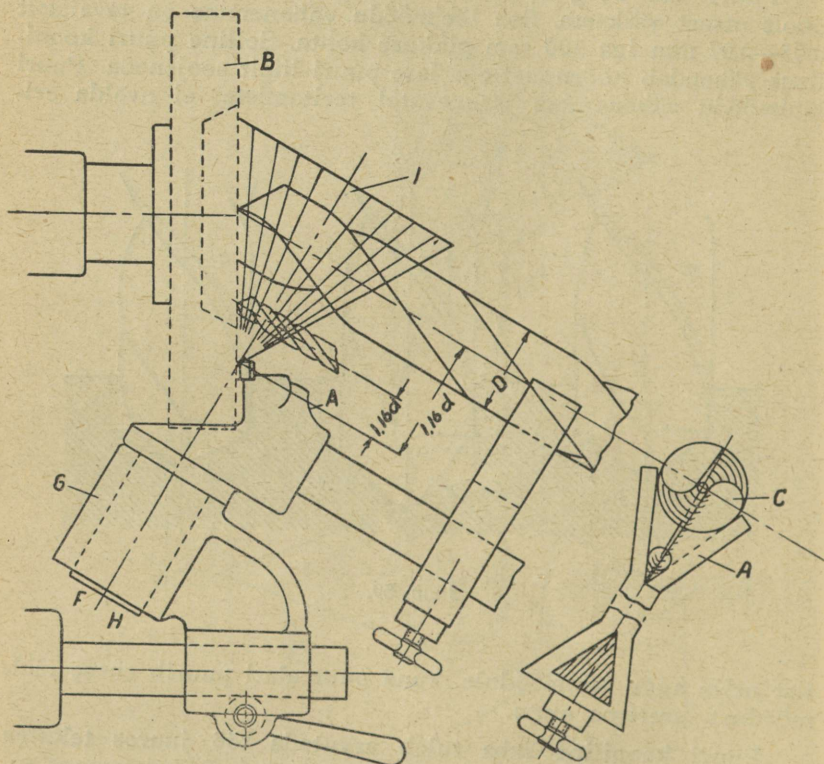
Telgtung P_x (joon. 57) on lahutatav kaheks tungiks: koonuse pinnale risti asuvaks tungiks Q ja puuri telgjoonele risti asuvaks tungiks V . Tung

$$Q = \frac{P_x}{\sin \alpha} \dots \dots \dots (81)$$

kutsub koonuse pinnal esile hõõrdetungi $\mu \cdot Q$, kus μ on hõõr-
deegur, suurusega 0,096 (Berndt'i järgi).

Pöördmoment on sel juhul

$$M = \mu \cdot Q \cdot \frac{d_0}{2} = \mu \cdot \frac{P_x}{\sin \alpha} \cdot \frac{d + D}{4}, \dots \dots \dots (82)$$



Joon. 60.

kus d ja D on minimaalne ja maksimaalne sabakoonuse töötava
osa läbimõõt. Kasutades viimast valemit on võimalik kontrol-
lida, kas kasutatava puuri sabakoonus võimaldab tekkiva pöörd-
momendi üleandmist libisemiseta.

Tähtsamaks ja vastutavamaks tööks puuri hooldamisel on
tema õige teritamine, s. o. puuri lõikeservale õige seadenurga

andmine. See toimub eriskeemi järgi, mis on toodud joon. 58 (Washborn'i meetod). Nõutav α suurus tekib siis, kui lõikeserva tagatahk moodustub kahe koonuse pinna poolt. Nende koonuste telgjooned peavad olema teineteisega risti ja moodustama 45° nurga puuri telgjoonega.

Jooniselt nähtub, et puuri teritamine on keerukas operatsioon ja vajab erilise rakise või isegi pingi kasutamist. Käsitsi võib teritada ainult väikese läbimõõduga puure. Puuri teritamise raskus suureneb veelgi seetõttu, et see tuleb teostada täiesti sümmeetriliselt. Teritamise sümmeetrilisus on rikutud, kui lõikeservad on eri pikkusega, kusjuures puuri telgjoon ei läbista puuritippu, kui lõikeservad moodustavad eri nurgad puuri telgjoonega, kui lõikeservad on võrdse pikkusega, kuid moodustavad eri nurgad puuri telgjoonega, misjuures puuri telgjoon ei läbista samuti puuri tippu (joon. 59).

Kõigel kolmel juhul tekib ebahühtlane koormus kummalgi lõikeserval, mille tulemusena puur hakkab „vântama” ja auk tuleb suurema läbimõõduga. Kuna teised puuri korralikuks tööks vajalikud elemendid saavad oma vormi juba puuri valmistamisel, siis seadenurk tuleb anda igal teritamisel. Vale teritamisega võib ka hästi valmistatud puuri ära rikkuda.

Joon. 60 on näidatud puuri teritamise skeem Weiskeri järgi. Puur asetatakse puurihoidjasse G , mis on varustatud tapiga a ja pöördub telje ümber, mis langeb ühte 26° tipunurgaga koonuse teljega. Puuri teritamise protsessis pöördub seadeldis tapi a ümber, mis garanteerib puuri tagatahu õige profiili.

X. HÕÖRITSAD JA HÕÖRITSEMINE.

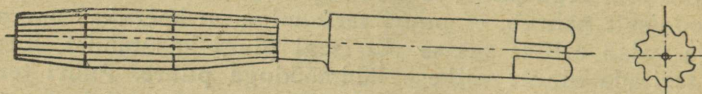
Hõõritsemist teostatakse siis, kui auk peab olema mõõdetelt täpne ja puhta pinnaga. Olenevalt töötlemise tingimustest, on hõõritsa poolt võetava laastu paksus 0,05—0,15 mm. Sel-line suur töötlemise täpsus esitab suuri nõudeid nii hõõritsa konstruktsioonile kui ka tema eksploatatsioonile.

Hõõritsad jagunevad kasutusviisi järgi käsihõõritsaiks ja masinhõõritsaiks, töödeldava augu kuju järgi silindrilisteks ja koonilisteks, hammaste konstruktsiooni järgi püsivate ja reguleeritavate hammastega hõõritsaiks.

Hõõritsa töötav osa koosneb esikoonusest, kalibreerivast osast ja tagakoonusest (joon. 61).

Õieti konstrueeritud hõõrits peab andma täiesti silindrilise augu, peab töötama kergelt ja sissesööbimata.

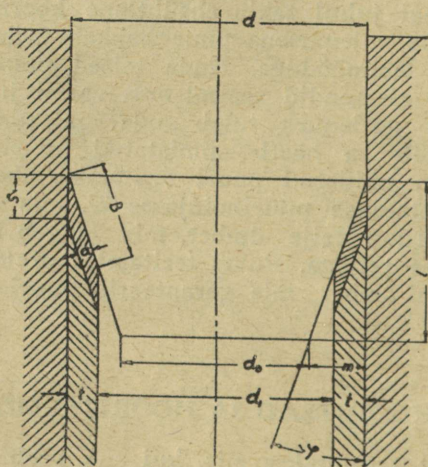
Konstruktiivsetest elementidest, mis mõjutavad hõõritsa korralikku tööd, tuleb nimetada esikoonust, hammaste arvu,



Joon. 61.

lõikeserva nurki, hammaste jagumine ringjoonel ja hamba-soonte suunda.

Tähtsamaks hõõritsa konstruktsiooni elemendiks tuleb lugeda esikoonust, mis tegelikult teostabki laastuvõtmist.



Joon. 62.

Joon. 62 järgi võime tuletada suhted laastu laiuse ja lõikesügavuse vahel, samuti ka ettenihke ja laastu paksuse vahel.

$$b = \frac{t}{\sin \varphi}; \dots \dots \dots (83)$$

$$a = s_h \cdot \sin \varphi; \dots \dots \dots (84)$$

kus φ on esikoonuse nurk ja s_h — ettenihke ühe hamba kohta. Esikoonuse pikkus oleneb sellest, mis otstarbeks on hõõrits

määratud. Käsihõõritsa juures tehakse esikoonus pikem, umbes $\frac{1}{4}$ kogu hõõritsa töötava osa pikkusest. See pikkus 1 ja koonuse nurk määratakse maksimaalse kõrvaldatava metallikihi pak-
sust arvestades. Praktikas on kujunenud koonuse pikkuse
määramiseks järgmine valem:

$$2 \cdot l = 0,005 \cdot D + 0,1 \text{ mm,}$$

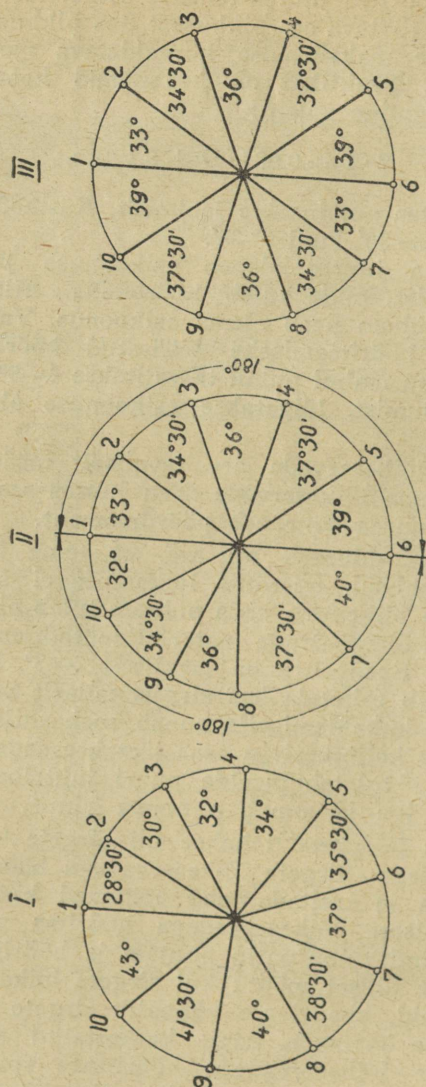
kus D on hõõritsa nominaalne läbimõõt. Käsihõõritsate juures tehakse nurk $\varphi = 30'$ kuni $1^\circ 30'$.

Masinhõõritsa juures oleneb esikoonuse pikkus suurel määral materjalist, mida tuleb hõõritseda. Mida sitkem on materjal, seda lühem peab olema esikoonus. Vastavalt sellele tehakse terase hõõritsemiseks määratud hõõritsate esinurk $\varphi = 12\text{—}15^\circ$, kuna malmi puhul ta valitakse $4\text{—}5^\circ$. Et ära hoida hammaste mürdumist, lõigatakse esikoonuse alguses hambad 45° all maha.

Hõõritsate lõikeservade arv tavaliselt määratakse katse-
lisel teel. Suurema lõikeservade arvu juures saadakse puhtam pind, kuid seejuures suureneb pöördmoment.

Hõõritsa iseäralduseks on see, et tema lõikeservad ei lõika, vaid kaabivad, mistõttu lõikenurk ei saa olla terav. Mida suurem on lõikenurk, seda puhtam tuleb pind. Tavaliseks lõikenurgaks on 90° . Kõvade materjalide töötlemisel ei tohiks ta olla alla 95° . Seadenurk on tavaliselt $2\text{—}3^\circ$. Hõõritsahamba kukaldamine võib toimuda kas sirgjooneliselt või kõverjoone-
liselt. Viimane kukaldamisviis annab mehaaniliselt tugevama hamba. Hõõritsa kalibreerivas osas jäetakse sageli lõikeservale kitsas riba, mis tuletab meelde puuri juhtriiba. Selline riba tõstab hõõritsa iga ja annab puhtama pinna.

Silindrilised hõõritsad tehakse nii sirgete kui ka spiraal-
sete lõikeservadega. Sirgete lõikeservadega hõõritsaid on ker-
gem valmistada ja teritada, nad töötavad küllalt täpselt ja
puhtalt. Spiraalsete lõikeservadega hõõritsa paremuseks on
see, et augu pind tuleb palju puhtam ja hõõrits ise ei kaota
nii kiiresti oma täpset mõõtu kui sirgete lõikeservadega hõõ-
rits. On juhtusid, kus ei ole võimalik sirgete lõikeservadega
hõõritsaid üldse kasutada, nagu katkestatud pinnaga augud
jne. Spiraalsete lõikeservadega hõõritsate spiraali kallakuse
nurk oleneb töödeldavast materjalist, olles kõvade materjalide
puhul $7\text{—}8^\circ$ ja sitkete materjalide puhul $14\text{—}16^\circ$. Enamikus
kasutatakse sirgete lõikeservadega hõõritsaid.



Joon. 63.

Pinna sileduse tagamiseks ei jagata hõõritsa hambaid ringjoonel mitte ühtlaselt, vaid hambasamm võetakse eba-

ühtlane. Joon. 63 on näidatud kolm kasutatavat jaotusviisi, millest kolmas on kõige sagedamini kasutatav.

Hõõritsa hästi töötamise põhitingimuseks on tema lõikeservade teravus. Mida teravamad on lõikeservad, seda puhtam tuleb pind.

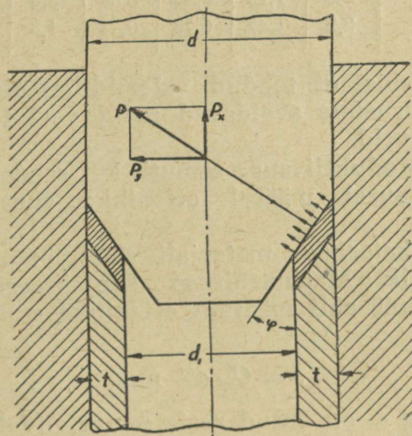
Hõõritsa poolt võetava laastu põiklõikepind on

$$f = t \cdot s = \frac{(d - d_1) \cdot s}{2} \text{ mm}^2; \dots\dots\dots (85)$$

ühe hamba poolt võetava laastu põiklõikepind on

$$f_h = \frac{(d - d_1) \cdot s}{2 \cdot z} \text{ mm}^2; \dots\dots\dots (86)$$

kus z on hõõritsa hammaste arv.



Joon. 64.

Hõõritsemisel tekkiv lõiketungi P võime, nagu treimise juures, lahutada kolmeks komponenttungiks (joon. 64): tangentsiaaltung P_x , mis loob pöördmomendi, telgtung P_x , mida tuleb ületada pingi ettenihkemehhanismil, ja radiaaltung P_y , millel hõõritsemisel ei ole mingisugust tähtsust, kuna vastavate hammaste juures tekkivad P_y teineteist vastamisi hävitavad, olles suunatud diameetriliselt vastupidiselt, P_x

määramiseks võib kasutada järgmist valemit, mis on Walhise poolt katseandmetel tuletatud:

$$P_x = C_p \cdot d^x \cdot s^y \cdot t^z \text{ kg.} \dots \dots \dots (87)$$

Sama autori poolt on tuletatud ka valem pöördmomendi määramiseks

$$M = C_m \cdot d^q \cdot s^p \cdot t^r \text{ kgcm.} \dots \dots \dots (88)$$

Töödeldavast materjalist olenevad C_p , x , y , z , C_m , q , p , r on toodud tabelis nr. 29.

Tabel nr. 29

Töödeldav materjal	C_m	q	p	r	C_p	x	y	z
Teras	8,8	1,15	0,85	0,64	2,3	0,7	0,72	1,0
Malm	2,2	1,42	0,79	0,74	1,3	,61	0,4	0,9

Tuleb märkida, et toodud valemid on ligikaudsed, kuna saadavatele suurustele avaldavad mõju veel teised määramata iseloomuga tegurid.

Hõõritsa produktiivsus, samuti ka saadava pinna kvaliteet oleneb suurel määral ettenihke suurusest mm tiiru kohta.

Laialdase katselise materjali läbitöötamise tulemusena soovitab Riiklik Masinaehituse Projekteerimise Instituut empiirilise valemi abil määrata ettenihke suurust. See valem oleks

$$s = C_s \cdot d^\omega \text{ mm/t.} \dots \dots \dots (89)$$

Suurused C_s ja ω on antud reale materjalidele tabelis nr. 30.

Tabel nr. 30

Töödeldav materjal	$d = 8 \text{ mm}$		$d = 8-30 \text{ mm}$		$d = 30 \text{ mm}$	
	C_s	ω	C_s	ω	C_s	ω
Teras	0,11	0,96	0,11	0,96	0,60	0,47
Cr-Ni-teras	0,098	0,96	0,098	0,96	0,52	0,47
Cr-teras	0,086	0,96	0,086	0,96	0,44	0,47
Hall malm	0,014	2,25	0,15	1,08	1,22	0,47
Pronks, messing, alumiinium	0,31	0,64	0,43	0,51	0,43	0,51

Hõõritsa püsivuse küsimus on veel uurimata ja seetõttu tuleb kasutada vastavate lõikekiiruste normatiive, kus lõikekiirus on antud olenemata hõõritsa läbimõõdust, ettenihkest ja teistest teguritest. Riiklik Masinaehituse Projekteerimise Instituut annab tabelis nr. 31 toodud lõikekiirused, mis on koostatud paremate stahhaanovlaste töötulemusi arvestades.

Tabel nr. 31

Töödeldav materjal	$v = \text{m/min}$	Töödeldav materjal	$v = \text{m/min}$
Cr-teras 60 kg/mm ²	8—10	Cr-teras	4,5—5,5
60	6	Pehme pronks	20
"Hall" malm, pehme	10	Kõva pronks	10
Hall malm, kõva	7	Messing, keskmise	22
Cr-Ni-teras	5—9	Alumiinium	24—40

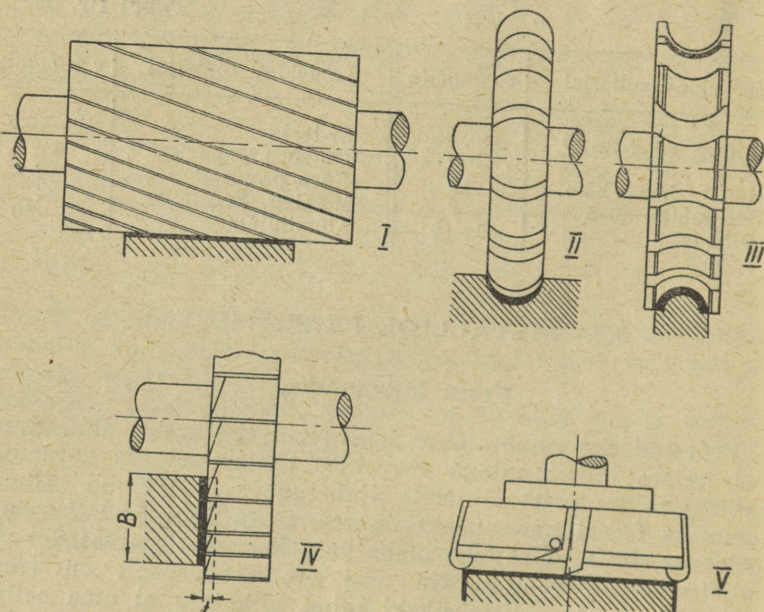
XI. METALLIDE FREESIMINE.

Frees lõiketerana.

Freesimiseks nimetatakse laastu võtmist freesi abil. Frees omab teiste lõiketeradega võrreldes töötamisel rea paremusi, mistõttu ta on eriti viimasel ajal tugevasti levinud. Üheks suurimaks freesi paremuseks on see, et ta võimaldab fassongtöötlemist, ilma et selleks oleks vaja keerukat sisseseadet või kvalifitseeritud töolist. Ka oma produktiivsusest on frees praegu ületamata. Mitte ükski teine lõiketera ei oma sellist mitmekesisust tüüpides, väliskujus ja kasutamisalades, kui freesid.

Freesi töö erineb tugevasti treitera tööst. Samal ajal, kui treitera süveneb materjalis ja võtab kogu aja ühesuguse paksusega laastu, freesi iga hammas töötab perioodiliselt, süvenedes materjalis ja lahkudes sealt kord iga freesi tiiru jooksul. Seejuures freesi hammas on materjaliga kontaktis ainult lühikese osa oma liikumise ringjoonest. Seetõttu mõjutab lõikamisel tekkiv soojus freesi vähem, kui näiteks treitera. Teiselt poolt saab aga frees perioodiliselt lööke hammaste materjalis sisenemisel. Laastu põiklõige freesimisel on muutuv kogu freesi hamba materjaliga kontaktis oleku ajal. Need oleksid peamised freesimise protsessi iseäraldused.

Freeside liigitamist võib teostada peamiselt järgmiste tunnusmärkide järgi: 1) kinnitusviis (tornile asetatavad ja sabaga), 2) hammaste kinnitusviis (alaliste või vahetatavate hammastega), 3) hambakuju (harilik või kukaldatud hammas). Toodud jaotus ei ole kaugeltki täielik. Oma töötamisviisi järgi võime freese jagada silindrilisteks, otsfreesideks ja fassong-



Joon. 65.

freesideks, (joon. 65). Hamba suuna järgi võivad freesid olla sirgete hammastega ja spiraalhammastega.

Kõigi freeside hammastel on lõiketerale iseloomulikud elemendid, s. o. omavad lõikenurka δ , seadenurka α , esinurka γ , mis olenevad töödeldavast materjalist ja sageli ka freesi kujust.

Joon. 66 on näidatud freesi hammaste profiilid ja toodud freesi hammaste peamised nurgad.

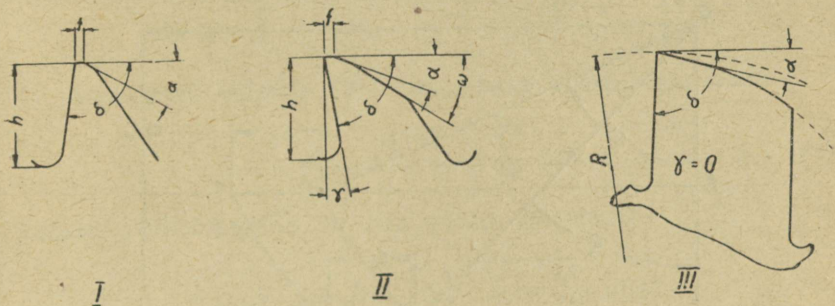
Nagu treitera juures, nii ka siin võime eritella:

1) lõikenurk δ , mis moodustub hambaesitahu ja lõikepinna hambatipus puutuja tasapinna vahel;

2) esinurk γ , mis moodustub hambaesitahu ja freesi raadiuse vahel;

3) seadenurk α , mis moodustub hambatagatahu ja lõikepinna hambatipus puutuja tasapinna vahel.

Olenevalt freesi ehitusest ja töödeldava materjali mehaanilistest omadustest, kõigub esinurk γ $0-30^\circ$ vahel, olles pehmete ja sitkete metallide töötlemisel suurem kui kõvade ja rabedate materjalide töötlemisel. Keskmise terase töötlemisel ta võetakse $\gamma = 5-10^\circ$, alumiiniumi töötlemisel $25-30^\circ$.



Joon. 66.

Seadenurk α kõigub $3-12^\circ$ piirides, olles vetruvamate metallide töötlemisel suurem.

Freesimise sügavuseks t nimetatakse ühe freesimise käiguga mahavõetava metallikihi paksust. Teda mõõdetakse mm ja tasapinnal, mis on risti freesi augu teljega.

Freesimise laiuks B nimetame freesi kokkupuute pikust töödeldava esemega. Teda mõõdetakse samuti mm, kuid paralleelselt freesi augu teljega.

Laastu laiuseks b nimetame hamba kokkupuutepinda töödeldava esemega. Sirgete hammastega freeside puhul langevad freesimise ja laastu laiused ühte.

Laastu paksuseks a nimetame freesi hamba poolt lõigatava metallikihi paksust freesi raadiuse suunas mõõdetuna.

Ettenihe freesimisel märgitakse tähega s ja mõõdetakse mm.

Teiselt poolt võib kirjutatada, et

$$\frac{D}{2} \cdot \cos \psi_i = \frac{D}{2} - t_i$$

ja

$$\cos \psi_i = \frac{\frac{D}{2} - t_i}{\frac{D}{2}} = 1 - \frac{2t_i}{D}.$$

Kuna

$$\sin \psi_i = \sqrt{1 - \cos^2}, \text{ siis}$$

$$\sin \psi = \sqrt{1 - \left(1 - \frac{2t_i}{D}\right)^2} = 2 \cdot \sqrt{\frac{t_i}{D} - \frac{t_i^2}{D^2}}.$$

Asendades valemis (91) $\sin \varphi_i$ tema väärtusega, saame

$$a_i = s_z \cdot 2 \sqrt{\frac{t_i}{D} - \frac{t_i^2}{D^2}} \text{ mm.} \dots \dots \dots (92)$$

Laastu põiklõikepind on siis antud momendil

$$f_i = B \cdot a_i = B \cdot s_z \cdot 2 \sqrt{\frac{t_i}{D} - \frac{t_i^2}{D^2}} \text{ mm}^2.$$

Freesi hamba materjalist väljumise momendil omab laastu põiklõikepind maksimaalset suurust, kuna $t_i = t$ ja $a_i = a_{max}$.

$$f_{max} = B \cdot a_{max} = B \cdot s_z \cdot 2 \sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}} \text{ mm}^2 \dots (93)$$

Kui $\psi_i = \frac{\varphi}{2}$, siis sel momendil saadava laastu põiklõikepinda võib lugeda praktiliselt keskmiseks laastu põiklõikepinaks.

$$a_k = s_z \cdot \sin \frac{\varphi}{2}, \dots \dots \dots (94)$$

kuna aga

$$\sin \frac{\varphi}{2} = \sqrt{\frac{1 - \cos \varphi}{2}}, \quad \cos \varphi = 1 - \frac{2t}{D},$$

siis

$$a_k = s_z \cdot \sqrt{\frac{D - (D - 2 \cdot t)}{2D}} = s_z \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} \text{ mm} \dots \dots (95)$$

ja

$$f_k = B \cdot a_k = B \cdot s_z \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} \text{ mm}^2. \quad \dots \dots (96)$$

Näide. On antud: $D = 100 \text{ mm}$, $B = 50 \text{ mm}$, $z = 10$, $t = 10 \text{ mm}$, ja $s_z = 0,1 \text{ mm}$. Leida f_{max} ja f_k .

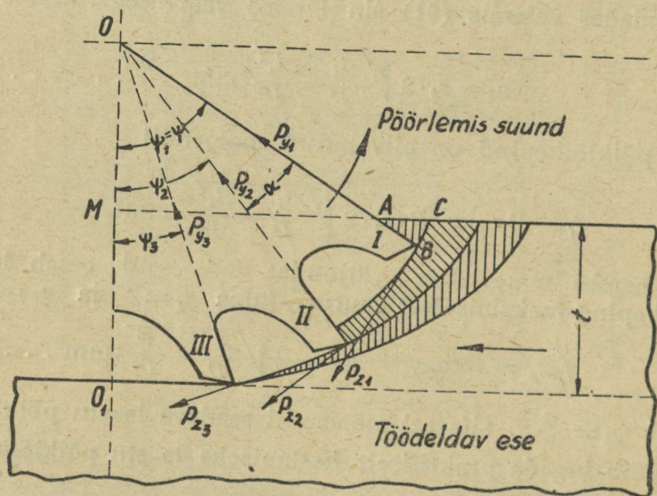
$$a_{max} = s_z \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{t}{D} - \frac{t^2}{D^2}} = 0,1 \cdot 2 \cdot \sqrt{\frac{10}{100} - \frac{100}{10\,000}};$$

$$a_{max} = 0,1 \cdot 2 \cdot 0,3 = 0,06 \text{ mm};$$

$$f_{max} = B \cdot a_{max} = 50 \cdot 0,06 = 3 \text{ mm}^2;$$

$$a_k = s_z \cdot \sqrt{\frac{t}{D}} = 0,1 \cdot \sqrt{\frac{10}{100}} = 0,1 \cdot 0,316 = 0,0316 \text{ mm};$$

$$f_k = 50 \cdot 0,0316 = 1,58 \text{ mm}^2.$$



Joon. 68.

Vaadeldud juhul oli meil tegemist ainult ühe hambaga, tegelikult aga on materjaliga kontaktis korraga mitu hammas.

Joonisel 68 on toodud juht, kus korraga võtavad laastu kolm hammas, kusjuures esimene hammas on materjalist väljumise eel. Vaadeldaval juhul on kolme hamba poolt võetava

laastu põiklõikepind maksimaalne võimalik. Kogu laastu põiklõikepind antud momendil on üksikute hammaste poolt võetavate laastude põiklõigete pindade summa.

$$f = f_1 + f_2 + f_3 \text{ mm}^2.$$

Kui märkida 1. hamba kontaktinurka ψ_1 , 2. hamba kontaktinurka ψ_2 ja 3. — ψ_3 , siis

$$f_1 = B \cdot s_z \cdot \sin \psi_1, \\ f_2 = B \cdot s_z \cdot \sin \psi_2, \dots \dots \dots (97)$$

$$f_3 = B \cdot s_z \cdot \sin \psi_3 \text{ ja} \\ f = B \cdot s_z \cdot (\sin \psi_1 + \sin \psi_2 + \sin \psi_3). \dots \dots (98)$$

Korraga töötavate hammaste arvu on lihtne määrata, kui on teada freesi läbimõõt D , hammaste arv z ja freesimise sügavus t .

$$i = \frac{\varphi}{\alpha}, \text{ kus } \alpha = \frac{360^\circ}{z}.$$

Näide. Leida maksimaalne ja minimaalne summaarne laastu põiklõikepind, kui $D = 90 \text{ mm}$, $z = 20$, $t = 10 \text{ mm}$, $s_z = 0,1 \text{ mm}$ ja $B = 80 \text{ mm}$.

$$\cos \varphi = 1 - \frac{2t}{D} = 1 - \frac{2 \cdot 10}{90} = \frac{20}{90} = 0,222;$$

$$\varphi = 39^\circ;$$

$$\alpha = \frac{360^\circ}{z} = \frac{360^\circ}{20} = 18^\circ;$$

$$\psi_2 = 39 - 18 = 21^\circ, \quad \psi_3 = 39 - 2 \cdot 18 = 39 - 36 = 3^\circ;$$

$$f_{\max} = B \cdot s_z \cdot (\sin \psi_1 + \sin \psi_2 + \sin \psi) = B \cdot s_z \cdot \sin 39^\circ + \sin 21^\circ + \sin 3^\circ = 80 \cdot 0,1 \cdot (0,629 + 0,358 + 0,052) = 8,3 \text{ mm}^2.$$

Saadud laastu põiklõikepind esineb momendil, kui 1. hammas on väljumas materjalist. Järgmisel momendil 1. hammas lahkub materjalist, kuid 4. hammas pole jõudnud veel kontakti. Töösse jäävad ainult 2. ja 3. hammas kontaktinurkadega $\psi_2 = 21^\circ$ ja $\psi_3 = 3^\circ$.

$$f_{\min} = B \cdot s_z \cdot (\sin 21^\circ + \sin 3^\circ) = 80 \cdot 0,1 \cdot (0,358 + 0,052) = 3,3 \text{ mm}^2.$$

Nagu toodud näitest selgub, on sirgete hammastega freesi töö laastu põiklõike suhtes ebahühtlane. Laastu põiklõikepinna üleminek maksimumist miinimumi on hüppeline, mis paratamatult toob kaasa ka pingi koormatuse hüppelise muutumise, tekivad soovimatud värisemised, mis halvendavad saadava pinna kvaliteeti. Mida suurem arv hambaid on korraga töös, seda rahulikumalt töötab frees.

Palju soodsam on spiraalhammastega freesi töö. Spiraalhammas ei kaota kontakti materjaliga järsku, vaid järk-järgult, mis lubab teatud löikerežiimi ja freesi läbimõõdu valikul jõuda selleni, et laastu põiklõige jääb praktiliselt samaks kogu töö jooksul. Kõrgema matemaatika abil on võimalik tõestada, et ühe spiraalhamba poolt võetava laastu põiklõikepind on

$$f = \frac{D s_z}{2 \sin \omega} (\cos \psi_1 + \cos \psi_2). \dots\dots\dots (99)$$

Käsitatud laastu põiklõikepinna valemid on kasutatavad ka otsfreeside puhul.

Viimases valemis on ω hamba spiraali kallakusnurk, ψ_1 ja ψ_2 on spiraalhamba otste kontaktinurgad materjaliga.

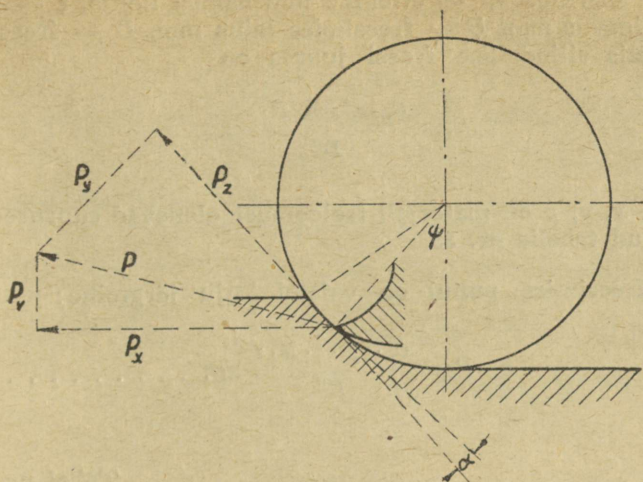
Freesile mõjuvad tungid.

Freesile mõjuvate tungide resultanttung on muutuv nii suunalt kui ka suuruselt, olenevalt paljudest teguritest. Joon. 69 on näidatud ühele hambale mõjuvad tungid. Nende resultanttung P on suunatud teatud nurga all freesi ringjoonele puutujaks olevale sirgele. Seda resultanttungi võime lahutada komponenttungideks ühelt poolt tangentsiaalselt ja radiaalselt freesi ringjoonele ja teiselt poolt horisontaalses ja vertikaalses suunas.

Tangentsiaaltungi P_z saab ligikaudselt määrata valemi abil

$$P_z = p \cdot f \text{ kg}, \dots\dots\dots (100)$$

kus f on summaarne laastu põiklõigete pind, mida võtavad kõik momendil töötavad freesi hambad, p — löikamise erisurve



Joon. 69.

kg/mm². Lõikamise erisurve leidmiseks kasutatakse järgnevat empiirilist valemit:

$$p = \frac{C}{a^\lambda} \text{ kg/mm}^2; \dots\dots\dots (101)$$

C ja λ suurused on toodud tabelis nr. 32.

Tabel nr. 32

Töödeldav materjal	C	λ
Teras σ_t 30 kg/mm ²	120	0,25
" " 40 "	160	0,25
" " 50 "	200	0,25
" " 60 "	240	0,25
" " 70 "	280	0,25
" " 80 "	320	0,25
Hall malm, pehme	57	0,33
" " keskm.	82	0,33
" " kõva	114	0,33

Toodud viis P_z määramiseks on orienteeruv. Täpsemalt on võimalik tangentsiaalset tungi arvutada katsematerjali läbitöötamisel saadud valemite abil, mis on toodud allpool.

Kui märkida s_z — ettenihe mm hamba kohta, t — freesimise sügavus mm, B — freesimise laius mm, D — freesi läbimõõt, siis silindrilise freesi juures on

$$P_z = \frac{C_p \cdot s_z^x \cdot t^y \cdot B \cdot z}{D^p} \text{ kg,}$$

kus C_p , x , y , p on materjali iseloomust olenevad suurused, mis on toodud tabelis nr. 33.

Otsfreesimise puhul on valemi kuju järgmine:

$$P_z = \frac{C_p \cdot s_z^x \cdot t \cdot B \cdot z}{D^p} \text{ kg.} \dots\dots\dots (102)$$

Tabel nr. 33

Töödeldav materjal	Silindr. frees				Otsfrees		
	C_p	x	y	p	C_p	x	p
Hall malm $H_B < 150 \text{ kg/mm}^2$	18,2	0,65	0,825	0,825	44,0	0,75	1,15
" " " 150—180 "	20,6	0,65	0,825	0,825	57,0	0,75	1,15
" " " 180—220 "	27,7	0,65	0,825	0,825	68,0	0,75	1,15
Tempermalm, $H_B = 100—140 \text{ kg/mm}^2$	—	—	—	—	97,5	0,75	1,175
" " " 140—180 "	—	—	—	—	109,0	0,75	1,175
" " " 180—200 "	—	—	—	—	114,7	0,75	1,175
C-teras $\sigma_t = 30—60 \text{ kg/mm}^2$	43,1	0,69	0,845	0,845	129,8	0,75	1,175
" " " 50—70 "	54,8	0,69	0,845	0,845	136,1	0,75	1,175
" " " 70—90 "	—	—	—	—	143,2	0,75	1,175
Cr-Ni-teras $\sigma_t = 50—70 \text{ kg/mm}^2$	55,8	0,74	0,87	0,87	180,5	0,8	1,175
" " " 70—80 "	62,7	0,74	0,87	0,87	189,1	0,8	1,175
" " " 80—100 "	71,6	0,74	0,87	0,87	197,8	0,8	1,175
Cr-teras $\sigma_t = 50—70 \text{ kg/mm}^2$	55,8	0,74	0,87	0,87	157,6	0,8	1,175
" " " 70—80 "	62,7	0,74	0,87	0,87	164,7	0,8	1,175
" " " 80—100 "	71,6	0,74	0,87	0,87	171,9	0,8	1,175
Alumiinium	16,2	0,75	0,88	0,88	—	—	—

Järgnevalt vaatleme teisi freesimisel tekkivaid komponenttunge. Prof. Kurreini andmeil on radiaaltungi P_y suurus

$$P_y = (0,3 - 0,4) \cdot P_z. \quad \dots \dots \dots (103)$$

Projekteerides P_z ja P_y horisontaalteljele saame P_x väärtuse

$$P_x = P_z \cdot \cos \psi + P_y \cdot \sin \psi,$$

kuna aga $P_y = 0,4 P_z$, siis

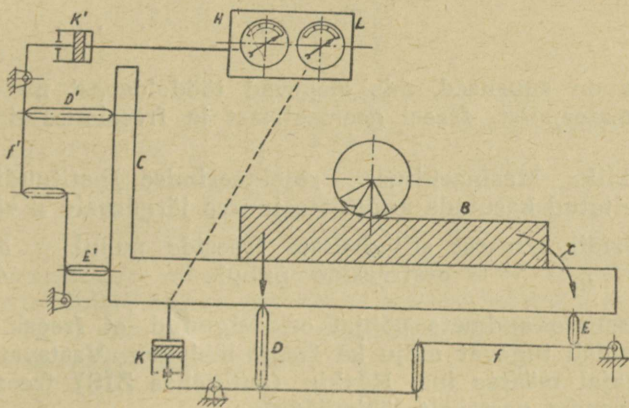
$$P_x = P_z \cdot (\cos \psi + 0,4 \sin \psi). \quad \dots \dots \dots (104)$$

Nüüd võib leida ka resultanttungi P ja komponenttungi P_b suurust.

$$P = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} = P_z \cdot \sqrt{1 + 0,4^2} = P_z \cdot \sqrt{1,16} = 1,08 P_z;$$

$$P_b = \sqrt{P^2 - P_x^2} = \sqrt{(1,08)^2 \cdot P_z^2 - P_z^2 \cdot (\cos \psi + 0,4 \sin \psi)^2} =$$

$$= P_z \cdot \sqrt{1,16 - (\cos \psi + 0,4 \sin \psi)^2}. \quad \dots \dots (105)$$



Joon. 70.

Freesimisel tekkivate tungide otsest mõõtmist võib teostada samal meetodil, nagu seda tehakse treimise lõiketungide mõõtmisel. Prof. Schlesingeri poolt on konstrueeritud mõõtelaud, mille skeem on toodud joon. 70.

P_z leidmiseks võib kasutada ka kaudset teed, mõõtes lõikamiseks vajalikku pöördmomenti. Lihtsaim pöördmomendi mõõtmisviis on voltmeetri ja ampermeetri abil.

$$M = \frac{N \cdot 102 \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot n} \cdot \eta_{moot} \cdot \eta_p \text{ kgm}, \quad \dots \dots \dots (106)$$

kus N on pingi poolt tarvitata vöimsus kilovattides,
 n — pingi spindli tiirude arv minutis,
 η_{moot} — mootori kasutegur,
 η_p — pingi kasutegur.

Löikekiirus freesimisel.

Freeši püsivuse küsimust ei ole käesoleva ajani veel sel määral uuritud, et võiks kõigi praktikas esinevate freesimise juhtude jaoks kindlaks määrata freeši püsivuse normi. Alles viimasel ajal on kirjanduses sellelaadilisi kirjutisi hakanud ilmuma.

Nagu kõigi teiste löiketerade juures, nii ka freeši löikekiiruse ja püsivuse vahel valitseb järgneva valemiga väljendatav olenevus:

$$T = \frac{C}{v^n}; \dots\dots\dots (107)$$

C ja n on suurused, mis olenevad töödeldavast materjalist, freeši materjalist, freeši geomeetriast ja freesimise tingimustest.

Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi poolt on soovitatud kasutada arvutuste juures järgnevaid n väärtusi:

kiirlöiketerasest silindriliste freeside puhul	3
„ otsfreeside puhul	4,3

Katseliste andmete põhjal on selgunud, et freeši püsivuse avaldab tugevat mõju ka freeši läbimõõt. Vastavate arvutuste najal määras ins. Rõvkin (autotehas ZIS) freeši püsivuse normiks vastavalt läbimõõdule

$D = 50 \text{ mm}$	$T_{ök} = 240 \text{ min}$	$T_{opt} = 140 \text{ min}$
$D = 75 \text{ mm}$	$T_{ök} = 395 \text{ min}$	$T_{opt} = 210 \text{ min}$
$D = 110 \text{ mm}$	$T_{ök} = 540 \text{ min}$	$T_{opt} = 290 \text{ min}$

Lihtsate silindriliste freeside püsivuse normi võib vähendada kuni 180 min, milline norm on ka edaspidiste freeši püsivuse normil baseeruvate arvutuste juures aluseks võetud.

Tuleb märkida, et nimetatud v ja T suhete seaduspärasus ei ole rakendatav ülisuurte löikekiiruste juures. Ins. Salomoni katsed näitavad, et ülisuurte löikekiiruste juures freeši püsivus

säilib ja on võimalik töötada üsna produktiivselt. Nii näiteks märgib ins. Salomoni patent järgmisi lõikerežiime:

Alumiinium	$v = 440$ m/min	$s_m = 8000$ mm/min
	$v = 16\,500$ m/min	$s_m = 23\,750$ mm/min
Vask	$v = 284$ m/min	$s_m = 500 - 10\,400$ mm/min
Malm	$v = 750$ „	$s_m = 50 - 2000$ mm/min

Selliste erakordsete lõikerežiimide võimalikkus on seletatav sellega, et freesi hambad ei suuda suure lõikekiiruse juures sellisel määral soojeneda, et see hakkaks püsivuse peale mõjuma, pealegi on freesi hammaste jahutus suure kiiruse tõttu palju parem.

Ettenähtud freesimise laiuse ja sügavuse suurenemisel freesi püsivuse poolt lubatav lõikekiirus väheneb. Olemasolevail eksperimentaalseil andmeil võib seda olenevust väljendada järgmistes valemities:

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{s_z'}{s_z''} \right)^u; \dots \dots \dots (108)$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{s_z'}{s_z''} \right)^q; \dots \dots \dots (109)$$

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{s_z'}{s_z''} \right)^r; \dots \dots \dots (110)$$

Astmenäitajate u , q ja r suurused on antud tabelis nr. 34.

Suurte läbimõõtudega freesid on soojuskindlamad kui väikesed, mistõttu nad lubavad ka suuremaid lõikekiirusi. See seaduspärasus väljendub valemis

$$\frac{v_2}{v_1} = \left(\frac{D_2}{D_1} \right)^p; \dots \dots \dots (111)$$

Astmenäitaja p leidub tabelis nr. 34.

Tabel nr. 34

Freemimise liik	u	q	r	p
Silindriliste freeside puhul	0,5	0,38	0,22	0,3
Sabafreesid terase töötlemisel	0,55	0,37	0,15	0,17
„ malmi „	0,47	0,20	0,25	0,28
Otsfreeside puhul	0,23	0,14	0,23	0,53

Kuni viimase ajani saadi freesimise lõikerežiimi elementid vastavatest käsiraamatutest, kusjuures ei olnud arvuliste andmete juures arvestatud neid elemente mõjutavaid tegureid. Alles viimaste aastate uurimiste tulemused võimaldavad kasutamisele võtta vastavaid valemid. Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi poolt soovitatakse freesimise lõikekiiruse arvutamiseks kasutada allpool toodud valemid.

Normaalse silindrilise freesi puhul on

$$v_{180} = \frac{C_v \cdot D^{0,3}}{s_z^{0,5} \cdot t^{0,38} \cdot B^{0,22}} \text{ m/min.} \quad \dots \dots \dots (112)$$

Otsfreesimisel on see valem järgmine:

$$v_{180} = \frac{C_v \cdot D^{0,22}}{s_z^{0,23} \cdot t^{0,22} \cdot B^{0,22}} \text{ m/min.} \quad \dots \dots \dots (113)$$

C_v suurused on toodud tabelis nr. 35.

Toodud valemite kasutamisel tuleb silmas pidada, et need valemid on õiged järgmistel tingimustel:

- 1) töö toimub normaalehitusega ja normaalse tera geometriaga freesidega,
- 2) freesi materjaliks on kiirlõiketeras, karastus normaalne,
- 3) freesimine toimub euroopa meetodil,
- 4) nürinemise kriteeriumiks on esimesed kulumise tunnused,
- 5) freespink peab olema täiesti korras.

Optimaalse freesimise režiimi määramine.

Freesimise lõikerežiimi määramisel, nagu treimiselgi tuleb kinni pidada kindlast režiimi elementide määramise järjekor-
rast.

Esimesena puudutame freesimise viisi küsimust. Normaalselt freesitakse selliselt, et freesi ringliikumine on suunatud ettenihke liikumisele vastu (joon. 71). Selle juures hammas liigub laastuvõtmisel alt üles (euroopa meetod) ja katsub tõsta üles ka eset. Selline töötamisviis kutsub paratamatult esile pingi värisemise, kuna alati esinevad väiksemad või suuremad pilud pingi osade juhtpindade vahel. Töödeldud pinna kvaliteet kindlasti kannatab selle all.

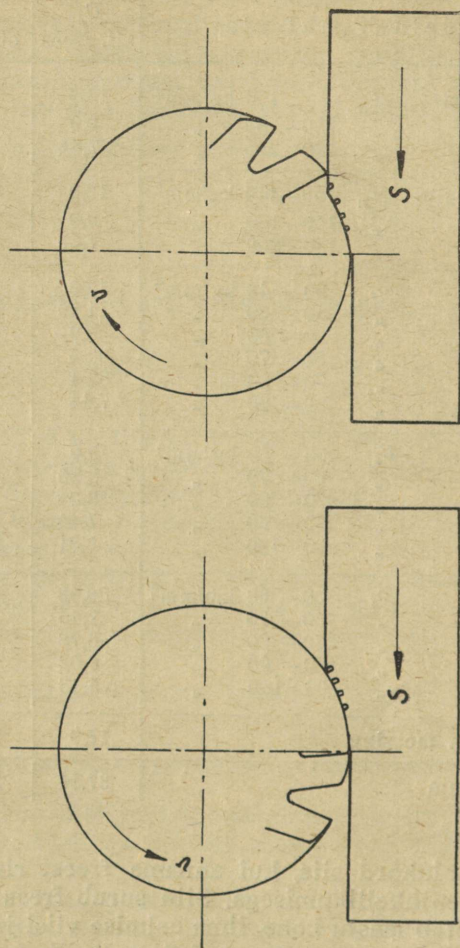
Tabel nr. 35

Töödeldav materjal			C_v sil. frees	C_v otsfrees
Hall malm	H_B	150 kg/mm ²	13,6	12,5
" "	"	150—180 "	9,9	8,5
" "	"	180—220 "	7,44	5,7
Tempermalm	H_B	100—140 kg/mm ²	12,8	11,7
"	"	140—180 "	9,0	8,9
"	"	180—200 "	7,03	6,3
C-teras	σ_t	30— 40 kg/mm ²	13,6	15,0
" "	"	40— 50 "	11,39	11,7
" "	"	50— 60 "	9,9	8,55
" "	"	60— 70 "	8,86	7,94
" "	"	70— 80 "	8,04	6,3
" "	"	80— 90 "	7,44	5,84
Cr-Ni-teras	σ_t	50 — 60 kg/mm ²	9,9	7,78
" " "	"	60— 70 "	8,86	6,4
" " "	"	70— 80 "	8,04	5,56
" " "	"	80— 90 "	7,44	4,84
" " "	"	90—100 "	6,81	4,34
Cr-teras	σ_t	50— 60 km/mm ²	88,58	8,33
" "	"	60— 70 "	7,45	6,95
" "	"	70— 80 "	6,78	5,84
" "	"	80— 90 "	6,02	5,23
" "	"	90—100 "	5,48	4,6
Pronks ja messing			17,0	14,7
Alumiinium			37,84	32,7

Teisiti on olukord siis, kui anname freesi ringliikumisele sama suuna ettenihkeliikumisega. Siin surub frees esemele ülevalt peale ja võtab laastu kohe, ilma eelmise viisi juures esineva libisemiseta. Lõiketung on suunatud ülevalt alla ja surub eseme vastu töölauda, töölauda vastu juhtpindu ja vähendab sel teel pingi värisemist. Praktika näitab, et sellisel freesimisviisil on paremused töö suurema ökonoomsuse tõttu. Teda võib aga kasutada ainult massiivsete pinkide juures, kuna freesi ja pingi ülekoormamise hädaoht on suur.

Freemise laiuse määrab ka freesitava pinna laius või freesi laius. Ta ei ole alati meie tahtmise järgi muudetav.

Ülalpool märkisime, et laastu põiklõikepind freemise



Joon. 71.

rotsessi jooksul alaliselt muutub, olenevalt korraga töötavate hammaste arvust. Koos sellega muutub ka freemiseks vajalik pöördmoment, mis aga toob enesega kaasa värisemise, ebapuhta pinna jne. Neid halbusi arvestades püütakse freemisel saavutada ühtlast laastupõiklõiget kogu freemise protsessi jooksul.

Spiraalhammastega freesi kasutamisel esineb ühesugune laastu põiklõikepind ainult siis, kui materjalisse siseneval hambal suureneb laastu laius sama võrra, kui väljuval hambal ta väheneb. Selleks aga peavad freesimise laius B ja hambasamm t_0 freesi ringjoonel olema vastavalt valitud. Nende suhe peab olema

$$B = k \cdot t_0, \dots\dots\dots (114)$$

kus k on mingisugune terve arv, alates 1-st.

Freesimise sügavus avaldab kõige väiksemat mõju lõikekiirusele, mistõttu tuleb ta valida esimesena. Kuna freesid oma konstruktsioonilt võimaldavad üsna suuri lõikesügavusi ja tänapäeva tööstustes töötlemise varud jäetakse minimaalsed, siis reeglina tuleb kogu freesimist teostada ühe koorimiskäiguga ja ühe silumiskäiguga. Harva on tarvis veel teist koorimiskäiku.

Ettenihe mõjutab lõikekiirust veidi tugevamalt, kui freesimise sügavus. Maksimaalne tehnoloogiliselt lubatav ettenihe oleneb järgmistest teguritest:

- 1) freesi hammaste tugevusest,
- 2) nõutavast pinna puhtusest ja täpsusest,
- 3) freesi kinnituse tugevusest ja freestorni tugevusest,
- 4) pingi tugevusest,
- 5) pingi võimsusest.

Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi poolt soovitatakse keskmise tehnoloogilise ettenihke arvutamiseks koorimisel silindrilise freesiga järgmist valemit:

$$s_z = \frac{C_s \cdot D^\omega}{B^{0,2} \cdot t^{0,5}} \text{ mm/h}, \dots\dots\dots (115)$$

kus D on freesi läbimõõt mm, B — freesimise laius mm.

C_s ja ω suurused on toodud tabelis nr. 36.

Sama valemit võib kasutada ka otsfreeside puhul.

Ketasfreeside kasutamise puhul arvestatakse Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi andmeil ettenihet järgmiselt:

$$s_z = \frac{C_s \cdot D^{0,8}}{B^{0,2} \cdot t^{0,5} \cdot z^{0,5}} \text{ mm/h}. \dots\dots\dots (116)$$

Toodud valemite abil arvutatud ettenihkeid tuleb võtta keskmistena, millest võivad kõrvalekaldumised esineda nii ühele

kui ka teisele poole, olenevalt tegelikest freesimise tingimustest. Tuleb märkida, et praegu töötatakse meil sagedasti liiga väikeste ettenihetega, mille suurendamine on võimalik sageli kuni 10 korda.

Tabel nr. 36

Töödeldav materjal				Silindril. frees		Ketasfrees
				C_s	ω	C_s
Hall malm	H_B	150 kg/mm ²		0,0485	0,8	0,123
"	"	150—180	"	0,0325	0,8	0,082
"	"	180—220	"	0,0225	0,8	0,0574
Tempermalm	H_B	100—140 kg/mm ²		0,0154	1,0	0,1000
"	"	140—180	"	0,0110	1,0	0,074
"	"	180—200	"	0,0077	1,0	0,051
Cr-teras	σ_t	30—40 kg/mm ²		0,0130	1,0	0,087
"	"	40—50	"	0,0110	1,0	0,074
"	"	50—60	"	0,0100	1,0	0,067
"	"	60—70	"	0,0086	1,0	0,0576
"	"	70—80	"	0,0078	1,0	0,0528
"	"	80—90	"	0,0070	1,0	0,0469
Cr-Ni-teras	σ_t	50—60 kg/mm ²		0,0110	1,0	0,0684
"	"	60—70	"	0,0100	1,0	0,0627
"	"	70—80	"	0,0091	1,0	0,0570
"	"	80—90	"	0,00865	1,0	0,0541
"	"	90—100	"	0,0082	1,0	0,0513
Cr-teras	σ_t	50—60 kg/mm ²		0,011	1,0	0,0684
"	"	60—70	"	0,01	1,0	0,0627
"	"	70—80	"	0,0091	1,0	0,0570
"	"	80—90	"	0,00865	1,0	0,0541
"	"	90—100	"	0,0082	1,0	0,0513
Pronks ja messing				0,013	1,0	0,084
Alumiinium				0,024	1,0	0,084

Freestornile mõjub samaaegselt pöördmoment M ja paindemoment M_p . Nende mõjul tekib freestornis liitpinge, mis võib teda läbi painutada. Kui vaadelda freestorni kui kahest otsast kinnitatud kandjat, mis on koormatud keskkohalt koondatud

koormaga, siis saame maksimaalse freestorni tangentsiaalselt mõjuva tungi suuruseks, lähtudes freestorni tugevusest,

$$P_t = \frac{0,1 \cdot \sigma_{lub} \cdot d^3}{\sqrt{(0,125 \cdot L)^2 + 0,75 (0,5 \cdot \alpha_0 \cdot D)^2}} \text{ kg, } \dots (117)$$

kus d on freestorni väline läbimõõt, L — freestorni pikkus, D — freesi läbimõõt (kõik mõõdet millimeetrites), α_0 — tegur, mille suurus on $\alpha_0 = \frac{\sigma_{lub}}{1,73 \tau_{lub}}$, σ_{lub} — freestorni materjali lubatud paindepinge kg/mm^2 , τ_{lub} — freestorni materjali lubatud väändepinge kg/mm^2 .

Freestorni lubatavast läbipaindumisest lähtudes võib olla maksimaalseks tangentsiaaltungi suuruseks

$$P_F = \frac{4 \cdot E \cdot F \cdot d^4}{L^3} \text{ kg, } \dots (118)$$

kus E on freestorni materjali elastsuse moodul kg/mm^2 , F — maksimaalne lubatav freestorni läbipaindumine mm. F suuruseks võib võtta koorimisel 0,15 mm ja silumisel 0,05 mm.

Freestorni tugevuse või jäikuse poolt lubatav maksimaalne ettenihke arvutatakse järgneva valemi abil:

$$s_z = \sqrt[x]{\frac{P \cdot D^p}{C_p \cdot t^y \cdot B \cdot z}}, \dots (119)$$

kus D on freesi läbimõõt mm, B — freesimise laius mm, C_p , p , x ja y leiame tabelist nr. 33.

Freesi ökonoomiline püsivus, mis on lõikekiiruse määramise aluseks, on ligikaudselt $T_{\delta k} = 4,5 \cdot D$. Viimast suurust võib võtta arvutuse aluseks siis, kui ei ole teisi freesi püsivuse valiku aluseid antud.

Näide. On tarvis määrata absoluutne lõikerežiim eseme freesimisel, mille materjaliks on süsinikteras tõmbetugevusega 55 kg/mm^2 , freesitav pind on $100 \times 5500 \text{ mm}$, töötlemisvaru — 6 mm. Freesimine teostatakse silindrilise freesiga, mille $D = 100 \text{ mm}$, laius 150 mm ja hammaste arv $z = 16$. Kasutava freestorni läbimõõt on 40 mm ja tema kandekaugus 200 mm.

Eespool toodud reeglite kohaselt määrame kõigepealt freesimise laiuse ja sügavuse, siis ettenihke ja lõpuks lõikekiiruse.

Antud freesitava pinna laiuse ja freesi laiuse juures on otstarbekohane võtta freesimise laiuseks 100 mm.

Kuna ei ole antud mingisugust vihjet pinna sileduse kohta, siis tuleb oletada, et võime piirduda ainult koorimise laastuga. Freesimise sügavuseks on sel juhul 6 mm.

Järgmisena määrame ettenihke. Keskmise tehnoloogiliselt lubatava ettenihke saame, kasutades valemit (115).

$$s_z = \frac{C_s \cdot D}{B^{0,2} \cdot t^{0,5}} = \frac{0,01 \cdot 100}{100^{0,2} \cdot 6^{0,5}} = \frac{0,01 \cdot 100}{6,15} = 0,16 \text{ mm/h}$$

$$\begin{array}{rcl} 0,2 \log 100 & = & 0,2 \quad 2 \quad = \quad 0,4 \\ 0,5 \log 6 & = & 0,5 \quad 0,773 \quad = \quad 0,389 \end{array}$$

$$\begin{array}{r} 0,789 \\ \log 6,15 \end{array}$$

Järgmisena määrame lõikekiiruse.

$$v = \frac{C_v \cdot D^{0,3}}{s_z^{0,5} \cdot t^{0,38} \cdot B^{0,22}} = \frac{9,9 \cdot 100^{0,3}}{0,16^{0,5} \cdot 6^{0,38} \cdot 100^{0,22}} = 18,0 \text{ m/min}$$

$$\begin{array}{rcl} \log 9,9 & = & \\ 0,3 \log 100 & = & 0,3 \quad 2,000 \quad = \quad 0,996 \\ & & & = \quad 0,6000 \\ & & & \underline{1,596} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} 0,5 \log 0,16 & = & 0,5 \cdot 1,204 \quad = \quad 1,602 \\ 0,38 \log 6 & = & 0,38 \cdot 0,778 \quad = \quad 0,296 \\ 0,22 \log 100 & = & 0,22 \cdot 2,000 \quad = \quad 0,440 \\ & & & \underline{0,338} \end{array}$$

$$1,258 = \log 18,0$$

Arvutatud lõikekiirus on õige siis, kui freesi püsivuseks on 180 min. Meie juhul saame ökonoomse freesi püsivusena

$$T_{vk} = 4,5 \cdot D = 4,5 \cdot 100 = 450 \text{ min.}$$

Ümber arvutades saame

$$v_{vk} = v_{180} \left(\frac{180}{T_{vk}} \right)^{0,33} = 18,0 \left(\frac{180}{450} \right)^{0,33} = 13,3 \text{ m/min.}$$

Nüüd kontrollime veel saadud ettenihet freestorni tugevuse ja läbipaindumise seisukohalt.

$$P_t = \frac{0,1 \cdot \sigma_p \cdot d^3}{\sqrt{(0,125 \cdot L)^2 + 0,75 (0,5 \cdot \alpha_0 \cdot D)^2}} =$$

$$= \frac{0,1 \cdot 10 \cdot 0,40^3}{\sqrt{(0,125 \cdot 200)^2 + 0,75 \cdot (0,5 \cdot 0,73 \cdot 100)^2}} = 1600 \text{ kg};$$

$$P_F = \frac{4 \cdot E \cdot F \cdot d^4}{L^3} = \frac{4 \cdot 21\,000 \cdot 0,15 \cdot 40^4}{200^3} = 4032 \text{ kg}.$$

Väiksema tungi järgi arvutame freestorni poolt lubatava ettenihke.

$$s_z = \sqrt[0,69]{\frac{P \cdot D^2}{C_p \cdot t^y \cdot B \cdot z}} = \sqrt[0,69]{\frac{1600 \cdot 100^{0,845}}{54,8 \cdot 6^{0,845} \cdot 100 \cdot 16}} = 0,094 \text{ mm/h}$$

$\log 1600 =$	$= 3,204$
$0,845 \cdot \log 100 = 0,845 \cdot 2,000$	$= 1,690$
	$4,894$
$\log 54,8 =$	$= 1,738$
$0,845 \log 6 = 0,845 \cdot 0,788$	$= 0,658$
$\log 100 =$	$= 2,000$
$\log 16 =$	$= 1,204$
	$5,601$
	$- 0,707$

$$\frac{-0,707}{0,69} = -1,025 = 2,975 = \log 0,094$$

Freestorni poolt lubatav ettenihke on veidi väiksem tehnoloogiliselt lubatavast ettenihkest, järelikult tuleb kasutada viimast ettenihet.

Kokkuvõttes võime optimaalse lõikerežiimi valiku juures kinni pidada järgmisest elementide valiku korrast:

1) võetakse maksimaalne freesimise laius, mille määravad ette kas freesitava pinna laius või freesimise laius,

2) määratakse maksimaalne freesimise sügavus, mis oleneb töötlemisvarust,

3) määratakse maksimaalne tehnoloogiliselt lubatav ettenihke, olenevalt freesitava pinna puhtusest, freesimise diameetrist ja teistest teguritest,

4) leitakse lõikekiirus freesi püsivuse normi juures 180 minutit,

5) leitakse ökonoomiline freesi püsivuse norm,

6) arvutatakse lõikekiirus vastavalt uuele püsivuse normile ümber,

7) kontrollitakse ettenihet freestorni tugevuse ja läbipaindumise seisukohalt.

Järgneb pingi kontroll, kas antud lõikekiirust on võimalik pingil rakendada. Sama tuleb teha ka ettenihke suhtes.

XII. FREESIDE KONSTRUKTSIOON.

Harilikkude hammastega freesid.

Harilikkude hammastega freesid moodustavad suurema rühma nii otstarbelt kui ka tüüpide mitmekesisiduselt. Kõigil neil aga on terve rida ühiseid konstruktiivseid elemente ja nimelt freesi läbimõõt, augu läbimõõt, kiilunuudi mõõted, hammaste arv ja samm, hamba ja hambavahe nurgad, hambakuju jne., mida tuleb freesi valikul arvestada.

Freesi läbimõõt on üheks tähtsamaks freesimise protsessi mõjutavaks teguriks. Suurem freesi läbimõõt soodustab soojuse ärajuhtimist, kuna laastu paksus seejuures väheneb, freesi kokkupuutepind materjaliga aga suureneb. Lõiketung P_z on suure läbimõõduga freesi juures väiksem kui väikese läbimõõdu juures. Suure läbimõõduga freesi on konstruktiivselt kergem vormistada, suurema hammaste arvu tõttu on iga üksiku hamba kulumine väiksem. Suur freesi läbimõõt võimaldab teha ka freesi augu suurema, mis kaudselt suurendab ka freesi produktiivsust, kuna ta lubab kasutada mehaaniliselt tugevamaid freestorne.

Loeteldud paremuste kõrval on aga suurel freesi läbimõõdul ka rida halbusi. Freesi läbimõõdu suurenemisega suureneb ka tööks vajalik pöördmoment ja koos sellega ka energiakulu. Pikeneb tööaeg, kuna hammaste arv suureneb aeglasemalt kui freesi läbimõõt, järelikult ka ettenihke tiiru kohta suureneb aeglasemalt. Lõpuks on suure läbimõõduga frees kallim.

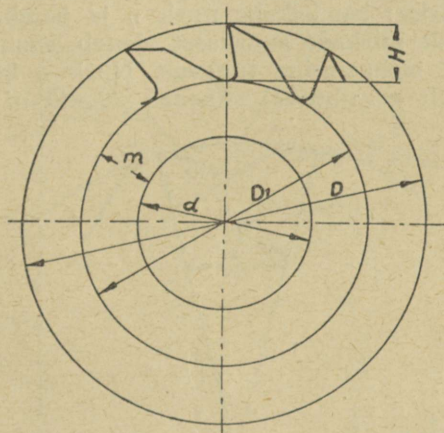
Freesi läbimõõt koosneb augu läbimõõdust, kahekordsest freesikeha paksusest ja kahekordsest hambakõrgusest (joon. 72).

Läbimõõdu määramiseks arvutatakse esmalt augu suurus, siis hamba kõrgus. Freesi rummu ei arvutata, vaid ta võetakse 1,6—2,5 augu läbimõõdust. Praktikas kasutatakse veel igivana

reegli: freesi läbimõõt olgu kümme korda suurem kui maksimaalne freesimise sügavus.

Freesi augu läbimõõtu saab määrata siis, kui on teada tungid, mis freesile mõjuvad, Selleks kasutame eespool käsitledud freestorni mehaanilise tugevuse arvutamiseks antud valemeid.

Tavaliselt arvutatakse seda harva, peamiselt keeruka konstruktsiooniga freeside valmistamisel. Normaalselt kasutatakse praktiliselt väljakujunenud vahekordi augu ja freesi läbimõõ-



Joon. 72.

tude vahel. Nii soovitatakse kinni pidada järgnevatest arvudest:

freesi läbimõõt	40	50	60	75	90	110	130	mm
augu „	16	22	27	32	40	50	60	mm

Kõige levinumaks freesi freestornile kinnitamise viisiks on kiilühend. Pikikiilu suurused ja kiilunuudi mõõted on standarditud (OST 1489).

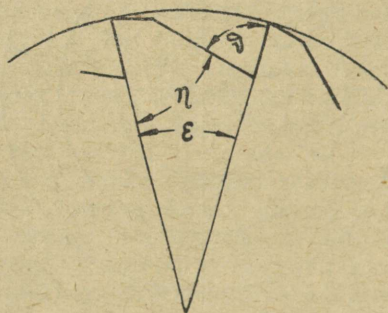
Freesi hammaste arv on seotud hambasammuga. Hambasammuks nimetatakse ühe hamba kaugust teisest freesi välisümbermõõdul mõõdetuna.

Hammaste arv mõjutab laastu paksust. Suure hammaste arvuga frees võtab õhemat laastu, mistõttu metalli deformatsioon laastus on suurem ja energiakulu samuti suurem. Koorimistöö-

del on otstarbekohane kasutada väikese hammaste arvuga freese, kuna need töötavad ökonoomsemalt. Suur hammas võimaldab ka suurema arvu teritamisi, samuti nende valmistamisprotsess on lühem.

Suure hammaste arvuga freese on otstarbekohane kasutada ainult silumistöodel, kus nad annavad puhtama ja siledama pinna. Tuleb püüda alati selle poole, et freesimisel oleks materjaliga kontaktis mitte vähem kui kaks hammast.

Freeside juures tuleb peale lõikeserva nurkade veel eritella kaks tähtsat nurka: hambakeha nurk η ja hambavahe nurk ϑ (joon. 73). Nende nurkade suurusest oleneb laastu paigutamise ruum ja hamba mehaaniline tugevus. Nurk η kõigub $47-50^\circ$ piirides ja ainult erijuhtudel väheneb $30-40^\circ$ -ni (otsfreesid).



Joon. 73.

Hambavahe nurk ϑ on enamiku freeside juures võrdne lõikenurgaga. Nurgad η ja ϑ on teineteisega tihedalt seotud, mis väljendub valemis

$$\eta = \delta - \varepsilon, \quad \varepsilon = \frac{360^\circ}{z},$$

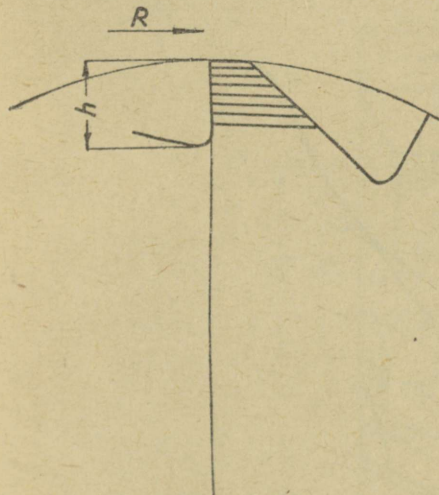
kus ε on hambasammule vastav kesknurk.

Hambakuju peab garanteerima hamba tugevust, küllaldast ruumi kahe hamba vahel laastu paigutamiseks, head laastu ärajuhtimist, võimaldama küllaldast arvu teritamisi ja vältima pragude tekkimist termilisel töötlemisel.

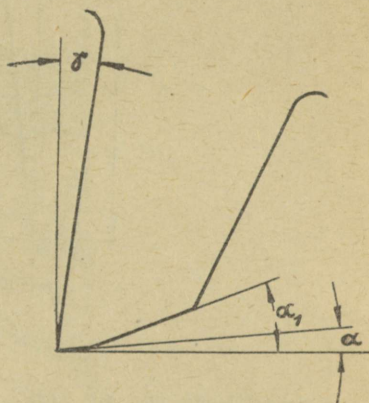
Harilikkude hammastega freesidel on levinumaks hambakujuks trapets. Selliste hammaste teritamine toimub silindriliselt, välisümberrõõdul (joon. 74). Toodud hambakujul on

rida halbusi, mistõttu teda kasutatakse ainult peente hammaste puhul. Paremate tulemustega töötab Euroopas tarvitatav joon. 75 näidatud kuju. Ta võimaldab palju suuremat arvu teritamisi ja tema valmistamine on küllalt odav. Ameerikas on tarvitusel veel joon. 76 näidatud hambakuju, mille tagatahk on paraboolne pind.

Sirgete hammastega freese kui vananenud tüüpi kasutatakse praegu vähe ja neid tõrjuvad järjest suuremal määral



Joon. 74.



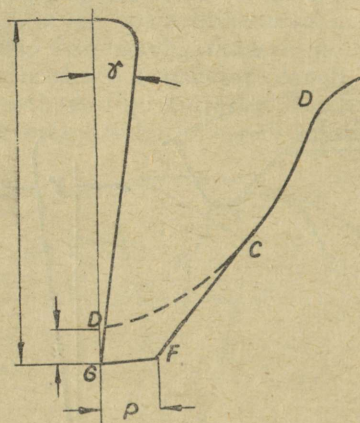
Joon. 75.

kõrvale spiraalhammastega freesid. Põhjuseks võib selle juures lugeda seda, et spiraalhammastega freesid võimaldavad töötada peaaegu ilma löiketungi lainetaolise muutumiseta, mis parandab tunduvalt töö kvaliteeti. Peale selle võib märkida rea paremusi spiraalhammastega freeside tarvitamisel: laast juhatakse kõrvale ega satu järgneva hamba alla, mis pikendab freesi eluiga; kuna spiraalhammastega freesi puhul võtab korraga laastu suur arv hambaid, siis võib üldist hammaste arvu vähendada. See võimaldab teha hambad suurematena ja laasturuumi avaramana. Spiraalhamba halbastest on tähtsamaks telgtungi tekkimine, mis vajab enese kompenseerimiseks lisaseadmeid. Peale selle on spiraalhammaste pu-

hul laastu hõõrdumine vastu töödeldud pinda võrdlemisi suur.

Spiraalhammastega freese võib jaotada kolme rühma: 1) väikeste hammastega freesid, 2) suurte hammastega freesid ja 3) blokeeritud freesid.

Väikeste hammastega freesid leiavad kasutamist peamiselt kergete ja silumistööde juures. Spiraali kallakuse nurk



Joon. 76.

on harilikult $15-20^\circ$. Hammaste arv valitakse järgmise valemi järgi:

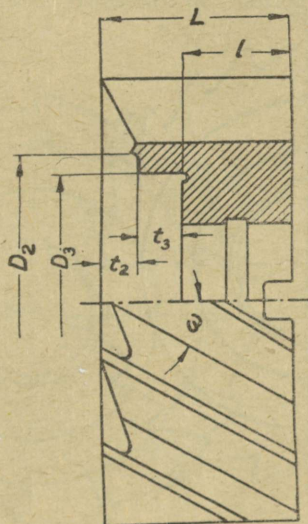
$$z = 2\sqrt{D} \dots \dots \dots (120)$$

Freesi hambakeha nurk η tehakse $47-50^\circ$ piirides ja teda mõõdetakse risti spiraalsoonle. Hambavahe nurk on võrdne $65-80^\circ$ -ga, olenevalt freesi läbimõõdust ja hammaste arvust. Hamba kõrgus on tavaliselt $0,5-0,6$ hambasammu. Esinurk on tavaliselt väike, harilikult 5° , kuna tema suurendamine võib toimuda hamba kõrguse või kehanurga arvel, mis aga nõrgestab hammast. Seadenurk on $4-5^\circ$ piirides.

Suure hambaga freesidel on spiraalsoonle kallakusnurk ω suurem ja hammaste arv väiksem kui väikeste hammastega freesidel. Neid freese kasutatakse raskemate tööde juures. Nurk ω valitakse $30-45^\circ$ piirides. Hammaste arvu määramiseks

võib kasutada valemit $z = 1,05 \sqrt{D}$ 30°-lise spiraalsoone kalakuse nurga puhul ja $z = 0,8 \sqrt{D}$, $\omega = 45^\circ$ puhul. Hambakeha nurk η soovitatakse võtta mitte alla 50° , hambavahe nurk ϑ $55\text{--}60^\circ$, hamba kõrgus $0,3\text{--}0,4$ hambasammust.

Nende freeside hambaprofiil on paraboolne või murdjooneline. Need freesid on määratud suure metallikihi maha võtmiseks, mistõttu nad omavad võrdlemisi suurt esinurka ($10\text{--}12^\circ$), mõõdetuna risti spiraalsoonele.



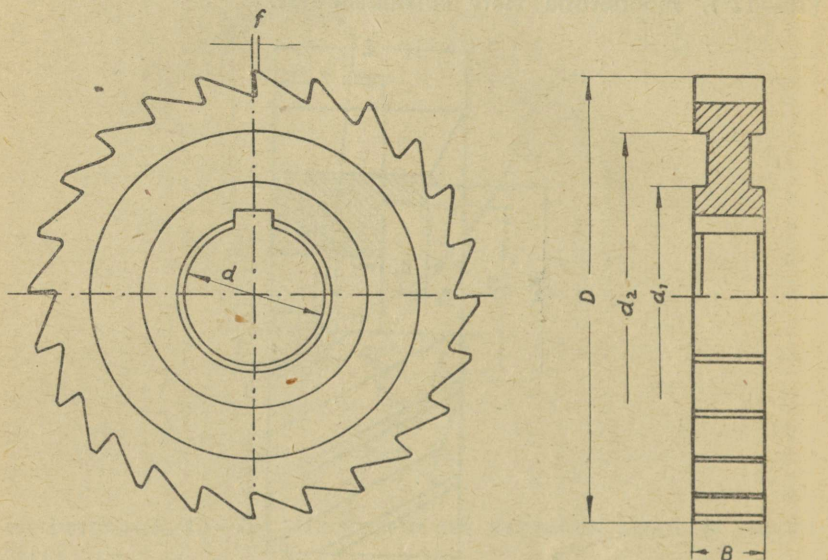
Joon. 77.

Blokeeritud freeside iseäralduseks on see, et nad koosnevad kahest kokkupandud freesist, kusjuures ühel on spiraal vasakpoolne, kuna teisel — parempoolne, mis kaotab freesi misel tekkiva telgtungi mõju. Tänu viimasele asjaolule on võimalik ω võtta võrdlemisi suur, ja nimelt $45\text{--}60^\circ$. Blokeeritud freesid töötavad väga sujuvalt ja on väga produktiivsed, võimaldades suurt löikesügavust ja ettenihet. Freesi hammaste arvu määramiseks võib kasutada valemit: $z = 0,52 \sqrt{D}$.

Hamba kõrgus võetakse $0,15\text{--}0,25$ hambasammust. Hamba profiil tehakse ainult kõverjooneline, mis garanteerib suurt hambatugevust. Esinurk on tavaliselt $10\text{--}12^\circ$ ja seadenurk

3—5°. Freeside üksteisega ühendamise otstarbel on mõlemal freesipoolel vastavad otsad tehtud hambuliseks.

Aksiaalsetel otsfreesidel on hambad nii silindrilisel pinnal kui ka ühel otsal (joon. 77). Nendega freesitakse korraga kahte teineteisega risti asuvat pinda, mistõttu kinnitus toimub ainult ühelt poolt. Spiraalhammaste kallakuse nurk on 15—20°, mis on tingitud freesi otsal olevatest hammastest, mis ei luba kasutada suuremat kallakuse nurka.

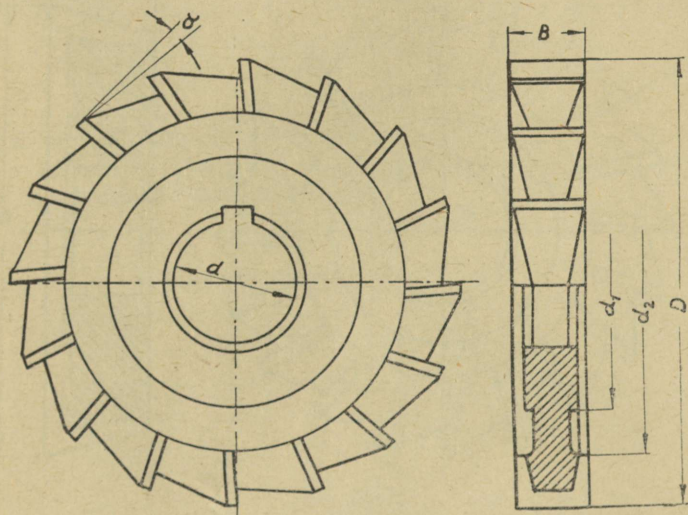


Joon. 78.

Ka aksiaalsed otsfreesid võivad olla väikese ja suure hambaga. Esinurk on väikese hambaga freesidel 5° ja suure hambaga freesidel 10°. Esinurk tehakse mõlemat tüüpi freesidel ühesugune: silindrilisel pinnal asuvatel hammastel 5° ja otsal olevatel hammastel 3°. Hammaste arv valitakse väikeste hammastega freesidel valemi abil $z = 2\sqrt{D}$, ja suurte hammastega freesidel valemi järgi $z = 1,2\sqrt{D}$. Hambakeha nurk η on mõlemal tüübil 47—50°, kusjuures suurehambulistel freesidel valitakse ülemine piir. Otsahammaste keha nurk on harilikult 60° väikeste hammaste puhul ja 30—35° suurte hammaste pu-

hul. Hammaste kõrgus nii silindrilisel kui ka otsapinnal võetakse peente hammaste puhul nii otsapinnal kui ka silindrilisel pinnal asuvatel hammastel 0,5—0,6 hambasammust; kuna suurte hammaste puhul on see 0,3—0,4 hambasammust. Hambakuju tehakse samasugune nagu teiste harilike hammastega freesidel.

Nuudifreesid võivad olla lihtsad või kolmeküljelised (joon. 78 ja 79). Peamiselt on kasutamisel kolmeküljelised freesid. Kolmeküljelistel freesidel on hambad nii ümbermöödul

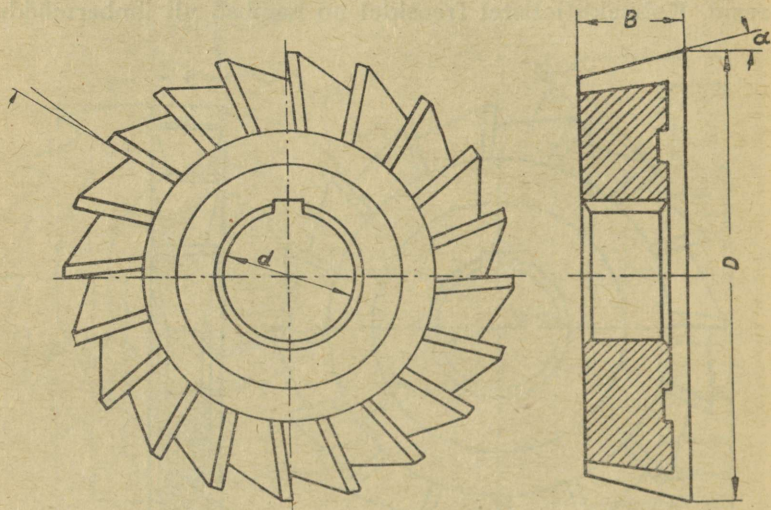


Joon. 79.

kui ka külgedel. Neid kasutatakse nii soonte kui ka tasapindade freesimiseks. Selliste freeside paksus kõigub 6—16 mm vahel. Hammaste arvu soovitatakse võtta valemi järgi $z = 2\sqrt{D}$. Hambakeha nurk on harilikult 47—50°, hambavahe nurk silindrilisel pinnal 75—65°, külgedel 75—80°. Hamba kõrgus silindrilisel pinnal tehakse 0,4—0,5 hambasammust ja külgedel 0,15—0,25 hambasammust. Esinurk tehakse kuni 5° ainult silindrilisel pinnal, kuna külgedel seda ei luba hamba küllaldase tugevuse nõue.

Võrdlemisi tähtsa rühma moodustavad nurkfreesid (joon. 80). Nende freeside kasutusala on mitmesuguste töö-

riistade soonte freesimine, nende hulgas ka freesidel enestel. Neid freese valmistatakse nurkadele $18-90^\circ$ üga 5° järel. Hammaste arv võetakse küllalt suur, kuna tavaliselt on freesimisil tarvis saada siledat pinda. Hammaste arv määratakse valemiga $z = (2,8-2,5) \sqrt{D}$. Seade- ja esinurgad on 5° . Konstruktiivselt nad ei erine teistest tavalise hambaga freesidest ja nende konstrueerimine ei tee raskusi.



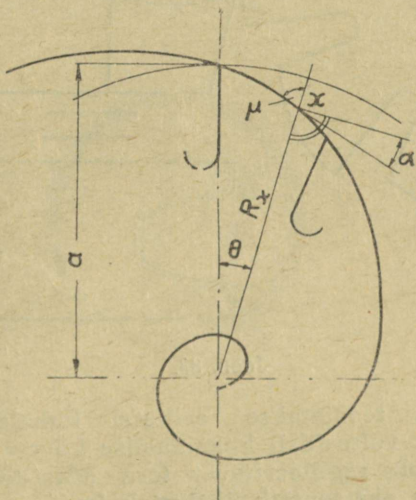
Joon. 80.

Kukaldatud hammastega freesid.

Kukaldatud hammastega freesid leiavad kasutamist peamiselt profileeritud pindade freesimisel. Nende hammaste iseäralduseks on see, et nad hoiavad õige teritamise juures alal õige pinnaprofiili kuni nende lõpliku äraikulumiseni.

Joonisel 81 on toodud võrdlevalt hariliku ja kukaldatud hamba kujud. Hariliku hamba teritamisel väheneb laastu ruum hammaste vahel iga teritamisega ikka rohkem ja rohkem, mis halvendab freesi töötamise tingimusi. Kukaldatud freesidel aga laasturuum suureneb iga teritamisega. Kukaldatud freese on võimalik suurema arvu kordi teritada. Nende pare-

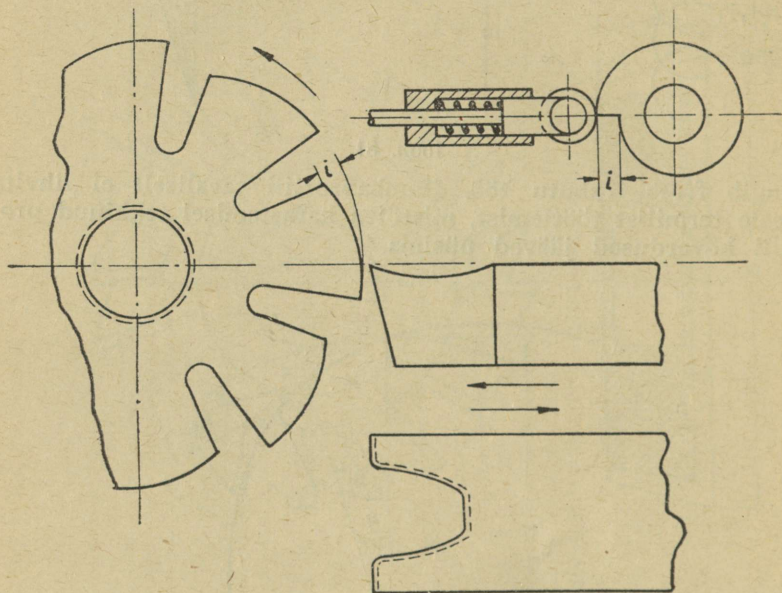
tingib freesi rahutu töö. Hambaprofiili tavaliselt ei lihvita peale termilist töötlemist, mistõttu karastamisel tekkinud profiili kõverdused jäävad püsima.



Kukaldatud hammast võib vaadelda kui üksikutest õhukestest plaadikestest koosnevat keha (joon. 81). Iga teritamisega kõrvaldub üks plaadike. Et rea teritamiste järel hammas annaks töödeldavale pinnale õige profiili, peab kukalda-

mine olema teostatud sellise kõvera järgi, millel puutuja ja raadiusvektori vaheline nurk oleks püsiv või muutuks äärmiselt vähe (nurk α joon. 82).

Selliste kõveratena tulevad kõne alla ainult logaritmiline ja Archimedese spiraalid. Kuna logaritmilise spiraali järgi profiili märkimine ja väljatöötamine on palju raskem, kui Archimedese spiraali järgi, siis teostatakse kukaldamist peamiselt viimasest kõverast lähtudes.



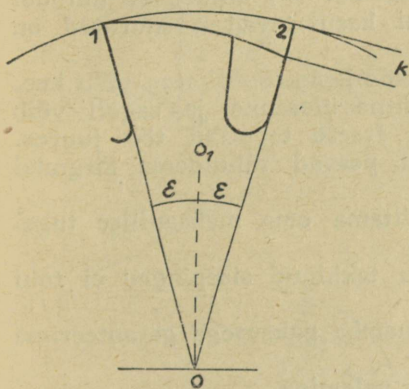
Joon. 83.

Kukaldamist teostatakse erilistel kukaldamis-treipinkidel, mille suuport võimaldab kukaldamise kõvera järgi ehitatud ekstsentriku poolt reguleeritavat tera edasi-tagasi liikumist (joon. 83). Sama ekstsentrik ühtlustab ka freesi ringliikumist ja tera edasi-tagasi liikumist. Tera tagasimineku peab toimuma momendil, mil ta asub hambavahe kohal.

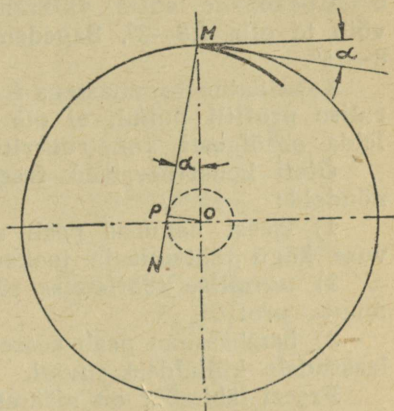
Ekstsentrikut iseloomustab kukaldamise suurus k (joon. 84). Tema suuruse määramiseks kasutatakse valemit

$$k = \frac{\pi \cdot D \cdot \operatorname{tg} \alpha}{z} \dots \dots \dots (121)$$

Ligikaudse kukaldamise kõvera ehitamine toimub kaare abil, millel on freesi enese raadius, kuna selline kaar vähe erineb teoreetilise kukaldamiskõvera kujust. Punktist M (joon. 85) freesi esitahul joonestatakse sirge MN . Freesi raadiuse ja püstitatud sirge vaheline nurk peab olema võrdne freesi seadenurgaga. Freesi keskpunktist O püstitatakse rist-sirge sirgele MN . Nende ristumisel saadud punkt P on kukaldamiskõvera keskpunkt ja kaar, mille raadius MP on võrdne freesi raadiusega, ongi otsitud kukaldamiskõver. Ringjoon, mis on kujutatud raadiusega OP , on asukohaks ka teiste ham-



Joon. 84.



Joon. 85.

maste kukaldamiskaarte keskpunktidele. Saadud kõvera raadius on veidi suurem teoreetilise kukaldamiskõvera raadiusest.

Seadenurga valik oleneb suurel määral freesi profiilist. Kui profiil on sirgjooneline, siis seadenurk on kindel suurus kogu profiili ulatuses, kuna profiili sirge on paralleelne hambaprofiili teljega. Kuna kukaldatud hammastega freese kasutatakse peamiselt keerulise profiiliga tööde jaoks, siis enamikus on hambaprofiil kõverjooneline. Sellel freesil on seadenurk α nominaalne ainult profiiliosadel, mis on paralleelsed freesi teljega, kõigil teistel profiiliosadel on ta aga väiksem, pealegi seda väiksem, mida väiksem on tema enese (kallaksirged) või tema puutuja (kõverjoonelised profiiliosad) ja hambaprofiili telje vaheline nurk φ . Et eraldada nor-

maalset seadenurka neist peamiselt hambakülgedel asuvatest nurkadest, siis nimetatakse neid külgseadenurkadeks ja märgitakse tähega a_1 . Külgseadenurga a_1 kindlaksmääramiseks võib tarvitada valemit

$$\operatorname{tg} a_1 = \operatorname{tg} a \cdot \sin \varphi. \quad (122)$$

Toodud valem on kasutatav nii logaritmilise kui ka Archimedesese spiraali jaoks. Freesi konstrueerimisel määratakse tavaliselt kindlaks külgseadenurk ja siis juba, lähtudes freesi profiilist, leitakse nurgad φ ja a . Külgseadenurka ei ole otstarbekohane võtta väiksemana kui 4° , ainult erijuhtudel võib ta olla $1,5$ – 2° . Sagedamini kasutatavad a suurused on 8 – 15° .

Kukaldatud hammastega freeside konstrueerimine, eriti keerulise profiili puhul, ei ole lihtne ülesanne ja sageli võib leida ebaõigesti konstrueeritud freese tegeliku töö juures.

Õieti konstrueeritud freesid peavad rahuldama järgmisi nõudeid:

1) freesi hammas peab säilitama oma mehaanilise tugevuse kogu töötamisaja jooksul,

2) termilise töötlemise tõttu tekkinud sisepinged ei tohi muuta profiili,

3) hambasamm peab seoses hamba paksusega garanteerima laastudele küllaldast ruumi.

Freesi läbimõõt on määratav valemiga

$$D = D_1 + 2H, \quad (123)$$

kus D_1 on hambavahede ringi läbimõõt ja H — hamba kõrgus.

D_1 suurus oleneb freesi augu läbimõõdust ja saadakse järgneva valemiga abil:

$$D = (2,0 - 1,6) \cdot d, \quad (124)$$

kusjuures väikestele mõõtudele võetakse suurem tegur.

Hamba kõrguse määramiseks kasutatakse valemit

$$H = h + k + r, \quad (125)$$

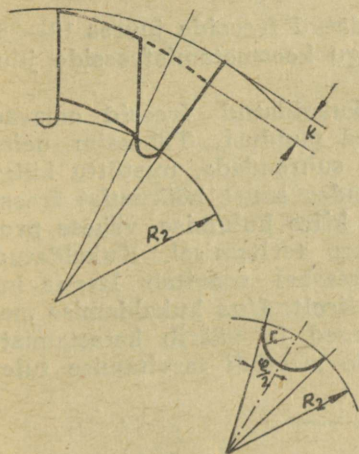
kus h on eseme profiili kõrgus pluss 1 – 3 mm, k on kukaldamise suurus, mille valem on toodud eespool (121), ja r on hambavahe põhja kõveruse raadius.

Kukaldatud freesidel on hambavahe kõveruse raadiusel suur tähtsus. Ta ei ole vajalik mitte ainult pragude vältimiseks

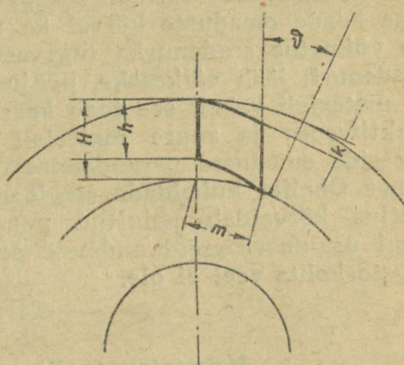
seks termilisel töötlemisel, vaid ka selleks, et garanteerida küllaldast ruumi kukaldamistera väljatulekuks. Raadius r määratakse valemiga

$$r = \frac{l}{2} \doteq 0,017 \cdot \frac{R_2}{2} \cdot \varphi, \dots \dots \dots (126)$$

kus suurused R_2 ja φ on joon. 86 märgitud suurused. Hambavahe põhja ümaruse raadius on tavaliselt 1—5 mm, olenevalt freesi mõõdetest ja tüübist.



Joon. 86.



Joon. 87.

Freesi läbimõõtudena on kasutamisel suurused 45—110 mm vahel, tavaliselt iga 5 mm järel.

Freesi ava läbimõõt valitakse lõiketungi suurusele vastavalt. Praktikas on leidnud kasutamist järgmise ava suurused:

freesidele läbimõõduga kuni	55 mm	ava	Ø	16 mm
"	55—65 mm	"	"	22 mm
"	70—75 mm	"	"	27 mm
"	90—110 mm	"	"	32—40 mm

Hammaste arvu valik on kukaldatud freeside juures eriti tähtis. Hammaste arv peab tagama vajalikku hambalaiust ja samuti ka küllaldast laasturuumi. Hambale küllaldase tugevuse

andmiseks ja küllaldase arvu teritamiste võimaldamiseks võetakse hambalaius m (joon. 87) $(0,8-1,0) \cdot H$. Hammaste arv kukaldatud freesidel väheneb reeglina läbimõõdu suurenemisega, vastandina harilikkuude hammastega freesidele. Orienteeruvalt võib võtta aluseks järgmised hammaste arvud:

läbimõõtudele	45—55 mm	16—14 hammast
„	60—65 mm	12—11 „
„	70—90 mm	10—9 „
„	95—110 mm	8—7 „

Hambavahe nurk kõigub kukaldatud freeside juures $18-25^\circ$ piires ja ainult erijuhtudel, nagu keermetamisfreeside juures, tõuseb $30-45^\circ$ -ni.

Archimedese spiraali järgi kukaldatud freesid omavad oma heade omaduste kõrval ka rea puudusi. Tähtsaim neist on võimatus seadenurka tugevasti suurendada, mistõttu külgsedenurk jääb väikeseks, põhjustades suurt hõõrumist freesi ja materjali vahel, see toob kaasa kiire kulumise, vähese produktiivsuse ja suure materjali kao teritamisel. Kukaldatud freeside omaduste parandamise otstarbel soovitab Itaalia insener Chalier kukaldada sirgjooneliselt. Uus kukaldamise meetlus kõrvaldab mainitud puudused ja väärrib katsetamist. Seni usaldusväärseid andmeid selle meetodi tarvitamise tulemuste kohta veel ei ole.

Vahetatavate hammastega freesid.

Vahetatavate hammastega freesid on levinud eriti viimaste aastate jooksul tänu reale paremustele, võrreldes teiste freesitüüpidega. Nende valmistamine on lihtsam, ekspluatatsioon tuleb odavam, kuna freesi keha valmistatakse odavamast terasest ja teda on võimalik kasutada mitme hambakomplekti jaoks.

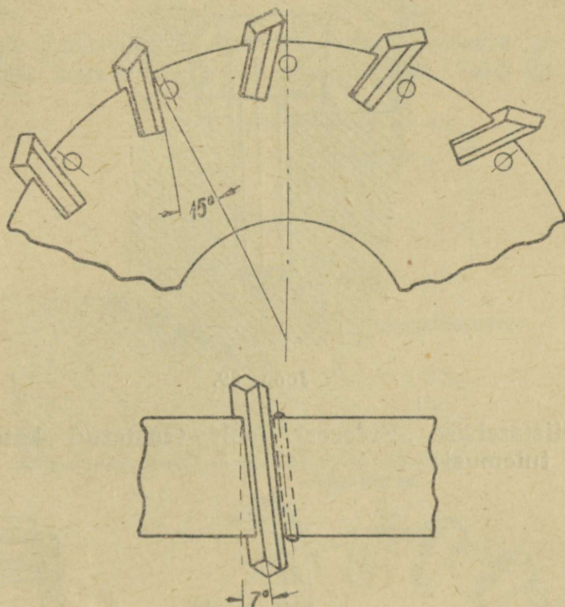
Vahetatavate hammastega freesid valmistatakse peamiselt suurte läbimõõtudega, alates 75—90 mm.

Vahetatavate hammastega freesidest väärivad märkimist ketasfreesid, freespead, silindrilised freesid ja erifreesid.

Vahetatavate hammastega freeside juures on olulise tähtsusega hamba kinnitusviis. Kergemate tööde puhul võivad hambad olla kinnitatud tihvtiga (joon. 88). Selline kinnitusviis vajab täpset pindade sobitamist ja leiab praegu vähe kasu-

tamist. Joon. 89 on toodud hammaste kinnitusviis kiilu ja kruvi abil. Hamba parema kohalpüsimise otstarbel tehakse nii hambakülgpinnad kui ka hambapesa seinad soonelisteks.

Eespool toodud vahetatavate hammastega freesidest on suurima leyiku leidnud freespead. Freespea konstruktsioon on toodud joon. 90. Freespea hammaste arv valitakse empii-



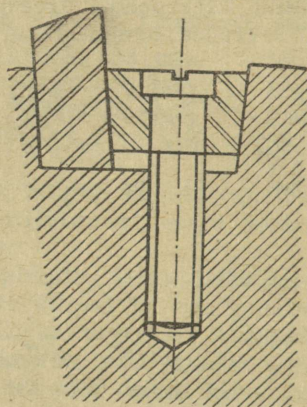
Joon. 88.

riliselt, kusjuures tuleb arvestada minimaalset hambapesade vahekaugust, mida lubab freespea materjal. Normaalselt on freesil läbimõõduga

90 mm	10 hammast
110 mm	12 „
130 mm	14 „
150 mm	16 „
175 mm	18 „ jne.

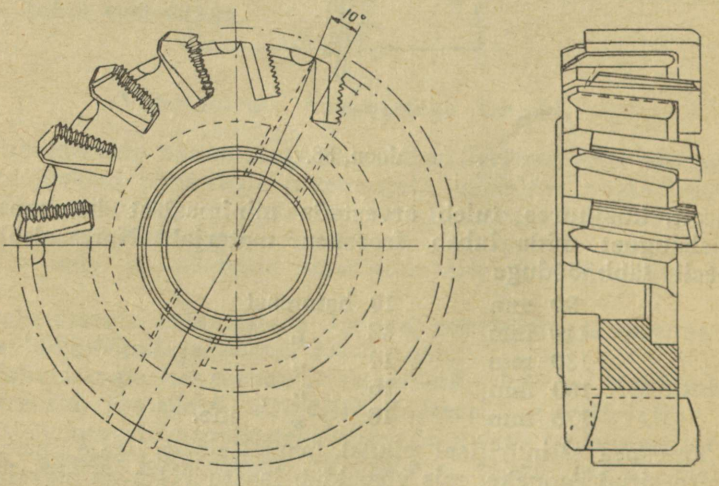
Freespea silindrilisel pinnal, paralleelselt igale hambale, on freesitud sooneke, mis võimaldab laastu võtta ka maksimaalselt ärakulunud teradega.

Joon. 91 on näidatud Ameerika firma Ingersoll'i poolt konstrueeritud freesi hambavorm. Iga hammas on astmeline, kusjuures laastu ei võta mitte hamba freespea silindrilisel pinnal asuvad löikeservad, vaid otspinnal asuvad löikeservad.



Joon. 89.

Tööriistatase „Freaser“ poolt teostatud katsed andsid järgmisi tulemusi:

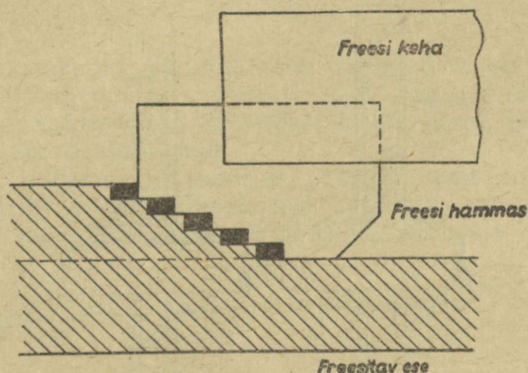


Joon. 90.

- 1) astmete arvu tõusuga tõuseb ka freesi püsivus,
- 2) astmete arvu tõusuga väheneb lõiketung, mis eriti pais-
tab silma väikese ettenihke ja suure lõikesügavuse juures,
seoses sellega väheneb ka vajatav võimsus.

Freessaage võib jagada kolme rühma: 1) freesitud ham-
mastega, 2) vahetatavate hammastega ja 3) vahetatavate hamba-
segmentidega.

Freesitud hammastega saed on laialt levinud ja neid ei
kasutata mitte ainult metallide saagimiseks, vaid ka nuutide



Joon. 91.

Freessaad.

ja pilude lõikamiseks. OST 3602 järgi valmistatakse neid
läbimõõdudega 60, 75, 110, 150 ja 200 mm. Saagide paksus
oleneb peamiselt teostatavast tööst ja sae läbimõõdust ning
kõigub 1—4,5 mm piirides.

Sae hammaste arv oleneb töödeldavast materjalist, sae läbi-
mõõdust, samuti pingi tüübist.

Stalini-nimeline autotehas jagab saed 6 rühma ja soovitab
hammastete arvu määramiseks kasutada alljärgnevaid valemeid.

1. rühm. $z = (1,4—1,8) D$ — kasutatakse pehme terase,
messingi ja alumiiniumi lõikamiseks. Mida pehmem on mater-
jal ja mida laiem on lõige, seda väiksem võib olla hammaste
arv.

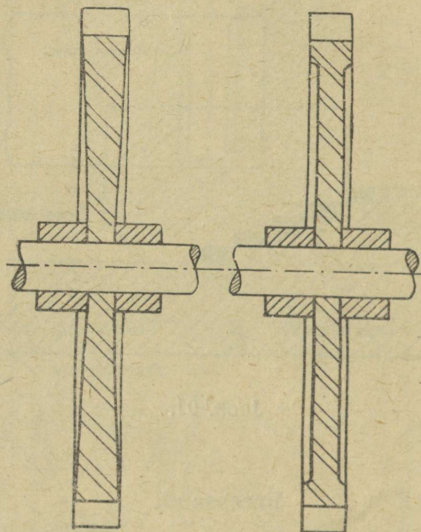
2. rühm. $z = (2-3) D$ — kasutatakse terasest sepi- ja tempermalmi lõikamisel rasketes tingimustes.

3. rühm. $z = (3-4) D$ — kasutatakse valukoorikuga malmivalamite lõikamisel rasketes tingimustes.

4. rühm. $z = (3,2-3,8) D$ — kasutatakse teras- ja malmesemetöötlemisel.

5. rühm. $z = (4-6) D$ — kasutatakse eelmisest rühmast kergemate ja täpsemate tööde juures.

6. rühm. $z = (7-8) D$ — kasutatakse väikeste esemete töötlemisel.

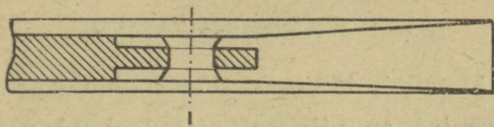


Joon. 92.

Hõõrumise vähendamiseks ja sae töö kergendamiseks tehakse hammaste osa saelehest paksem (joon. 92). OST 3602 järgi peab hambavahenurk olema kõigil saagidel 55° . Hambavahe peab omama ümarust raadiust parema laastujuhtimise võimaldamiseks. Esinurk võetakse olenevalt materjalist $0-8^\circ$, seadenurk on 5° .

Vahetatavate hammastega saage kasutatakse praegu vähe, kuna nad on osutunud halvemateks kui freesitud hammastega saed.

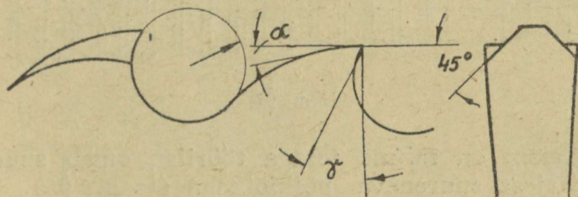
Külgepandavate hambasegmentidega saed on kasutamisel mitmesuguste raskemate tööde juures. Segmentid on varustatud nelja hambaga ja asetatakse sackettale nii, nagu on näidatud joon. 93, ja kinnitatakse kahe neediga.



Joon. 93.

Vastutavamaks konstruktiivseks elemendiks on segmenti-hamba profiil (joon. 94). Profiil peab tagama õiget laastu tekkimist ja ärajuhtimist, küllaldast laasturuumi, hamba tugevust ja soojust ärajuhtimist.

Esimese tingimuse täitmiseks peab hammas omama vajalikku esinurka γ . Nii esinurk kui ka seadenurk α olenevad sae juures töödeldavast materjalist. Järgnevalt on toodud



Joon. 94.

enam kasutatavate materjalide kohta nii esi- kui ka seadenurgad.

Pehme teras	esinurk	22—25°,	seadenurk	7—9°
Keskmine teras	„	20—22°,	„	6—8°
Kõva teras	„	15—18°,	„	5—7°
Vask	„	25—28°,	„	8—10°
Messing	„	0—8°,	„	5—6°

Hamba kõrgus valitakse 0,3—0,5 hambasammust.

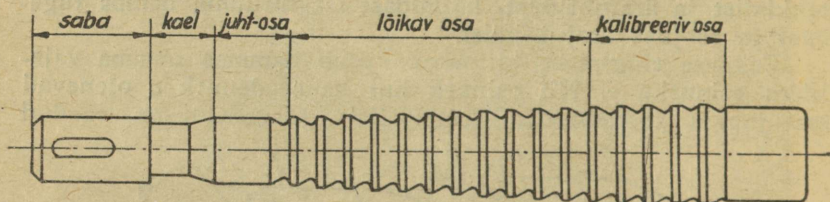
Peale hammastega saagide on tarvitusel ka hammasteta saed, mis lõikavad hõõrumisel tekkiva kõrge temperatuuri abil. Lõigatav materjal sulab, tema osakesed viiakse saelehe

poolt välja, saag aga ise eriti ei soojene, kuna kiire õhuvool teda jahutab. Loomulikult peab lõikekiirus olema küllalt suur, harilikult kuni 120 m/sek.

XIII. KAMMLÕIKAMINE.

Metallide lõikamine lõikekammidega.

Kammlõikamine on viimasel ajal levinud peamiselt see-ria- ja massitoodangu ettevõtetes. Ta asendab profiilhöövel-damist, freesimist ja isegi hõõritsemist. Kammlõikamise prot-ss on väga produktiivne, ületades selles suhtes 8—10-kord-selt isegi freesimise, ja on sellejuures väga täpne.



Joon. 95.

Lõikekamm on mitme teraga tööriist, omab suure hulga hambaid järjest suureneva põiklõikega (joon. 95). Üksikute hammaste profiilid ja mõõted muutuvad järk-järgult selli-selt, et esimene hammas omab esialgse töötlemisele kuuluva pinna piirjooned, viimane hammas aga saadava pinna kuju. Joon. 96 illustreerib lõikekammi töötamisviisi. Nagu sellelt jooniselt näeme, võib lõikekammi tööd võrrelda hõõvliterade tööga, mis on üksteise suhtes üsna pisikese laastu paksuse võrra nihutatud.

Kammlõikamise lõiketung võib kujuneda üsna suureks ja tema järgi tuleb teostada lõikekammi tugevuse arvutust.

Lõiketungi suuruse arvutamiseks kasutatakse valemit

$$P = p \cdot a \cdot b \cdot i \cdot \text{kg}, \dots \dots \dots (127)$$

kus p — lõikamise erisurve kg/mm^2 ,

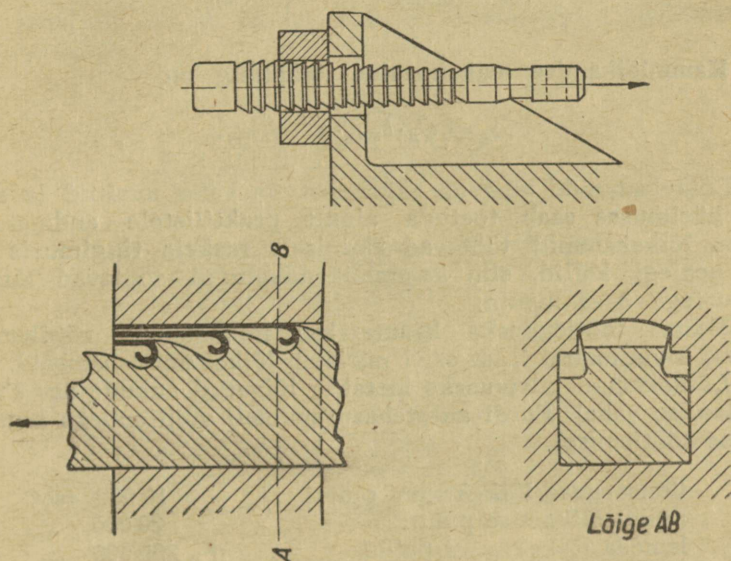
a — laastu paksus mm,

b — laastu laius mm,

i — samaaegselt töötavate hammaste arv.

Et saavutada ühtlast koormatust kogu löikeprotsessi jooksul, on soovitatav töötada suurenevate laastupaksustega vähenevate laastulaiuste juures ja püüda, et

$$i = \frac{l}{s} = \text{täisarv.}$$



Joon. 96.

Lõikamise erisurve väheneb nagu treimiselgi laastu paksuse a suurenemisel, eriti järsult aga siis, kui $a < 0,1$ mm. Laastu paksuse juures alla 0,1 mm võime kirjutada

$$p = \frac{C_p}{s^{0,4}} \text{ kg/mm}^2. \dots \dots \dots (128)$$

C_p suurused on toodud tabelis nr. 37.

Tabel nr. 37

Töödeldav metall	C_p
Süsinikteras	115
Nikkelteras	145
Hall malm	100
Tempermalm	95

Kammlõikamise maksimaalne lõiketung on

$$P_{max} = C_p \cdot b_{max} \cdot s^{0,6} \cdot i \text{ kg.}$$

Lõikekammide püsivuse küsimust on vähe uuritud ja selles küsimuses saab toetuda ainult praktilistele andmetele. Kuna lõikekammid töötavad äärmiselt raskeis tingimuses ja on pealegi kallid, siis kammlõikamispingid töötavad lõikekiirustega 3—5 m/min.

Malmi töötlemiseks kasutatakse lõikekamme võrdlemisi harva, kuna malmi laast eriti nüristab lõikekammi hambaid.

Lõikekammi püsivuseks loetakse lõigatud aukude arv kahe teritamise vahel. Fordi autotehase andmeil võib selleks lugeda terase töötlemisel

ümmarguse lõikekammi puhul	10 000 eset
nuudi lõikamise puhul	20 000 „
lameda lõikekammi puhul	200 000 „

Seejuures tuleb arvestada, et kiirlõiketerasest lõikekamm kannatab kuni 12 teritamist.

Jahutusvedelikuna soovitatakse kasutada õli või suure õlisaldavusega emulsiooni.

Viimased uurimused on näidanud, et lõikekiiruse olenevus valitud lõikekammi püsivusest T ja ettenihkest s on sama seaduspärane nagu treimise juures, ja väljendub üldisel kujul valemis

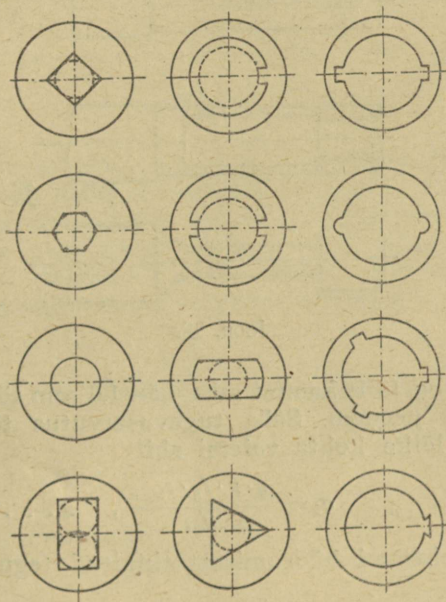
$$v = \frac{C_v}{T^m \cdot s^y} \text{ m/min.} \quad \dots \dots \dots (129)$$

C_v , m ja y suurused on toodud tabelis nr. 38.

Tabel nr. 38

Lõikekammi tüüp	Silindriline	Nuudi	Kiilu
C_v	12	11	5,5
m	0,62	0,6	0,87
y	0,62	0,75	1,4

Joonisel 97 on toodud rida lõikekammidega töödeldavaid auguprofiile.



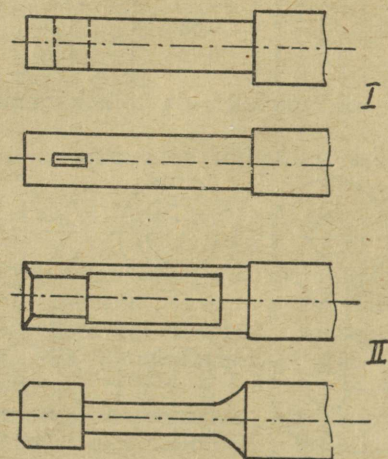
Joon. 97.

Lõikekammi konstruktsioon.

Eespool märkisime, et lõikekamm koosneb sabast, juhtosast, lõikeosast ja kalibreerivast osast.

Lõikekammi saba on tema pinki kinnitamiseks. Kinnitusviis võib olla kahesugune: kiiluga või haardepõskedega. Vastavalt kinnitusviisile on ka saba konstruktsioon (joon. 98 I ja II).

Kiiluga kinnitusviis on vananenud, kuna ta vajab enese teostamiseks ja lahtivõtmiseks palju aega. Teise kinnitusviisi järgi teostub nii kinnitus kui ka lõikekammi vabastamine töö lõpul automaatselt.



Joon. 98.

Harilikult on lõikekammi saba 0,5—1,0 mm töödeldava augu algläbimõõdust peenem. Saba tugevusarvutus tõmbele teostatakse ohtliku lõike kohta valemi abil

$$\sigma_t = \frac{\eta \cdot p \cdot f_h \cdot z_{max}}{F_m}, \quad \dots \dots \dots (130)$$

kus η — lõikekammi hõõrumisest tingitud tegur, normaalselt 1,1—1,3.

p — 1 mm² laastu mahavõtmiseks vajalik tung (erisurve),

f_h — laastu põiklõige mm² ühe hamba kohta,

z_{max} — maksimaalne samaaegselt töötavate hammaste arv,

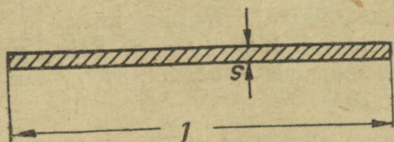
F_m — saba ohtliku lõike pind mm²,

σ_t — saba materjali lubatud tõmbepinge.

Lõikekammi juhtosa konstruktsioon on olenev töödeldava augu esialgsest kujust. Juhtosa pikkus peab olema mitte väiksem augu pikkusest.

Lõikekammi lõikeosa konstruktsioon on olenev augu pikkusest ja töödeldava materjali omadusist.

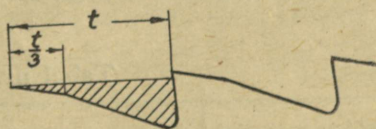
Lõikekammi hambasamm on lenb lõigatava augu pikkusest. Lõikamisel eralduv laast ei saa välja tulla, ta peab leidma ruumi hammaste vahel. Järelikult on lenb hambasamm ühe hamba kohta tulevast laastuhulgast. Laastu keerdumise kuju omab seejuures suurt tähtsust. Sitkete materjalide juures tekib pikk kokkukeeratud laast, mistõttu hambasamm võib olla väiksem, rabedate materjalide juures on see aga vastu-
 pidi.



Joon. 99.

Laastu põiklõikepind on $f = l \cdot s$ (joon. 99). Tuleb arvestada, et laastu maht deformatsiooni tõttu paisub ja vajab enese paigutamiseks rohkem ruumi. Hammastevahelise laastu-ruumi põiklõige peab olema selline, et ta oleks suuteline ära mahutama kogu paisunud laastu. Hambavahe profiili (joon. 100) pindala on väljendatav järgneva valemiga.

$$F = \frac{h \cdot \frac{2}{3} \cdot t}{2} = h \cdot \frac{t}{3} \dots \dots \dots (131)$$



Joon. 100.

Teiselt poolt Mann'i järgi peab võtma

$$F = 8 \cdot l \cdot s,$$

siis

$$8 \cdot l \cdot s = h \cdot \frac{t}{3};$$

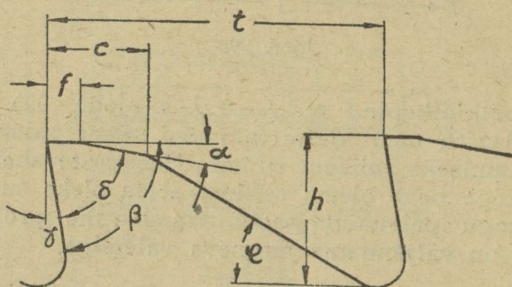
$$t = \frac{24 \cdot l \cdot s}{h} \dots \dots \dots (132)$$

Et täiesti ühesuguse sammuga lõikekammi juures esinevad värisemised, siis tehakse samm vahelduvate gruppide kaupa erinevaks. See erinevus on tavaliselt 0,1—0,5 mm.

Teiseks lõikeosa konstruktsiooni elemendiks on hamba kõrgus. Mida pikem on hambasamm, seda madalam on hammas. Harilikult võetakse ta

$$h = (0,3 - 0,5) \cdot t. \quad \dots \dots \dots (133)$$

Kindla hambasammu ja hamba kõrguse juures on tarvis anda hambale vastavad lõikenurgad. Siin, nagu iga lõiketera juures, on olemas esinurk γ , seadenurk α , teritusnurk β ja lõikenurk δ (joon. 101).



Joon. 101.

Soovitavad esinurga γ ja seadenurga α suurused on toodud tabelis nr. 39.

Tabel nr. 39.

Töödeldav materjal	γ	α
Malm	6—10°	3—4°
Kõva teras	18°	4—7°
Pehme teras	10°	4—7°
Pronks	3°	3—4°

Joon. 101 tähega f märgitud hamba juhtpind on vajalik lõikekammi korralikuks tööks. Tema suurus on Mann'i järgi malmi töötlemisel 0,7—1,2 mm, terase puhul kuni 2,5 mm, vase juures 0,7—1,0 mm.

Joon. 101 näidatud kuklatahk, mis asub nurga α all lõiketasapinnale, on tavaliselt kolmandik hambasammust: $c = \frac{t}{3}$. Väga pika hambasammu juures võib võtta $c = h$, s. o. võrdseks hamba kõrgusega.

Hambavahe põhja ümaruse raadius on harilikult olenev hambasammust: $r = (0,1-0,2) \cdot t$.

Viimaseks lõikekammi lõikeosa konstruksiooni iseloomustavaks elemendiks on tõus, s. o. esimese ja viimase hamba mõõdete erinevus. Harilikult on need mõõted antud esialgse augu ja lõpliku profiili poolt. Lõikekammi valmistamise hõlbustamiseks lähtutakse ümmargusest august. Järk-järguline profiili saamine teostub rea hammaste poolt. Seejuures võib laastu paksus kõikuda 0,01—0,2 mm piirides. Kõvade ja rabedate metallide puhul võetakse suurem laastu paksus, sitkete ja pehmete puhul väiksem. Tuleb kõige selle juures silmas pidada, et lõikekammi pikkus ei ületaks 1 meetrit. Kui pikkus kipub tulema suurem, siis on otstarbekohane kammlõikamist teostada kahe teineteisele järgneva lõikekammiga.

Viimased 4—6 hammast ei ole määratud lõikamiseks, vaid kalibreerimiseks, s. o. augule täpsete mõõdete andmiseks. Kalibreerivate hammaste kõrgus on võrdne viimase lõikava hamba kõrgusega. Nende esinurk on 0—1°, mis tagab suure pinna puhtuse. Seadenurk hoitakse 1—2° piirides.

Lõikekammid valmistatakse heast süsinikterasest, kusjuures suuremate läbimõõtude puhul võivad hambad olla ka külgepandavad paremast materjalist. Lõikekammide valmistamine on pikk ja keerukas töö, mistõttu seda tehakse ka kõiki tegureid arvestades.

XIV. HAMBALÕIKAMISTERADE KONSTRUKTSIOON.

Üldiseloomustus.

Hambalõikamisterad on tarvitusel hammasrataste töötlemisel. Need terad peavad garanteerima hammasrataste hammaste õiget profiili. Need terad on puhtal kujul profiilterad. Praegu kõige rohkem tarvitusel olev hambaprofiil on kujundatud evolvendi järgi. Järelikult ka tema valmistamiseks kasutatav lõike-tera peab olema kujundatud evolvendi järgi või võimaldama lõigata evolvendiga piiratud profiili.

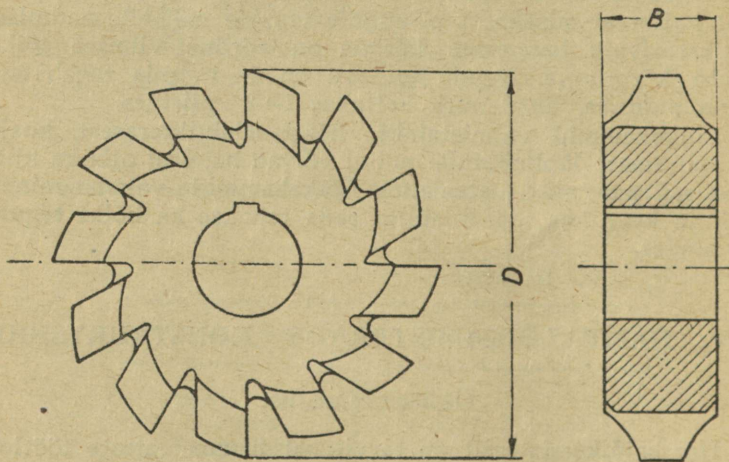
Kõik hambalõikamisterad töötavad kas kopeerimismeetodil või rullumismeetodil.

Kopeerimismeetodi jaoks konstrueeritud lõiketera lõikeserv jälgendab täpselt lõigatava ratta hambavahe profiili. Kopeerimismeetodil töötavatest lõiketeradest väärivad mainimist ketas- ja sõrmfreesid.

Rullumismeetodil töötavate lõiketerade lõikeserva profiil ei lange ühte hambavahe profiiliga. Tera ja lõigatav hammasratas oma ettenihetega kujutavad hambumise kinemaatilise pildi. Rullumismeetod on täpsem ja käepärasem hambalõikamismeetod kui kopeerimine ja seetõttu leiab kasutamist kõigil vastutavatel juhtudel. Rullumismeetodil töötavatest teradest väärivad vaatlemist tigufreesid, Fellow'i hõövlitera, Maag'i hambakamm ja Glisson'i tera.

Ketas- ja sõrmfreesid.

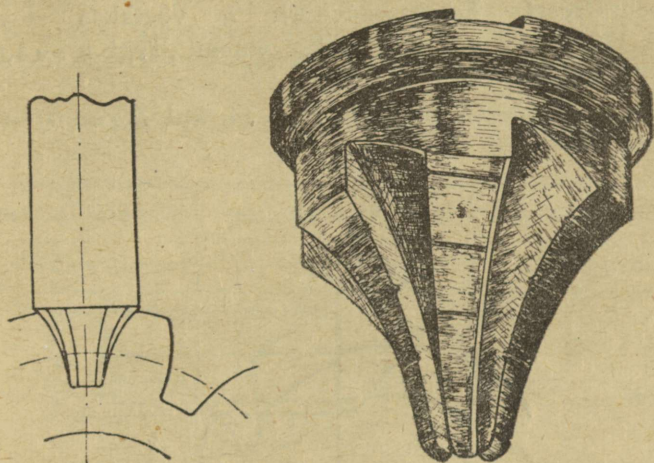
Joonisel 102 on toodud ketasfreesi kujutus. Nad on määratud evolventhammade freesimiseks, mille hambumisnurk α



Joon. 102.

on 20° . Sageli tehakse ketasfreesid profiilis astmelised koormiskäikude jaoks, sel juhul tuleb sileda profiiliga freesiga silumislaast võtta.

Sõrmfreesi kujutis on joonisel 103. Sõrmfrees on väga vana tüüp ja praegu pole enam tarvitusel.



Joon. 103.

Hambalõike-ketasfreesi välise läbimõõdu määramiseks võib kasutada järgnevat valemit:

$$D_H = d + 2 \cdot t + 2 \cdot H, \dots\dots\dots (134)$$

kus d on freesi ava mm, t — freesi keha paksus mm, H — hamba kogu kõrgus mm (joon. 104). Ava läbimõõt d tehakse tavaliselt võrdlemisi väike, kuna pöördmoment freestornil erikinnitusviisi tõttu ei ole suur.

Harilikult võetakse ava läbimõõd järgmiselt:

hamba mooduli juures	$m < 2,75$	$d = 22$ mm
” ” ”	$m = 2,75 — 5,00$	$d = 27$ mm
” ” ”	$m = 5,00 — 10,0$	$d = 32$ mm
” ” ”	$m = 10,00 — \text{üle}$	$d = 40$ mm

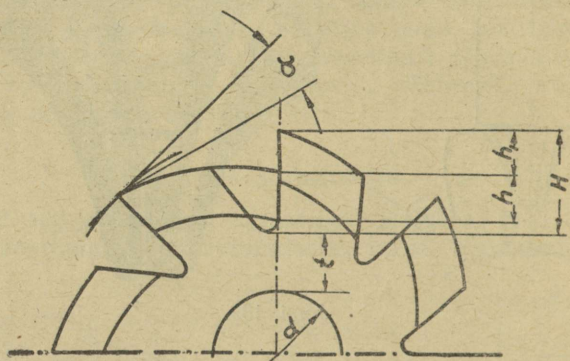
Freesi keha paksus peab olema küllalt suur, et karastamisel ei tekiks pragusid. Paksuse t suurus võetakse tavaliselt 0,4—0,5 ava läbimõõdust.

Hamba kõrgus $H = h_1 + h_2 + h_3 + r$, kus h_1 on kukaldamise suurus, h_2 — profileeritud hambaosa kõrgus, mis on

võrdne eseme profiili kõrgusega pluss 2—4 mm, h_3 — 0,5—1,5 mm, r — hambavahe põhja ümaruse raadius, tavaliselt 0,5—2 mm, olenevalt D_H suurusest.

Moodulfreesi hambaseadenurk α võetakse tavaliselt 10—15°. Hammaste arv määratakse valemi järgi $z = 1,5 \sqrt{D_H}$ või standarditud arv:

kui $D_H = 45$ —55 mm, siis $z = 14$, kui $D_H = 60$ —65 mm, siis $z = 12$.



Joon. 104.

Hammaste profiilid tuleb välja töötada evolvendi järgi. Mida täpsemalt on see tehtud, seda paremad on töötulemused.

Freesi hambaprofiili täpse kuju saamiseks kasutatakse koordinaatide leidmise meetodit.

See meetod seisneb selles, et leitakse rea evolvendi punktide koordinaadid, mille järgi saab hiljem täpselt evolventkõver välja joonestada. Tavaliselt joonestatakse üks kõver teatud hammaste arvu jaoks moodulile 100 ja teiste moodulite puhul vähendatakse koordinaadid, korrutades olemasolevaid uue mooduliga ja jagades sajaga.

Sama mooduli juures saadakse erinevate hammaste arvu jaoks ka erinevad kõverad, kusjuures suurim kõrvalekaldu mine esineb hambatipu juures. Ideaalselt täpse kõvera saamiseks peab joonestama igale hammaste arvule omaette kõvera, sama palju tuleks valmistada ka freese. Tegelikkuses aga kat-

sutakse läbi saada väiksema arvu freesidega, teadlikult lubades ebatäpsusi.

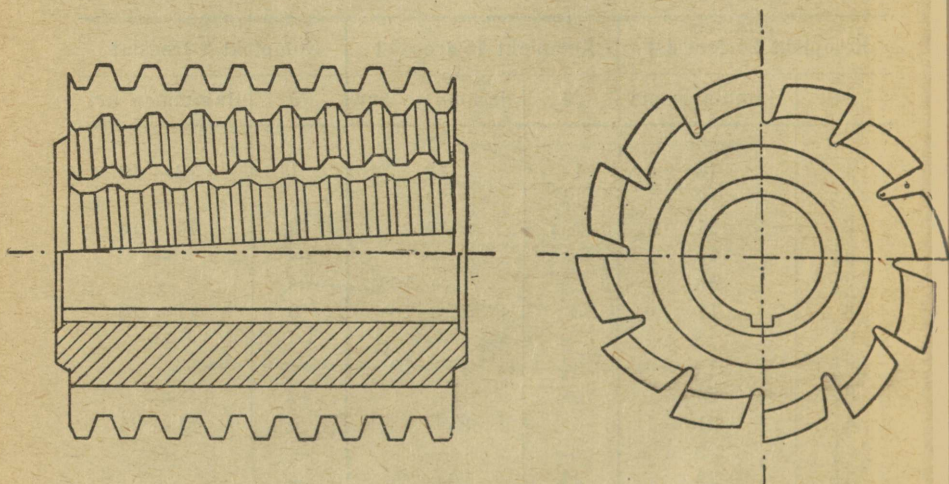
Tarvitusel on freeside komplektid 26, 15 ja 8 freesiga mooduli kohta. Järgnevas tabelis nr. 40 on toodud freeside numbrid ja nendega lõigatavate rataste hammaste arvud.

Tabel nr. 40

Komplekt 26 freesist		Komplekt 15 freesist		Komplekt 8 freesist	
N ^o	Hammaste arv	N ^o	Hammaste arv	N ^o	Hammaste arv
1	12	1	12	1	12— 13
1 $\frac{1}{2}$	13	1 $\frac{1}{2}$	13	—	—
2	14	2	14	2	14— 16
2 $\frac{1}{4}$	15	—	—	—	—
2 $\frac{1}{2}$	16	2 $\frac{1}{2}$	15— 16	—	—
3	17	3	17— 18	3	17— 20
3 $\frac{1}{4}$	18	—	—	—	—
3 $\frac{1}{2}$	19	3 $\frac{1}{2}$	19— 20	—	—
3 $\frac{3}{4}$	20	—	—	—	—
4	21	4	21— 22	4	21— 25
4 $\frac{1}{4}$	22	—	—	—	—
4 $\frac{1}{2}$	23	4 $\frac{1}{2}$	23— 25	—	—
4 $\frac{3}{4}$	24— 25	—	—	—	—
5	26— 27	5	26— 29	5	26— 34
5 $\frac{1}{4}$	28— 29	—	—	—	—
5 $\frac{1}{2}$	30— 31	5 $\frac{1}{2}$	30— 34	—	—
5 $\frac{3}{4}$	32— 34	—	—	—	—
6	35— 37	6	35— 41	6	35— 54
6 $\frac{1}{4}$	38— 41	—	—	—	—
6 $\frac{1}{2}$	42— 46	6 $\frac{1}{2}$	42— 54	—	—
6 $\frac{3}{4}$	47— 54	—	—	—	—
7	55— 65	7	55— 79	7	55—134
7 $\frac{1}{4}$	66— 79	—	—	—	—
7 $\frac{1}{2}$	80—102	7 $\frac{1}{2}$	80—134	—	—
7 $\frac{3}{4}$	103—134	—	—	—	—
8	135	8	135—	8	135—

Rullumismeetodil töötavad terad.

Need terad omavad teiste terade hulgas silmapaistva kohta. Peale hammasrataste valmistamise on neid hakatud viimastel aastatel kasutama ka mitmesuguste teiste profiilidega esemete töötlemisel, nagu hammasvõllid, kandilised võllid jne. Rullumismeetodi selline levimine on tingitud tema märkimisväärsetest paremustest. Need paremused on: suur täpsus profiili saamisel, jagamise täpsus ja suur produktiivsus.



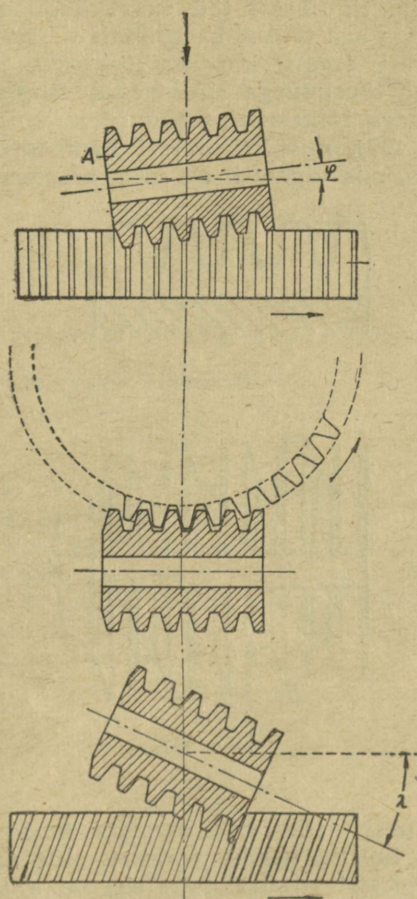
Joon. 105.

Vastandina kopeerimismeetodile erineb rullumismeetodi juures kasutatav tera profiil tugevasti eseme profiilist. Kui kopeerimismeetodi juures jätkus kahest, lõikamis- ja ettenihke-liikumisest tööprotsessi teostamiseks, siis siin lisandub neile veel rullumisliikumine. Kopeerimismeetodil töödeldakse üht hambavahet korraga ja tera peab tulema iga käigu järel oma algasendisse tagasi, rullumismeetodi juures töödeldakse mitut hambavahet korraga lõikamis- ja rullumisliikumise kooskõla tulemusena.

Tigufrees on oma kujult tigukruvi, millel kruvikeere on spiraalsete soontega lõikeservade kujundamise otstarbel läbi lõigatud. Joon. 105 on näidatud sellise freesi üldkuju. Sageli

antakse tigufreesile kooniline kuju, nii et hambaharjad treitakse kooniliselt maha.

Silindriliste hammasrataste freesimisel kasutatakse peami-

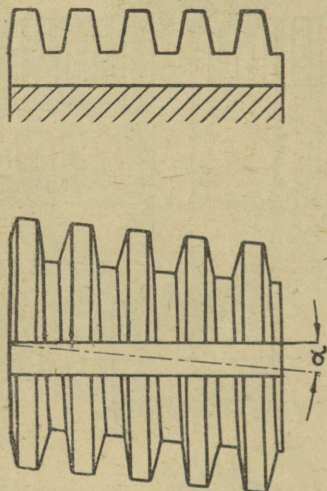


Joon. 106.

selt silindrilisi tigufreesi. Freeši asend sirgete ja spiraalsete hammaste freesimisel on näidatud joon. 106.

Kui märkida tigufreesi spiraali otste arvu tähega n , free-sitava ratta hammaste arvu tähega z , siis ühe hammasratta tiiru

jooksul peab frees tegema $\frac{z}{n}$ tiiru. Mida suurem on spiraali otste arv, seda vähem tiirusid peab tegema frees, mis põhjustab mitme otsaga tigufreesi töö suurt ökonoomsust. Spiraali otste arvu tõusuga aga tõuseb ka spiraali tõusunurk, mis mõjutab tugevasti nii freesi kui ka lõigatava ratta hammaste profiili. Spiraali tõusunurga suurenedes suureneb ka hambaspiraalile ristioleva lõikeservi moodustava spiraalsoone kallakusnurk (joon. 107), mistõttu frees hambaprofiil lõikeserval muutub vigaseks, mis vigastab ka ratta hammaste profiili.



Joon. 107.

Telglõikes peab tigufreesi hammas teoreetiliselt omama evolventprofiili. Sellise hamba vormistamine aga on keerukas ja seepärast tavaliselt antakse talle sirgete külgedega trapetsi kuju. Sel teel antakse teadlikult ebaõige profiil ka töödeldavale hambale. Töödeldavad hambad omavad täpset evolventprofiili ainult jagamisringi läheduses, kuna hambapea ja hambajala piirjooned kalduvad töödeldava hamba sisse. Kõrvalekalldumine teoreetilisest profiilist on tegelikult väike, mistõttu võib öelda, et selliselt vormistatud frees annab väikeste moodulite freesimisel töödeldavale hambale vajaliku evolvent-

profiili, suuremate moodulite juures aga profiili vead muutuvad märgatavaks.

Silindriliste tigufreeside konstrueerimisel määratakse kõigepealt jagamisläbimõõt. Kui märkida lõigatava hammasratta moodul tähega m , lõikeservi moodustava spiraalsoone kallakusnurka — α , freesi hambasammu telgjoone sihis — t ja sama sammu spiraalsoone sihis t_i (joon. 107), siis

$$t_i = t \cdot \cos \alpha, \quad \text{või} \quad t = \frac{t_i}{\cos \alpha},$$

kuna aga

$$t = \pi D \cdot \operatorname{tg} \alpha, \quad \text{siis saame}$$

$$\frac{t_i}{\cos \alpha} = D \operatorname{tg} \alpha \quad \text{või} \quad D = \frac{t_i}{\pi} \cdot \frac{1}{\sin \alpha}.$$

Kuna t_i on lõigatava hammasratta hambasammuks, siis $\frac{t_i}{\pi} = m$ (moodul) ja jagamisläbimõõt on

$$D = \frac{m}{\sin \alpha}. \quad \dots \dots \dots (135)$$

Nurga α suurust püütakse võtta võimalikult väikesena, tavaliselt $\alpha = 1^\circ - 8^\circ 30'$, kui moodul on alla 25.

Välisläbimõõdu valikul tuleb silmas pidada, et freesi ava oleks küllaldane tugeva kinnituse saamiseks freestornil, frees oleks mehaaniliselt küllalt tugev, nurk α püsiks eeltoodud piirides ja materjali kulu oleks väike. Välisläbimõõdu määramiseks võib kasutada valemit

$$D_v = D + 2,334 \, m. \quad \dots \dots \dots (136)$$

Freesi siseläbimõõt leitakse valemiga

$$D_s = D - 2 \, m. \quad \dots \dots \dots (137)$$

Freesi pikkus oleneb vastava evolventi hambumisjoone pikkusest. Kui H on freesi hambaprofiili kõrgus, α hambumisnurk, siis on lõikamisest osavõttev spiraali pikkus (joon. 108)

$$l = H \cdot \operatorname{ctg} \alpha.$$

Eeldusel, et saaks freesi kasutada kauem kahe teritamise vahel, valmistatakse ta pikem. Praktika annab freesi pikkuse jaoks empiirilise valemi

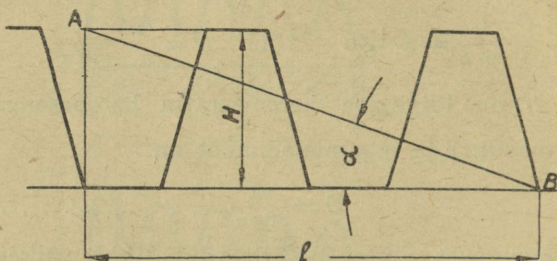
$$L = 15 \cdot m + 30 \, \text{mm}. \quad \dots \dots \dots (138)$$

Freesi hammaste arvu määramiseks kasutatakse valemit

$$z = \frac{200}{D_v} + (7 \div 8). \quad \dots \dots \dots (139)$$

Hambavahe nurk võetakse $18\text{--}24^\circ$. Hambavahe põhja ümbruse raadius on tavaliselt $1\text{--}2$ mm. Hamba kukaldamine toimub samuti, nagu silindriliste freeside juures.

Fellow-terad on tuntud käesoleva sajandi algusest saadik. Välimuselt sarnanevad nad hammasrattaga, mis hammastele vastava kuju andmise teel on suuteline teise ratta hambaid lõikama.



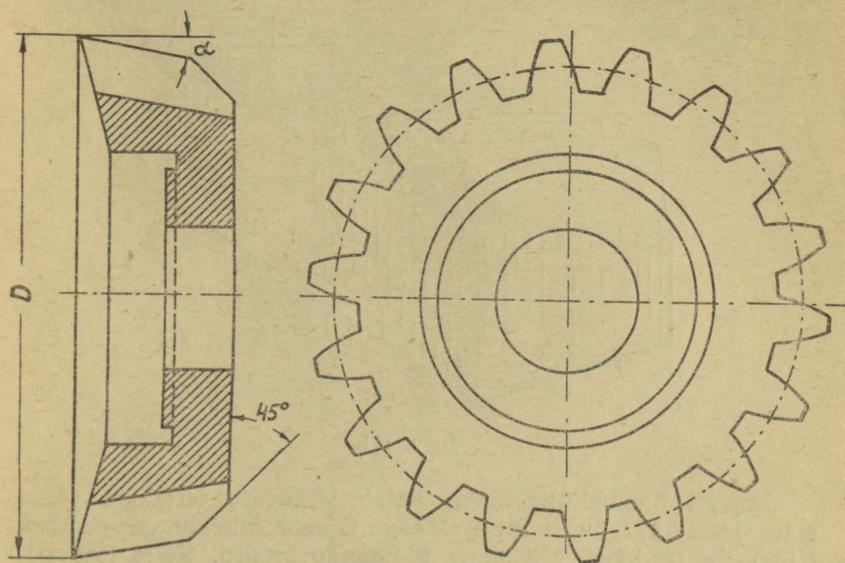
Joon. 108.

Joon. 109 on toodud Fellow-tera üldkuju, kuna joon. 110 näitab tema töötamise põhimõtet. Nagu igal lõiketeral, on ka Fellow-teral vastavad lõikenurgad (joon. 109). Esinurk võetakse parema lõikamise huvides 5° . Esinurga olemasolu tõttu ei ole lõikeserva profiil enam täpselt evolvendiga piiratud, vaid erineb veidi sellest. Evolvent esineks siis, kui $\gamma = 0$. See erinevus on nii väike (harilikult alla $0,01$ mm), et seda praktiliselt ei arvestata. Seadenurk α võetakse 6° , kusjuures see suurus on seadenurgal hammatipu juures. Seadenurga tõttu on hammas kooniline. Külkseadenurgad on tavaliselt veidi väiksemad.

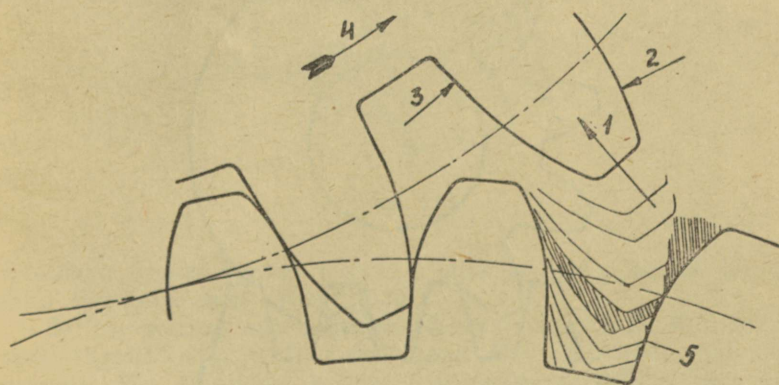
Tera hambakuju vormistatakse tipust jagamisringini evolvendi järgi, sealt allapoole radiaalselt, millega hoitakse ära lõigatava hambajala kitsenemine.

Fellow-tera jagamisringi läbimõõt oleneb valitud tera hammaste arvust ja töödeldava hammasratta moodulist. See läbimõõt ei tohi olla liiga suur, kuna see teeb tera ebastabiilseks, teiselt poolt aga peab olema küllaldane arv terahambaid

korraga töös, et ära hoida lõigatava hambaprofiili vigastamist. Nende kahe vastandnõude sünteesina on kujunenud praktikas kolm tera jagamisringi läbimõõtu: 100, 75 ja 50 mm.

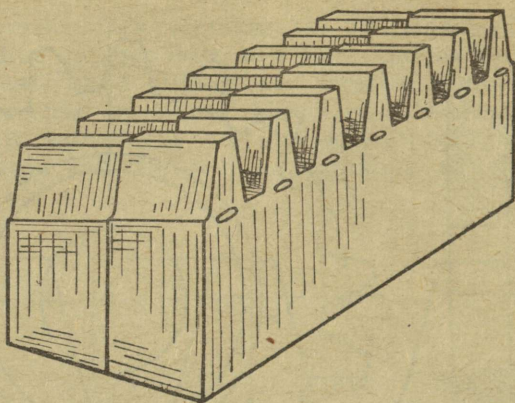


Joon. 109.



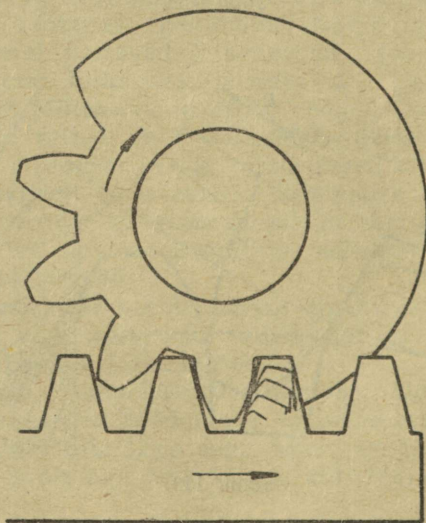
Joon. 110.

Tera hamba kõrgus lõiketapasapinnas on võrdne 1,16 m, nagu see on hammasrataste juures.



Joon. 111.

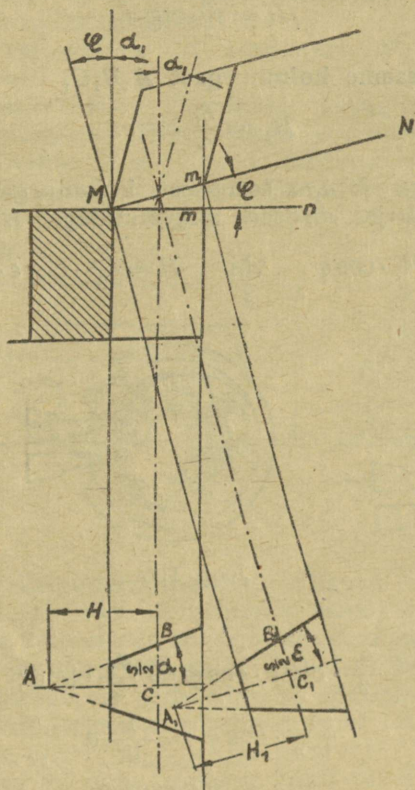
Maag'i hambalõikekamm töötab celnevate teradega sarnaselt. Joon. 111 on toodud Maag'i hambalõikekammi perspektiivvaade ja joon. 112 tema töötamisprintsip. Selle lõikeriis-



Joon. 112.

taga on võimalik saada täpset ja kõrge kvaliteediga hambaprofiili. Tera hambaprofiil ei muutu teritamisel, mis teeb tema töötamise ökonoomseks.

Tera hambaseadenurk α_1 saadakse hamba kukaldamise teel, kuna esinurk moodustub hambalõikekammi esitahu asetamisel



Joon. 113.

lõigatava eseme suhtes nurga φ alla ja tarbe korral ka esitahu lihvimise teel (joon. 113).

Selline asetus aga muudab lõikeserva profiili. Kui lugeda tera tegelikku profiili (tasapinnas MN) projektsiooni tasapinnale Mn lõigatava hamba tegelikuks profiiliks, siis tera tegelik profiil peab olema teine. Kui lõigatava hamba profiili

külgtahu kallakusnurk lõikes I—I on α , tera hamba külgtahu kallakusnurk lõikes II—II märgime ε , siis ei tee raskusi tule-
tada valemit, mis seob neid kallakusnurki nurga φ kaudu.
Kolmnurgast ABC saame

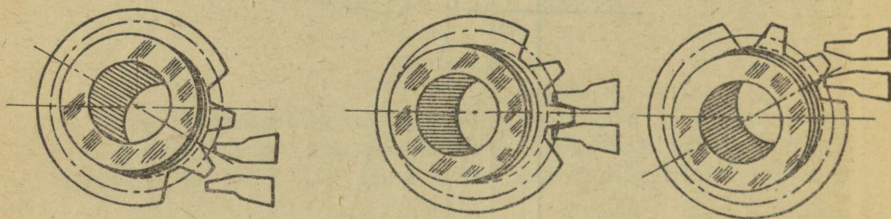
$$H = \frac{S_1}{2} \operatorname{ctg} \alpha.$$

Analoogiliselt saame kolmnurgast $A_1B_1C_1$

$$H_1 = \frac{S_1}{2} \operatorname{ctg} \varepsilon.$$

Kolmnurgaga Mm_1m sarnasest kolmnurgast, mille küljed on paralleelsed ja võrdsed sirglõikudega H ja H_1 , saame

$$H = H_1 \cdot \cos \varphi \quad \text{või} \quad H = \frac{S_1}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon \cdot \cos \varphi.$$



Joon. 114.

Edasi saame

$$\frac{S_1}{2} \cdot \operatorname{ctg} \varepsilon \cdot \cos \varphi = \frac{S_1}{2} \operatorname{ctg} \alpha;$$

$$\frac{1}{\operatorname{tg} \varepsilon} \cdot \cos \varphi = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha};$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \varphi. \quad \dots \dots \dots (140)$$

Hambalõikekammi kallakusnurk φ võetakse harilikult $6^\circ 30'$.

Hammaste profiilide kõrgused erinevad samuti, nende ole-
nevus väljendub valemis $H = H_1 \cos \varphi$.

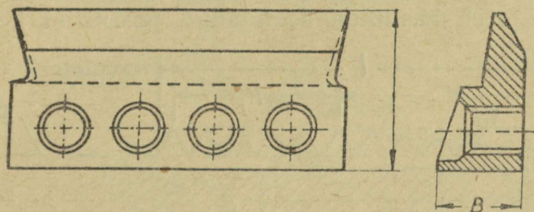
Lõiketera hammastel on seadenurk reeglina $5^\circ 30'$, mis an-
nab nurga λ suuruseks (joon. 113) $\lambda = \varphi + \alpha = 12^\circ$.

Maagi hambalõikekammid on koorimis- ja silumislaastu
võtmiseks. Töötlemisvaru η silumislaastu jaoks jäetakse
 $\eta = 0,4 \sqrt{m}$.

Glisson-terad on kasutamisel sirgete hammastega koonus-hammasrataste valmistamisel. Nende terade töötamise põhimõte on selgitatav joonise 114 abil. Nende terade kasutamine on võimalik ainult spetsiaalpinkidel. Terad on paigutatud pinki paari-kaupa, kusjuures kumbki neist lõikab hambaprofiili eri külge. Töö toimub ka siin rullumismeetodil.

Glisson-terade esinurk on 12° , seadenurk 0° . Terade üldkuju on toodud joon. 115.

Toodud Glisson-teradega lõigatakse igasuguse mooduliga hammasrattaid. Spiraalsete hammastega koonushammasrataste lõikamiseks kasutatakse Glisson-pead, millesse on kinnitatud lehvikutaoliselt lõiketerad. Ka siin käib töö rullumismeetodil. Glisson-pead saab kasutada ainult erilisel selleks otstarbeks konstrueeritud pingil.



Joon. 115.

Kaasaegsed kiirkäigulised masinad esitavad hammasrataste kvaliteedile suuri nõudmisi. Suurimaks hammasajami puuduseks on suur müra töötamisel, mis on tingitud hammaste profiili ebatäpsustest ja põhjustab selle kiiret kulumist. Täpse hambaprofiili saamiseks ja selle täpselt töötlemiseks kasutatakse erist peenviimistlemise meetodit, mis on tuntud shav-ing-protsessi nime all.

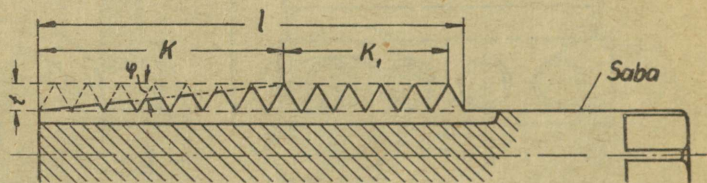
Shaving-protsess on noor, esimene pink tema teostamiseks lasti turule 1928. a. Sellest momendist alates on ta kiiresti levinud eriti auto- ja aviotööstuses.

Shaving-protsessi tööriistaks on karastatud hammaslatt, mille hambad sirgete hammastega hammasrataste töötlemiseks on paigutatud viltu, spiraalhammade töötlemiseks aga normaalselt. Mõlemal juhul on meil tegemist ristlevate telgedega hammasülekannetega. Hammaslatt, olles ühenduses lõigatava rattaga, veab teda kaasa, misjuures esineb hammasvaheline libisemine. Selle libisemise tõttu hammaslatti ham-

maste lõikeservad võtavad hammasratta hammaste külgedelt õhukest laastu täpselt evolventkõvera järgi. Lõikeservad hammaslati hammaste külgedel tekivad vastavate soonte sisselõikamisel. Hammaslatt peab olema nii pikk, et ratas vähemalt ühe tiiru tema pikkusel saab teha. Hammaslatile antakse edasi-tagasi liikumine, kusjuures iga lati käigu järel ratas lastakse 0,025—0,08 mm allapoole vastavalt töötlemisvarule. Lati käikude arv ühe ratta töötlemiseks on 12—24. Töötlemise täpsus shaving-protsessil tõuseb kuni 0,005 mm, mis tugevasti tõstab hammasajami kvaliteeti.

XV. KEERMETAMINE.

Keermetamine on keerukas operatsioon, mille teoreetilised alused pole veel täit selgitust saanud. Paljudel keermetamise erijuhtudel tuleb kasutada senisaadud praktilisi kogemusi ja



Joon. 116.

ainult üksikuil juhtudel saame valada esinevaid seaduspärasusi matemaatilistesse valemitesse.

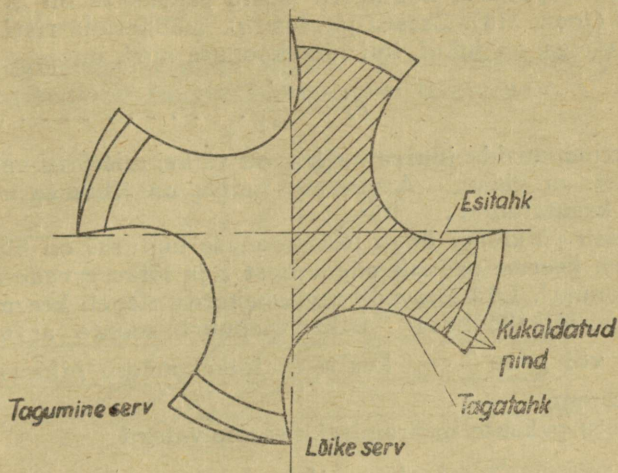
Keermetamist teostatakse mitmesuguste tööriistade abil, millest väärivad mainimist keermelõikurid, keermetamispead, keermelauad ja keermefreesid välise keermetamise jaoks, keermepuurid sisekeermetamiseks ja keermeterad nii välis- kui ka sisekeermetamiseks.

Keermepuurid.

Keermepuur on terasest polt, mille keermetus on lõikeservade saamiseks pikisoontega (kas sirgete või spiraalsetega) läbi lõigatud.

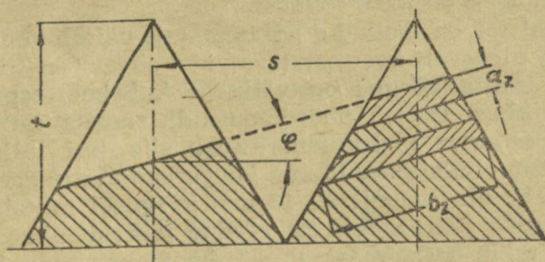
Keermepuuri juures eraldame järgmisi osi: Töötav osa, mis on varustatud keermega (joon. 116 l), ja saba. Töötav osa koosneb omakorda lõikekoonusest (joon. 116 K) ja kalibreerivast osast (joon. 116 K_1). Keermepuuril on järgmised pinnad

ja servad: esitahud, mis juhivad laastu, tagatahud, kukaldatud pind, lõikeservad ja tagumised servad (joon. 117).



Joon. 117.

Keermepuur töötab rasketes tingimustes; seetõttu on olulise tähtsusega tema konstrueerimise juures arvestada kõiki tema töö iseäraldusi. Tähtsamaks keermepuuri konstruktiivseks osaks



Joon. 118.

on lõikekoonus, kuna tema tegelikult teostabki laastuvõtmist. Kalibreerivale osale jääb ainult pinna puhastus. Lõikekoonuse pikkusest oleneb nii keermetamise produktiivsus kui ka öko-
noomsus, peale selle aga ka saadava keermetäpsus.

Vaatleme lõikekoonuse tööd ligemalt.

Iga üksiku lõikeserva poolt võetava laastu põiklõiget võib kujutada trapetsina, kusjuures laastu paksuseks on a_z' ja laiuseks b_z (joon. 118). Laastu paksus a_z , mõõdetuna risti keermepuuri teljega, on juhul, kui lõikekoonuse nurk on φ ,

$$a_z = \frac{a_z'}{\cos \varphi} \dots \dots \dots (141)$$

Keermepuuride juures nurk φ on väike, mistõttu vahe a_z ja a_z' vahel on väike. Arvutuste juures on lihtsuse mõttes a_z asemel kasutatud a_z' .

Laastu põiklõige kogu lõikekoonuse ulatuses on ühesugune ja oleneb keermeprofiili sügavusest t ja lõikeservade arvust p lõikekoonusel. Lõikeservade arv omakorda oleneb keermeniitide arvust n lõikekoonusel, ja keermepuuri soonte arvust, s. o. $p = wn$ või $p = \frac{k}{s} \cdot n$, kus k on lõikekoonuse pikkus ja s — keermesamm.

Laastu paksuse määramiseks saame valemi

$$a_z = \frac{t}{p} = \frac{t \cdot s}{n \cdot k} = \frac{s}{n} = \operatorname{tg} \varphi \dots \dots \dots (142)$$

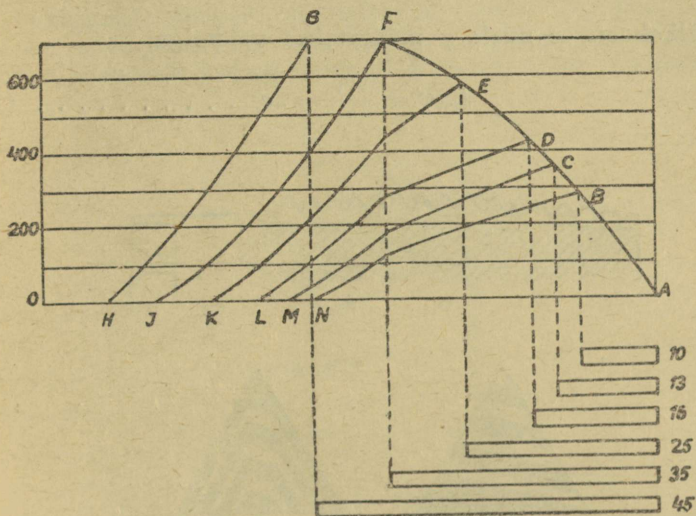
Kogu keermetamisel rakendatud pöördmoment koosneb kolmest osast: M_t — lõikamiseks otseselt kuluv pöördmoment, M_n — hõõrdetungide moment, mis põhjustab iseenesest tekkiva ettenihke, ja M_d — laastu deformatsiooni tungide moment. Tähtsamad neist on kaks esimest.

Joonisel 119 on toodud diagramm, mis näitab pöördmomendi muutumist, olenevalt keermetatava augu sügavusest. Mutri keermetamisel, mille kõrgus on väiksem kui keermepulga lõikekoonuse pikkus, tõuseb pöördmomendi suurus nullist maksimumini, kusjuures maksimum esineb siis, kui lõikamine toimub kogu mutri ulatuses. 10 mm kõrgusega mutri keermetamisel on see punkt diagrammil B , 13 mm kõrgusel mutril — C jne. Mutri kõrguse juures, mis on võrdne lõikekoonuse pikkusega, (35 mm), tekib maksimaalne pöördmoment, kuna kõik lõikekoonuse lõikeservad laastu võtavad. Kogu põiklõikepind on võrdne keermeprofiili pindalaga $f = \frac{at}{2}$, kus $a = 0,5$ keermesammust ja t — keermepuuri sügavus. Edasise mutri kõrguse suurenemise juures pöördmoment enam ei muutu. Niipea aga, kui lõikekoonuse keermeniidid hakkavad mutrist välja tulema, hakkab kõver langema.

Maksimaalset pöördmomenti saab arvutada järgmise valemi järgi:

$$M_{max} = f \cdot p \cdot r = f \cdot \left[1 - \left(1 - \frac{y}{t} \right)^2 \right] \cdot p \cdot r, \quad \dots (143)$$

kus p on löikamise erisurve kg/mm^2 , r — summaarse laastu põiklõike raskuskese kaugus keermepuuri telgjoonest.



Joon. 119.

Juhul, kui töötavad kõik lõikekoonuse lõiketerad, siis on $y = t$ ja valem võtab kuju

$$M_{max} = \frac{at}{2} \cdot p \cdot \left(\frac{D}{2} - \frac{2t}{3} \right). \quad \dots (144)$$

Tavaliselt tõuseb pöördmomenti väärtus ka siis, kui lõikekoonus on tervena mutris (pika mutri juures), kuna ka kalibreeriv osa oma hõõrumise tõttu tekitab teatud suurusega pöördmomenti, mis aga keermepuuri õige konstruktsiooni juures peab olema väike.

Keermepuuri konstruktsiooni juures tuleb meeles pidada, et lõikekoonus on määratud koorimiseks, kuna kalibreeriv osa teeb silumistöö. Tavaliselt on kasulik teha lõikekoonus lühike, kuna seejuures tõuseb töö produktiivsus. Pikka lõikekoonust

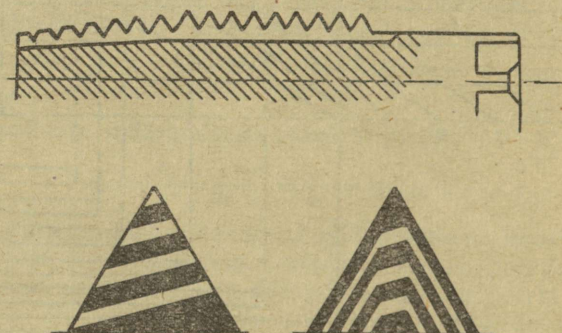
kasutatakse ainult siis, kui on nõutav väga puhas keermepind. Lõikekoonuse pikkuse määramiseks kasutatakse järgmist valemit:

$$l_k = \frac{ts}{na_z} = \frac{t}{n\varepsilon}, \dots\dots\dots (145)$$

kus ε on konstant, mis oleneb keermepuuri tüübist ja suurusest.

Lõikekoonuse nurk φ määratakse valemiga

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{na_z}{s} = n\varepsilon. \dots\dots\dots (146)$$



Joon. 120.

Konstandi ε suurus on OST 4886—4887 järgi keskmiselt 0,00674, DIN 355 järgi 0,00507, ameerika standardi järgi 0,00703.

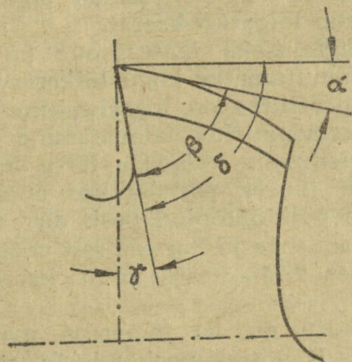
Eritüüpi keermepuuri näitab joonis 120, kus lõikekoonuse keermetus on samuti kooniline, nagu koonus ise. Selle keermepuuri töötamisviis erineb tugevasti hariliku konstruktsiooniga keermepuuri tööst. Kui harilik keermepuur võtab laastu laia plaadikesena, siis viimati mainitud tüüp hakkab keeret lõikama juba algusest peale.

Laastu põiklõige tuleb seda suurem, mida väiksem on keermepuuri laastunuutide arv. Kuna lõikamise erisurve on seda väiksem, mida suurem on laastu põiklõige, siis ka energiakulu on väikese laastunuutide arvu juures väiksem. Ka kolme nuu-

diga keermepuuri valmistamine on odavam. Nende peamiseks paheks on läbimõõdu mõõtmise võimatus harilikku mõõduriis- taga. Keermepuuridele kuni 25 mm soovitatakse teha kolm laastunuuti, läbimõõduga 25—50 mm — neli.

Keermepuuril, nagu igal lõiketeral, on vastavad teranur- gad. Neil nurkadel on erinevad suurused lõikekoonuse ja kalibreerivas osas.

Tähtsamad nurgad on näidatud joon. 121. Kuna lõike- serv on kõverjooneline keermeprofiili tõttu, siis esinurk on muutuv, olenevalt kohast, kust teda vaadeldakse. Kalibreerivas



Joon. 121.

osas on seadenurk ainult kukaldatud keermepuuridel, kuna harilikudel keermepuuridel see puudub. Esinurga suurused olenevad töödeldavast materjalist. Firma Loewe annab järg- mised suurused:

pronksivalu	0°
malm ja keskmise kõvadusega teras	10°
pehme teras	20°
alumiinium, elektron, duralumiin	40°

Seadenurk kõigub, olenevalt materjalist, 1—5° vahel. Sit- kemate materjalide juures valitakse ta suurem kui rabedate materjalide juures.

Keermepuuride konstrueerimise juures tuleb erilist tähele- panu pühendada laastusooni profiili valikule. Laastusooni esitatavad nõuded on järgmised:

1) Laastusoon peab olema selline, et lõikeprotsess toimuks normaalselt, s. o. laastu kuju peab olema õige, laast ei tohi olla muljutud ja laastu põiklõikepind peab olema küllaldane.

2) Laastusoon kuju peab vastama materjalile, mille lõikamiseks on määratud keermepuur.

3) Laastusooned peavad olema küllalt sügavad laastu mahutamiseks ega tohi seejuures nõrgestada lõiketera.

4) Laastusoon kuju peab olema selline, et keermepuuri tagasikeeramisel laast ei jääks keermetera kukla ja keermeniidi vahele.

5) Soone kuju ei tohi põhjustada tagasikeeramisel lõikamist, kuna see rikub lõigatud keeret.

Üheks põhitingimuseks laastusoon kuju määramisel on esinurga suuruse muutumatus kogu lõikeserva ulatuses. Ideaalseks laastusoon profiiliks on logaritmiline spiraal. Kuna selle profiiliga keermepuuride valmistamine osutub suure freeside komplekti olemasolu vajaduse tõttu kalliks, siis väiksemate läbimõõtude juures asendatakse enamik esitahust sirgega. Laastusoon põiklõikepind peab olema küllaldane lõigatava laastu paigutamiseks ja normaalselt võetakse nelja soonega keermepuuri juures 9,75—10,5% kogu keermepuuri põiklõike pindalast.

Laastusoon kuju on ka lõigatava materjali seisukohalt tähtis. Teoreetiliselt võttes peaks igale materjalile vastama omaette laastusoonekuju. Praktiliselt on see teostamatu, kuna keermepuuride valmistamine osutuks liialt kalliks.

Keermepuuri töö kergendamiseks ja hõõrumise vähendamiseks kukaldatakse keermeniidid. Lõikekoonuse terade kukaldamise nurk võetakse tavaliselt käsikeermepuuride juures 4—8°, masinkeermepuuride juures 8—10°. Lihvimata käsikeermepuuride juures teostatakse kukaldamine harilikult ainult lõikekoonuse ulatuses, kuna kalibreerivas osas jäetakse see tegemata. Sellega antakse keermepuurile küllaldane toetuspind ja välditakse tagasikeeramisel laastu keermekukla ja lõigatava niidi vahele jäämist, mistõttu keermepind tuleb puhtam. Lihvitud pinnaga masinkeermepuuride juures on siiski otstarbekohane teostada kukaldamist, kuna see annab massilise töö juures puhtama keeme. Kalibreeriva osa kukaldamine peab olema minimaalne, tavaliselt tehakse see 0,02—0,08 mm piires.

Hõõrumise vähendamiseks lõigatava materjali ja keermepuuri vahel tehakse keermepuurile nn. tagumine koonus, s. o.

kalibreeriva osa läbimõõt on saba pool väiksem kui lõikekoonuse pool otsas. Tavaliselt on see koonilisus 0,004—0,015 mm.

Laastusooned tehakse sirgetena ja spiraalsetena. Spiraalsed sooned on harilikult risti keermeniitidele. Spiraalsete soonte puhul lõikab kogu lõikeservaprofiil laastu ühtlaselt, mis on eriti tähtis suure tõusuga keermes juures. Keermepind tuleb seejuures siledam ja puhtam.

Käsitsi keermetamisel tuleb kasutada keermepuuride komplekti kahest või kolmest puurist. Ühe keermepuuriga töötades oleksid lõiketungid niivõrd suured, et keermepuur ei peaks vastu ja murduks, lõigatava keermes pind jääb krobeliseks, kuna laastu põiklõikepind on paratamatult suur, ka inimese pingutus on seetõttu suur. Keermepuuride arv komplektis on tavaliselt kaks kuni kolm. Sagedamini on kasutamisel kolmesed komplektid.

Esimene keermepuur teeb selle juures 56—60% kogu tööst, teine — 28—30% ja kolmas — 10—16%. Otstarbekohane on teha iga keermepuur eri läbimõõduga. Nende läbimõõtude arvu-
tamiseks kasutatakse alljärgnevaid valemeid.

Koorimise keermepuuri jaoks:

$$\text{keskmine läbimõõt } d_{1k} = d - 0,25 \cdot s \quad \dots (147)$$

$$\text{väline läbimõõt } D_{1k} = D - 0,60 \cdot s \quad \dots (148)$$

Keskmise keermepuuri jaoks:

$$\text{keskmine läbimõõt } d_{2k} = d - 0,10 \cdot s \quad \dots (149)$$

$$\text{väline läbimõõt } D_{2k} = D - 0,15 \cdot s \quad \dots (150)$$

kus s on keermesamm.

Oma kasutusotstarbelt jagunevad keermepuurid käsi-, torukeermes-, masin- ja lõikuri keermepuurideks. Konstruktioonilt erinevad nad üksteisest võrdlemisi vähe. Väärrib mainimist ainult see, et masinkeermepuure ei valmistata komplektina, vaid üksikuina.

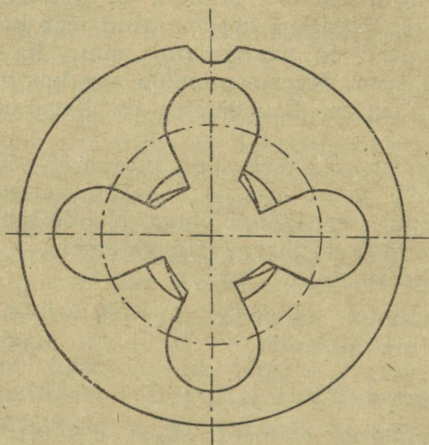
Keermepuuride valmistamise põhimatkejalina tuleb kõne alla tööriistateras süsiniku sisaldavusega kuni 1,2%. Legeeritud teraseid kasutatakse vähemal määral, kuna nad ei taha anda lõikamisel korralikku keermeniidi pinda. Juhul, kui esmajärgulise tähtsusega on töö produktiivsus, on kasutatav ka kiirlõiketeras. Peale termilist töötlemist tuleb need keermepuurid tingimata lihvida kogu keermeniidi profiili ulatuses.

Keermelõikamine keermepuurile toimub treipingil väga õhukese laastuga, viimasel ajal on levinud ka keermefreesi-

mine, mis aga ei anna küllalt täpset tööd. Vastutavamaks tööks keermepuuri valmistamisel on tema karastamine.

Soojendamist karastamiseks teostatakse plii- või soolavan- nides. Jahutamine vees kuni 100°-ni ja sealt edasi õlis.

Viimasel ajal on hakatud lõiketeri nende lõikeomaduste tõstmise otstarbel kroomima. Eriti efektiivne on kroomimine keermepuuride juures. Kroomikihi paksus soovitakse hoida 0,002—0,008 mm piirides.



Joon. 122.

Keermelõikurid.

Levinumaks keermelõikuri tüübiks on ümmargune lõikur. Teda kasutatakse siis, kui lõigatavalt keermelt ei nõuta eri- list täpsust. Ümmargune keermelõikur kujutab enesest mut- rit, millele on puuritud augud lõikeservade saamiseks (joon. 122). Ta lõikab keeme ühe käiguga ja on kasutamisel treipin- kidel (revolverpingid ja automaadid). Ümmargune keermelõi- kur on kaunis kapriisne tööriist, ebasobivad töötingimused põhjustavad sageli tema katkiminemist. Ta ei võimalda suuri lõikekiirusi, jahutamiseks on otstarbekohane kasutada naeri- õli. Meil harilikult tarvitata värnits põhjustab rikutud pin- naga keermenite.

Keermelõikuri väline läbimõõt on standarditud. Vastavad läbimõõdud on toodud järgnevalt.

mm keere

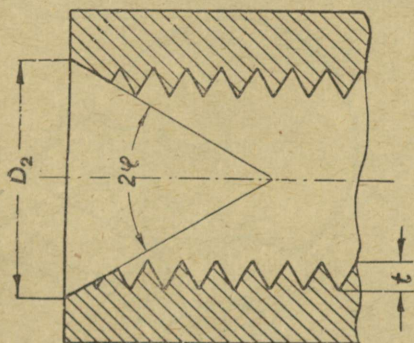
1—2,6 2,6—5,5 6—9 10—11 12—14 16—20 22—24

tolline keere

— — $\frac{1}{4}$ — $\frac{5}{16}$ " $\frac{3}{8}$ — $\frac{7}{16}$ " $\frac{1}{2}$ — $\frac{9}{16}$ " $\frac{5}{8}$ — $\frac{3}{4}$ " $\frac{7}{8}$ —1"

lõikuri läbim.

16 20 25 30 38 45 55



Joon. 123.

Lõikuri paksus valitakse selline, et lõikuri avasse mahuks 7 keermeniiti, millest $1\frac{1}{2}$ —2 niiti on kummalgi lõikekoonusel ja ülejäänud kalibreerival osal.

Vastutavamaks keermelõikuri konstruktiivseks elemendiks on lõikekoonus, kuna tema teeb peaosa tööst. Mida väiksem on koonuse nurk 2φ (joon.123), seda suurem lõikeservade arv võtab tööst osa. Niitide arvu ja lõikeservade arvu määramiseks kasutatakse järgmisi valemeid:

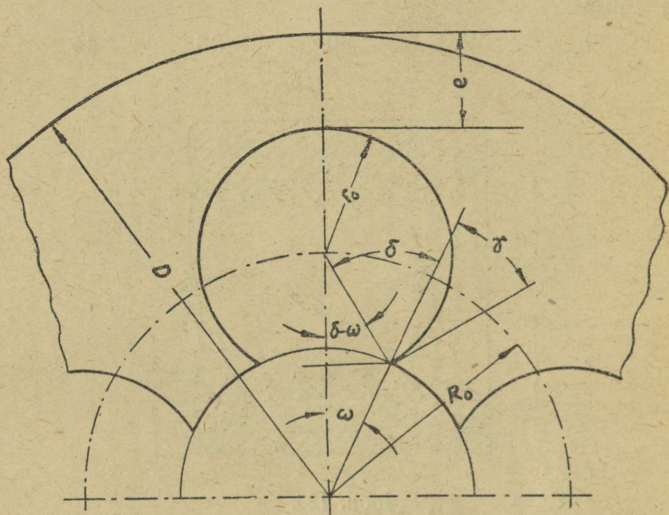
$$w = \frac{t}{s} \cdot \operatorname{ctg} \varphi, \quad z = w \cdot n = 0,64 \cdot n \cdot \operatorname{ctg} \varphi,$$

kus t on keermeniidi kõrgus, s — keermesamm, n — lõikeservade arv ühel keermeniidil ava ümbermõõdu ulatuses. Praktikas valitakse 2φ suuruseks 40—60°. Lõikekoonus tehakse tava-

liselt mõlemasse ava otsa, kuna see laseb lõikurit kasutada mõlematpidi.

Keermelõikurite arvutamisel on tuntud suurusteks: 1) lõikuri väline läbimõõt D , 2) keeme sisemine raadius r , 3) antud esinurk γ , 4) kesknurk 2ω , mis vastab üksikute lõiketerade vahelisele pilule, 5) antud lõikeserva kuju.

Leida on tarvis laastuavade läbimõõt, laastuavade sentrite ringi raadius ja kontrollida tuleb suurus e (joon. 124). Võib



Joon. 124.

osutada, et e tuleb liiga väike, mis kahjustab lõikuri mehaanilist tugevust. Tavaliselt valitakse e suuruseks 0,13—0,12 lõikuri välisläbimõõdust.

Kasutatakse kahte lõikeserva kuju: kõverjoonelist ja sirgjoonelist, mistõttu ka lõikuri arvutus on mõlemal juhul erinev.

Kõverjoonelise lõikeserva puhul kasutatakse järgmisi valemid (joon. 124):

$$r_0 = \frac{\gamma}{\sin(\delta - \omega)} \dots \dots \dots (151)$$

või

$$r_0 = \frac{r \cdot \sin \omega}{\sin(\delta - \omega)}; \dots \dots \dots (152)$$

$$R_o = z + v = r \cdot \cos \omega + y \cdot \operatorname{ctg}(\delta - \omega) = r \cos \omega + r \sin \omega \operatorname{ctg}(\delta - \omega); \dots \dots \dots (153)$$

$$R_o = r \cdot [\cos \omega + \sin \omega \operatorname{ctg}(\delta - \omega)]; \dots \dots \dots (154)$$

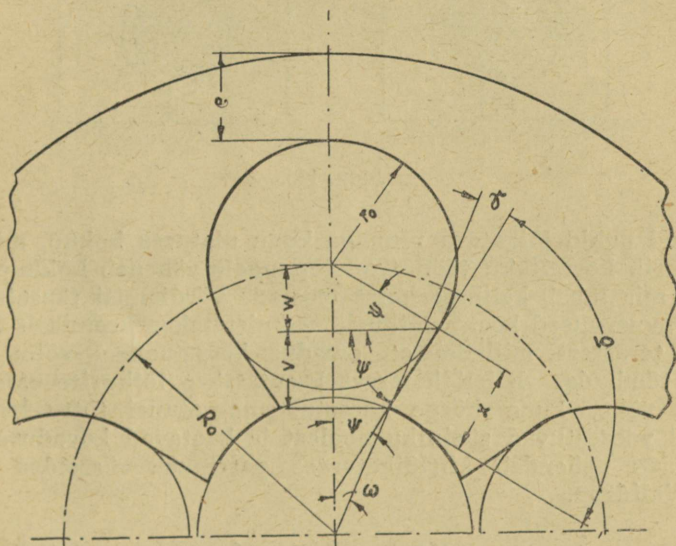
$$e = \frac{D}{2} - R_o - r_o. \dots \dots \dots (155)$$

Sirgjoonelise lõikeserva kuju juures käib arvutus alljärgnevalt (joon. 125):

$$r_o = \frac{r \cdot \sin \omega + x \cdot \sin(\omega + \gamma)}{\cos(\omega + \gamma)}; \dots \dots \dots (156)$$

$$R_o = z + v + w = r \cdot \cos \omega + x \cdot \cos \psi + r_o \cdot \sin \psi; \quad (157)$$

$$e = \frac{D}{2} - R_o - r_o.$$



Joon. 125.

Keermelõikurite konstrueerimisel tehakse lõikeserv sagedamini sirge kui kõverjooneline, kuna sirgjoonelise lõikeserva juures esinurk püsib kogu lõikeserva ulatuses sama suurena,

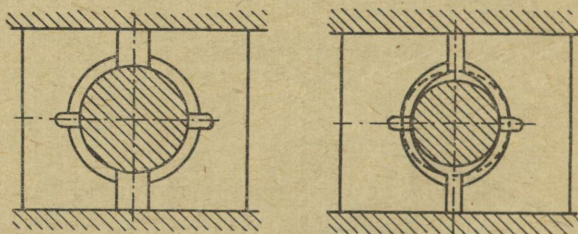
kõverjoonelise lõikeserva juures ta aga võib välisel keerme-
läbimõõdul kujuneda isegi negatiivseks.

Lõikeserva esinurk võetakse lõikekoonuse osas tavaliselt
15—20°, kuna kalibreerivas osas on soovitatav see nurk võtta
4—6°.

Seadenurk valitakse 3—5°.

Teiseks lõikurite tüübiks on klupipakid. Siin on lõikur
koostatud kahest poolest, mis on vastaval juhtpinnal nihutata-
vad. Klupipakkide lõikamisviisi illustreerib joon. 126.

Klupipakkide iseäralduseks on see, et neile on lõigatud
keere kahe keerme kõrguse võrra jämedama keermepuuriga
kui keermetatav läbimõõt. Nagu jooniselt 126 nähtub, puutuvad



Joon. 126.

sellised pakid lõigatava pinnaga kogu ulatuses kokku, mis ga-
ranteerib korralikku tööd. Töö lõpupoole väheneb kokkupuute-
pind, mis lubab kalibreerimist teostada võrdlemisi täpselt.

Ümmargused keermelõikurid valmistatakse peamiselt legee-
ritud terastest, millel on omadus karastamisel võimalikult
vähe tõmbuda. Kiirlõiketerast kasutatakse lõikurite valmista-
misel vähe, kuna kõrge karastustemperatuuri tõttu keermee-
niidid vaesestuvad süsiniku poolest ja kaotavad kõvaduse, mis
tugevasti vähendab kiirlõiketerase paremusi, võrreldes teiste
materjalidega.

Keermelõikepead.

Keermelõikepead on väliskeerme lõikamisel laialdaselt tar-
vitusel. Nende paremuseks, võrreldes lõikuritega on:

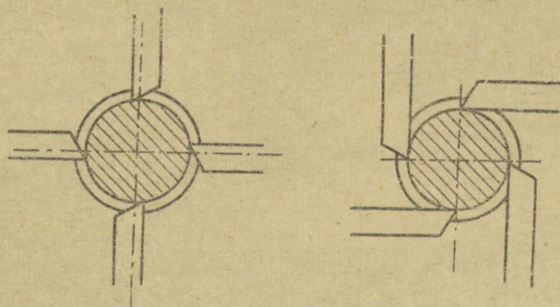
1) keermetamise lõpul keermelõikepea terad avanevad auto-
maatselt, mis väldib nende tagasikeeramist mööda lõigatud keer-
meniiti, keermepind tuleb seetõttu puhas ja sile;

2) terad ei puutu lõigatava keermega kokku kogu keermes ulatuses, mistõttu soojuse eraldumine on väiksem, mis võimaldab suuremat lõikekiirust;

3) terad võimaldavad märgatava arvu teritamisi.

Keermelõikepead, olenevalt lõiketera asetusest, jagunevad radiaalseteks ja tangentsiaalseteks (joon. 127). Esimene tüüp on tarvilisel täpsete keermete lõikamisel, teine — vähem täpsete puhul. Esimestest väärib märkimist „Freaser” ja Akme, teisest rühmast Lendis-tüüpi pead.

„Freaser”-tüüpi pea koosneb terahoidjast (1), kattest (2), terahoidja kehast (3), sabast (4), kaanest (5) ja terade komp-



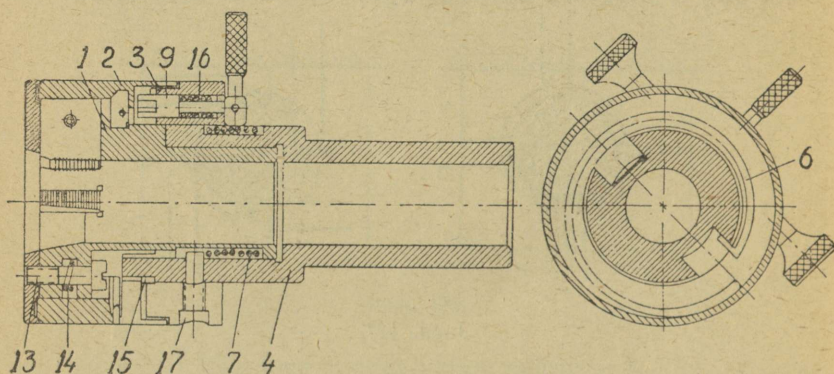
Joon. 127.

lektist (joon. 128). Terahoidja kujutab enesest õõnsat mitmeastmelist silindrit, millele on sisse freesitud neli nuuti lõiketerade paigutamiseks. Terahoidja välisküljele on freesitud kaks diametraalselt vastastikku asuvat kiilunuuti, millesse käivad sabaapid. Ühesse neist asub ka spiraalvedru ärakeeratud ots (6). Kõige suuremal astmel on kahe lõiketera laialiviiva vedru paigutamiseks treitud ringsooned (14). Kumbki vedru on määratud kahe kõrvuti oleva lõiketera jaoks. Vedrud (14) kinnitatakse lõiketerade vastavatesse avadesse oma otstega ja kinnitatakse poldi (13) abil, mis on ühtlasi ka vedru teljeks ja kaane kinnituspoldiks terahoidjaga. Keskmisel astmel on ringnuut vedru paigutamiseks, mis ei lase katet (2) liikuda terahoidjal (1). Sabale on treitud nuut vedru (7) paigutamiseks.

Katte esiotsa on freesitud neli kõverjoonelist süvendit, kuhu toetuvad lõiketerad oma tagumiste otstega. Katte sisepinnalet on treitud rõngasnuut vedru (6) paigutamiseks, mis on määratud terade keermest väljatuleku põhjustajaks.

Peale keermelõikamise lõpetamist jääb keermelõikepead kandev mehhanism peataja tõttu seisma ja koos sellega peatub ka keermelõikaja saba ja keha. Keermetamisterad, jätkates edasiliikumist keeret mööda, veavad edasi ka pea esiosa, surudes kokku vedru (7). Täiendav edasiliikumine toimub seni, kuni kinnitusvarva (9) tapp tuleb oma pesast katteotsal välja. Sel momendil vedru (6) keerab katet kellanäitaja suunas ja vabastab sellega lõiketerad katte survest, vedrud (14) viivad lõiketerad lõigatavast keermest välja. Pea ongi avanenud.

Töösendis tagasiviimiseks tuleb katet keerata vastupidises suunas, mis sunnib terad asuma vanasse asendisse.

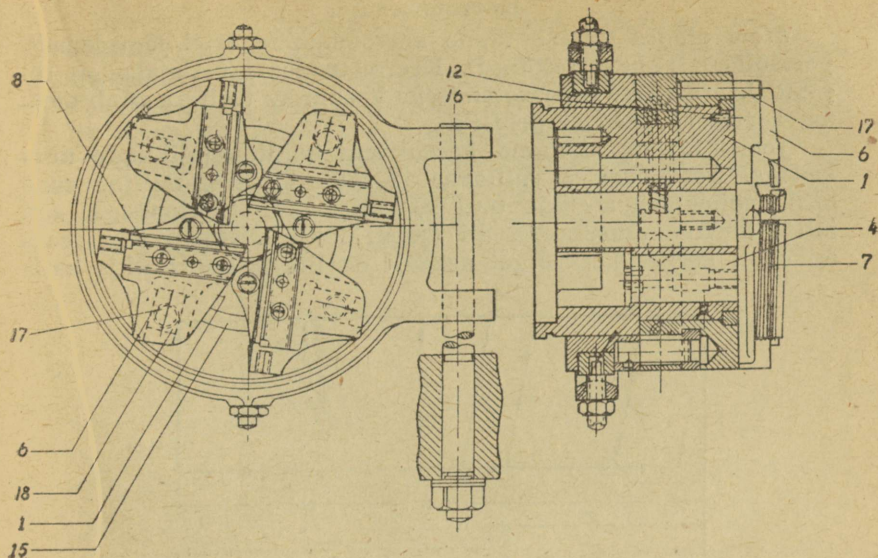


Joon. 128.

Tangentsiaaltüüpi peadest vaatleme Lendis-pead. See pea on määratud peamiselt poldi keermetamise pinkidele. Pea kinnitatakse spindlile ja tiirleb koos sellega. Vaatleme Lendis-pea konstruktsiooni ja tööd.

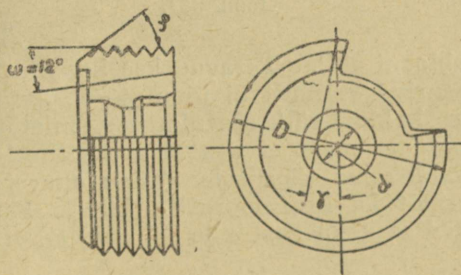
Lendis-keermelõikepea tähtsamaks osaks on keha (1), mis on kinnitatud nelja poldiga spindli äärikü külge (joon. 129). Keha nelja avasse on paigutatud terahoidjate (6) teljed (4). Terad (7) on paigutatud terahoidjate nuutidesse ja neid hoiaavad kinni kinnitusliistud (8).

Kehale (1) on asetatud kolm rõngast: ümberlülimis- (12), reguleeriv (13) ja veorõngas (14). Veorõngas (14) on ligi surutud reguleerivale rõngale lukustusringi (15) ja kruvide (16) abil. Seetõttu omab veorõngas (14) ainult ringliikumist kehal (1). Veorõnga sisse on pressitud neli sõrme (17), mille-



Joon. 129.

dele on paigutatud vabaltpööravad kangikesed (18). Need kangikesed asuvad terahoidjate nuutides. Viimased, olles samaaegselt ühenduses nii veorõngaga kui ka kehaga, on sunnitud esi-



Joon. 130.

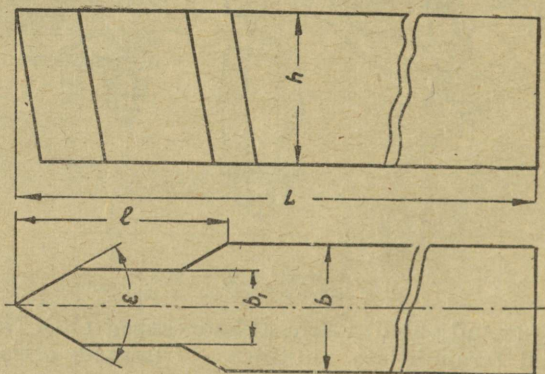
mese pööramisel keha suhtes ka ise pöörduma. Sellele on rajatudki terahoidjate laialimineku.

Keermelõikepead on varustatud eritüüpi teradega. Joonisel 130 on toodud Akme-tüüpi pea lõiketera ja joonisel 129 Lendis-tüüpi tera.

Keermeterad.

Meie oludes toimub täpne keermetamine eriti jämedamate põiklõigete puhul treipingil. Keermetamise tööriistaks on sel juhul keermetera. Keermetamiseks kasutatav treitera peab oma keermele vastavat profiili.

Joon. 131 on näidatud keermetera kõigi vajalikkude nurkadega. Seadenurk α valitakse $12\text{--}15^\circ$ piirides. Selline suur nurk võimaldab asetada tera 90° all eseme telgjoonega, aga mitte keeme tõusunurga all (joon. 132), mistõttu tera seadmine on kerge. Tera õiget asendit on lihtne kontrollida hari-



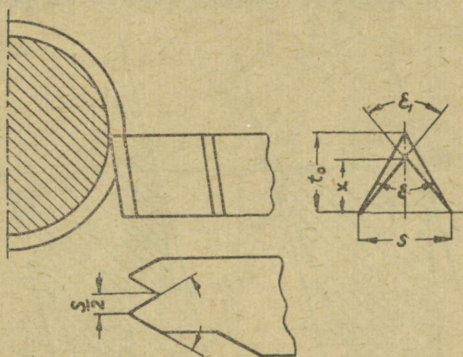
Joon. 131.

liku keermesablooni abil. Teravnurkse keeme lõikamisel, kus keeme tõusunurk harilikult ei ületa $4\text{--}5^\circ$, puutub tera lõigatava keemega kokku väikeses ulatuses, mistõttu tera asetus 90° all treitavale esemele ei avalda praktiliselt mingisugust mõju lõigatava keeme täpsusele. Tänu suurele seadenurgale lõikab tera vabalt ka keemeprofiili külgi. Külkseadenurgad α_1 ja α_2 olenevad seadenurgast α ja suurenevad viimase suurenemisel.

Väikese tõusuga keeme lõikamisel külkseadenurgad tehakse ühesuurused ($3\text{--}4^\circ$), mistõttu tera ei kaota teritamisel profiili täpsust. Suurema tõusuga keeme treimisel (üle $3\text{--}4^\circ$) tuleb terale anda viltune asend vastavalt tõusunurgale, kuna vastasel korral keemeprofiil tuleb vigane. Külkseadenurgad tehakse seejuures erinevate suurustega, α_1 võetakse 10° , α_2 — $3\text{--}5^\circ$.

Erinevate külgsadenurkadega terad kaotavad järgnevate teritamistega oma profiili ja seda tuleb igal teritamisel uuesti kontrollida. Tera seadmisel tuleb jälgida, et tera lõikeserv oleks eseme telgjoone kõrgusel, s. o. lõikenurk oleks 90° . Ainult selle tingimuse täitmisel on garanteeritud õige keermeprofiil.

Keermelõiketera lõikeserv omab sellise asetuse juures õige profiili ainult esitahu tasapinnas (joon. 132). Tera valmistamise juures on aga tarvis teada teraprofiili tugitahule risti asuvas lõikes.



Joon. 132.

Side keermetera nurkade ja keeme kõrguse vahel neis lõigetes väljendub järgmistes valemities:

$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon_1}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2}}{\cos \alpha} \quad (158) \quad \text{ja} \quad x = t_0 \cos \alpha, \dots \quad (159)$$

kus α on tera seadenurk, ε — profiili nurk lõikes AB , ε_1 — profiili nurk lõikes NN , x — profiili kõrgus lõikes NN . Mitme otsaga keeme juures väljendub see side valemis

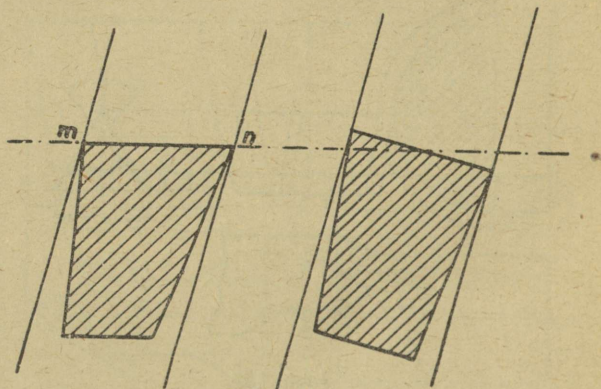
$$\operatorname{tg} \frac{\varepsilon_2}{2} = \frac{\operatorname{tg} \frac{\varepsilon}{2} \cdot \cos \tau}{\cos \alpha}, \dots \quad (160)$$

kus ε_2 on keermeprofiili nurk lõikes NN , τ — keeme tõusunurk.

Trapetskeeme lõikamisel peab tera olema asetatud viltu keermetatava eseme suhtes, vastavalt keeme tõusunurgale.

Eriti tähtis on see suure tõusuga keermete lõikamisel. Trapetskeerme lõikamisel võib tera olla asetatud kahesuguselt: lõikeserv on asetatud paralleelselt eseme telgjoonega või risti keermejoonega (joon. 133).

Esimesel viisil on see paremus, et teraprofiil ühtib keerme-profiiliga, kusjuures lõikeservad on sirged. Sellise tera valmistamine ei ole keerukas. Suurimaks puuduseks on see asjaolu, et lõiketingimused on kummalgi lõikeserval erinevad. Kui n -poolsel küljel on teral õige lõikenurk, siis m -poolsel küljel on ta üle 90° ja lõikamise asemel toimub kaapimine.

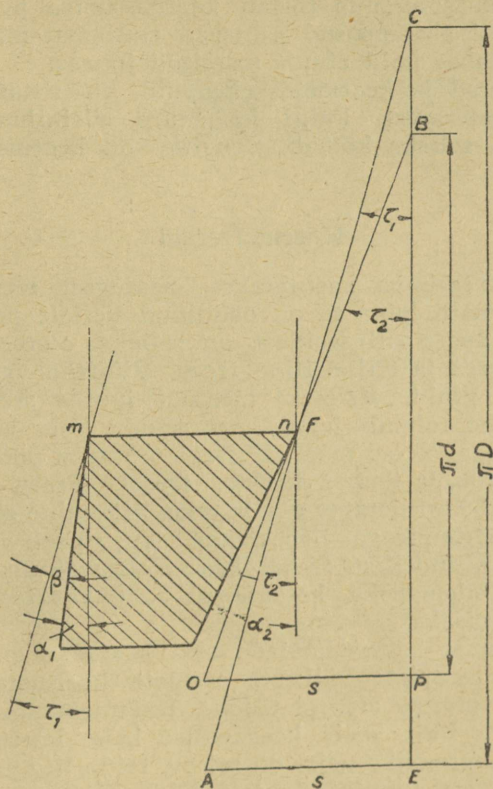


Joon. 133.

Teisel asetusviisil puuduvad mainitud negatiivsed küljed. Siin lõikab lõiketera mõlema lõikeservaga ühtlaselt ja tera on stabiilsem. Lisakoormus lasub aga ettenihkemehhanismil, kuna lõiketung jaguneb kaheks komponenttungiks, millest üks mõjub vertikaalselt, teine aga ettenihkesuunas. Keermetõusu juures 45° on nad võrdsed ja ettenihkespindel on sama pinge all, nagu tööspindel. Peale selle peab lõiketera omama kõverjoonelisi lõikeservi, et saada õiget keermeprofiili.

Seadenurki α_1 ja α_2 määratakse seoses keerme tõusunurgaga tavaliselt graafiliselt. Keerme tõusunurk ei ole sama suur keermeniidi kogu kõrguses, vaid ta muutub vastavalt läbimõõdule. Seetõttu peab olema α_1 vastav keerme tõusunurgale välisel diameetril ja α_2 vastav keerme tõusunurgale sisemisel keerme tõusunurgal. Joonisel 134 on toodud α_1 ja α_2 leidmise graafiline

meetod. Mõlemad keermejooned, nii läbimõõduga D kui ka d , on laotatud tasapinnale. Saame kaks kolmnurka, millel on üks kaatet s võrdse pikkusega, mis vastab keerme sammule, ja kaks hüpotenuusi, mis vastavad keermejoonte pikkustele väli-



Joon. 134.

sel ja sisemisel läbimõõdul. Tera külgtahud peavad asuma nende keermejoonte vahel. Nurk α_2 peab seejuures olema suurem nurgast τ_2 ja nurk α_1 väiksem nurgast τ_1 2—3° võrra.

Kuna keermetamisterade valmistamine nõuab oskust ja kogemusi, siis paljud tööriistade tehased on hakanud valmistama prismaatilisi keermeteri, millele on vastavad nurgad antud juba tehases. Teritamist toimetatakse esitahu mahalihvi-

mise teel. Väga levinud on ka eespool käsitatud kettalised profiilterad.

Keermeterade asemel kasutatakse sageli keermelõikekammi, mille peamiseks paremuseks võrreldes keermeteraga on mitme lõiketera olemasolu, mis tõstab keermetamise produktiivsust. Keermeprofiili ebatäpsused esinevad suuremal määral ja seetõttu kasutatakse neid ainult massitöö juures.

Keermeterad ja keermelõikekammid valmistatakse peamiselt kiirlõiketerasest, kuigi ka suure süsinikusisaldavusega tööriistateras selleks kõlbab. Soovitav on keermeprofiili lihvida.

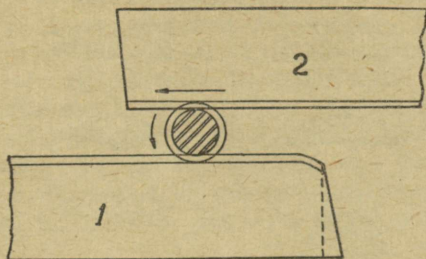
Keermefreesid.

Keerne freesimist kasutatakse kaasaegses metallitööstuses järjest ohtramalt, kuna ta on osutunud küllalt produktiivseks protsessiks. Spetsiaalfreesidest on selleks otstarbeks kasutamisel ketasfrees ja silindriline frees. Viimane vajab erikonstruktsiooniga pinki. Esimese meetodi juures frees tiirleb ja eseme ettenihe toimub jagaja pea kaudu koos sünkroniseeritud tiirlemisega. Teise meetodi järgi töötades pöörleb keermetatav ese aeglaselt ümber tiirleva freesi. Frees peab olema sama pikk kui keermetatav ala ja tema liikumine sünkroniseeritud eseme pöörlemisega. Freesihamba kuju peab vastama keermeprofiilile. Silindrilist freesi kasutatakse ainult kolmnurkse peenkeerne lõikamiseks, ketasfreesi võib kasutada igasuguse keerne lõikamiseks.

Keermetamist keermelaudade abil kasutatakse eduga poltide, kruvide ja teiste väikeste esemete keermetamisel, mille juures ei ole nõutav eriline täpsus. Keermelauale on lõigatud keermesooned. Polt saab keermetuse kahe keermelaua vahel rulludes, kusjuures üks neist on seisev, teine liigub (joon. 135). Keermelauad on nihutatud teineteise suhtes selliselt, et ühe keermeniidi hari on teise keermeniidi põhja vastu, s. o. 0,5 keermesammu võrra. Keeret selle meetodi juures ei lõigata, vaid ta pressitakse poldile sisse. Keermetatava poldi läbimõõt peab olema umbes ühe keermeniidi kõrguse võrra väiksem kui saadava keerne läbimõõt, kuna keermetamise protsessi jooksul toimub materjali paisumine keermeniitide tippudesse.

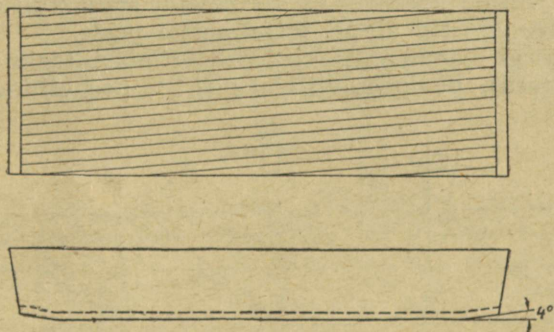
Joonisel 136 on toodud keermelaudade konstruktsioon. Liikuv laud tehakse veidi pikem. Valmistatakse keermelauad süsi-

nikterasest või legeeritud terasest. Komplektis olevad keerme-
lauad peavad omama ühesugust keermeniitide nurka, kuna
muidu keere kujuneb vigaseks.



Joon. 135.

Viimane keermetamismeetod on produktiivsemaid, on aga
kasutatav peamiselt väikest täpsust vajavate keermete valmis-
tamisel.

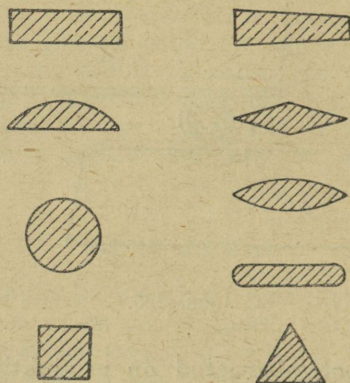


Joon. 136.

XVI. VIILIDE TÜÜBID JA NENDE KONSTRUKTSIOON.

Viil teeb oma laastuvõtmise tööd tema pinnal asuvate ham-
maste abil. Viili konstruktsiooni elementideks on tema pikkus,
profiil, raie ja saba. Samad elemendid määravad ka viili tüübi.

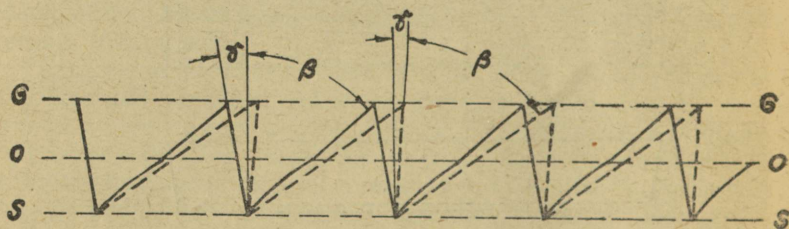
Viilid on oma põiklõike järgi: lamedad, poolümmargused, ümmargused, neljakandilised ja kolmekandilised (joon. 137). Eriprofiilidest väärivad mainimist noamõõgakujulised, ovaalsed ja lamedad ümardatud servaga (joon. 137).



Joon. 137.

Teised viilide profiilid ei ole praegu standarditud ja tehased valmistavad neid ainult eritellimiste peale.

Raie järgi jagunevad viilid koorimisviilideks (jämeviil, B-viil, bastard), poolpeen-viilideks ($\frac{1}{2}$ S), peenviilideks (S) ja



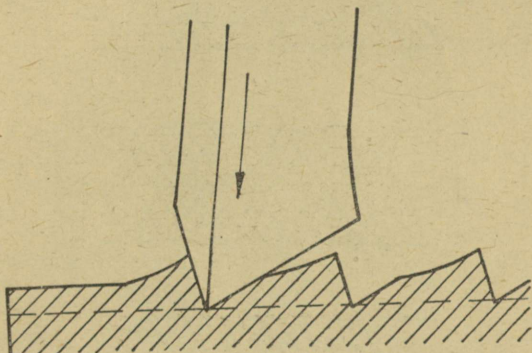
Joon. 138.

sametviilideks (SS). Viimast viilitüüpi tõrjub järjest rohkemlihvimine tarvitamisest välja.

Raie iseloomu lõikamise seisukohalt määrab tema saamise viis. Praegu on tarvitusel meisliga raiutud ja freesitud raie.

Meisliga raiutud raied võivad olla viiliraied ja raspliiraied. Joon. 138 on toodud viiliraie hambad, kusjuures punk-

tiiriga on märgitud teoreetiliselt õiged hambad. Viimaseid ei ole võimalik saada ei käsitsi ega masinaga raiudes, kuna viiliraimeisliit ei ole võimalik teisiti teritada, kui on näidatud joon. 139. Võrreldes saadavaid hambaid teoreetilistega näeme, et esinurk on esimesel juhul 16° , teisel juhul 7° . Lõikenurk on esimesel juhul 106° , teisel juhul 83° . Nagu sellest võrdlusest nähtub, ei vasta viilihammas ka väiksemalgi määral korralikule lõiketerale esitatavaile tingimustele. Joon. 138 sirge $O-O$ märgib raieta viili pinda, sirge $G-G$ hambavahe põhjajoont, sirge $S-S$ hambatippude joont. Hambaselg jaguneb kahte ossa: sirge osa, mis asub viili kehas, ja kõverdatud, mis asub hamba ülemises osas. Kõverdatud osa kuju oleneb materjali kõvadusest



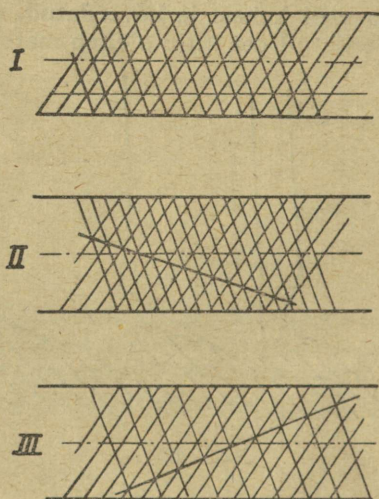
Joon. 139.

ja vastab peaaegu paraboolile. Hambakuju oleneb suurel määral meisli teritamisest, tema asetusest ja löögi tugevusest. Kui meisel omab liiga nüri teritusnurka, siis hambatipp võib isegi tagurpidi käänduda.

Viili raie võib olla kas liht- või ristraie. Lihtraie on ainult ühesuunaline ja tema asub $70-80^\circ$ all viili telgjoonega. Liht-raiega viile saab kasutada pehmete metallide, puidu ja korgi viilimiseks. Lihtraie juures jääb laast kergesti hammaste vahele kinni.

Ristraie on enamiku viilitüüpide juures tarvitusel. Raiete nurgad viili telgjoone suhtes on üleliidulise standardi poolt kindlaks määratud: alumisel raiel 55° ja ülemisel — 70° . Alumine ja ülemine raie peavad erinema oma sammult (joon. 140). See on vajalik selleks, et hammaste tippe ühendavad jooned

ei oleks paralleelsed viili telgjoonega, mis jätaksid viilitavale pinnale sügavad jäljed ja raskendaksid tööd. Joon. 140 on näidatud kolm juhtu: 1) kui alumise ja ülemise raie samm on ühesugune, siis hammaste tippude joon on paralleelne viili telgjoonega, 2) kui ülemine raie on suurema sammuga, siis hammaste tippude joon on kallak, 3) suurema sammuga alumise raie juures on see joon samuti kallak, kallakus on ainult teisele poole. Standard määrab ülemise raie veidi peenema (jooksva sentimeetri kohta 1—2 hammast rohkem).



Joon. 140.

Viimaseks raie tüübiks on raspliraie (joon. 141). See raie on väga ebatäiuslik. Raspleid kasutatakse peamiselt pehmete materjalide töötlemiseks.

Freesitud raie on hakatud kasutama alles viimastel aastakümnetel. Freesitud raiel on võimalik saada esinurka kuni 3° , mis teeb hamba vastuvõetavaks ka teoreetilisest seisukohast. Freesitud raie on praegu tarvitusel peamiselt suurte mõõdetega viilide juures.

Viilide valmistamiseks kasutatav teras sisaldab 0,8—1,2% süsinikku, sageli omab ka väikest kroomi lisandit.

Viilide valmistamise protsessis on tähtsamateks operatsioonideks toortüki lõõmutamine, lihvimine enne raiumist, raiumine ja termiline töötlemine.

Lõõmutamine on vajalik sisepingete kaotamiseks ja sise-mise struktuuri ühtlustamiseks, mis väldib karastamisel neist tingitud defekte. Peale lõõmutamist tuleb lõõmutamisel tekkinud süsinikuvaesem pinnakiht maha lihvida, mis toimub liivakäiaga. Järgneb raiumine või freesimine. Raiumist teostatakse viimasel ajal peamiselt mehaanilisel teel. Enne karastamist määratakse viil eriseguga, mis hoiab viili hambaid põlemise



Joon. 141.

eest karastamisel. Need segud võivad olla mitmesuguse koosseisuga, nad peavad aga reeglina sisaldama tsementeerivat ainet.

Karastamine toimub suuremate partiide kaupa, kusjuures jahutusvedelikuks kasutatakse peamiselt vett. Peale karastamist puhastatakse viilid kas auru- või liivajoas.

Olulise tähtsusega on kulunud viilide regenereerimine, s. o. uuesti töökorda seadmine. Selleks võib kasutada mitut viisi. Parimaks on neist osutunud viili teritamine liiva joaga. Suruõhu abil (surve 5—6 atü) paisatakse peen liiv vastu viilihamba kukalt, nagu on näidatud joon. 142. Punktiirjoonega on märgitud hamba kukla uus piirjoon. Liivajuga juhatakse alguses risti ülemise raie hammaste kukaldele ja siis alumistele.

Teine kasutatav viis on viili peitsimine hapetega. Kasutamist leiavad väävelhappe ja soolhappe segud. Praktiliselt ei anna peitsimine sellist efekti kui liivajuga ja on pealegi keerulisem. Seejuures tekivad tervistohustavad aurud.

Viili kõlblikkust tööks on tarvis kontrollida hankimisel. Lihtsamaks viiliproovimise viisiks on ammust ajast temaga töötamine. Sel teel saadud otsus on aga subjektiivne ja oleneb tervest reast kõrvalmõjudest, mis teevad otsustamise ebakindlaks.

Viilide massilise proovimise jaoks on tarvitusel Herberti viiliproovimise pink, mille abil saab täiesti objektiivsed andmed.

Harilikes töökoja oludes tuleb viili headuse määramisel tähele panna järgmisi tunnuseid:

- 1) viiliraie peab olema sinakas-halli värvust, punakad plekid on rooste tunnusemärgid;
- 2) vastu kõva lauaserva lüües peab viil omama metalset kõla, kui see puudub, on viilil praod sees;
- 3) viili hammaste kõvadust võib proovida vana viili otsaga: kui uue viili hambad pöörduvad tagurpidi, siis on viil pehme, murduvad nad, siis on viil liiga kõva;
- 4) viil ei tohi olla kõverdunud ega kaardunud.

XVII. LIHVIMINE.

Lihvimismaterjalid.

Eriti sileda ja täpse pinna saamiseks kasutatakse lihvimist. Lihvimismaterjalidest on praegu kasutamisel nii looduslikud kui ka kunstlikud. Looduslikest lihvimismaterjalidest väärib mainimist korund, smirgel ja kvarts.

Korund on kristalliseerunud alumiiniumoksüüd ja kõvaduselt jääb maha ainult teemandist (kõvadus 9,5 Moosi järgi). Olles samaaegselt võrdlemisi sitke, on ta parimaks looduslikuks lihvimismaterjaliks tööriistade teritamisel.

Smirgel sisaldab samuti alumiiniumoksüüdi (umbes 60%). Kõvaduselt ta jääb korundist maha, kuna tema koostis ei ole ühtlane ja ka lisaained mõjutavad tugevasti kõvadust.

Kvarts leiab kasutamist liivakivist käiade ja liivapaberi näol peamiselt puidutööriistade teritamisel ja puidu ning teiste pehmemate materjalide lihvimisel. Metallitöötlemise terade teritamisel ei oma ta mingisugust tähtsust.

Kunstlikest lihvimismaterjalidest on tähtsamad kunstlik korund, ränikarbiid ja boorikarbiid.

Kunstlik korund saadakse koksi ja boksiidi kokkusulata-misel elektriahjus plokkidena, mis peenendatakse ja puhasta-takse metalseist lisandeist. Kunstlik korund on sageli loodus-likust korundist kõvem, kuna ta on puhtam ja omab võrdlemisi suurt sitkust. Seetõttu kasutatakse teda sitkete ja suure tõmbe-tugevusega materjalide lihvimisel. Turul leidub teda korundi, alundi, abrasiidi, aloksiidi, elektrorubiini ja teiste nimede all.

Ränikarbiidi (SiC) saadakse liiva ja koksi segu kokkusulata-misel elektriahjus kõrge temperatuuri juures (3000—4000°). Ränikarbiidi terad on väga kõvad ja nõelтерavate servadega, kuid väiksema sitkusega kui korund. Teda kasutatakse peami-selt väikese tõmbetugevusega ja rabedate materjalide lihvimisel (nagu malm, pronks, messing jne.). Müügil on ränikarbiid karborundumi, karborundum-ekstra, karboliidi, karboloni, kris-talloni jt. nimede all.

Lihvimise tööriistad.

Lihvimise abil võetakse töödeldavalt materjalilt väga õhuke kiht maha. Ta on täpseim pinnatöötlemise viis. Lihvimine on inimsoole tuntud juba eelajaloolisest ajast peale, erilise arengu sai ta aga alates XIX sajandi keskpaigast, millal leiutati kunst-likud lihvimismaterjalid ja konstrueeriti spetsiaalsed lihvimis-pingid.

Viimastel aastatel on lihvimine saanud paljudes tööstus-harudes tehnoloogilise protsessi silmapaistvamaks operatsioo-niks. Eriti märgatav on lihvimise osatähtsuse tõus massitoo-dangu alal, nagu autotööstuses ja aviotööstuses. Üksikutes tehastes moodustavad lihvimispingid kuni 20% kogu pinkide pargist.

Kaasaegses masinaehituse tööstuses kasutatakse lihvimist järgmistel juhtudel: 1) detaili täpsete mõõdete saamiseks, 2) eriti täpsete mõõdete saamiseks pastaks segatud lihvimispulb-riga, 3) detaili pinnale suure sileduse ja kõrge läike andmi-seks ilma erilise täpsuse nõudeta, 4) lõiketerade teritamiseks, 5) viimasel ajal järjest suuremal määral koorimistööde teosta-misel, kusjuures mahavõetava kihi paksus on 0,5 mm või isegi üle selle, ja 6) valamite ja seipste eelpuhastamisel tagist ja valu-koorikuist.

Nagu toodud loetelust nähtub, on lihvimise kasutusala võrdlemisi lai. Lihvimise protsess ise aga ei ole kaugeltki nii põhjalikult läbi uuritud, nagu näiteks treimine ja nagu ta seda vääraks. Alles viimastel aastatel on selles suunas palju edasi jõutud, mis võimaldab ka lihvimise ratsionaalset kasutamist.

Sagedamini esinevaks tööriistaks lihvimisel on käi. Ta kujutab enesest kristalliliste lihvimismaterjali terade massi, mis omavahel on seotud mingisuguse sideainega.

Käia võib võrrelda freesiga, millel on väga suur arv hambaid. Laastuvõtmist teostavad ainult lihvimismaterjali terad, kuna sideaine lõikeprotsessist osa ei võta.

Lihvimisel iga käiatera võtab laastu seni, kuni tema lõikeserva nürinemise tõttu suurenev lõiketung on suuteline teda sideainest välja kiskuma või tükeldama. Sideaine ülesanne on hoida lihvimisaine tera seni tema pesas, kuni ta on nürinenud, ja võimaldada siis tema väljakukkumist, andes ruumi uutele, teravamatele teradele. Seejuures peavad välja kukkuma ka sideaine osakesed, mis teda seni kinni hoidsid, ja paljastama järgnevaid teravaid terakesi.

Antud töötlemistingimustele vastava sideaine valikul toimub see protsess õigeaegselt. Sellise töötlemisviisi tõttu võib käiu erinevalt teistest lõiketeradest nimetada iseterituva teks.

Iga lihvimismaterjali osake, mis on oma servadega käia pinnast väljas, võtab laastu, mis on seda õhem, mida väiksem on tera ise. Töödeldud pinna puhtus ja siledus oleneb nii siis käiatera jämedusest.

Tera jämedust märgitakse arvuga, mis näitab kasutatava sõela aukude arvu jooksvas tollis, millest kõne all olevad terad veel läbi lähevad.

Ameerika standardide järgi (Norton), mis on üsna lähedased OST-ile, jagatakse käiad järgmistesse rühmadesse tera jämeduse järgi:

1. Väga jämedateralised	nr. 8, 10
2. Jämedateralised	nr. 12, 16, 20, 24
3. Keskmisateralised	nr. 30, 36, 46, 60
4. Peeneteralised	nr. 70, 80, 100, 120
5. Ülipeeneteralised	nr. 150, 180, 200, 240
6. Tolmutateralised	nr. 280, 320, 400, 500, 600.

Sageli kasutatakse mõningate tööde jaoks käiu, mille terad on mitme jämedusega, sel juhul aga märgitakse tavaliselt domi-

neeriv terajämedus. Tuleb arvestada veel sellega, et kaasaegse käiade valmistamise tehnoloogia juures paratamatult esineb samas käias mitu terajämedust.

Lihvimismaterjali teri kooshoidva sideaine keemilise koostise järgi jaotatakse käiad kolme rühma: keraamilisteks, mineraalseteks ja taimse sideainega käiadeks.

Suurima levikuga on keraamilised käiad, mille sideaine koosseisu kuuluvad tulekindel savi, räniliiv, põldpagu, talk ja liivatolm.

Sideaine segu lihvismaterjaliga vormitakse pressimise teel või valamiseega, kuivatatakse ja põletatakse.

Pressitud käiad on suure poorilisusega, ühtlase kõvadusega ja on suure löikevõimega. Lihvimismaterjali terade nürinedes pudeneb keraamiline sideaine koos teradega välja ja seetõttu ei kaldu selline käi muutuma libedaks. Jahutamise kasutamine on täiel määral võimalik, mis tõstab töödeldava pinna kvaliteeti.

Valatud keraamilised käiad on veel poorilisemad ja seetõttu veel suurema löikevõimega. Valatud käiu kasutatakse peamiselt silumistööde juures, kuna pressitud käiad on raskeimate koorimistööde jaoks.

Keraamiliste käiade puuduseks tuleb lugeda nende võrdlemisi suurt rabedust ja õhukeste käiade valmistamise võimatust.

Mineraalse sideainega käiad on kas magnesiit- või silikaatkäiad. Magnesiitkäiu valmistatakse Sorel'i tsemendiga (magnesiidi ja kaltsiumkloriidi segu), nende valmistamise aeg on pikk, nad on väikese tugevusega ja kaotavad kergesti oma vormi, mistõttu nende kasutamisala on jäänud väikeseks.

Silikaatkäiade sideaineks on segu savist, liivatolmust ja vesiklaasist. Vaatamata oma väikesele kõvadusele ja poorilisusele on nad küllalt tugevad, kaotavad aga kiiresti oma kuju ebahürtlase kulumise tõttu. Mineraalsete sideainetega käiadega võib töötada ainult kuivalt.

Taimsete sideainetega käiade paremusteks on nende suur elastsus seoses küllaldase tugevusega, mistõttu nad kannatavad hästi lööke, lühike valmistusaeg (2—12 päeva) ja võimalus neid valmistada üsna õhukestena. Ühiseks paheks tuleb lugeda nende käiade väikest poorilisust, väikest soojuskindlust ja kuivalt töötamise nõuet.

Tuntakse nelja liiki taimse sideainega käiu: vulkaniit-, oleoniit-, šellak- ja bakeliitkäiad.

Vulkaniitkäiad valmistatakse naturaal- ja kunstkummi segust. Nad on väga tugevad ja elastsed, mistõttu neid võib valmistada kuni 0,8 mm paksusega 150 mm läbimõõdu juures. Nad võivad töötada ka kõrvallöökide olemasolu puhul. Kasutatakse neid metallide lõikamiseks, saagide teritamiseks jne. Kahjuks on nad vähesee poorilisusega, muutuvad kiiresti libedaks ja soojenedes annavad kõrbenud kummi lõhna.

Oleoniitkäiade sideaineks on oksideeritud taimeõlid, millele on juurde lisatud vaiku ja mangaani. Need käiad on pehmed ja kuluvad kiiresti. Nende vooruseks on odavus ja väike soojuse eraldumine. Viimane asjaolu lubab neid eduga kasutada pehme terase lihvimisel.

Šellakkkäiad, nagu oleoniitkäiadki, valmistatakse pressimise teel. Oleoniitkäiade heade omaduste kõrval, on šellakkkäiadel veel suur tugevus, mistõttu nad on produktiivsemad. Šellakkkäiad aga on kallid sideaine kalliduse tõttu.

Bakeliitkäiad tulid tarvitusele alles hiljuti. Kuna nende valmistamine on odav, mehaanilised omadused aga küllalt head, siis on nad tööriistade teritamise ja väikest täpsust nõudvate lihvimistöõde juures tõrjunud teised käiatüübid kõrvale.

Käia kõvaduseks nimetatakse tema võimet vastu panna töö juures tekkivate tungide mõjule, mis tahavad käia tera sideainest välja kiskuda. Käia kõvadusel ei ole midagi ühist lihvimismaterjali kõvadusega. Käia kõvadus, oleneb sideaine enese tugevusest, tema kihi paksusest üksikute terade vahel, käia poorilisuse astmest. Poorilisus omakorda oleneb valmistusviisist.

Käia kõvadus märgitakse käiale vabrikus ja märkimisviise on mitu. Alljärgnev tabel annab pildi tarvitatavatatest märkimisviisidest.

Käia kõvaduse valikul tuleb lähtuda tema iseteritamise tingimusest. Kõvadus tuleb valida nii, et lihvimisaine terad langeksid välja ainult nende nürinemise momendil, mitte enne ega pärast seda. Liiga pehme käia juures kukuvad nad välja enne nürinemismomenti, käi kulub kiiresti. Liiga kõva käia juures nürinevad terad enne väljakukkumist, mis kutsub esile eseme ülesoojenemise ja liigse energiakulu.

Praktikas on välja kujunenud järgnevad käia kõvaduse valiku reeglid.

1. Mida kõvem on töödeldav metall, seda pehmem peab olema käi, kuna kõva materjal nürib lihvivaid teri kiiremini.

Tabel nr. 41

Kõvaduse rühm	OST 2620	Norton	Carborundum- werke
Väga pehmed	4M	E	Z
Üsna pehmed	BM ₁	F	W
	BM ₂	G	U
Pehmed	M ₁	H	T
	M ₂	I	S, R
	M ₃	J	Q, P
Keskmiselt pehmed	CM ₁	K	N, O
	CM ₂	L	M, L
Keskmiised	C ₁	M	K
	C ₂	N	J
Keskmiselt kõvad	CT ₁	O	I
	CT ₂	P	H
	CT ₃	Q	G
Kõvad	T ₁	R	F
	T ₂	S	E
Üsna kõvad	BT ₁	T	D
	BT ₂	U	—
Väga kõvad	4T ₁	V	—
	4T ₂	W	—

2. Ka pehmete, kuid väga sitkete materjalide lihvimiseks tuleb valida pehmemaid käiu.

3. Jämedamaterjalised käiad peavad olema kõvemad kui peeneterjalised käiad.

4. Karedate pindade lihvimiseks tuleb valida kõvem käi.

5. Mida suurem on kokkupuutepind käia ja lihvitava pinna vahel, seda pehmem peab olema käi.

6. Mida suurem on eseme ringkiirus, seda kõvem peab olema käi.

7. Käia ringkiiruse tõusuga peab käia valima pehmemat.

8. Silumistööde jaoks tuleb valida pehmem käi kui koorimistööde jaoks.

9. Märjal lihvimisel tuleb kasutada kõvemat käia kui kui-
val lihvimisel.

10. Mida kvalifitseeritum on lihviija, seda pehmem võib olla käi.

Käia kõvaduse määramiseks ei ole seni õnnestunud leida rahuldavat meetodit ja seni kasutamisel olevad aparaadid teevad seda poolikult.

Metallide lihvimine.

Olenevalt lihvitava eseme kujust tuntakse mitut lihvimisviisi.

Väline ümarlihvimine teostub silindriliste välispindade töötlemisel. Detail on tavaliselt paigutatud lihvimispingi sentrite vahele ja omab ringliikumise kui ka liikumise piki telgjoont. Käial on ainult ringliikumine ja iga käigu järel süveneb käi lihvimise sügavuse võrra materjalsse. Selline liikumiste kombinatsioon garanteerib lihvitud pinna kõrget kvaliteeti, kuid vajab suure gabariidiga pinki ega ole rakendatav suurte esemete lihvimisel. Välist ümberlihvimist võib teostada ka nii, et ettenihkeliikumine teostatakse käia poolt.

Sisemisel ümarlihvimisel käia ja eseme ringliikumise suunad on vastupidised. Ettenihkeliikumine võib teostuda kas käia või lihvitava eseme poolt. Raskemate esemete siselihvimisel teostab käi keerulist planetaarliikumist, tiireldes enese telje ümber ja ka lihvitava õõnsuse telje ümber.

Tasapinnaline lihvimine teostub pinkidel, mis töötavad hõõvelpingi või karusellpingi põhimõttel. Lihvitakse käia silindrilise kui ka otpinnaga.

Fassonglihvimist kasutatakse neil juhtudel, kui on tarvis anda pinnale teatud profiil. Tarvitatakse hammasrataste, tigude, kuullaagrite jne. lihvimisel. Kasutatakse seejuures profiilkäia.

Sentriteta lihvimise põhimõte seisneb selles, et lihvitav ese asetseb vabalt kahe käia vahel, millest üks teostab lihvimist ja teine annab esemele ringliikumise ja teostab ettenihet. Selline tööviis tõstab töötamise ökonoomsust, vabastades operatsiooni sentreerimisega seotud ajakulust, ei vaja kinnitusrakiseid, vähendab praaktöö võimalusi ja vajab oma teostamiseks väiksema kvalifikatsiooniga töölisi.

Laastu tekkimine lihvimisel on sarnane laastu tekkimisega freesimisel. Iga käia tera võtab omaette väikest laastu, nagu freesi hammas. Kuna käia terad omavad väga mitmesugust kuju ja seetõttu ka üsna erinevaid lõikenurki, siis võivad lihvimise laastude hulgas esineda kõik laastukujud, mida õppisime tundma treimise juures. Koos laastuga lahkuvad tolmu näol ka nürinenud käia terad ja sideaine. Jahutuseta lihvimisel laast ei hoidu alal, vaid „põleb“, andes vihu sädemeid, sest lihvimisel tekib küllalt kõrge temperatuur (1500°) suure löikekiiruse tõttu. Jahutus võimaldab saada paremat töödeldud pinda.

Lõiketung lihvimisel. Kuigi lihvimisel mahavõetav laast on väga väike, esineb selle teostamisel märgatav lõiketung P_z , mis on suunatud tangentsiaalselt käia ümbermõõdule. Radiaaltung P_y ja telgtung P_x omavad niivõrd väikesi suursusi, et neid ei tarvitse arvestada.

Lõiketungi P_z määramiseks kasutatakse valemit

$$P_z = \frac{p \cdot v_e \cdot s \cdot t}{60 \cdot v_k} \text{ kg,}$$

kus p on lihvimise erisurve kg/mm^2 ;

v_e — lihvitava eseme ringkiirus m/min ;

s — etteniihe eseme telje suunas mm/t ;

t — lihvimise sügavus mm ;

v_k — käia ringkiirus m/min .

Katsed on näidanud, et lõiketungi suurus lihvimisel oleneb esiteks käia terade nürinemise astmest ja teiseks nürinenud käia terade teravamatega asendamisprotsessi iseloomust. Seoses terade nürinemisega tõuseb lõiketungi suurus. Nürinenud tera sideainest väljarebimise järele langeb lõiketung otsekohe. Antud metalli puhul ja antud lihvimistingimuste juures tuleb valida selline käi, mille omadused oleksid iseteritumise mõttes kõige sobivamad.

Käia püsivus ja kulumine. Käia vastupidavust kulumisele nimetatakse tema püsivuseks. Arvuliselt tähendab püsivus puhast tööaega kahe käia õgvenduse vahel teemandiga.

Vastuoksa terasest teradele vähendab käia lõikekiiruse suurendamine tema kulumist. See on seletatav sellega, et lõikekiiruse suurenemisega väheneb iga käiatera poolt võetava laastu paksus ja koos sellega ka lõiketung. Käia kulumise vältimiseks tuleb töötada suurte käia ringkiirustega.

Eseme ringkiiruse tõstmine aga mõjub vastupidiselt, käia püsivus väheneb. Põhjuseks on asjaolu, et eseme ringkiiruse tõusuga tõuseb ka iga käiatera poolt võetava laastu paksus, mis toob kaasa ka lõiketungi suurenemise.

Lihvimise sügavuse suurendamine suurendab ka käia kulumist, kuna seejuures suureneb lihvimise produktiivsus, ühes sellega aga ka iga käiatera koormatus. Mida raskemad on lihvimise tingimused, seda väiksem peab olema lihvimise sügavus. Siselihvimisel ta peab olema väiksem kui välislihvimisel.

Ettenihke suurendamine suurendab igal juhul ka käia kulumist, kuna laastu põiklõikepinna suurenemine selle juures toob kaasa ka lõiketungi suurenemise.

Lihvimist võib teostada kas kuivalt või märjalt. Kuna lihvimisel temperatuur tõuseb üsna kõrgele, mis halvendab lihvimise tingimusi, siis mõjub jahutamine positiivselt, hoides ära lihvitava eseme ülesoojenemise. Jahutusvedelik peseb välja tolmu ja lihvimislaastu, aidates kauem alal hoida terade lõikevõimet.

Sagedamini kasutatav jahutusvedelik on 5—11% soodalahus väikese seebi lisandiga. Mõnede metallide, näiteks alumiiniumi lihvimisel kasutatakse petrooleumi ja värtnaõli segu. Sageli lihvitakse malmi ja vaske, niklit aga alati ilma jahutuseta. Käia võib jahutada ka töö katkestuste teel.

Käia kõvaduse tõusuga väheneb tema kulumine, kuna see tõttu terad hoiduvad tugevamini sideaines. Tera suurenedes suureneb ka käia kulumine, kuna tera suurenemisega suureneb ka tera sideainest väljakiskuv tung.

Lõikerežiim lihvimisel. Lihvimise sügavus saab teoreetiliselt olla kõige rohkem võrdne käia tera poole diameetriga. Kuna metallide töötlemisel kasutatakse käiu teralisusega 20—100, siis lihvimise sügavus kõigub 0,05 kuni 0,5 mm piirides. Võib märkida, et mida raskemad on lihvimise tingimused, seda väiksem peab olema lihvimise sügavus. Malmi lihvimisel kasutatakse suuremaid lihvimise sügavusi kui terase lihvimisel.

Välisel koorimisel sentrite vahel võetakse lihvimise sügavuseks:

karastamata terase puhul	0,01—0,1 mm
karastatud terase puhul	0,01—0,095 mm
malmi puhul	0,015—0,12 mm
pronksi puhul	0,015—0,11 mm

Kõrgemad piirid on kasutatavad telgettenihke puhul, kui see ei ületa 0,25—0,3 käia laiust.

Peenlihvimisel sentrite vahel võetakse terase, malmi ja pronksi puhul lihvimise sügavuseks 0,005—0,04 mm, olenevalt lihvitava eseme läbimõõdust. Antud piirid garanteerivad töötlemise 1. — 2. täpsusklassi.

Siselihvimisel on vastavad piirid väiksemad. Olenevalt eseme läbimõõdust töötatakse järgmiste lihvimise sügavustega:

karastatud terase puhul	0,005—0,04	mm
karastamata terase puhul	0,005—0,05	mm
malmi ja pronksi puhul	0,005—0,058	mm

Sisemisel peenümarlihvimisel kõigub lihvimise sügavus 0,003—0,016 mm vahel, olenevalt lihvitava eseme läbimõõdust.

Lõpuks peab märkima, et tegelik lihvimise sügavus kujuneb pingi ja eseme paratamatu vetrumise tõttu veidi väiksemaks sellest, millele pink on seatud. Nõutava täpsuse saamiseks on tarvis mitu käiakäiku sama lihvimise sügavusega seni, kuni kaovad sädemed.

Ettenihke suurus lihvimisel oleneb pingi võimsusest, eseme jäikusest, nõutavast töö täpsusest ja tervest reast teistest teguritest. Kuna ettenihkeküsimust on veel vähe uuritud, siis tuleb tema määramiseks kasutada praktikas väljakujunenud andmeid.

Mida puhtam ja siledam peab olema pind, seda väiksem peab olema ettenihe. Tavaliselt kõigub telgettenihe piirides

$$s = (0,2—0,8) \cdot B \text{ mm/tiiru kohta,}$$

kus B on käia laius mm. Malmi lihvimisel võetakse ettenihe veidi suurem kui terase juures.

Eseme ringkiiruse tõusuga suureneb pingi produktiivsus, kuid ka käia kulumine. Õige eseme ringkiiruse määramisel tuleb silmas pidada järgmisi reegleid:

1. Suure kõvadusega metallide lihvimisel kasutatakse suu-remat eseme ringkiirust kui pehmete metallide lihvimisel. Praktiliste andmete põhjal võime masinaehituses kasutatavaid metalle järjestada suhtelise ringkiiruse järgi selliselt:

karastamata teras	1,00
lõõmutatud teras	1,23
kõva pronks	1,30
karastatud teras	1,33
malm	1,50

2. Välisel ümarlihvimisel tuleb võtta väiksemad eseme ringkiirused kui tasapinnalisel lihvimisel ja tasapinnalisel lihvimisel väiksemad kui sisemisel ümarlihvimisel.

3. Lihvitava eseme läbimõõdu mõju eseme ringkiiruse valikule on keerukas. Kasulikema lihvitava eseme ringkiiruse määramiseks soovib prof. Elden järgmist valemit:

$$v_e = \frac{C}{\sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{D} \pm \frac{1}{d} \right)}} \text{ m/min,}$$

kus C on tegur, mis oleneb töödeldava metalli omadustest ja lihvimise iseloomust. Märk $+$ (pluss) on tarvitusel välisel ümarlihvimisel, kuna märk $-$ (miinus) — sisemisel ümarlihvimisel. Eseme ringkiirust välisel ümarlihvimisel sentrite vahel võib arvutada ka Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi valemi järgi:

$$v_e = \frac{C_1 \cdot d^{0,5}}{s^{0,4} \cdot t^{0,3}} \text{ m/min,}$$

kus C_1 on jällegi tegur, mis oleneb materjali iseloomust ja lihvimisviisist.

Sisemise ümarlihvimise puhul on see valem järgmine:

$$v_e = \frac{C_2 \cdot d^{0,5}}{t^{0,3}} \text{ m/min.}$$

Tabel nr. 42

Töödeldav materjal	C				C_1		C_2
	Välislihvimine		Siselihvimine		Koorimine	Silumine	Koorim. ja silumine
	koorimine	silumine	koorimine	silumine			
Karastatud teras	0,26	0,13	0,13	0,11	4,0	2,2	2,40
Tsementeeritud teras	—	—	—	—	2,9	2,7	1,74
Toorteras	0,24	0,09	0,12	0,10	3,0	1,9	1,81
Malm	0,44	0,13	0,23	0,11	4,5	2,7	2,72
Kõva pronks	—	—	—	—	3,9	2,6	2,36

Toodud Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi valemid on statistilise iseloomuga ja on kasutatavad orienteeruvate arvutuste jaoks.

Käia ringkiirus. Kuna käia kulumine väheneb tema ringkiiruse tõusuga, siis on normaalne töötada võimalikult suurte ringkiirustega. Ringkiiruse tõusule paneb piiri käia mehaaniline tugevus. Et ära hoida käia purunemisi ja sellega seotud tööõnnetusi on NSV Liidus sundmäärusega kindlaks määratud maksimaalsed lubatavad ringkiirused:

terituskäiadel	12 m/sek
korund-, karborundum ja teistel käiadel koorim.	30 „
samadel käiadel peenlihvimisel automaatettenihk.	40 „

Käia valmistav tehas märgib käia etiketil maksimaalselt lubatava ringkiiruse, millest ei tohi üle minna.

Käia ringkiiruse määramisel tuleb silmas pidada alljärgnevat.

1. Rabedate ja väikese tõmbetugevusega metallide (näit. malm) lihvimisel võetakse veidi väiksemad käia ringkiirused kui sitkete ja suure tõmbetugevusega metallide juures.

2. Tasapinnalisel lihvimisel võetakse väiksemad ringkiirused kui välisel ümarlihvimisel, kuid suuremad kui sisemisel ümarlihvimisel.

3. Käsitsi ettenihke puhul olgu ringkiirus väiksem kui automaatettenihkel, sest käia koormatus on ebahühtlane.

4. Peenlihvimisel tuleb võtta suurem ringkiirus kui koorimisel, et saada puhtamat pinda.

5. Käia läbimõõt mõjutab puhtgeomeetriliselt tema ringkiirust, kuna sama tiirude arvu juures on suurema läbimõõduga käia ringkiirus suurem. Käia kulumisel tuleb suurendada tema tiirude arvu, et säilitada sama ringkiirust.

6. Kõva käia puhul valitakse tema ringkiirus väiksem kui pehme käia juures.

Kuna seni ei ole teostatud küllalt usaldusväärseid uurimusi käia ringkiiruse olenevusest mitmesugustest teguritest, siis tuleb veel esialgu kasutada käitise oludes saadud praktilisi andmeid.

Orienteeruvalt võib kasutada järgnevaid ringkiiruse piire: koorimislaastuga välisel ümarlihvimisel rabedate metallide puhul 18—23 m/sek; sitkete metallide puhul 25—30 m/sek, malmi peenlihvimisel 20—25 m/sek, terase peenlihvimisel 30—40 m/sek, siselihvimisel nii malmi kui terase puhul 10—30 m/sek, olenevalt käia läbimõõdust. Toodud andmed on võetud Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi normatiividest ja on ainult lähteandmeteks.

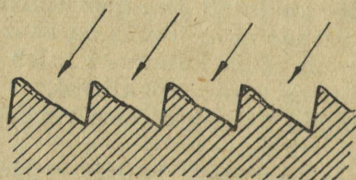
Honing-protsess.

Honing-protsess on oma iseloomult peenlihvimise üheks viisiks, mida tarvitatakse peamiselt aukude ja võllide peenlihvimiseks. Seda teostaval tööriistal on antud korraka nii edasitagasi sirgjooneline liikumine kui ka ringliikumine. Seda protsessi kasutatakse peamiselt auto- ja aviotööstuses mootorite silindrite peegelpindadele ideaalse sileduse andmiseks.

Selleks protsessiks kasutatav tööriist on näidatud joon. 143. Peeneteralisest karborundumist luiskude hoidjad (E) asetsevad silindrilise keha nuutides ja toetuvad liistudele (D). Liistud (D) toetuvad koonustele C—C, mis asuvad mõlemad poolil (B). Vedru (F) tahab koonuseid (C) laiali suruda. Vedurõngad (G) suruvad luisuhoidjaid (E) vastu liiste (D). Luisud ise on kinnitatud hoidjate külge pehme metalli abil.

Peegelpinna saamiseks jaguneb honing-protsess kaheks operatsiooni: eelhoneerimine luiskudega, mille tera jämedus on 80—100, ja silumine, mida teostatakse tera jämedusega 300—500, mis garanteerib äärmiselt sileda pinna eelhoneerimisel saadud mõõdetes.

Praktikas kasutatakse järgmisi honeerimise režiime: terase töötlemisel võetakse ringliikumise kiirus v 45—60 m/min ja



Joon. 142.

sirgjooneline liikumine s 12 m/min, malmi töötlemisel on vastavalt v 60—75 m/min ja s 15—23 m/min. Töö soodustamiseks tuleb kasutada petrooleumi pinna rikkalikuks niisutamiseks. Viimane uhub tekkiva laastu minema ega lase tööeldavat pinda liialt soojeneda.

Honing-protsessi võib kasutada peale hõõritsemist, kammloikamist ja lihvimist. Töötlemise täpsus on üsna kõrge — 0,005—0,0025 mm, kusjuures loikamisjälje kõrgus on 0,0025 mm.

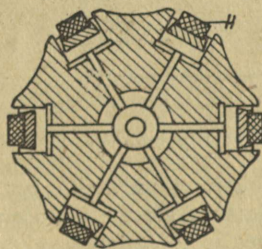
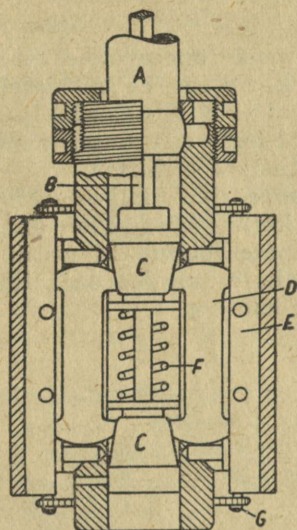
Honeerimiseks jäetakse töötlemise varu vastavalt eelnevale töötlemisele järgmiselt:

treitud silindrite juures	0,05 — 0,08 mm
hõõritsetud „ „	0,02 — 0,04 mm
lihvitud „ „	0,01 mm ja vähem.

Lapping-protsess.

Lapping-protsess teostatakse lihvimispulbri abil, mis on kantud protsessi teostava tööriista pinnale. Viimase materjal

peab olema pehmem kui töödeldav materjal, selleks et terakesed tugevasti kinnituksid tööriista materjalis, mingil tingimisel aga mitte töödeldavas materjalis. Tööriista materjaliks võib olla vask, plii, hall malm jne. Joon. 144 on näidatud lap-



Joon. 143.

ping-protsessi tööriist, mis koosneb neljast malmsegmendist (L), mida suruvad vastu töödeldava silindri seina vedrud (S) (survega 15 kg).

Kasutatavad lihvimismaterjalid on mitmekesised, peeneteralised korund-, smirgel ja karborundumpulber, krookus (raua-

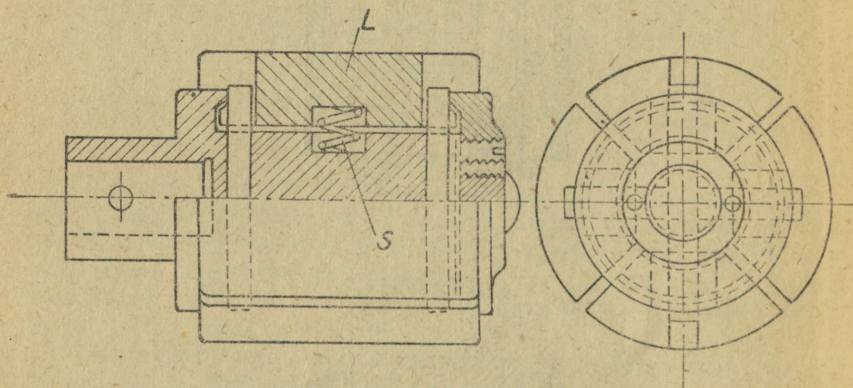
oksiüd), kroomoksiüd, harvemini volframkarbiidi- ja teemantpulbrid.

Lapping-protsessil saadakse töötlemistäpsus kuni 0,005 — 0,001 mm.

Superfiniš-protsess.

Uueks peenlihvimise operatsiooniks on superfiniš. Selle protsessi iseäralduseks on see, et luiskudele teralisusega 300 — 500 antakse sirgjooneline edasi-tagasi liikumine 3 — 5 mm ulatuses, töödeldavale esemele aga ringliikumine. Luisu ja töödeldava pinna vahele luuakse õlikirve.

Esimestel töö momentidel, kui superfinišile eelneva töötlemise jäljed on veel küllalt kõrged, on õlikirve kergesti katki rebitav ja laastuvõtmine toimub kõige intensiivsemalt, töötlemisjälgede madalamaks muutudes on luiskude laastuvõtmiseks vajalik surve järjest suurem.



Joon. 144

Superfiniš teostatakse tavaliselt peale täpset lihvimist. Superfiniši juures kasutatakse võrdlemisi madalat survet (1—4 kg), pind on peale töötlemist väga kõrge kvaliteediga ja, nagu katsed näitavad, ka suure kulumiskindlusega.

XVIII. TÖÖRIISTAMAJANDUSE ORGANISEERIMINE.

Käitise töö häireteta kulgemiseks on tarvis garanteerida vajalikul hulgal ja nõutava kvaliteediga tööriistade saamist. Normitud tööriista valmistamine on erikäitiste ülesanne,

kuna need suudavad seda valmistada paremini ja odavamalt, eritööriistu aga tuleb valmistada sageli käitisel endal.

Käitisele vajalik tööriistade hulk koosneb igapäevasest tööriistakulust ja alaliselt käigusolevast operatsioonifondist, vastavalt käitise tootmisplaanile. Tööriista vajaduse täpne kindlaks tegemine on sageli üpris raske, mistõttu sageli kasutatakse praktiliste kogemuste abil saadud tegureid. Harilikult võetakse tööriista igapäevase kulu ja operatsioonifondi väärtusena 1—6% käitise toodangu omahinnast, vastavalt tootmisprotsessi keerukusele ja mehaanilise töötlemise osatähtsusele.

Käitise tööriistamajanduse juhtimine peab olema koondatud ühte osakonda, mis allub käitise plaaniosakonnale.

Selle osakonna tähtsamaks ülesandeks on koos tootmisosakonnaga tehnoloogiliste protsesside kindlaksmääramine ja vastava tööriista valik. Erisektsioon on ette nähtud tööriistade konstrueerimiseks. Sama osakond juhib ka tööriistade valmistamist oma käitises.

Tööriistamajanduse üheks hooleks on võimalikult suuremal määral kasutada normitud tööriistu. See vähendab tarvitavate tüüpide arvu, mis omakorda mõjutab toodangu omahinda. Üleliidulistest standardidest tuleb välja valida toodangu iseloomule vastavad tüübid ja kasutada ainult neid. See kergendab tööriistadega varustamist, nende remonti, hoidmist jne.

Normitud tööriistade puhul on kergem kindlaks määrata nende kulumist ja koos sellega ka vajadust.

Tööriista kulu on olenev töödeldava materjali iseloomust, selle termilisest töötlemisest, tööriista konstruktsioonist, löikekiirusest, löikesügavusest, ettenihkest, tera geomeetriast jne. Raske on luua norme, mis haaraks kõiki nimetatud tegureid.

Riikliku Masinaehituse Projekteerimise Instituudi poolt on välja töötatud vastavad kulumisnormid reale tööriistadele, mida võib võtta kalkuleerimisel aluseks. Tabelis nr. 43 on toodud need normid sagedamini kasutatavate tööriistade jaoks.

Tööriista kulunormi kaasabil on lihtne arvutada minimaalselt vajalikku tööriistahulka häireteta käitise tööks.

Normaalse tööriistamajanduse organiseerimise juures asub tööriistade põhitagavara käitise tööriistade kesklaos. See ladu saab oma tagavarad teistelt käitistelt või oma töökojast ja arvestab neid varusid ning jälgib varude püsivust. Kesklaost antakse tööriistad käibelattu, mis on kesklao osakonnaks ja asub teritustöökoja läheduses. Käibeladu on tavaliselt ainult

Tööriista nimetus	Mõõted	Püsivus tundides	Terita- miste arv
Treiterad pobediidist plaadikestega koorimiseks	8×12×100 kuni 25×44×300 mm	18— 48	10— 19
Treiterad pobediidist plaadikestega silumiseks	8×10×100 kuni 20×30×250 mm	27— 36	15— 20
Treiterad kiirlõiketerasest plaadi- kestega koorimiseks	15×25×200 kuni 40×60×400 mm	16— 34	20
C-terasest koorimisterad	10×16×175 kuni 40×60×450 mm	44—220	50—125
„ silumisterad	10×16×175 kuni 40×60×450 mm	38—320 70—118	40—180 81—137
„ keermetamisterad			
Kiirlõiketerasest plaadikestega hõõvliterad	8×12×100 kuni 20×30×250 mm	11— 36	12— 30
C-terasest koorimisterad	12×20×250 kuni 40×60×650 mm	52—220	60—126
„ silumisterad	12×20×250 kuni 40×60×650 mm	55—360	60—170
Spiraaluurid silindrilise sabaga, pikad	d 2—30	8—117	43—121
Spiraaluurid silindrilise sabaga, lühikesed	d 0,5—12	3,5— 32	20— 69
Spiraaluurid koonilise sabaga	d 6—60	26—197	70—154
Silindrilised freesid	40×40 ×16 kuni 130×175×24 mm	35— 75	10— 23
Otsfreesid	40×25 ×14 kuni 130×50 ×26 mm	19— 69	5— 15
Hambalõike moodulfreesid, ketta- lised	40×2 ×14 kuni 205×60 ×8 mm	42—162	12— 35
Hambalõike tigufreesid	56×65 ×9 kuni 124×169×9	90—190	20— 44
Fellow-hõõvliterad	120×23 kuni 87—20	84	20
Masinkeermepuurid	6,36×180×40 kuni 50,8 ×350×130	35— 61	5— 28
Ümmargused keermelõikurid	6,36×9 kuni 50,8 ×36	4— 18	3— 9

suuremates käitistes ja kujutab enesest vahelüli kesklao ja töökodade ladude vahel. Sinna tuleb töökoja ladudest nürine-
nud ja kõlbmatuööriist ja selle lao ülesandeks on hoolitseda
selle teritamise ja remondi eest. Teritamiselt ja remondist tuleb
seeööriist jälle käibelattu. Käibeladu toimetab kaööriista
jagamist üksikute töökodade ladude vahel.

Töökodade laod, saades tööriista käibelaost, toimetavad selle töökohale, korjates sealt ära kulunud ja kõlbmatuks muutunud tööriistad.

Sellise tööriistamajanduse organisatsiooni juures koosneb kogu antud tüüpi tööriistatagavara käitises tööriistadest töökohal, töökoja laos, käibelaos ja kesklaos.

Töökohal peab olema täiskomplekt vajalikest tööriistadest, mis garanteerivad pingi häireteta tööd, s. o. kahekordses või mõnikord isegi suuremas koguses.

Töökoja ladu peab olema suuteline varustama tööriistadega kõiki töökohti, vahetades tööpäeva jooksul kõik nürinenud ja kõlbmatuks muutunud tööriistad uute vastu. Töökoja lao tagavarade tegur peab olema, olenevalt tehnoloogilise protsessi iseloomust, 0,5—2,5. Töökoja lao tagavara peab vastama seitsmepäevasele väljaandmise vajadusele.

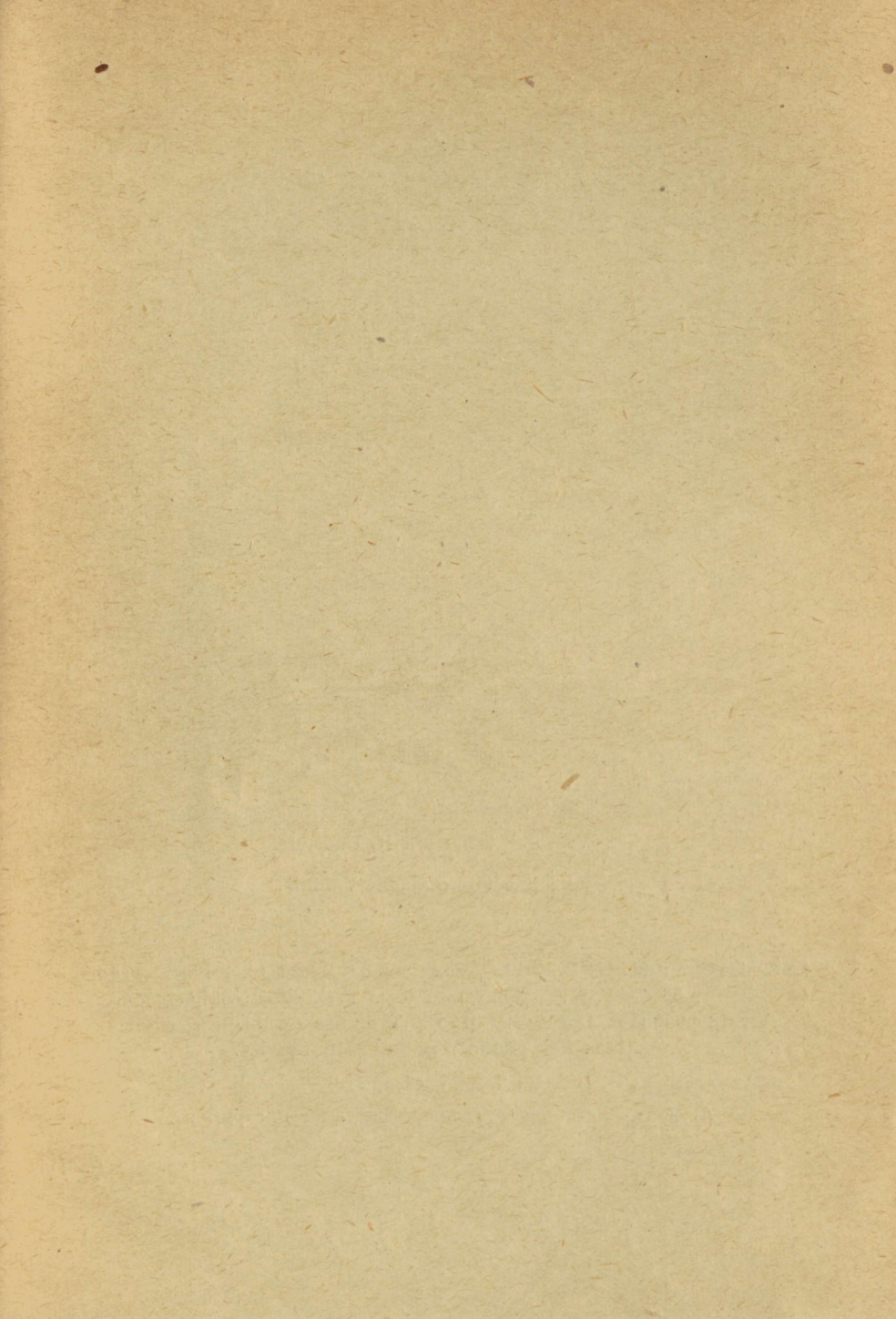
Käibelao tagavarade tegur kõigub 0,4 — 2 vahel. Kesklaos tagavara järgneb aastatarvidusest. Tavaliselt kõigub see varu 1 ja 6 kuu vajaduse piirides.

Õige tööriistamajanduse organiseerimise juures on tööriista teritamine tsentraliseeritud. Tsentraliseeritud teritamise paremus seisneb selles, et on võimalik selleks tööks rakendada kvalifitseeritud töölisi, mistõttu teritamine on reeglipärane, tööriista kasutatav tööline ei ole oma töös häiritud ja kergem on kasutamisele võtta kõvametallsulamitest lõiketeri, kuna siin just on teritamine vastutavam tööriista korrashoiu operatsioon. Oluline on tsentraliseeritud teritamise juures nürinenud tööriista õigeaegne töölt kõrvaldamine, ka vastu tööliste soovi, selle kvaliteetne teritamine ja õigeaegne töösse tagasi juhtimine. Tööriista teritamise töökoda peab olema varustatud kõigi teritamiseks ja kontrolliks vajalike seadmetega. Tsentraliseeritud tööriista teritamine on üheks tähtsamaks käitise tööprotsessi ratsionaliseerimise vahendiks, tagades moodsa lõiketeooria efektiivset rakendamist tegelikus töös.

Sisukord.

	Lk.
Saateks	3
I. Sissejuhatus	5
II. Lõiketera materjalid	6
Süsinikterased	7
Kiirlõiketerased	7
Kiirlõiketeraste asendajad	9
Kõvad sulamid	10
Lõiketerade termiline töötlemine	12
III. Treimine	14
Treitera geomeetria	14
Laastu tekkimise protsess	20
Terakasvaja	24
Töötlemise kõvenemine	25
Laastu surve lõiketerale	27
Lõiketungi mõjustavad tegurid	35
Tera värisemine	41
Lõikamisel tekkiv soojus	42
Lõikekiirus treimisel	45
IV. Treiterad	57
Sirge lõikeservaga terad	57
Profiilterad	67
V. Treimise lõikerežiimi määramine	73
Optimaalse lõikerežiimi valiku näide	80
VI. Metallide hõõveldamine	82
VII. Hõõvliterad	85
VIII. Puurimine	87
Puurimise lõikeprotsess	87
Puuri nurgad staatilises olukorras	90
Laastu tekkimine puurimisel	92
Telgtung ja pöördmoment puurimisel	93
Lõikekiirus puurimisel	97
Optimaalne lõikerežiim puurimisel	101
Puurimisel kasutatav võimsus	105

	Lk.
IX. Puuride konstruktsioon	106
X. Hõõritsad ja hõõritsemine	114
XI. Metallide freesimine	120
Frees lõiketerana	120
Laastu põiklõikepind freesimisel	123
Freesile mõjuvad tungid	127
Lõikekiirus freesimisel	131
Optimaalse freesimise režiimi määramine	133
XII. Freeside konstruktsioon	141
Harilikkude hammastega freesid	141
Kukaldatud hammastega freesid	149
Vahetatavate hammastega freesid	155
Freessaed	158
XIII. Kammlõikamine	162
Metallide lõikamine lõikekammidega	162
Lõikekammi konstruktsioon	165
XIV. Hambalõikamisterade konstruktsioon	169
Üldiseloomustus	169
Ketas- ja sõrmfreesid	170
Rullumismeetodil töötavad terad	174
XV. Keermetamine	184
Keermepuurid	184
Keermelõikurid	192
Keermelõikepead	196
Keermeterad	200
Keermefreesid	204
XVI. Viilide tüübid ja nende konstruktsioon	205
XVII. Lihvimine	210
Lihvimismaterjalid	210
Lihvimise tööriistad	211
Metallide lihvimine	216
Honing-protsess	221
Lapping-protsess	222
Superfiniš-protsess	224
XVIII. Tööriistamajanduse organiseerimine	224



Vastutav toimetaja H. Uuemõis.

Keeleline toimetaja K. Vainula.

Ladumisele antud 17. IX 1946. Trükkimisele antud 10. I 1947. Trükiarv 4200. Paber $56 \times 79,1/16$. Trükipoognaid 14,5. Trükitähti trükipoognas 42240.

Arvutuspoognaid 15,3. MB 01566. Tellimise nr. 1446. Trükikoda „Hans Heidemann“, Tartu, Vallikraavi 4.

На эстонском языке.

A. Мутт. Резание металлов и режущий инструмент.

Trükivigade parandus.

Lk.	On trükitud:	Peab olema:
15 joon. 2	Pikkiettenihe	Pikiettenihe
48 joon. 17	Terasvalu	Terasevalu
55 tabel nr. 20	Terasvalu	Terasevalu
68 1. rida ülalt	Profiilterad on;	Profiilterad on:
97 tabel nr. 25	Tempereeritud malm	Tempermalm
106 5. rida alt (valem)	$\dots = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 20} \cdot 286 \text{ t/min};$	$\dots = \frac{1000 \cdot 18}{3,14 \cdot 20} = 286 \text{ t/min};$
124 joon. 67 (nurga tähis)	ω	φ
124 1. rida alt	$a_i = s_z \cdot \sin \varphi_i$	$a_i = s_z \cdot \sin \psi_i$
125 1. rida ülalt	kirjutatada	kirjutada
125 8. rida ülalt	$\sin \varphi_i$	$\sin \psi_i$
211 1. rida alt	koorikuist.	koorikust.

Rbl. 14.—

A-16314

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00538809 7

Rbl. 14.—

A-16314

A. MUTT — METALLIDE LÕIKAMINE JA LÕIKETERAD

A-16314

INSENER A. MUTT

METALLIDE LÕIKAMINE
JA
LÕIKETERAD

RK

„PEDAGOOGILINE KIRJANDUS“

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00538809 7