

465-67



A. Jaanson
*L*õikeriistade
projekteerimine

Tallinn
1967

465

A-29186

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
Masinaehituse tehnoloogia kateeder

A. Jaanson

LÕIKERIISTADE PROJEKTEERIMINE

Metoodilised juhendid, kontrolltööde
ja kursuseprojekti ülesanded erialale
0501 - MM

Masinaehituse tehnoloogia, metalli-
lõikepingid ja -instrumendid

Tallinn
1967

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра технологии машиностроения

А.Р. Янсон

ПРОЕКТИРОВАНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Методические указания, задачи для
контрольных работ и курсового про-
екта по специальности 0501

На эстонском языке

Sisukord

Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu
72579

1. Sissejuhatus	3
2. Üldised metoodilised juhendid	4
3. Metoodilised juhendid programmi läbitöötamiseks ja küsimused enesekontrolliks	5
4. Üldised nõuded kontrolltööde ja kursuseprojekti tegemiseks	38
5. Metoodilised juhendid kontrolltööde ülesannete lahendamiseks	39
6. Kontrolltööde ülesanded	67
7. Kursuseprojekti ülesanded	75
8. Metoodilised juhendid kursuseprojekti ülesannete lahendamiseks	82
9. Kirjandus kontrolltööde ülesannete lahendamiseks	103
10. Kasutatud ja soovitatav kirjandus	104

Trükkimisele antud 10.XII 66. Paber 60x84, 1/16
Trükimg. 6,5. Tingpg. 6,05. Tiraaž 500
TPI rotaprint, 1967. Tell.465
Tasuta

Teenistuslik materjal

S I S S E J U H A T U S

Kursuse "Lõikeriistade projekteerimine" ülesandeks on anda ülevaade masinaehitustööstuses kasutatavatest standardsetest ja mittestandardsetest lõikeriistadest. Distsipliini õppimisel peab üliõpilane omandama oskuse analüüsida ja hinnata standardsete ning uute lõikeriistade konstruktsioone, et operatsiooni sooritamiseks antud tootmistingimustes valida kõige otstarbekohasema konstruktsiooniga lõikeriist. Rohkem on kursuses tähelepanu pööratud standardiseerimata lõikeriistadele, mis tuleb tehnoloogidel endil projekteerida. Kõikide lõikeriistade juures peab üliõpilane tutvuma nende konstrueerimise alustega ja projekteerimisel lahendamist vajavate probleemidega. Olulisemate mittestandardsete lõikeriistade (näit. kujuterade, kujufresside, kammlõikurite) puhul peab üliõpilane juba täpsemalt tundma nende konstrueerimise ja kujundamise võtteid. Suurt tähelepanu pööratagu massiliselt toodetavate standardsete lõikeriistade konstruktsiooni ja geomeetria parandamise ja täiustamise mooduste tundmaõppimisele.

Kursuse "Lõikeriistade projekteerimine" koostamisel on eeldatud, et õppiija on tuttav distsipliinidega "Lõiketooria" "Metallilõikepingid", "Masinaelemendid", "Tolerantsid ja tehniline mõõtmine", "Metallide termiline töötlemine", "Tugevusõpetus", "Kujutav geomeetria" ja "Kõrgem matemaatika". Lõikeriistade projekteerimise ja kujundamise alused annab peamiselt distsipliin "Lõiketooria", mida käesoleva kursuse õppimisel tuleb eriti hästi tunda. Et lõikeriistade projekteerimisel kasutatakse laialdaselt kujutatavat geomeetriat, ana-

lüütilist geometriat ja matemaatilist analüüsi, aitab kursuse omandamine arendada ka nende distsipliinide rakendamise oskust. Et arendada ka üliõpilaste üldtehnilisi võimeid on kontrolltööde koostamisel silmas peetud ülalmainitud.

ÜLDISED METOODILISED JUHENDID

Alltoodud metoodilised juhendid ja küsimused enesekontrolliks on koostatud vastavalt programmile "Lõikeinstrumentide projekteerimine", mille masinaehituse tehnoloogia kaateer andis välja 1962.a. Et programmis on toodud üksikasjalikud viited põhi- ja täiendavale kirjandusele, ei ole metoodilistes juhendites neid antud. Kursuse omandamiseks tutvutagu põhikirjandusega. Täiendav kirjandus annab põhjalikuma vastuse küsimustele, mis võivad esile kerkida mingi spetsiaalse probleemi lahendamisel praktikas. Enesekontrolli küsimuste hulgas on ka selliseid, millele ei anna vastust programmis toodud kirjandus. Nende küsimuste koostamisel on silmas peetud asjaolu, et üliõpilased peavad kursis olema ka erialase perioodikaga. Enamikule sellistele küsimustele saab vastused ajakirjade "Станки и инструмент" ja "Вестник машиностроения" viimastest aastakäikudest. Küsimused, millele pole leitud vastust kirjandusest, arutatakse läbi konsultatsioonidel.

Käesoleva kursuse õppimisel puutub üliõpilane kokku suure hulga faktilise materjali ja eksperimentaalsete valemitega. Faktilisest materjalist tuleb meelde jätta kõige olulisem, mis aitab kursuses orienteeruda või mis antud lõikeriistadele on iseloomulik. Nii tuleb teada, missugune on keskmine kuumuskindluse temperatuur süsinik- ja legeeritud tööriistaterastel, kiirlõiketerastel jne. Oluline pole teada iga üksiku lõikeelemendi materjali margi kuumuskindluse temperatuuri, küll aga tuleb teada, missugune materjali mark antud materjalide grupis on suhteliselt suurema, missugune

väiksema kuumuskindlusega. Et selles orienteeruda, tuleb meelde jätta tegurid, millest kuumuskindlus antud materjalide juures sõltub. Arvukate freesitüüpide juures muutub taganurk α väga suurtes piirides, orienteeruvalt $8...30^\circ$. Milline on ta igal üksikul freesi tüübil, pole oluline teada - tundes lõiketooria seaduspärasusi, võime selgitada, missugune ta antud juhul olema peab. Seevastu on käsihõõritsa iseloomulik lõikeosa nurk $\varphi = 1,5...2^\circ$, esinurk $\gamma = 0^\circ$, mis tuleb meelde jätta. Laastumurde astme kaugust lõikeservast saab määrata eksperimentaalse valemiga $K_k = \frac{C \cdot t^{0,5} \cdot s^{0,44}}{\sqrt{0,22}}$. Valemi koefitsientide täpne meeldejätmine on liigne. Küll aga tuleb teada, kuidas lõikeriistade parameetrid suurust K_k mõjutavad ning millised on olulisemad parameetrid.

METOODILISED JUHENDID PROGRAMMI LÄBITÖÖTAMISEKS JA KÜSIMUSED ENESEKONTROLLIKS

I. Sissejuhatus

Esimese peatüki õppimisel tehtagu endale selgeks, mida distsipliin käsitleb ning missuguseid distsipliine tuleb korrata, et käsitletavast aru saada ja seda loominguliselt läbi töötada. Õppiija peab saama ülevaate, mis osa on lõikeriistadel masinaehituses, missugused on riistade tootmise ja riistu käsitleva teaduse arengu põhietapid ning mis suundades arenel lõikeriistade projekteerimine ja tootmine.

Küsimused enesekontrolliks

1. Orienteerivalt missuguse osa toodangu omahinnast moodustavad kulud lõikeriistadele?
2. Kuidas on arenenud lõikeriistade tootmine Nõukogude Liidus; olulisemad lõikeriistade tootvad tehased?
3. Kes teadlastest on etendanud silmapaistvat osa lõike-

riistade projekteerimise ja tootmise arendamisel?

4. Olulisemad instituudid, kes tegelevad lõikeriistade projekteerimise ja tootmise küsimustega?

5. Kuidas on võimalik alandada lõikeriistade tootmise omahinda?

6. Mille poolest erinevad normaal ja standard?

7. Mis on määratud lõikeriistade klassifikatsioonistandardiga; kuidas klassifitseeritakse lõikeriistu selle standardi järgi?

8. Missuguseid andmeid saab lõikeriistade sortimendi ja mõõdu standardist, missuguseid tehniliste tingimuste standardist?

9. Standardiseerimise olulisemad arengusuunad?

10. Mille poolest erinevad automaatliinidel kasutatavate lõikeriistade standardid ja normaalsed universaalpinkide lõikeriistade standarditest ja normaalsed?

11. Mille järgi hinnatakse lõikeriista tootlikkust koorimistööl, mille järgi silumistööl?

12. Kuidas on võimalik tõsta lõikeriista tootlikkust?

13. Mis on lõikeskeem; mida tuleb silmas pidada lõikeskeemi valikul?

14. Tegurid, mida tuleb arvestada lõikeriista projekteerimisel üheaegselt koorimis- ja silumisoperatsiooniks?

15. Koostatavate lõikeriistade eelised ja puudused?

16. Mis eelised on suurelõikepõhiste ots- ja tigu-freesidel?

17. Mis tegureid tuleb silmas pidada lõikeriista hindamisel?

II. Lõikeriistade konstruktiivsed

elemendid ja pinnad

Lõikeriistade konstruktiivsete elementide ja pindade tundmaõppimisel tuleb tähelepanu pöörata nende töötingimustele, nõuetele, mida püstitavad lõikeriista elementidele ja

pindadele nende töötingimused ning kuidas mõjutab elementide ja pindade kvaliteet lõikeriista kvaliteeti.

Küsimused enesekontrolliks

1. Kuidas liigitatakse lõikeriistade elemente ja pindu?
2. Missuguste näitajatega iseloomustatakse lõikeprotsessist osavõtivate pindade kvaliteeti; nende pindade kvaliteedile püstitatavad nõuded?
3. Kuidas sõltub lõikeserva kvaliteet lõikeprotsessist osavõtivate pindade kvaliteedist; missugustel lõikeriistadel on kõrge lõikeserva siledus eriti oluline?
4. Lõikeriistade lähte- ja kinnituspindadele esitatavad nõuded?

III. Lõikeriistade materjalid

Lõikeriista kvaliteet sõltub suurel määral lõikeelemendi materjali kvaliteedist, mistõttu lõikeelemendi materjali valik on lõikeriista projekteerimisel üks põhiküsimusi. Materjali õigeks valikuks peab tehnoloog teadma kõigepealt tera kuumus- ja kulumiskindlust ning mehaanilisi omadusi. Väga olulised on ka materjali tehnoloogilisus ja hind.

Viimastel aastatel on uurimisinstituudid välja töötanud terve rea uusi materjalide marke lõikeriistade valmistamiseks, mis on seni kasutusel olnutest kas paremate lõikeomadustega või tehnoloogilisemad. Uute materjalimarkide omaduste põhjalik tundmine võimaldab neid võrrelda seni kasutusel olnutega ning määrata nende ratsionaalse rakendusvaldkonna.

Süsiniktööriistateraseid hakkavad viimasel ajal välja tõrjuma madalalt legeeritud tööriistaterased. Nende kuumuskindlus ja töödeldavus lõikamisega on enam-vähem sama mis süsiniktööriistaterastelgi. Mehaanilised omadused on veidi paremad, läbikarastuvus suurem. Oluliseks eeliseks on tunduv pra-

gi vähenemine termilisel töötlemisel (karastuspraod ei teki nii kergesti).

Seni levinuma legeeritud tööriistaterase 9XC olulisemaks puuduseks on suur tundlikkus süsiniku väljapõlemise suhtes kuumutamisel ning halb töödeldavus lõikamisega. Neid puudusi ei ole uutel komplekselt legeeritud tööriistateraste markidel. Ka on nende läbikarastuvus tunduvalt suurem.

Austenit- jt. eriteraste töötlemiseks on tööstuses kasutusele võetud nn. kõrgendatud tootlikkusega kiirlõiketeraste margid, mille kuumuskindlus ulatub 700^o-ni. Madalamate mehaaniliste omaduste tõttu on nende kasutusvaldkond siiski piiratud.

Metallkeraamiliste materjalide kvaliteet on viimastel aastatel märgatavalt paranenud. See võimaldab malmide töötlemisel asendada suure koobaldisisaldusega marke väiksema koobaldisisaldusega markidega, millele püsivusaeg on suurem.

Lõikeriistade tootlikkust on paljudel juhtudel võimalik tõsta kiirlõiketeraste asendamisega metall- ja mineraalkeraamilise materjaliga. Eriti efektiivne on mineraalkeraamilise materjali rakendamine, mille kuumuskindlus ulatub 1200^o-ni. Kvaliteetne mineraalkeraamikast lõikeelement talub tunduvalt suuremat lõikekiirust kui metallkeraamikast lõikeelement. Tõraine mineraalkeraamilise materjali valmistamiseks (boksiidid) on väga odav, mistõttu instrumendi maksumus tooteühiku kohta, võrreldes metallkeraamikast instrumendiga, võib langeda kuni 20 korda.

Küsimused enesekontrolliks

1. Lõikeriistade valmistamise materjalidele esitatavad nõuded?

2. Kuidas klassifitseeritakse lõikeriistade valmistamise materjale?

3. Kuidas määratakse tööriistateraste kuumuskõvadust ja kuumuskindlust (красностойкость) ВНИИ metoodika järgi?

4. Milliste näitajatega iseloomustatakse tööriistateraste mehaanilisi omadusi; mis on kõige iseloomustavamaks mehaaniliste omaduste näitajaks ning miks?

5. Milliste näitajatega iseloomustatakse tööriistateraste tehnoloogilisust? (Loetleda 6 näitajat, anda ülevaade, millega neid iseloomustatakse ning näidata, millest nad sõltuvad.)
6. Kuidas määratakse tööriistateraste läbikarastuvust ning millest see sõltub?
7. Milline on tööriistateraste soodsaim struktuur läbikarastuvuse, mehaanilise töödeldavuse ja suure karastustemperatuuride intervalli seisukohalt?
8. Kuidas muutub süsiniktööriistaterase paindetugevus C % muutumisel; suurima paindetugevusega süsiniktööriistaterase mark ning selle orienteeriv suurus (arvestades karastamist optimaalsetel režiimidel)?
9. Milliste teraste baasil on kujundatud madalalt legeeritud tööriistaterased; millist osa etendavad siin Cr, V, W ja Mn?
10. Mille poolest erinevad madalalt legeeritud tööriistaterased süsiniktööriistaterastest?
11. Kuidas mõjutavad legeeritud tööriistateraste omadusi Cr, Si, Mn, W ja V?
12. Millistes keskkondades karastatakse tööriistateraseid; milline on orienteerivalt süsiniktööriistateraste, madalalt legeeritud tööriistateraste ja legeeritud tööriistateraste 9XC, XBI ja 95XTCB Φ läbikarastuvus?
13. Milline on tööriistateraste kuumuskindlus; kuidas reastada teraseid 9XC, XBI ja 95XTCB Φ kuumuskindluse kasvu järjekorras?
14. Teraste XBI, 9XC ja 95XTCB Φ iseloomulikud omadused?
15. Millistest terastest valmistatakse keermelõikureid?
16. Kuidas liigitatakse kiirlõiketeraseid?
17. Millist osa etendab kiirlõiketerastes Mo?
18. Millest sõltub kiirlõiketeraste kuumuskindlus ja millest kulumiskindlus madalatel temperatuuridel?
19. Orienteerivalt millistes kogustes võib kiirlõiketeraste austeniit lahustada volframit ja süsinikku ning mis sellest sõltub?

20. Millisel juhul on kõrgemad terase P18, millisel juhul terase P9 mehaanilised omadused; milline on orienteerivalt nende maksimaalne paindetugevus?
21. Mida tuleb arvestada, valides tööriista valmistamiseks kas terase P9 või terase P18?
22. Millest on tingitud kõrgendatud tootlikkusega kiirlõiketeraste suurem kuumuskindlus; millised on kiirlõiketeraste kuumuskindluse temperatuurid?
23. Kõrgendatud tootlikkusega kiirlõiketeraste margid; mis piirab nende legeerimist koobaltiga?
24. Milleks kasutatakse kõrgendatud tootlikkusega kiirlõiketeraseid?
25. Mis on lähtematerjaliks metallkeraamikast lõikeelementide valmistamisel; kuidas neid valmistatakse?
26. Kuidas mõjutab lõikeelementide metallkeraamiliste materjalide omadusi nende struktuur?
27. Millest peamiselt sõltub lõikeelemendi metallkeraamiliste materjalide kulumiskindlus ja kuumuskindlus?
28. Mis on kõige üldisemaks lõikeelemendi metallkeraamiliste materjalide omaduste näitajaks?
29. Millist metalli peale Co on õnnestunud kasutada lõikeelemendi metallkeraamiliste materjalide juures sideainena?
30. Mis eelised on TaC ja NbC-ga lõikeelemendi metallkeraamilistel materjalidel?
31. Milline on orienteerivalt lõikeelemendi metallkeraamiliste materjalide kuumuskindlus ning millest see sõltub?
32. Orienteerivalt millised on Nõukogude Liidus kasutatavate lõikeelemendi metallkeraamiliste materjalide painde- ja survetugevused?
33. Milliseid lõikeelemendi metallkeraamiliste materjalide marke kasutatakse koorimistööl, milliseid poolpuhas-, milliseid silumistööl (terase ja malmi töötlemisel)?
34. Kuidas on viimasel aastakümnel muutunud lõikeelemendi metallkeraamiliste materjalide omadused ning kuidas see on mõjutanud margi valikut?
35. Mis eelised on mineraalkeraamikast lõikeelemendi materjalidel metallkeraamilistega võrreldes?

36. Millest ning kuidas valmistatakse mikroliiti; mida kasutatakse modifikaatorina?

37. Millest sõltuvad mikroliidi UM-332 mehaanilised omadused; orienteerivalt milline on mikroliidi keskmine paindetugevus?

38. Mis raskendab mikroliidist lõikeelementide juurutamist tööstusesse?

IV. Laastu spiraalikeeramise ja murdmise moodused treimisel

Üheks olulisemaks probleemiks lõiketöötlemisel on laastu stabiilne ning ohutu eemaldamine. Tehnoloogilise protsessi projekteerimisel peab tehnoloog alati ette nägema antud olukorrale kõige otstarbekohasema laastu spiraalikeeramise või tükeldamise mooduse. Käesoleva peatüki õppimisel tuleb lõiketooriast meelde tuletada laastu tekkimise mehhanismi ning tingimusi, mille puhul laast tükeldub, keerdub spiraali või eemaldub sirgena. Tähelepanu pööratagu teguritele, mis mõjutavad laastu spiraalikeerdumist või tükeldumist iga laastu spiraalikeeramise ja murdmise mooduse juures, ning tehtagu endale selgeks, mis neist on kõige olulisemad ja kuidas nad mõjutavad protsessi. Et valida antud olukorrale kõige sobivam laastu spiraalikeeramise või tükeldamise moodus, tuleb meelde jätta mooduste hindamise alused ning nende soovitatav kasutusvaldkond.

Küsimused enesekontrolliks

1. Millised nõuded püstitatakse lõikeprotsessis tekki-vale laastule ning miks?

2. Millised lõiketera geomeetrilised elemendid mõjutavad oluliselt laastu spiraalikeerdumist või murdmist (lühendatult l.s.v.m.); kuidas muutub l.s.v.m. lõikeelemendi geomeetria muutumisel ning millistes lõikekiiruse piirides on lõikeelemendi geomeetria mõju oluline?

3. Kuidas mõjutab l.s.v.m. lõikerežiimi parameetrite muutmine; millistes v piirides on lõikerežiimi parameetrite mõju oluline?

4. Millised on olulisemad esitahu astme või esitahule asetatava tõkke parameetrid, millest lähtudes neid valitakse ning kuidas nad mõjutavad l.s.v.m.?

5. Kuidas töötab iseseaduv laastumurde tõke; kus on teda rakendatud?

6. Kuidas on kujundatud suur laastumurde soon; orienteerivalt millistes s ja t piirides on ta kasutatav?

7. Kuidas valitakse väikese laastumurdesoone parameetrid; orienteerivalt millistes s ja t piirides on ta rakendatav ning kuidas mõjutab ta lõiketera püsivusaega?

8. Kuidas valmistatakse väikest laastumurdesoont; kui palju orienteerivalt kulub aega soone valmistamiseks?

9. Millist laastumurdmise skeemi kasutatakse ekraaniga laastumurdjate korral? Kuidas on ekraaniga laastumurdja kujundatud ning kus rakendatav?

10. Kuidas töötavad kinemaatilised laastumurdjad; kuidas mõjutab kinemaatiline laastumurdmine töödeldava pinna siledust ning kus seda rakendatakse?

11. Kuidas on kujundatud omavõnkumisega vibratsioon-laastumurdja, milline peab olema amplituud, et tagada laastu tükeldumine?

12. Kuidas mõjutab p. 11 laastumurdmine töödeldud pinna siledust ja lõiketera püsivusaega?

13. Loetleda laastu spiraalikeeramise ja murdmise üksikute mooduste eelised ja puudused.

V. Lõiketerad

Lõiketerade tundmaõppimisele asumisel tuleb kursusest "Lõiketeooria" meelde tuletada lõiketera elemendid, geomeetria ja nurkade muutused lõikeprotsessis ning tera ülesseadmisest. Omandatagu ülevaade standardiseeritud lõiketeradest, lõikeosade konstruktsioonidest ja nende kasutusvaldkonnast.

Mittestandardsete lõiketerade kujundamise peamisteks eesmärkideks on kas hõlbustada nende ekspluatatsiooni (vähendada teritustööde mahtu), tõsta tugevust või hoida kokku lõikeosa materjali. Peetagu silmas, et teritustööde mahtu vähendavad konstruktiivsed võtted on rakendatavad ka standardsete konstruktsioonide juures. Arvukate koostatavate lõiketerade konstruktsioonide analüüsimiseks tuleb omandada nende hindamise alused (võrreldakse terviklike konstruktsioonidega). Silmas tuleb pidada põhioõudeid nende kujundamisel (lõikeelemendi asendi valik korpusese sõltuvalt teritamise ja mõjuvate jõudude skeemidest jm.).

Välistreiteradest töötavad kõige raskemates tingimustes läbilõiketerad. Nii uurimisinstituutide kui ka tootmisnovatorite poolt kasutuselevõetud teritusskeemid ja lõikeosade kujundused võimaldavad läbilõiketerade tootlikkust tunduvalt tõsta. Nende tundmaõppimisele pööratagu suurt tähelepanu.

Mineraalkeraamikast lõikeelementidega treiterade kujundamisel pidada silmas, et nende geometria erineb metallkeraamikast lõikeelementide geometriast ning lõikeelementide kinnitamisel tuleb tagada kinnitusjõu ühtlane jagunemine.

Automaatliinides ja -pinkides kasutatavate lõiketerade konstruktsioonide hindamisel tuleb täiendavalt arvestada nende kiire vahetamise ja järelhäälestamise võimalust. Eelistatud on konstruktsioonid, mis tagavad suurema püsivusaja.

Küsimused enesekontrolliks

1. Kuidas liigitatakse standardseid treiteri? Nimetada iga tüübi otstarve ja anda tüüpide kriitiline hinnang.

2. Millised on standardsed treiterade esitahkude kujud; standardsete kujude kasutusvaldkond?

3. Kuidas liigitatakse mittestandardseid treiteri?

4. Mida püütakse silmas pidada mittestandardsete terminiliselt kinnitatud lõikeelementidega pikitreiterade kujundamisel; nende olulisemad tüübid?

5. Mehaaniliselt kinnitatavate lõikeelementidega treiteradele esitatavad nõuded?

6. Mis eeliseid on noaga konstruksioonidel, võrrelduna plaadikujulise lõikeelemendi otsese mehaanilise kinnitusega?

7. Tuletada plaadi kõige pikema telje asendit määrav nurk δ ; terituskeemist lähtudes.

8. Millised on orienteerivalt nurga δ väärtused terituskeemist ja lõikeelemendile mõjuvate jõudude skeemist lähtudes?

9. Kuidas on kujundatud sammastera (ГАЗ konstruksioon) ja ВНИИ poolt soovitatavad koostatavad treiterad; nende eelised ja puudused?

10. Kuidas on kujundatud ning kus kasutatakse pöörlevate lõikeelementidega treiteri; nende eelised ja puudused?

11. Automaatliinides kasutatavatele lõiketeradele esitatavad nõuded?

12. Kuidas on kujundatud ning kus kasutatakse mitmelõikeservalisi mitteteritatavaid plaate; millised on nende plaatidega treiterade konstruksioonid ja mis on nende eelised?

13. Mille poolest erinevad läbilõiketerade töötingimused pikitreiterade töötingimustest; millistelt pindadelt kuluvad läbilõiketerad kõige enam?

14. Mis tingib läbilõiketerade optimaalse laiuse olemasolu?

15. Kuidas mõjutab jahutuse kasutamine läbilõiketera püsivusaega; milliselt pinnalt tuleb jahutusvedelikku juurde juhtida?

16. Kuidas mõjutavad esitahu faas ja abitagaturk läbilõiketera tööviimet?

17. Tuletada seos läbilõiketera teritamise ülesseadenurkade θ , ψ ja seadekõrguse h ning nurkade α , ja β vahel (läbilõiketera abitagatahu kujundab elliptiline silinder).

18. Kuidas on soovitatav kujundada läbilõiketera lõikeosa tavaliste ja raskelt töödeldavate teraste töötlemiseks (tavaline terituskeem)?

19. Mida tuleb silmas pidada mineraalkeraamikast lõikeelemendiga treiterade geometria valikul?

20. Millistel töödel on mineraalkeraamikast lõikeelementidega treiteri kõige otstarbekohasem kasutada?

21. Mida tuleb silmas pidada mineraalkeraemikast lõikeelementide mehaanilisel kinnitamisel? Anda hinnang kinnituskonstruktsioonidele.

22. Mida tuleb silmas pidada hõõvelterade, mida tõuketerade kujundamisel?

VI. Kujuterad

Kujuterad on üheks vähesteks lõikeriistadeks, mis pole standardiseeritud - neid tuleb tehnoloogidel endil projekteerida, mis nõuab projekteerimisvõtete põhjalikumat tundmaõppimist. Kujuteri kasutatakse keerulise kujuga suhteliselt lühikeste detailide valmistamiseks nii seeria- kui ka mass-tootmisel. Tänu ajaühikus lõikeprotsessist osavõtvale lõikeserva suurele pikkusele, tagavad kujuterad suure tootlikkuse, tunduvalt suurema, kui seda võimaldavad tavalised treiterad. Siin peituvad suured võimalused tootlikkuse suurendamiseks, eriti automaatpinkide kasutamisel. Kujuterade summaarne püsivusaeg on tavaliste treiterade summaarsest püsivusajast mitu korda suurem - nende kujundus võimaldab neid vastavalt rohkem arv kordi teritada.

Edu kujuterade kasutamisel sõltub suurel määral kujutera tüübi ja konstruktsiooni õigest valikust. Ennekoike valitagu radiaalse ja tangensiaalse kujutera vahel. Peetagu silmas, et tangensiaalsed kujuterad võimaldavad töödelda suhteliselt pikemaid ja vähem jäiku detaile. Lõikeserva kaldenurga λ muutmise saame muuta antud momendil lõikeprotsessist osavõtva lõikeserva pikkust ja seega ka lõikejõu suurust. Tangensiaalsete kujuterade eeliseks on ka asjaolu, et nende poolt kujundatav profiil ei sõltu töödeldava detaili läbimõõdust - ühele detaili läbimõõdule projekteeritud teraga on võimalik ka suurema läbimõõduga detailile valmistada samasugune profiil. Tangensiaalsete kujuteradega valmistatava profiili sügavus ei tohi olla suurem kui 0,12 tooriku läbimõõtu (mitte detaili läbimõõtu, nagu paljudes allikates ekslikult toodud) - suuremate profiili sügavuste puhul kujuneb tera teri-

tusnurk liiga väikeseks ning tera tipp võib kergesti murduda. Seetõttu kasutatakse tangensiaalseid kujuteri peamiselt puhastöötlemisel.

Et õigesti valida radiaalse kujutera tüüp, tuleb tunda ma õppida, kuidas sõltuvad töötlemise täpsus ja tera tööttingimused tera tüübist. Suuremat töötlemistäpsust võimaldavate tüüpide graafiline kujundamine ja analüütiline arvutus on väiksemat täpsust tagavate tüüpide omast tunduvalt keerulisem. Nende valmistamise keerukus on aga praktiliselt ühesugune.

Radiaalsete kujuterade projekteerimise asumisel tuleb kõigepealt valida nende tüüp, gabariidid (ümarate terade puhul) ja geomeetria selliselt, et terale oleksid tagatud normaalsed tööttingimused (näit. kujutera lõikeserva üksikute punktide kaugused töödeldava detaili tsentrite kõrgusjoonest ei tohi ületada $1/20$ töödeldava tooriku läbimõõdust). Kujuterade projekteerimisel kujundatakse nad kõigepealt graafiliselt. Graafilise lahenduse alusel koostatakse arvutusskeemid kujutera iseloomustavate suuruste arvutamiseks. Nii projekteerimise esimese kui ka teise osa tundmaõppimisel tuleb meelde jätta nende põhetapid ja projekteerimise põhimõtted. Konkreetsete lahenduste leidmine ja arvutusvalemite koostamine ei valmista siis mingeid raskusi.

Küsimused enesekontrolliks

1. Kuidas klassifitseeritakse kujuteri?
2. Anda radiaalse ja tangensiaalse kujutera määrang.
3. Mis tingib radiaalsete kujuterade profiili korrekt-siooniarvutuse vajalikkuse (näidata põhjused ka skemaatiliselt)?
4. Kuidas valmistatakse detailijooniseid ette korrekt-siooniarvutusteks?
5. Milline on soovitatav korrekt-siooni- ja projekteerimis-arvutuste tehnika, missugune täpsus tuleb tagada arvutamisel?
6. Kuidas määratakse radiaalsete ümarate kujuterade maksimaalne läbimõõt; millised on graafilise meetodi eelised, millised puudused arvutuslikuga võrreldes?

7. Mis on lähtepinnaks kujuterade projekteerimisel?
8. Millal tuleb kasutada detaili telje suhtes kaldu oleva teljega või lähtepinnaga kujuteri, kuidas valitakse kalde-
nurk?
9. Mis on radiaalsete kujuterade profiili lähtejoon? Millal kasutatakse profiili lähtejoont?
10. Mida tuleb silmas pidada radiaalsete kujuterade geometria valikul; millistel tingimustel võib loota radiaalsete kujuterade vibratsioonideta tööd?
11. Missugused suurused arvutatakse radiaalsete kujuterade projekteerimisel; millised on projekteerimise ja arvutamise põhietapid (näidata ka graafiliselt)?
12. Millest on tingitud ning mis tegurid mõjutavad detailide kujuhälbeid radiaalsete kujuteradega töötlemisel?
13. Kuidas reastada radiaalsete kujuterade tüüpe sõltuvalt saavutatavast töötlemise täpsusest?
14. Kuidas muutuvad tangensiaalsete kujuterade esi- ja taganurgad lõikeprotsessis?
15. Mis on tangensiaalsete kujuterade eelised, mis puudused radiaalsete kujuteradega võrreldes; mis piirab nende kasutusvaldkonda?
16. Missugused on tangensiaalsete kujuterade projekteerimise ja arvutamise põhietapid (näidata ka graafiliselt)?
17. Mida tuleb silmas pidada kujuterade üldise kontuuri kujundamisel?
18. Missugused on ning kuidas töötavad kujuterade kinnitusrakised?
19. Kuidas kujundatakse metallkeraamikast lõikeelementidega kujuteri?

VII. Puurid

Puur on põhiline lõikeriist avade tegemiseks täismaterjalisse. Kõige enam kasutatakse tänapäeval nn. spiraalpuure, mille tundmaõppimisele pööratagu peamist tähelepanu. Nimetus spiraalpuur on kujunenud ajalooliselt. Nende puuride

juures ei ole kujundatud ühtegi elementi spiraali järgi. Nn. spiraalsoon on tegelikult kruvisoon, mistõttu õigem oleks neid puure nimetada kruvi- või keerdpuurideks. Tutvudes spiraalpuuri konstruktiivsete elementide ja geomeetriaga, tuleb meelde tuletada lõiketeooria seaduspärasusi, mis on geomeetria valiku aluseks. Standardsete spiraalpuuride töövõimet on võimalik tunduvalt tõsta nende õige teritamise ja järelteritamise. Teritusskeemidega tutvumisel tuleb selgitada, kuidas kujuneb taganurk, kuidas see muutub lõikeserva ja kukalduspinna (tagatahu) ulatuses, kuidas mõjutab taganurga muutus puuri püsivusaega ning milline teritusskeemidest on kõige otstarbekohasem. Järelteritusskeemidest tuleb suuremat tähelepanu pöörata Gorki Autotehases väljatöötatud järelteritusskeemile.

Nagu näitavad paljud uurimistööd, on spiraalpuuri konstruktsiooni täiustamiseks mitmeid võimalusi. Nende tundmaõppimisel pööratagu tähelepanu teguritele, mis põhjustavad puuri püsivusaja ja tootlikkuse suurenemise.

Spiraalpuuride tugevusarvutus on oluline peamiselt väikeläbimõõduliste puuride puhul. Kui kasutada nende juures üldist ettenihke arvutamise meetodikat, võime saada ettenihke, mille puhul esineb puuri läbipaindumise või purunemise oht.

Sügavpuurimise puuride tundmaõppimisel tuleb tähelepanu pöörata nende õige suundumise tingimustele.

Küsimused enesekontrolliks

1. Mis on spiraalpuuri põhielemendid?
2. Mis otstarbeks todetakse ja kuidas liigitatakse spiraalpuure?
3. Millistes pindades mõõdetakse spiraalpuuri esi- ja taganurka; kuidas muutuvad esi- ja taganurgad spiraalpuuri lõikeservade ulatuses?
4. Kuidas mõjutab spiraalpuuri kruvisoone kaldenurk lõikeprotsessi (lõikejõudu, momenti, laastu eemaldumist) ja lõikeosa tugevust ning orienteeruvalt missugustes piirides on ta standardsetel spiraalpuuridel?

5. Milliste võtetega on võimalik vähendada (või hoopiski vältida) spiraalpuuri esinurga muutumist puuri lõikeserva eri osades?

6. Milliste pindade järgi kujundatakse spiraalpuuri tagatahud, mis on üksikute kujunduste eelised, mis puudused?

7. Kuidas tuleb spiraalpuur üles seada terituskoonuse suhtes, et tagada positiivne taganurk; millistest teguritest sõltub taganurga suurus ning mida tuleb silmas pidada, et teritavad lõikeservad kujuneksid praktiliselt sirgeiks?

8. Millist osa etendab spiraalpuuri lõikeosa ehk tipunurk? Milline on standardne tipunurga väärtus?

9. Orienteerivalt millisest läbimõõdust alates on soovitatav kasutada kahekordse tipunurgaga spiraalpuuri; milline on orienteerivalt teise tipunurga väärtus ning osa pikkus, millele ta teritatakse?

10. Millistes osades kulub spiraalpuur kõige kiiremini ning miks?

11. Millised on standardsed spiraalpuuri järelteritusskeemid; millest sõltuvalt valitakse üks või teine skeem?

12. Mis eeliseid on GAT-i sideserva järelteritusskeemil standardsete järelteritusskeemidega võrreldes?

13. Mida võimaldab laastujaotussoonte teritamine spiraalpuuri tagatahule?

14. Kuidas on kujundatud Kuibõševi PI spiraalpuur; mis eeliseid on sellel standardsetega võrreldes?

15. Kuidas on kujundatud laastumurde astmetega spiraalpuur ning mis eeliseid on tal standardsetega võrreldes?

16. Kuidas muutuvad spiraalpuuri välisläbimõõt ja südami läbimõõt lõikeosalt kinnitusosa poole; milleks on puuril faasid?

17. Kuidas on kujundatud tänapäeva sisejahutusega spiraalpuur; kuidas püüti soodustada jahutusvedeliku juurdejuh-
timist lõikeosale varem?

18. Mille poolest erineb metallkeraamikast lõikeelementidega spiraalpuur standardsest spiraalpuurist; missugune on tema peamine kasutusvaldkond?

19. Milliseid lihtsama kujundusega puure on võimalik kasutada madalamate avade töötlemisel?

20. Mida tuleb silmas pidada sügavpuurimise puuride lõikeosa kujundamisel?

21. Kuidas jaotatakse rõngaspuure ning kus neid kasutatakse?

22. Olulisemad tsentripuuride kujud?

23. Millele arvutatakse spiraalpuure; milliseid puuri tugevuse varutegureid kasutatakse terase ja malmi töötlemisel?

24. Milliste spiraalpuuride juures on oluline teha tugevuskontrolli?

25. Kuidas arvutatakse instrumentaalkoonuseid?

VIII. Avardajad

Avardajate tundmaõppimisel tuleb silmas pidada nende sarnasust spiraalpuuridega - mitmetel konstruktiivsetel elementidel ja nende kujundamist mõjutavatel teguritel on palju ühist spiraalpuuri vastavate elementidega ja nende kujundamist mõjutavate teguritega. Tähelepanu tuleb pöörata negatiivse lõikeserva kaldenurgaga avardajate kasutamise võimalustele ning mehaaniliselt kinnitatavate lõikeelementide kinnituskonstruksioonidele.

Küsimused enesekontrolliks

1. Milline on avardajate kasutusvaldkond; millised on nende eelised avade ületöötlemisel spiraalpuuridega võrreldes?

2. Kuidas liigitatakse silindrilisi avardajaid; milleks on ette nähtud avardajad nr. 1 ja nr. 2?

3. Millised on avardaja põhielemendid, mida peetakse silmas nende valikul?

4. Mida peetakse silmas avardaja lõikeosa nurkade valikul; mida võimaldab suure negatiivsusega lõikeserva kaldenurga kasutamine?

5. Kuidas kujundatakse avardaja põiklõige?

6. Mille poolest erineb korpusele joodetud metallkeramikast lõikeelementidega avardaja kujundus kiirlõiketerasest avardaja kujundusest?

7. Mille järgi hinnatakse koostatavate avardajate konstruktsioone, millist noa kinnituskonstruktsiooni loetakse kõige otstarbekohasemaks?

8. Millised on mittestandardised avardajate ja süvistite kinnituskonstruktsioonid, mis on nende eelised standardsetega võrreldes?

9. Kuidas on kujundatud kahe lõikeelemendiga avardaja, milleks seda kasutatakse?

10. Kuidas on kujundatud pindsüvistid, mis on nende otstarve?

IX. Sisetreimise lõikeriistad

Käesolevas peatükis tuleb tutvuda nii treipinkidel kui ka sisetreipinkidel kasutatavate lõikeriistadega. Sisetreimisterade juures tuleb tähelepanu pöörata kujundustele, mis minimaalsete gabariitmõõtmete juures tagavad kõige suurema tera jäikuse. Sisetreipinkide lõikeriistadest tuleb suuremat tähelepanu pöörata sisetreimisplokkidele ja sisetreimispeadele. Ka nende lõikeriistade juures on suur tähtsus jäikusel, mõõtureguleerimise ja teritamise hõlpsusel. Sisetreimise lõikeriistade lõikeosa kujundamise probleemid on samalaadsed treiterade lõikeosa kujundamise probleemidega.

Küsimused enesekontrolliks

1. Mida tuleb silmas pidada sisetreiterade kujundamisel; mille poolest erinevad põhjaga ja põhjata avade töötlemise sisetreiterad?

2. Kuidas liigitatakse sisetreipinkide lõikeriistu; millised neist on suurte, millised väikeste töötlemisvarude eemaldamiseks?

3. Millised on puurvõllile kinnitatavate lõiketerade kinnituskonstruksioonid; mis on üksikute kujunduste eelised, mis puudused?

4. Orienteerivalt millisest töödeldava ava läbimõõdust alates on võimalik kasutada puurvõllile kinnitatavaid plaate; millised on plaatide kinnituskonstruksioonid?

5. Kuidas on kujundatud puurvõllile kinnitatavad teraplokid?

6. Kuidas on kujundatud sisetreimispead?

7. Kuidas on kujundatud ujuvad sisetreimisterad?

X. Hõõritsad

Hõõritsad on ette nähtud peamiselt avade kalibreerimiseks, kusjuures nende poolt eemaldatav töötlemisvaru ulatub vaid kümnendike millimeetriteni. Nii hõõritsa elementide kujunduse kui ka geomeetria valikul tuleb silmas pidada vajadust tagada töödeldud pinna siledus ja täpsus. Nagu mitmete teistegi vardakujuliste lõikeriistade korral, on ka siin masinhõõritsa töötava osa pikkuse valikut mõjutanud vastav käsihõõrits, mida kasutati varem. Nagu näitavad ВННН viimaste aastate uurimistööd, on masinhõõritsate silindrilise ja koonilise kalibreeriva osa vajalik pikkus tunduvalt väiksem seni kasutatavate masinhõõritsate omast. Seejuures peab koonilise kalibreeriva osa läbimõõdu vähenemine kinnituse osa suunas olema tunduvalt intensiivsem. Neid ja mitmeid teisi ВННН poolt väljatöötatud soovitusi hõõritsate kujundamiseks tuleb arvestada hõõritsate projekteerimisel.

Küsimused enesekontrolliks

1. Kuidas liigitatakse hõõritsaid?

2. Milline on eel-, puhas- ja peenhõõritsemisel saavutatav keskmine töödeldud pinna siledus ja töötlemise täpsus?

3. Mida näitab silindrilise hõõritsa number; milleks on ette nähtud hõõritsad nr. 1, nr. 2 ja nr. 3?

4. Kuidas peao paiknema hõõritsa tolerantsiväli paksu-seinalise ava tolerantsivälja suhtes; millistest teguritest sõltuvad minimaalne ja maksimaalne ava suurenemine hõõritsemisel?

5. Milleks on hõõritsal juhtosa, milline on juhtosa nurk; kuidas valitakse lõikeosa otsa läbimõõd?

6. Millised on kaasaegsed seisukohad masinhõõritsate kalibreerivate osade pikkuste valiku kohta?

7. Millised on hõõritsatel φ , α ja δ ; mis mõjutab nende valikut?

8. Millised hõõritsa osad teritatakse faasiga, millised faasita; milline on orienteerivalt faasi suurus?

9. Mida peetakse silmas hõõritsa hammaste arvu valikul; milline peab olema hõõritsa hammaste ringsamm ning miks?

10. Millal tuleb kasutada kruvijooneste hammastega hõõritsaid; millised nõuded püstitatakse kruvisoonete käelisu-sele ja kaldenurga suurusel?

11. Mida tuleb silmas pidada astmelise teritusega hõõritsate kujundamisel ja kasutamisel?

12. Millal kasutatakse masinhõõritsate kiikuvat, millal jäika kinnitust; mis peab tagama kiikuv kinnitus?

13. Mille poolest erinevad koonushõõritsad silindri-listest; millise koonilisusega ja mis otstarveteks valmistatakse koonushõõritsaid standardi järgi?

XI. Freesid

Freesid on üheks rohkema tüüptide arvuga lõikeriistadeks. Standardsete kujunduste kõrval on välja töötatud suur hulk mittestandardseid kujundusi, mis tagavad kas suurema püsivusaja, parema töödeldud pinna sileduse või on neil paremaid ekspluatatsioonilisi näitajaid. Freeside tundmaõppimisel tuleb lõiketooriast meelde tuletada nende töötingimuste ja lõikeprotsessi iseärasusi, mis võimaldab paremini aru saada freesi konstruktiivsete elementide ja lõikeosa geometria valikust. Eriti pööratagu tähelepanu laastusoone

käldenurga mõjule lõikeprotsessis, freesi tegelikule esinurgale ja püsivusajale.

Standardsete freeside tundmaõppimisel tuleb omandada ülevaade nende tüüpidest, kasutusvaldkonnast ja ka eelistest ning puudustest.

Freesi tootlikkust iseloomustab teataval määral tema hammaste arv, mida võib tinglikult kasutada samaotstarbeliste konstruktsioonide võrdlemisel. Tuleb aga silmas pidada, et hammaste arvu suurendamine laastusoone mahu vähendamise arvel võib anda hoopis negatiivseid tulemusi. Kui freesi läbimõõtu ei piira töödeldava detaili mõõtmed (näit. silindriliste ja otsfreeside korral), on võimalik kasutada suuregabariidilisi freese, mis on otstarbekohane valmistada koostatavatena. Viimaste kujundamisel tuleb suurt tähelepanu pöörata nende eksploatatsiooni hõlpsusele. Et suuregabariidiliste freeside teritamine koostatult nõuab spetsiaalset sisseseadet, on eelistatavamad konstruktsioonid, mille lõikeelemente on võimalik eraldi teritada. Nende tundmaõppimisel tuleb selgitada, milliseid iseärasusi on reguleeritavate, vabalt ja täpselt asetatavate nugaodega konstruktsioonidel ning mida tuleb silmas pidada selliste freeside ja nende nuga kujundamisel.

Küsimused enesekontrolliks

1. Millest on tuletatud sõna frees?
2. Milliste pindade töötlemiseks kasutatakse freese?
3. Milliste tunnuste järgi liigitatakse freese?
4. Millised on kukaldamata hammastega freeside konstruktiivsed elemendid ning milliseid tegureid tuleb arvestada nende valikul?
5. Millised nurgad mõjutavad freesi hamba tugevust ja laastusoone mahtu; kuidas on nad omavahel seotud sirghammastega freeside juures ning orienteerivalt millistes piirides peab olema hamba pea nurk?
6. Tuletada seos hamba pea ja laastusoone põhja nurkade vahel krüviioonsete hammastega freesidel.

7. Näidata, milline on freesi hamba suurimat tugevust ning maksimaalset laastusoonet mahtu tagav hamba kuju; milliseid lihtsustusi tehakse teoreetilise hamba kuju juures praktikas?

8. Mida peetakse silmas freesi lõikeelementide geometria valikul?

9. Kuidas mõjutab freesi hammaste kaldenurk lõikeprotsessi, tegelikku esinurka mitmesuguste teritatud esinurkade puhul ja freesi püsivusaega; millised puudused on väga suure hammaste kaldenurgaga freesidel?

10. Anda ülevaade standardsete freeside konstruktsioonidest ja nende kasutusvaldkonnast.

11. Millised tegurid mõjutavad koostatavate silindriliste freeside juures kasutatavate metallkeraamiliste plaatide kuju valikut (kasutatakse kas tasapinna või kruvipinna järgi kujundatud plaate)?

12. Milliseid eeliseid on vahelduva kaldega hammastega ketasfreesidel?

13. Milline ketasfreesi kujundus tagab kõige täpsema töödeldava soone laiuse ning miks?

14. Milline ketasfreesi kujundus võimaldab tema laiuse reguleerimist pärast teritamist?

15. Millised puudused on vana standardi järgi kujundatud sõrmfreesidel; mida on silmas peetud nende moderniseerimisel?

16. Mille poolest erinevad kiilusoonte töötlemise sõrmfreesid üldotstarbelistest; miks teritamisel nende läbimõõt muutub viimastest vähem?

17. Kuidas liigitatakse otsfreesi; orienteerivalt millise läbimõõdueni valmistatakse terviklikke?

18. Millised eelised on eraldi teritatavate nugaodega otsfreeside konstruktsioonidel, kuidas on nad kujundatud; milline kujundus on eelistatavam. Mida peab tagama vabalt asetatavate nugaodega otsfreeside konstruktsioon; kuidas toimub siin nuga mõõtuseadmine?

19. Kuidas on kujundatud suurte töötlemisvarude eemaldamise nn. progressiivne otsfrees, mis on tema eelised?

XII. Kujufreesid

Kujufreesidega on võimalik valmistada keerulisi kujupindu ilma spetsiaalse sisseseadeta ja kõrge kvalifikatsiooniga töolisteta, mis on nende suureks eeliseks. Kujufreeside klassifikatsioon ei ole praegu veel täiesti selgelt välja kujunenud. Mõned autorid liigitavad neid otstarbe, mõned hammaste kujunduse järgi. Eelistada tuleb viimast kui sisulisemat. Kuna seeriatootmisel kasutatakse peamiselt kukaldatud hammastega kujufreese, tuleb suuremat tähelepanu pöörata kukaldamise küsimustele ning omandada kukaldatud hammastega freeside projekteerimise võtted.

Küsimused enesekontrolliks

1. Kuidas liigitatakse kujufreese?
2. Mida tuleb silmas pidada freesi telje asendi valikul töödeldava profiili suhtes?
3. Milliseid eeliseid ning puudusi on kukaldamata hammastega kujufreesidel?
4. Milliseid nõudeid püstitatakse kukaldusjoontele; milliseid eeliseid ning milliseid puudusi on Arhimedese spiraali, logaritmilise spiraali ja sirge järgi kukaldamisel?
5. Tuletada seos freesi kukalduse suuruse ja taganurga vahel kukaldamisel Arhimedese spiraali järgi.
6. Näidata, kuidas on freesi välisläbimõõdu taganurk seotud profiili erinevatel kõrgustel olevate taganurkadega (nurgad on mõõdetud freesi telje risttasapinnas); tuletada seos freesi telje ristlõike ja profiili normaallõike taganurga vahel. Analüüsida, kuidas muutuvad need nurgad freesi teritamisel.
7. Kuidas kujundatakse kukaldusnukk Arhimedese spiraali järgi kukaldamisel?
8. Kuidas valitakse kukaldatud kujufreesi konstruktiivseid elemente; mida tuleb silmas pidada laastusoone kujundamisel?

9. Näidata, kuidas arvutatakse sirghammastega Arhimedese spiraali järgi kukaldatud kujufreesi telglõike profiili.

10. Näidata, kuidas arvutatakse vahelduva kaldega hammastega Arhimedese spiraali järgi kukaldatud kujufreesi telglõike profiili.

11. Tuletada teritatud kujufreesi (frees on kukaldatud Arhimedese spiraali järgi) esinurk, mis tagab töödeldud detaili profiili konstantsuse.

12. Kuidas arvutatakse kukaldamise lihvketta telglõike profiili; kuidas tuleb lihvketas kukaldamisel üles seada?

13. Kuidas määratakse kukaldamise lihvketta maksimaalne läbimõõt, teise kukalduse suurus ning läbimõõt, millelt tuleb alustada teist kukaldust?

XIII. Keermete töötlemise lõikeriistad

Keermestatud detailid on masinaehituses levinumaid. Sõltuvalt töödeldava keermelõikeriistast ja täpsusest on kasutusel väga mitmesuguseid keermete töötlemise meetodeid ja lõikeriistu, mida seni ei ole haaratud ülevaatliku klassifikatsiooniga (nagu kujuteri, hõõritsaiid jt.). Eraldi võiks vaadelda välis- ja sisekeermete töötlemise lõikeriistu. Kõige universaalsemaks keermelõikeriistaks on keermetera, mis sisuliselt on aksiaalse ettenihkega töötav kujutera. Nende projekteerimisel (välja arvatud väikese sammuga keermete töötlemise terad) tuleb täiendavalt arvestada kinemaatilist taganurka. Keermeterade kujundamiseks tuleb meelde tuletada nendega lõikamise skeeme. Kuna üksiku keermetera tootlikkus on väike, kasutatakse seeria- ja masstootmisel kas keermeterade grupe (perimeetrile asetatakse korraga mitu keermetera) või kujundatakse nendest freesitaoline lõikeriist (nn. pöörlevad keermeterad). Viimaste tundmaõppimisel tuleb tähelepanu pöörata tingimustele, mis võimaldavad saada kvaliteetse pinnaga moonutatamata keermelõikeriist. Väliskeermete lõikamisel on väga laialt levinud ümarad keermelõikeriistad. Nende kõrval tuleb tähelepanu pöörata keermestuspeade rakendamisele, mis võimaldavad saa-

lutada suuremat tootlikkust. Põhjalikumalt tuleb tundma õppi-
da ümarate keermekammidega keermestuspeade konstruktsioone,
mida peetakse praktikas kõige otstarbekohasemaiks.

Sisekeermete töötlemisel on põhilisteks lõikeriistadeks
keermepuurid. Nende töö kvaliteet sõltub peamiselt valitud
lõikeskeemist ja lõikeosa kujundusest. Suurt tähelepanu pöö-
ratagu tööprotsessis kergesti purunevate väikesemõõduliste
keermepuuride korral lõikeosa õigele kujundamisele.

Paralleelselt keermete lõikamisega on laialdaselt levi-
nud keermete rullimine, seda eriti väikeseläbimõõduliste keer-
mete puhul. Kuna teistes masinaehitajatele loetavates kur-
sustes keermete rullimise riistu eraldi ei käsitleta, tuleb
käsiolevas peatükis tutvuda ka keermete rullimise skeemidega,
rullide kujundamise alustega ning rullimispeadega.

Küsimused enesekontrolliks

1. Kuidas arvutatakse keermetera kinemaatilist taganurka?
2. Milliseid lõikeskeeme kasutatakse keermestamisel keer-
meteradega; kuidas tuleb valida lõikekiirust?
3. Milliseid skeeme kasutatakse pöörlevate keermetera-
dega keermestamisel; mida tuleb silmas pidada kontaktnurga
valikul; orienteerivalt millised on kasutatavad lõikerežiim-
id?
4. Tuletada pöörlevate keermeterade kontaktnurk ja op-
timaalne ülesseadenurk sisekeermete keermestamisel; kuidas
siin laastu eemaldamine toimub?
5. Kuidas leitakse keermeprofiili moonutused pöörleva-
te keermeteradega keermestamisel; kuidas korrigeeritakse
keermeterade profiili?
6. Kuidas on kujundatud ümarad keermelõikurid, mida tu-
leb silmas pidada nende paksuse valikul?
7. Kuidas arvutatakse ümara laastuavaga keermelõikuri
esinurk; kuidas kukaldatakse keermelõikuri lõikeosa; milline
on standardne keermelõikuri lõikeosa nurk?
8. Kuidas on kujundatud keermekammid ning kus neid ka-
sutatakse?
9. Kuidas liigitatakse keermestuspäid; mis on üksikute
liikide eelised, mis puudused?

10. Kuidas liigitatakse ning kuidas on kujundatud radiaalsed ümarate keermekammidega keermestuspead?

11. Kuidas on kujundatud ümarad keermekamid ja nende kinnitamise nukid?

12. Kuidas mõjutab ümara keermekammi lõikeserva kalde-nurk ja üleulatus töödeldava keermekvaliteeti; kuidas neid suurusi mõõdetakse?

13. Kuidas liigitatakse keermepuure?

14. Millised tegurid mõjutavad keermepuuri lõikeosapik-kuse valikut, mis räägib lühikese, mis pika lõikeosa kasuks?

15. Millisel keermepuuri lõikeosa kujundusel tekib ge-neratiivne, millisel profiilne lõikeskeem; mis on nende skee-mide eelised, mis puudused?

16. Millised nõuded püstitatakse keermepuuri laastusoo-ne kujundusele; kuidas mõjutab laastusoonte arv lõikeprot-sessi?

17. Kuidas arvutatakse keermepuuri tugevust; mis mää-rab keermepuuride arvu komplektis?

18. Mida peetakse silmas keermepuuride kukaldamisel?

19. Näidata keermestatava keermek, poldi ja keermepuuri tolerantsiväljade omavahelist asetust.

20. Millised nõuded püstitatakse masinkeermepuuride kin-nitamisele; kuidas töötavad painutatud kinnitusosaga mutri-keermepuurid?

21. Kuidas on kujundatud laastusooneteta keermepuur; kus on võimalik seda kasutada ning mis on tema eelised?

22. Mida tuleb silmas pidada trapetskeermepuuride ku-jundamisel?

23. Mida tuleb silmas pidada koonuskeermete keermepuu-ride kujundamisel?

24. Milliseid skeeme kasutatakse keermete rullimisel?

25. Kuidas valitakse keermepuuride rullimise mõõtmed?

26. Kuidas on kujundatud keermepuuride rullimispead?

XIV. Kammlõikurid

Kammlõikureid võib pidada kõige suurema tootlikkusega lõikeriistadeks. Siin on hõlpsasti saavutatav kõrge töötlemistäpsus ja hea töödeldud pinna siledus. Kammlõikurite võimalik rakendusvaldkond on väga lai. Nagu kujuteri ja -free-segi, tuleb ka kammlõikureid tavaliselt tehnoloogidel endil projekteerida, mistõttu projekteerimisvõtetele tuleb pöörata suurt tähelepanu. Väga oluliselt mõjutab kammlõikuri tööd lõikeskeem. Otstarbekohase lõikeskeemi valikuga võib kammlõikuri tootlikkust ja püsivusaega tunduvalt tõsta. Tänapäeval eelistatakse peamiselt grupilisi lõikeskeeme, mis tagavad suurima tootlikkuse. Viimaste projekteerimisel on Nõukogude Liidus välja kujunenud kaks võistlevat koolkonda. Tšeljabinski traktoritehase koolkond (D.K. Margulis) lähtub ettenihke valikul hambale s_z (koorimishammaste projekteerimisel) ettevalitud hamba püsivusajast ja lõikekiirusest, rõhutades s_z mõju püsivusajale. Siin peetakse silmas püsivusaja vähenemist s_z kasvamisel. НИИТ автотром on arvamisel, et s_z kasvamisel kuni 0,1 mm-ni püsivusaeg ei vähene, vaid koguni suureneb. See koolkond lähtub koorimisosa s_z valikul kammlõikuri koorimis- ja kinnitusosa võrdvastupidavusest ning lõikepingi poolt arendatavast jõust. See tagab kammlõikuri minimaalse pikkuse, mis räägib viimase meetodika kasuks.

Praktika näitab, et erinevad tehased kasutavad samade detailide töötlemiseks erinevaid kammlõikurite konstruktsioone. Nende hindamisel tuleb arvestada nende valmistamise ja teritamise keerukust ning summaarset püsivusaega (eeldades, et saavutatav töötlemise kvaliteet on sama). Eelistatud on lihemad konstruktsioonid.

Küsimused enesekontrolliks

1. Milliseid eeliseid on kammlõikamisel, võrrelduna teiste lõiketöötlemise menetlustega?
2. Millist töötlemistäpsust ja töödeldud pinna siledust on võimalik saavutada kammlõikamisel?

3. Milline on kammlõikurite levinum kasutusvaldkond?
4. Mis on vaba-, mis koordinaatkammlõikamine: millise täpsusega saab tagada töödeldava ava koordinaadid mõlemal juhul?
5. Millised on põhilised suunad kammlõikamise arengus?
6. Loetleda sisepindade töötlemise tõmbe- ja tõukekammlõikuri elemendid ja nende otstarve?
7. Mida peetakse silmas sisepindade töötlemise kammlõikurite hammasteta elementide valikul?
8. Millistele tingimustele peab vastama lõikeskeem kammlõikamisel?
9. Anda ülevaade profiilsetest, generatiivsetest ja grupelistest lõikeskeemidest; loetleda nende eelised ja puudused.
10. Mis mõjutab lõikeprotsessist osavõtvate hammaste arvu valikut; kuidas arvutatakse üheaegselt lõikeprotsessist osavõtvate hammaste arvu?
11. Mis on laastusoone täitetegur, millest see sõltub?
12. Milliste meetoditega valitakse lõikehammaste sammu?
13. Millest sõltuvalt valitakse hambale ettenihe s_z ; orienteerivalt millistes piirides kasutatakse s_z erinevate lõikeskeemide puhul?
14. Milliseid lõikehammaste ja laastusoonte kujusid kasutatakse kammlõikuritel?
15. Mida peetakse silmas kammlõikurite esi- ja taganurkade valikul?
16. Millal kasutatakse laastujaotussooni ja kuidas neid kujundatakse?
17. Kuidas projekteeritakse vahelduva lõikeskeemiga kammlõikuri lõikeosa?
18. Kuidas valitakse kammlõikuri kalibreerivate hammaste arv ja mõõtmed?
19. Mida tuleb silmas pidada kammlõikuri üldise pikkuse valikul?
20. Kuidas komplekteeritakse kammlõikureid, millistele tingimustele peavad vastama komplekti kammlõikuri lõikeservade laiused?

21. Mida tuleb silmas pidada komplekti kammlõikuri eespoolse juhtpinna kujundamisel?
22. Millistest teguritest sõltub lõikejõud kammlõikamisel?
23. Milliseid hammaste kujundusi kasutatakse soonavade töötlemise kammlõikurite juures; mida tuleb silmas pidada juhtpindade projekteerimisel?
24. Kuidas on kujundatud kiilusoonte töötlemise kammlõikurid?
25. Kuidas on kujundatud viimistluskammlõikurid?
26. Millistest materjalidest valmistatakse kammlõikureid; millal on võimalik kasutada metallkeramikast lõikeelemente?
27. Kuidas arvutatakse kammlõikurite tugevust; orienteerivalt millised on lubatud pinged?
28. Mille järgi hinnatakse kammlõikuri konstruktsiooni ratsionaalsust?

XV. Hambalõikeriistad

Hambalõikeriistad moodustavad kõige keerulisemate lõikeriistade grupi. Tänapäeval kasutatakse hammasrataste valmistamisel laialdaselt nii rullumis- kui ka kopeerimismeetodil töötavaid lõikeriistu. Viimaste juures tuleb vahet teha väikese tootlikkusega ja väikest töötlemistäpsust tagavate, peamiselt remonttöödel kasutatavate moodulfreeside ja suure tootlikkusega suurt töötlemistäpsust tagavate riistade vahel (hambatõukepead, hambalõike kammlõikurid), mida kasutatakse suurseria- ja masstootmises. Suuremat tähelepanu tuleb pöörata rullumismeetodil töötavate lõikeriistade tundmaõppimisele, mis on rakendatavad Eesti NSV rahvamajanduspiirkonna tehastes.

Hambalõikeriistu on võimalik sisuliselt tundma õppida vaid siis, kui ollakse tuttav põhimõistetega hambumise teooriast, tuntakse hammasrataste korrigeerimist ning tiguülekandeid, mistõttu enne käesoleva peatüki õppimisele asumist tuleb korrata vastavaid osasid masinaelementide kursusest.

Erinevate hambalõikeriistade tundmaõppimisel jäetagu meelde nende kujundamise põhimõtted ja kujundamisel lahendamist vajavad probleemid. Et valida õigesti hambalõikeriista, omandatagu ülevaade nende suhtelisest tootlikkusest ja saavutatavast töölemistäpsusest.

Küsimused enesekontrolliks

1. Kuidas liigitatakse hambalõikeriistu nende töötamis-põhimõtte järgi?
2. Anda hammasrataste kopeerimis- ja rullumismeetodil töötlemise definitsioonid.
3. Milliste parameetritega on määratud hambalõikeriista lähtehammaslati kontuur?
4. Miks antud mooduliga hammasrataste lõikamiseks tuleb kasutada moodulfreeside komplekti?
5. Kuidas liigitatakse hambalõike latt-tõukureid; nende eelised ja puudused, võrreldes teiste rullumismeetodil töötavate lõikeriistadega; milline on saavutatav töölemistäpsus?
6. Milliseid pindu eraldatakse hambalõike latt-tõukuritel, mis on nende projekteerimisel aluseks?
7. Kuidas arvutatakse sirghammastega hambalõike latt-tõukureid; mille poolest erineb flankeerimata ja flankeeritud profiiliga ning eeltöötlemise latt-tõukurite arvutus?
8. Kuidas arvutatakse hambalõike latt-tõukuri pealõikeserva taganurka α_{tn} ; milline on minimaalne lubatud α_{tn} väärtus?
9. Mida kujutab endast sisuliselt hambalõike ketastõukur; kuidas töödeldakse nende toorikutel hambaid tigufreesidega?
10. Mis on ketastõukuri lähtelõige?
11. Millised ketastõukuri arvutusvalemid erinevad korrigeeritud hammasrataste arvutusvalemitest?
12. Tuletada sirghammastega ketastõukuri evolventkruvipinna parameeter ja käik.
13. Kuidas arvutatakse sirghammastega ketastõukuri pealõikeserva taganurka?

14. Mis põhjustab ketastõukuri hammast kujundava pinna kõrvalekalde silindrilisest evolventpinnast (miks ketastõukuri lõikeserva projektsioon põhitasapinnal ei vasta teoreetilisele evolvendile)?

15. Kuidas valitakse sirghammastega ketastõukuri läh-tehammaslati profiilinurk, mis tagab põhitasapinnal lõikeserva projektsiooni kõige soodsama kõrvalekalde teoreetilisest evolvendist?

16. Mida peetakse silmas ketastõukuri hammaste arvu valikul?

17. Millised tegurid räägivad ketastõukuri profiili ni-hutusteguri suurendamise kasuks; mis piirab nihutusteguri suurendamist?

18. Millised on sirghammastega ketastõukurite tüübid; mis otstarveteks neid kasutatakse; millise töötlemis-täpsuse nad tagavad?

19. Millised on kaldhammastega ketastõukurite tüübid; milline tüüpidest tagab suurema töötlemistäpsuse; milline on nende kasutusvaldkond?

20. Mida kujutab endast sisuliselt evolventhammasra-taste töötlemise tigufrees; millised ühised parameetrid peavad tal olema töödeldava hammasrattaga ning millises pin-nas neid mõõdetakse?

21. Kuidas on seotud hammasrataste töötlemise tigufree-si tõusunurk jaotussilindril ja läbimõõt; mille järgi vali-takse tõusunurk?

22. Millest on tingitud kõrvalekalded teoreetilisest profiilist töödeldavate hammasrataste telje ristlõikes ja töödeldavate hammaste sihis nende lõikamisel tigufreesidega?

23. Tuletada hammasrataste töötlemise tigufreesi pro-fileeriva ja lõikest osavõtva osa pikkused; milline on pro-fileerivate hammaste arv ning millest lähtudes valitakse freesi üldine pikkus?

24. Millised lõikeskeemid võimaldavad hammasrataste töötlemise tigufreeside püsivusaega tunduvalt tõsta ning ra-kendada edukalt ka metallkeraamikast lõikeelemente?

25. Kuidas valitakse hammasrataste töötlemise tigufreeside arvutuslik keskmine läbimõõt; kuidas valitakse hammas- te profiili mõõtmed?

26. Mida peetakse silmas tigufreeside laastusoonte kujundamisel?

27. Mis on põhitigu?

28. Tuletada hammasrataste töötlemise tigufreesi põhiteo telglõike profiilinurk (teoreetiliselt õige põhitigu - evolventtigu - on asendatud Arhimedese teoga).

29. Millist töötlemistäpsust on võimalik tagada hammasrataste töötlemise tigufreesidega?

30. Mille poolest erineb tiguratta töötlemise tigufreesi hambumine põhiteo hambumisest tigurattaga?

31. Millised on tigurataste töötlemise tigufreeside tüübid?

32. Milliseid tegureid tuleb arvestada radiaalse või tangentsiaalse ettenihke valikul tigurataste lõikamisel?

33. Mis on radiaalne, mis aksiaalne kukaldamine?

34. Tuletada tigufreesi hammaste külgpindade kruvijoonte sammud radiaalsel kukaldamisel.

35. Tuletada tigufreesi hammaste külgpindade kruvijoonte sammud ja kukalduse suurus aksiaalsel kukaldamisel.

36. Miks erineb Arhimedese tigu telglõike profiilinurk Arhimedese tigu telglõike profiilinurgast ning kuidas on võimalik seda leida.

37. Millisel põhimõttel töötavad šeeverid?

38. Millest lähtudes valitakse šeeveri ja töödeldava hammasratta telgede vaheline nurk φ_{ckp} ; orienteerivalt millistes piirides peab olema φ_{ckp} ?

39. Kuidas valitakse töötlemisvaru šeeverdamiseks; mille poolest erineb šeeverdamise alla töötlemise hambalõike- riistade profiil üldotstarbeliste omast?

40. Milline täpsus peab hammasratastel olema enne šeeverdamist; milline peab olema šeeveri ja töödeldava hammas- ratta hammaste kattetegur?

41. Mida on silmas peetud ketasšeeverite kujundamisel?

42. Millistel tingimustel on võimalik töödelda rullu- mismeetodil?

43. Kuidas leitakse rullumismeetodil töötava lõikeriista profiil graafiliselt?

44. Kuidas leitakse rullumismeetodil töötava freesi profiil analüütiliselt?

45. Milliseid lõikeriistu kasutatakse kaarekujuliste hammastega koonushammasrataste valmistamiseks?

46. Milliseid lõikeriistu kasutatakse kõverjooneliste hammastega koonushammasrataste valmistamiseks?

47. Kuidas on kujundatud ning kuidas töötavad sirg-hammastega koonushammasrataste lõiketerad?

XVI. Abrasiivlõikeriistad

Abrasiivlõikeriistade kvaliteet sõltub suurel määral nende valmistamiseks kasutatava abrasiivmaterjali ja sideaine kvaliteedist ning nende struktuuri ühtsusest, mistõttu tuleb tähelepanu pöörata abrasiivmaterjalide ja sideainete põhjalikumale tundmaõppimisele. Põhilise osa abrasiivlõikeriistadest moodustavad lihvkettad, mille tüüpidest ja rakendusvaldkonnast tuleb omandada ülevaade. Abrasiivlõikeriistade õigeks eksploateerimiseks jäetagu meelde, kuidas on võimalik neid staatiliselt balansseerida, kuidas kontrollitakse nende tugevust, kuidas kinnitatakse lihvkettaid ning milliseid nõudeid püstitab ohutustehnika abrasiivlõikeriistade eksploateerimisele.

Küsimused enesekontrolliks

1. Anda abrasiivlõikeriista määrang.
2. Kuidas klassifitseeritakse abrasiivlõikeriistu?
3. Millisteks otstarveteks kasutatakse lihvpäid, kuidas on nad kujundatud?
4. Mille järgi liigitatakse luiske, milleks neid kasutatakse?
5. Milliseid lihvkettaid valmistatakse segmentidest, mis on nende eelised?

6. Näidata lihvketaste põhikujud; milline on nende kasutusvaldkond?

7. Mis on abrasiivmaterjalid ning kuidas neid liigitatakse; millised neist on levinud masinaehituses?

8. Kuidas määratakse abrasiivmaterjalide teralisust; kuidas jaotatakse neid teralisuse järgi?

9. Orienteerivalt millistes piirides on korundide, räni- karbiidi, poorkarbiidi ja teemandi kõvadus?

10. Millist abrasiivmaterjali tera kuju peetakse kõige soodsamaks; kuidas mõjutab tera kuju tema tugevust?

11. Kuidas liigitatakse abrasiivpastasid; milleks neid kasutatakse?

12. Kuidas liigitatakse abrasiivlõikeriistade sideaineid?

13. Millised eelised ja millised puudused on keramiisel sideainel; millist ringkiirust võib lubada tavalise tehnoloogia järgi valmistatud keramiilise sideainega lihvketale?

14. Mis on bakeliitsideaine eelisteks, mis puudusteks; millist temperatuuri võib lubada bakeliitsideainega lihvketastega töötamisel?

15. Mis on iseloomulik vulkaniitsideainega lihvketastele; millist temperatuuri võib lubada nendega lihvimisel?

16. Mida mõistetakse abrasiivlõikeriista kõvaduse all; milliste meetoditega mõõdetakse abrasiivlõikeriista kõvadust; milline on kõvaduste skaala?

17. Mida näitab abrasiivlõikeriista struktuuri number; kuidas liigitatakse abrasiivlõikeriistu struktuuri järgi?

18. Millises järjekorras tuuakse abrasiivlõikeriista karakteristikus abrasiivmaterjal, sideaine, teralisus, kõvadus ja struktuur; millised suurused antakse abrasiivlõikeriista markeeringus?

19. Millised on olulisemad lihvketaste kinnitusmoodused; mida tuleb silmas pidada lihvketaste kinnitamisel?

20. Millised nõuded püstitatakse abrasiivlõikeriistade kaitsekatetele?

21. Millised lihvketad alluvad tugevuskontrollile, kuidas kontrollitakse tugevust?

22. Mida tuleb silmas pidada lihvketaste staatilise balansseerimise rakiste projekteerimisel?

23. Kuidas balansseeritakse lihvkettaid staatiliselt?

ÜLDISED NÕUDED KONTROLLTÖÖDE JA KURSUSEPROJEKTI TEGEMISEKS

Kontrolltööde ja kursuseprojekti seletuskirjaks tuleb kasutada formaati A4. Seletuskiri peab olema vormistatud lühidalt, selgesti loetava käekirjaga. Raskesti loetava käekirjaga seletuskirju läbi ei vaadata ja need tagastatakse üliõpilasele korralikumaks vormistamiseks. Teksti ja arvutuste juures tuleb jätta vaba välja retsensendi märkuste jaoks. Arvutustes tuua lähtevalimid ja valemites kasutatud tähiste tähendused, ära näidata nende päritolu, näit. [3, lk. 80, valem 15] ; valemites kasutatavate koefitsientide jm. osas vt. [3, lk. 82, tabel 16] jne. Arvutustes tuleb tuua ka vahetehted ja teisendused, nii et lõpptulemust oleks retsensendil võimalik kontrollida ilma täiendavate arvutusteta. Arvutuste lõpptulemused tuleb kas alla kriipsutada või kanda seletuskirja vabale väljale. Arvutusi tehtagu võimalust mööda tabeli kujul. See on ülevaatlik ja annab ruumi kokkuhoidu.

Kontrolltöö ja kursuseprojekti joonised tehtagu standardis ettenähtud formaatides vatmanpaberil, soovitav pliiatsiga. Joonisel peab olema standardikohane kirjanurk. Joonise mastaap tuleb valida selline, et joonis oleks selgesti loetav. Kui mingi element valitud mastaabis ei ole küllalt selge, tuleb ta välja tuua eraldi suuremas mastaabis. Jooniste valmistamisel peetagu silmas kõiki tehnilise joonestamise ja kujutava geomeetria reegleid. Joonistel peavad olema näidatud (juhul kui ülesanne seda nõuab) vajalikud mõõtmed, valmistamise täpsus, pinnasileduse klass, materjal, valmistamise tehnilised tingimused (terminiline töötlemine, kõvadus jne.) ning lõikeriista markeering. Lõikeriista markeeringus tuuakse lõikeriista põhimõõtmed ja järjekorranumber komplektis, lõikeosa materjal ja tehase märk.

Lõikeriista materjal peab olema valitud vastavalt kaas-
aegsetele seisukohtadele.

Kui kõigi mõõtmete joonisele kandmine teeb selle liiga
kirjaks, tuleb sarnaste elementide mõõtmed kanda eraldi tabe-
lisse samal joonisel (näit. kammlõikuri puhul tuleb hammaste
mõõtmed anda tabeli kujul; samas tabelis on otstarbekohane
tuua ka hammaste geometria ja tolerantsid). Lõikeriistade
projekteerimisel peetagu silmas gabariitmõõtmete ja üksiku-
te elementide kohta kehtestatud riiklikke standardeid.

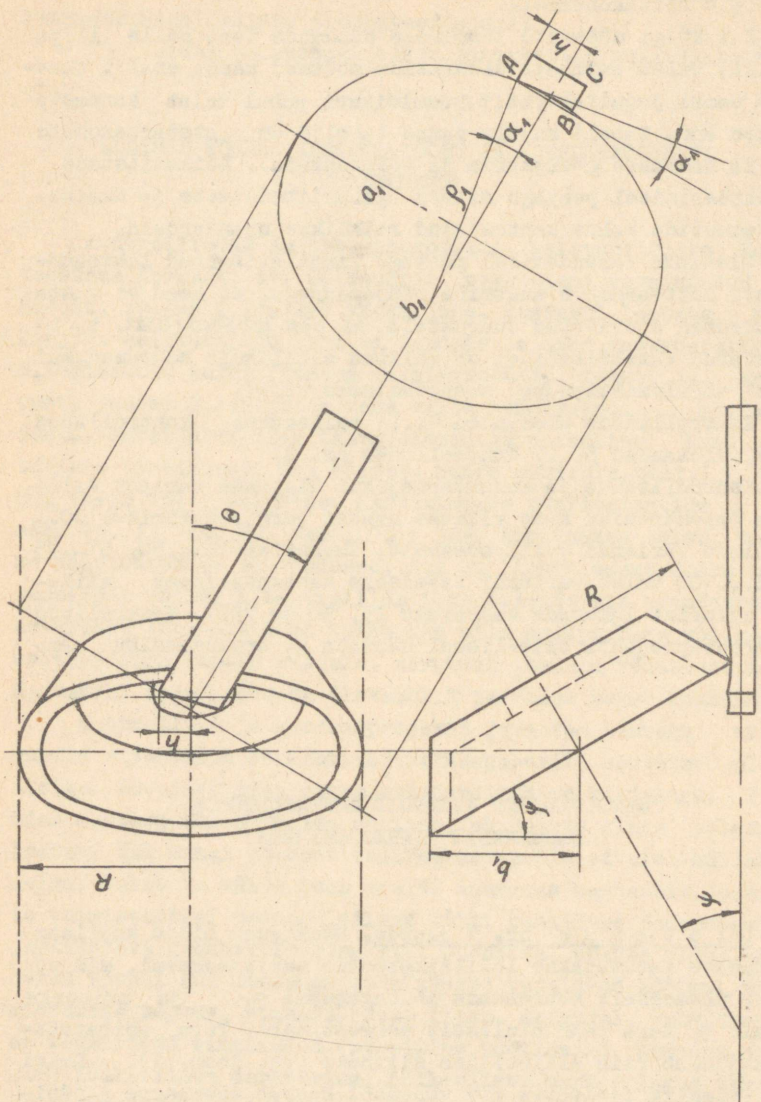
Ülesande lahendamisel peetagu kinni etteantud lähteand-
metest. Lähteandmete muutmine põhjendusega, et need ei vasta
kirjanduses soovitatud suurustele, ei ole lubatud (näit. tööt-
lemisvarud kammlõikamisel on valitud sihilikult suuremad, kui
antud töötlemistäpsuse saavutamiseks vaja).

Kontrolltööde ülesanded 1...4 esitatakse kontrolltöös
nr. 1, ülesanded 5...7 kontrolltöös nr. 2.

Kontrolltööde ja kursuseprojekti ülesande variant vali-
takse õppemärkmiku kahe viimase numbriga järgi. Numbritel 00...
25 toimub variandi valik otsest. Numbritel 26...50, 51...75
ja 76...100 tuleb variandi saamiseks kahekohalisest viima-
sest numbrist lahutada vastavalt 25, 50 ja 75. Kontrolltöö
ja kursuseprojekti tiitellehel näidata ka õppemärkmiku num-
ber.

METOODILISED JUHENDID KONTROLLTÖÖDE ÜLESANNETE LAHENDAMISEKS

Ülesande nr. 1 juurde. Nõukogude Liidu kuullaag-
ritehastes kasutatakse läbilõiketerade teritusskeemi, mis või-
maldab üheaegselt suurendada abitaganurka α , ja abinurka
plaanis φ , tera pead oluliselt nõrgestamata. Tera abitagata-
hud kujundab siin elliptiline silinder (vt. joon. 1). Kuigi
tera võimalik terituste arv väheneb, kasvab summaarne püsi-
vusaeg ning on võimalik kasutada suuremat ettenihet kui tava-



Joon. 1.

lise terituskeemi korral. Kirjeldatava terituskeemi puhul seatakse läbilõiketera terituspinki üles nii, et pealtvaates tema telg langeb kokku pingi töölaua pikiettenihke sihiga, külgsuunas moodustab tera aluspind külgsuunas projekteeruva lihvketta telje sihiga nurga θ . Antud lihvkettaga teritamisel kujunevate nurkade α_1 ja φ_1 suurusid saab muuta, kui muuta tera tipu kõrgust h (vt. joon. 1) ja lihvketta telje ning töölaua pikiettenihke sihi vahelist nurka ψ . Tera abitaaganurga α_1 leidmiseks lõigatagu tera külgpinda kujundavat elliptilist silindrit tasapinnaga, milles mõõdetakse nurk α_1 , s.o. tera põhitasapinnale projekteeritud abilõikeserva risttasapinnaga. Joonisel 1 on α_1 mõõtmise tasapind asetatud läbi tera pealõikeserva risti põhitasapinnaga (teral on $\varphi = 90^\circ$, φ_1 väiksuse tõttu võib praktiliselt lugeda abilõikeserva projektsiooni põhitasapinnale risti olevaks pealõikeservaga) ja pööratud maha. Mahapöördest nähtub, et

$$\sin \alpha_1 = \frac{h_1}{R_1}, \quad (1)$$

kus h_1 - tera tipu A kaugus elliptilise silindri teljest α_1 mõõtmise tasapinnas;

R_1 - elliptilise silindri lõikemisel α_1 mõõtmise tasapinnaga tekkiva ellipsi kõverusraadius väiksema pooltelje juures.

Analüütilisest geometriast on teada, et

$$R_1 = \frac{a_1^2}{b_1}, \quad (2)$$

kus a_1 ja b_1 on vastavalt ellipsi pikem ja lühem pooltelg.

Joon. 1 kohaselt:

$$a_1 = \frac{R}{\cos \theta}; \quad b_1 = R \cos \psi; \quad h_1 = \frac{h}{\cos \theta}.$$

Asetades a_1 ja b_1 väärtused valemisse (2), saame:

$$R_1 = \frac{R}{\cos^2 \theta \cos \psi}.$$

Asetades R_1 ja h_1 valemisse (1), saame:

$$\sin \alpha_1 = \frac{h}{R} \cos \theta \cdot \cos \psi . \quad (3)$$

Lõigates elliptilist silindrit tasapinnaga, millel mõdetakse nurka φ_1 , ning pöörates lõike joonise pinnale, saame koostada arvutusskeemi φ_1 , määramiseks sõltuvalt parameetritest h , R , θ ja ψ (φ_1 mõõtmise tasapind tuleb asetada läbi tera tipu paralleelselt põhitasapinnaga). Lõpptulemusena saadakse:

$$\sin \varphi_1 = \frac{h}{R} \sin \theta \cdot \cos \psi . \quad (4)$$

Parameetri h valikul tuleb silmas pidada, et tera lõikeserv kujuneks laiemaks kui alus (lõik BC joonisel 1). Juhtul kui BC kujuneb laiemaks lõikeservast, tuleb alust täiendavalt järelteritada.

Ü l e s a n d e nr. 2 juurde. Hõõritsa tehnilise joonise valmistamisel võib eeskujuks võtta joon. 76, mis on toodud [1, lk. 33]. Joonisel toodud tähised vastavad standardile 1672-62, kust tuleb võtta kinnitusosa mõõtmed ning mõõtmed L ja d_1 . Hõõritsa töötava osa kujundamisel tuleb silmas pidada järgmist. Hõõritsa töötav osa algab juhtosaga, mille nurk on 45° , vt. [1, lk. 32, joon. 74]. Hõõritsa lõikeosa nurk φ soovitatatakse masinhõõritsatel valida teraste ja teiste sitkete metallide töötlemisel 15° , haprate metallide ja malmi töötlemisel 5° . Hõõritsa lõikeosa pikkus on määratud tema alguse läbimõõduga D_1 , lõpu läbimõõduga D ja nurgaga φ . Lõikeosa alguse läbimõõt määratakse valemiga:

$$D_1 = D - (1,3 \dots 1,4)\Delta, \quad (5)$$

kus Δ on hõõritsaga eemaldatav töötlemisvaru.

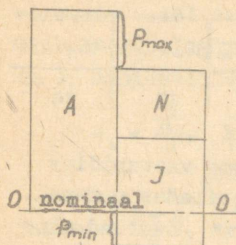
Hõõritsa lõikeosa lõpu või kalibreeriva osa läbimõõdu valikul tuleb arvestada suurusi, mille võrra hõõritsaga töödeldud ava läbimõõt erineb hõõritsa läbimõõdust. Läbimõõdude erinevus sõltub väga paljudest teguritest (töödeldavast materjalist, lõikerežiimist, hõõritsa läbimõõdust ja geometriat jn.), mistõttu võimaluse korral määratakse see katseliselt. Paksuseinaliste avade töötlemisel on iseloomulik

ava läbimõõdu suurenemine. Sel juhul peab töödeldava ava ja hõõritsa tolerantsiväljade A ja N+J omavaheline asetus vastama joonisel 2 toodule. Ava mõõtmete muutused hõõritsemisel, samuti hõõritsa valmistamise tolerantsid ja teritusvarud võib valida tabelist 1. Silindrilise kalibreeriva osa pikkus soovitatakse masinhõõritsil valida valemiga:

$$l_2 = (0,25 \dots 0,3)D. \quad (6)$$

Koonilise kalibreeriva osa pikkuseks võetakse siin 3...5 mm, kusjuures läbimõõdu kahanemine kaela poole on 0,5...0,7 mm.

Joon. 2.



T a b e l 1

Töödeldava avatäp-sus-klass	Tolerantsivälja elemendi tähis	Avade mõõtmed mm								
		1...3	3...6	6...10	10...18	18...30	30...50	50...80	80...120	
2	A	μm	10	13	16	19	23	27	30	35
	P _{max}	"	4	5	6	7	8	9	10	12
	P _{min}	"	3	4	4	5	5	6	7	8
	N	"	3	4	5	6	8	9	10	12
	J	"	6	8	9	11	12	15	17	19
3	A ₃	μm	20	25	30	35	45	50	50	60
	P _{max}	"	7	8	10	12	15	17	17	20
	P _{min}	"	3	4	4	5	5	6	7	8
	N	"	7	9	10	12	15	18	18	20
	J	"	9	12	14	16	20	21	22	28

M ä r k u s: A - ava tolerantsivälja suurus, P_{max} - ava maksimaalne suurenemine hõõritsemisel, P_{min} - ava minimaalne suurenemine hõõritsemisel, N - hõõritsa valmistamise tolerants, J - hõõritsa teritusvaru.

T a b e l 2

Hõõritsa läbimõõt mm	3...10	11...19	20...30	32...45	46...50
Hõõritsa hammaste arv	6	8	10	12	14

Hõõritsa hammaste kalde suund peab olema vastupidine hõõritsa pöörlemissuunaga. Töödeldud pinna siledus paraneb, kui hammaste kaldenurk $\omega \geq 20^\circ$. ω ülemäärane suurendamine raskendab hõõritsa teritamist. Hõõritsa tüüpiliseks esinurgaks γ on 0° , taganurgaks α 8° . Hõõritsa lõikeosa teritatakse faasita, kalibreerivale osale jäetakse silindriline faas suurusega 0,05...0,3 mm (vastab tabelis 1 toodud hõõritsa läbimõõtude diapasonile). Sitkete materjalide töötlemisel valitakse silindriline faas piires 0,05...0,1 mm. Taganurga all teritatud hõõritsa hamba pikkus $f = 0,6...1,8$ mm, vt. [1, lk. 33, joon. 76].

Kruvijoонsete hammastega hõõritsa laastusooned freesitakse ühenurkse ketasfreesiga. Laastusoon nurga ψ võib arvutada valemiga (vt. joon. 2a):

$$\psi = \eta + \varepsilon, \quad (7)$$

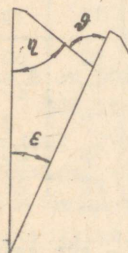
kus η - hamba peanurk,

ε - hammastevaheline nurk.

Nurki ψ , η ja ε mõeldakse hamba normaallõikes. Hamba tugevusest lähtudes valitakse nurk η sirghammastega lõikeriistadele tavaliselt piires $30...52^\circ$. Nurk ε on määratud valemiga $\varepsilon = \frac{360^\circ}{Z}$. Kruvijoонsete hammastega lõikeriistade nurgad η ja ε tuleb ümber arvutada. Sel juhul

$$\psi = \eta_n + \varepsilon_i, \quad (7a)$$

kus ε_i - riista hammaste arvuga Z_i hammaste sammule vastav nurk:



Joon. 2a.

$$\xi_f = \frac{360^\circ}{z_1} \quad (7b)$$

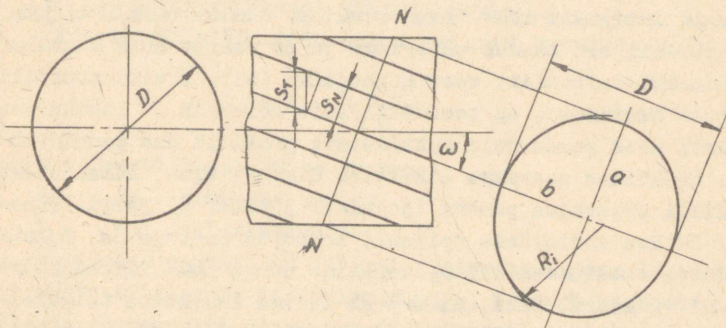
Nn. redutseeritud hammaste arv z_1 kuulub fiktiivsele riistale raadiusega R_1 , kus viimane on lõike NN ellipsi väiksema pooltelje sihiliseks kõverusraadiuseks (vt. joon. 2b). Analüütilisest geometriast teame, et

$$R_1 = \frac{a^2}{b}, \quad \text{kus } a = \frac{R}{\cos \omega} \quad \text{ja} \quad b = R.$$

Kuna $z_1 = \frac{2\pi R_1}{s_N}$, kus hammaste normaalsamm avaldub kujul $s_N = \frac{2\pi R}{z} \cos \omega$, siis

$$z_1 = \frac{z}{\cos^3 \omega} \quad (7c)$$

Nurka η saab ümber arvutada tasapinda NN analoogiliselt joon. 32 toodud skeemiga. Arvutatud η ümardatakse 0° või 5° -ga lõppevaks.



Joon. 2b.

Väljavõte standardist 1672-62 on toodud tabelis 3.

T a b e l 3

D	L	d_1	Morse- koonus	D	L	d_1	Morse- koonus
14	160	10	1	25	220	20	3
15	"	11	1	26	"	"	"
16	170	12	2	28	240	22	"
18	180	14	2	30	"	23	"
20	190	16	2	32	"	"	"
22	200	17	2	35	250	24	4
24	210	19	3				

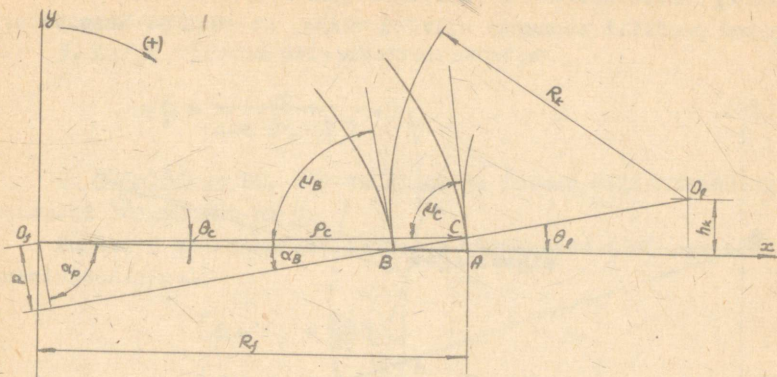
M ä r k u s: Mõõt D = 35 ei ole standardis 1672-62 ette nähtud.

Ü l e s a n d e nr. 3 juurde. Kujufreesi kukaldamisel lihvimisega kujuneb kukaldatav profiil punktis, kus tal on lihvketta profiiliga ühine puutuja. Kõige rohkem kukaldatakse Arhimedese spiraali järgi. Et Arhimedese spiraali puutuja ja puutepunkti mineva raadiusvektori vaheline nurk μ (vt. joon. 3) spiraali eri osades on erinev ja et vastav nurk muutubka üleminekul spiraalilt tema konhoidile (s.t. freesi profiili kõrguse muutudes), on teoreetiliselt võimalik lihvketas õigesti üles seada vaid kukaldatava profiili ühe punkti suhtes. Praktikas seatakse lihvketas õigesti üles kukaldatava profiili sügavaima punkti (joonisel 3 punkt B) järgi. Punkti B läbiva Arhimedese spiraali konhoidi puutuja ja punkti B mineva raadiusvektori ρ_B vahelise nurga α_B täiendusnurk 90° -ni α_B määrab sihi, mida peab läbima lihvketta telg. Teades lihvketta raadiust R_k , saab arvutada freesi ja lihvketta tsentrite kõrguste vahe h_k (vt. joon. 3):

$$h_k = R_k \sin \alpha_B . \quad (8)$$

α_B avaldub valemiga:

$$\operatorname{tg} \alpha_B = \frac{\operatorname{tg} \alpha \cdot R_f}{R_f - h_{\max}} , \quad (9)$$



Joon. 3.

- kus R_f - freesi välisläbimõõdu raadius,
 h_{\max} - freesi profiili maksimaalne sügavus,
 α - taganurk freesi välisläbimõõdul.

Freesi välisläbimõõdu taganurga saab arvutada valemiga:

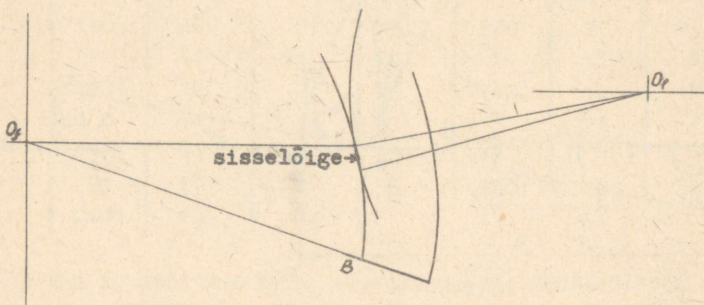
$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{k \cdot z}{\sqrt{D}}, \quad (10)$$

- kus k - freesi kukaldamise suurus,
 z - " hammaste arv,
 D - " välisläbimõõt.

Liikudes punkti B-d läbival Arhimedese spiraali konhoidil vastu kellaosuti liikumise suunda, väheneb konhoidi puutuja ja puutepunkti mineva raadiusvektori vaheline nurk ω , mis põhjustab α_B -le vastava nurga suurenemise. See võib põhjustada sisselõike juba töödeldud profiili, nagu näidatud joon. 3a.

Samasugune pilt tekib ka freesi välisläbimõõtu läbival spiraalil. Kuna $\alpha_C < \alpha_B$, võib sisselõike tekkida lihvimata profiilil. Ülalkirjeldatust järeldub, et kukaldamisprotsessis suureneb sisselõikekõrgus profiili põhja juures pidevalt, freesi välisläbimõõdu juures aga väheneb ning puudub, kui

$\alpha = \alpha_B$. Kasutatavate k väärtuste juures on sisselõikest tingitud profiili moonutus niivõrd väike, et seda ei arvestata.



Joon. 3a.

Lihvketta telglõike profiili arvutamiseks tuleb leida telglõiget BO_f (vt. joon. 3) läbiva sirge lõikepunktid kukaldusjoontega. Allpool on toodud arvutuskeem freesi välisläbimõõtu kujundava lihvketta raadiuse arvutamiseks (määrab lihvketta profiili maksimaalse sügavuse).

1. Freesi telglõike profiili punkti B raadius

$$r_B = R_f - h_{f, \max} \quad (11)$$

2. Punkti B läbiva spiraali konhoidi puutuja normaali punktis B kaugus p koordinaatide algusest:

$$p = r_B \cdot \sin \alpha_B \quad (12)$$

3. Lõigu p ja x -telje vaheline nurk

$$\alpha_p = 90^\circ - \alpha_B \quad (13)$$

4. Freesi välisläbimõõdu spiraali võrrand polaarkoordinaatides:

$$r = R_f + \frac{kz}{2\pi} \theta \quad (14)$$

kus ρ - polaarraadius,

θ - polaarnurk.

5. Sirge võrrand polaarkoordinaatides:

$$\rho = \frac{p}{\cos(\alpha_p - \theta)}. \quad (15)$$

6. Telglõiget BO , läbiva sirge ja freesi välisläbimõõdu spiraali lõikepunkt on C.

Punkti C koordinaadid leitakse võrrandite (14) ja (15) kooslahendamisel:

$$\begin{cases} \rho_c = R_f + \frac{kz}{2\pi} \theta_c, \\ \rho_c = \frac{p}{\cos(\alpha_p - \theta_c)}. \end{cases} \quad (16)$$

Võrranditest (16) tuleb avaldada nurk θ_c . Otstarbekohane on θ_c leida kõigepealt ligikaudselt, võttes $\cos \theta_c = 1$ (viga asendamisest ei ületa 1%, kui $\theta_c \leq 8,1^\circ$) ja $\sin \theta_c = \theta_c$ (viga asendamisest ei ületa 1%, kui $\theta_c \leq 14^\circ$). (Võrrandite (16) täpne lahendamine on väga töömahukas.) Lahendi täpsustamiseks võib kasutada Newtoni meetodit või lineaarset interpolatsiooni (regula falsi).

Esimese meetodi kohaselt täpsem lahend avaldub kujul

$$\theta_{c1} = \theta_c - \frac{f(\theta_c)}{f'(\theta_c)}, \quad (17)$$

kus θ_c - ligikaudne lahend.

Tavaliselt saadakse juba esimesel täpsustamisel θ_c , mille järgi arvutatud ρ_c -d (võrrandid (16)) ei erine üle $2\mu\text{m}$. Kui erinevus on suurem, tuleb täpsustamist korrata.

$$\begin{cases} x_c = \rho_c \cos \theta_c, \\ y_c = \rho_c \sin \theta_c. \end{cases} \quad (18)$$

7. Lihvketta tsentri koordinaadid x_a ja y_a :

$$\begin{cases} x_a = x_B + R_k \cos \alpha_B, \\ y_a = h_k = R_k \sin \alpha_B. \end{cases} \quad (19)$$

8. Punkti C läbiv lihvketta raadius

$$R_C = \sqrt{(x_C - x_a)^2 + (y_C - y_a)^2}. \quad (20)$$

9. Lihvketta profiili maksimaalne sügavus

$$h_{1\max} = R_B - R_C. \quad (21)$$

Ülejäänud lihvketta telglõike profiili sügavusi saab leida analoogiliselt.

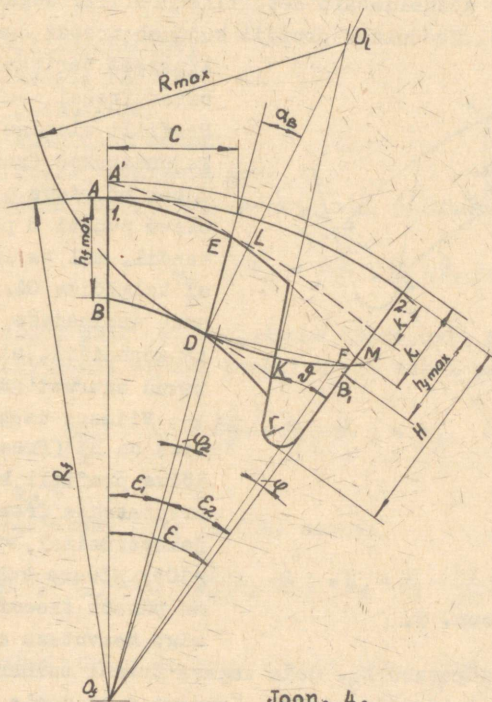
Ü l e s a n d e nr. 4 juurde. Kujufreesi kukaldamise lihvketta läbimõõt püütakse valida võimalikult suur, et suurendada kukaldamise täpsust. Läbimõõdu suurendamist piirab sisselõikeohut järgmise hambasse. Lihvketta maksimaalsel läbimõõtu on otstarbekohane määrata graafiliselt. Selleks tuleb välja joonestada freesi kaks järjestikku asetsevat hammast, kandes joonisele ka freesi välisläbimõõtu ja profiili maksimaalsed sügavust läbivad kukaldusjooned (vt. joon. 4). Viimasel kukaldusjoonel määratakse punkt D, kus kukaldamine lõpeb lihvimisega. Tavaliselt on ette antud lihvitult kukaldatud hamba pikkus C, mis kujufreesidel valitakse $1/2 \dots 2/3$ hamba pikkusest freesi välisläbimõõdul. Lihvketta tsenter asub sirgel, mis moodustab punkti D läbiva freesi raadiusega nurga α_B . Nurka α_B saab arvutada valemiga (9) (vt. selgitused ülesande nr. 3 juurde). Et vältida sisselõiget järgmise hamba profiili, peab lihvketta välisläbimõõdu ja järgmise hamba esitahu lõikepunkt F asuma kõrgemal punktist B_1 , mis on määratud freesi profiili maksimaalse sügavusega. Tegelikul kukaldamisel ei alga lihvketta freesist eemaldumine mitte punktis D, vaid sellest paremal. Ülejooksunurk φ_2 valitakse $0,5 \dots 1,0^\circ$. Sisselõike vältimiseks peab olema tagatud tingimus $\varphi > \varphi_2$, millest lähtudes valitakse lõik B_1F piires $1 \dots 2$ mm. Lihvketta tsentri leidmiseks ühendatakse punkt F punktiga D. Lõigule FD ehitatakse keskristsirge, mille lõikepunkt nurga α_B all tõmmatud sirgega määrabki lihvketta tsentri.

Kui kasutada vaid ühekordset kukaldust, kujuneb hambal õigesti töödeldud tagatahk ABDL. Edasise hamba tagatahu osa

DK kujundab üleminekukõver. See mitte täielikult töödeldud hamba osa võib freesi korduvate terituste järel hakata lõikuma juba töödeldud profiili. Selle vältimiseks kasutatakse hamba kahekordset kukaldust. Teise kukalduse suurus k_1 valitakse valemiga

$$k_1 = (1,5 \dots 1,75)k. \quad (22)$$

Teine kukaldus peab läbima punkti E, mis on määratud nurgaga ϵ_1 (vt. joon. 4).



Joon. 4.

Nurk ϵ_1 radiaanides avaldub valemiga

$$\epsilon_1 = \frac{C}{R_f}. \quad (23)$$

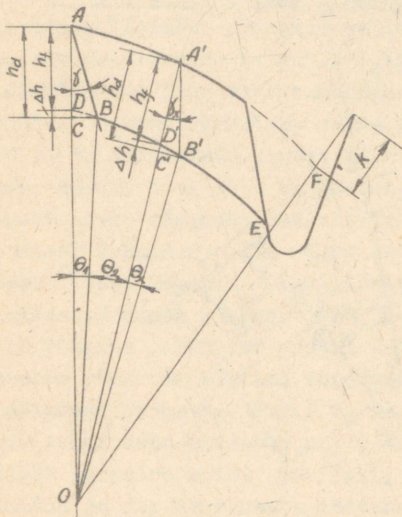
Punkti E polaarraadiuse saame arvutada valemiga

$$\rho_E = R_f - \frac{kz}{2\pi} \epsilon_1. \quad (24)$$

Punkti A' raadiuse, millelt tuleb alustada teist kukaldust, saame arvutada valemiga

$$R_{A'} = \rho_E + \frac{k_1 \cdot z}{2 \epsilon} \epsilon_1. \quad (25)$$

Ü l e s a n d e n r. 5 juurde. Olgu meil ette antud Arhimedese spiraali järgi kukaldatud kujufrees raadiusega R_f , hammaste arvuga z , kukalduse suurusega k ning esinurgaga γ , mis valmistab töödeldavale detailile profiili sügavusega h_d (vt. joon. 5). Töödeldav profiil kujuneb freesi hamba tippu



Joon. 5.

A (pärast teritamist A') läbib freesi telglõikes. Profiili alumine punkt C kujundatakse freesi telje ümber pöörduva esitahul oleva punkti B poolt momendil, mil ta läbib freesi telglõike OA . Punkt B asub Arhimedese spiraali AF konhoidil, mis on määratud suurustega R_f , z ja k . Viimase kaugus spiraalilt on h_f (freesi telglõike profiili kõrgus h_f arvutatakse freesi projekteerimisel, vt. lk-d 93-103). Nõuete kohaselt peame pärast freesi teritamist saavutama sama detaili

li profiili sügavuse h_d . Seda tagava freesi esinurga γ_x saab graafiliselt leida järgmiselt. Kanname raadiusele OA' (mis on antud suurus) punktist A' lõigu h_d . Lõigu h_d alumise punkti C' pööramiseks ümber freesi tsentri kuni lõikumiseni punkti B läbiva konhoidiga saame leida freesi esitahul oleva freesi profiili sügavaima punkti B' (mis moodustab detaili profiilil punkti C'). Punkti B' ühendamisega A' -ga saame esitahu sihi, millega on määratud nõutud esinurk γ_x . Arvutada

saab nurka δ_x kolmnurgast $OA'B'$ siinusteoreemi järgi. Teadaolevaiks suurusteks on siin lõigud OA' ja OB' ($OB'=OA'-h_d$); täiendavalt tuleb leida nurk θ_x , mis asub punktidesse A' ja B' minevate raadiuste vahel. θ_x leidmiseks tuleb välja kirjutada punkti A' polaarraadiused, lähtudes kord punktist A , kord punktist B . Siin on otstarbekohane kasutada Arhimedese spiraali võrrandit kujul

$$\rho = R_f - \frac{kz}{2\pi} \theta, \quad (26)$$

kus ρ - polaarraadius,
 R_f - freesi raadius,
 θ - polaarnurk,
 k - kukalduse suurus,
 z - freesi hammaste arv.

Lähtudes punktist A , saame joon. 5 kohaselt:

$$\rho_{A'} = R_f - \frac{kz}{2\pi} (\theta_1 + \theta_2). \quad (27)$$

Lähtudes punktist B , liigume kõigepealt punkti B' , sealt ringi kaart mööda tagasi punkti C' ja edasi punkti A' :

$$\rho_{A'} = R_B - \frac{kz}{2\pi} (\theta_2 + \theta_x) + h_d, \quad (28)$$

kus $R_B = R_f - h_d$.

Võrranditest (27) ja (28) saame:

$$R_f - \frac{kz}{2\pi} (\theta_1 + \theta_2) = R_B - \frac{kz}{2\pi} (\theta_2 + \theta_x) + h_d = R_f - \frac{kz}{2\pi} (\theta_2 + \theta_x).$$

Viimane võrdus on kehtiv vaid juhul, kui

$$\theta_1 = \theta_x. \quad (29)$$

Nurga θ_1 saab arvutada kolmnurgast OAB siinuslause abil (teada on OA , OB ja δ).

Juhul kui teritamisel säilitada esinurga δ suurus, pole tagatud $\theta_1 = \theta_x$, mis põhjustab töödeldava detaili profiili kõrguse muutuse. Uue θ_x väärtuse saame arvutada ülesandem. 3

metoodika kohaselt, kasutades Arhimedese spiraali asemel tema konhoidi võrrandit

$$\rho_x = \rho - h_2, \quad (30)$$

kus h_2 on freesi telglõike profiili kõrgus. Joon. 5 kohaselt

$$h_2 = h_d - \Delta h. \quad (31)$$

Δh arvutamiseks saab kasutada proportsioone

$$\frac{\Delta h}{\theta_1} = \frac{k}{\varepsilon}, \quad (32)$$

kus ε on freesi hammaste vaheline nurk:)

$$\varepsilon = \frac{2\pi}{z}. \quad (33)$$

Freesi teritamise järel säilib h_f , δ säilitamisel aga muutub nurk θ_x , mis põhjustab h_d muutuse. Uue h_d leidmiseks tuleb leida uus Δh nurga θ_x abil.

Ü l e s a n d e nr. 6 juürde. Kaarekujuliste ja kõverjooneliste profiilpindade töötlemise kujuterade ja -freeside profiil kujuneb üldjuhul kõverjooneliseks. Tingituna teoreetilise profiili valmistamise tehnoloogilistest raskustest asendatakse see ühe või enama ringi kaarega nii, et kõrvalekalle teoreetilisest profiilist jääks lubatud piiridesse. Sama probleem esineb ka rullumismeetodil töötavate lõikeriistade projekteerimisel. Ülesande lahendab kõige täpsemalt kõvera parima lähendusfunktsiooni teooria (akad. S.N. Bernsteini töö). Praktika jaoks tagavad küllaldase täpsuse ka lihtsamad alltoodud lähendusvõtted.

Kõvera asendamiseks ringi kaarega analüütilisel meetodil tuleb ette anda teoreetilise profiili kolme punktikoordinaadid. Kui kõverjooneline profiil ühendub sirge profiiliga, peab üheks punktiks olema sirgega ühendumise punkt. Üldjuhul valitakse kaks punkti kaarega asendatava kõvera otspunktide lähedal, kolmas keskel. Kõverat asendava ringi võr-

randi tuletamiseks on sobiv valida koordinaattelgede asend selline, et koordinaattelgede nullpunkt langeks kokku ühe etteantud punktiga kõveral.

Analüütilisest geometriast on teada, et ringi võrrand, mille tsenter ei lange kokku koordinaatide algusega, avaldub kujul:

$$(x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = r_1^2, \quad (34)$$

kus x, y - ringi jooksva punkti koordinaadid,

x_a, y_a - ringi tsentri koordinaadid,

r_1 - ringi raadius.

Et kõik etteantud kolm punkti asetsevad ühel ringil, saame kirjutada:

$$\begin{cases} (x_0 - x_a)^2 + (y_0 - y_a)^2 = r_1^2, \\ (x_1 - x_a)^2 + (y_1 - y_a)^2 = r_1^2, \\ (x_2 - x_a)^2 + (y_2 - y_a)^2 = r_1^2. \end{cases} \quad (35)$$

Kuna $x_0 = 0$ ja $y_0 = 0$, siis esimene ülaltoodud võrdustest saab kuju:

$$x_a^2 + y_a^2 = r_1^2. \quad (36)$$

x_a, y_a ja r_1 määramiseks tuleb võrdustest (35) kaks viimast lahendada koos võrdusega (36). Tulemusena saame:

$$\begin{cases} y_a = \frac{x_2(x_1^2 + y_1^2) - x_1(x_2^2 + y_2^2)}{2(x_2y_1 - y_2x_1)}, \\ x_a = \frac{x_1^2 + y_1^2 - 2y_1y_a}{2x_1}, \\ r_1 = \sqrt{x_a^2 + y_a^2}. \end{cases} \quad (37)$$

Kõvera asendamisel mitme ringi kaarega saab arvutusi tunduvalt vähendada, andes ringide tsentrite koordinaadid ja raadiused trigonomeetriliste suuruste kaudu. Leiame trigonomeetriliste suuruste kaudu kõigepealt x_a , y_a ja r_1 .

Joon. 6 kohaselt

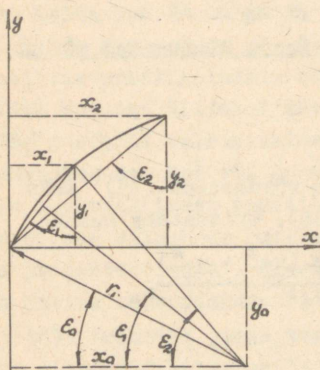
$$\begin{cases} \operatorname{tg} \varepsilon_1 = \frac{x_1}{y_1}, \\ \operatorname{tg} \varepsilon_2 = \frac{x_2}{y_2} \end{cases} \quad (38)$$

ja

$$r_1 = \frac{y_1}{2 \cos \varepsilon_1 \cdot \sin(\varepsilon_1 - \varepsilon_a)} = \frac{y_2}{2 \cos \varepsilon_2 \cdot \sin(\varepsilon_2 - \varepsilon_a)} \quad (39)$$

Lahendades võrrandi (39) ε_a suhtes, saame:

$$\operatorname{tg} \varepsilon_a = \frac{y_2 \cdot \sin 2\varepsilon_1 - y_1 \cdot \sin 2\varepsilon_2}{2(y_2 \cos^2 \varepsilon_1 - y_1 \cos^2 \varepsilon_2)} \quad (40)$$



Joon. 6.

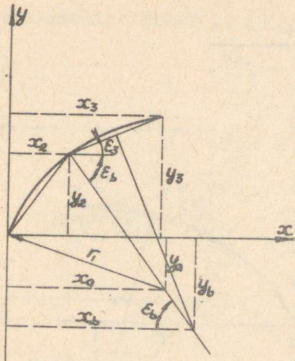
x_3 , y_3 . Mõlemal kaarel on ühine puutuja punktis x_2 , y_2 . Seetõttu asuvad mõlema kõverat asendava ringi tsentrid samal sirgel.

Ringi tsentri koordinaadid avalduvad kujul:

$$\begin{cases} x_a = r_1 \cos \varepsilon_a, \\ y_a = -r_1 \sin \varepsilon_a. \end{cases} \quad (41)$$

Kõvera asendamisel kahe ringi kaarega tuleb teise ringi raadiuse r_2 ja tema tsentri koordinaatide x_b ja y_b määramiseks anda täiendavalt teoreetilise profiili ühe punkti koordinaadid x_3 ja y_3 . Teine ring läbib punkte x_2 , y_2 ja

Joonise 7 kohaselt:



Joon. 7.

$$\operatorname{tg} \varepsilon_3 = \frac{y_3 - y_2}{x_3 - x_2},$$

$$\operatorname{tg} \varepsilon_b = \frac{y_2 - y_a}{x_a - x_2}. \quad (42)$$

$$r_2 = \frac{x_3 - x_2}{2 \cos \varepsilon_3 \cdot \cos (\varepsilon_3 + \varepsilon_b)},$$

$$x_b = r_2 \cos \varepsilon_b + x_2,$$

$$y_b = -(r_2 \sin \varepsilon_b - y_2). \quad (43)$$

Valemities on y_a ja y_b võetud negatiivse märgiga, kuna kaarte tšenter asub koordinaatide negatiivses veerandis.

Andes ette uusi koordinaate kaartega asendataval kõveral, saame ülaltoodud meetodika kohaselt leida uute kõverat asendavate kaarte raadiusi ja tšentrite koordinaate.

Kõverjoonelise profiili asendamisel ringi kaare või kaartega tekib kõrvalekalle teoreetilisest profiilist. Kõrvalekalde maksimumi leidmiseks saab tuletada valemi, kui on teada kõverjoonelise profiili võrrand. Profiili võrrand on teada rullumismeetodil töötavatel lõikeriistadel, mille profiil on arvatud analüütiliselt. Kujuterade ja -freeside puhul (profiil kujundatakse neil sõlmpunktide koordinaatide järgi) profiili võrrandit teada ei ole. Küsimuse täpselt lahendamiseks tuleb koostada kõverjoonelise profiili võrrand ja tuletada valem maksimaalse kõrvalekalde arvutamiseks. Kõrvalekalde saab leida küllalt täpselt, kui joonestada välja teoreetiline profiil ja seda asendavad ringi kaared piirkondade määramiseks, kus kõrvalekalded on kõige suuremad (vt. joon. 8). Maksimaalset kõrvalekallet aitab määrata ka asjaolu, et see asub teoreetilise profiili ja viimast asendava kaare ühisel normaalil. Joon. 8 kohaselt teoreetilise profiili punkti raa-

dusvektor ρ profiili asendava kaare r_1 tsentrist O_1 avaldub kujul:

$$\rho = \sqrt{(x_a - x)^2 + (y_a - y)^2}, \quad (44)$$

kus x ja y on teoreetilise profiili jooksva punkti koordinaadid. Kõrvalekalle teoreetilisest profiilist avaldub kujul:

$$\Delta\rho = \rho - r_1, \quad (45)$$

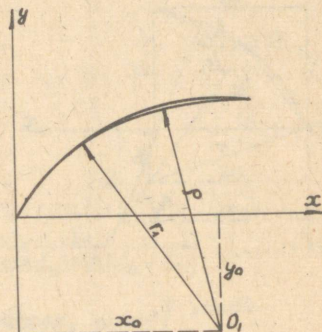
kus r_1 on teoreetilist profiili asendava ringi raadius.

Ü l e s a n d e n r. 7

juurde. Väikeste partiidena toodetavate tigurataste valmistamiseks kasutatakse tavaliselt

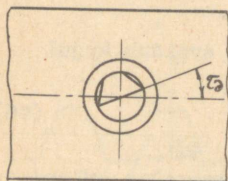
nn. lendteri, mille valmistamine on vastavate tigufreeside valmistamisega võrreldes tunduvalt odavam ja lihtsam. Lendterade tootlikkus on vastavate freeside tootlikkusest 2...4 korda madalam, saavutatav töödeldud pinna siledus kas sama või parem (siin kasutatakse väga väikseid ettenihkeid). Töötlemistäpsus teoreetiliselt ei erine freesidega töötlemise täpsusest.

Puhastöötlemise lendtera külgmiste lõikeservade kujundavad pinnad, nagu vastavatel tigufreesidelgi, peavad kokku langema põhitigu niitide külgpindadega (põhitigu on tigu, mis peab hambuma antud tigufreesiga lõigatud tigurattaga ning on tigufreesi kujundamisel aluseks). Seega võime lendteravaadelda kui tigufreesi üht hammast. Et tagada ühesuguseid lõiketingimusi lendtera mõlemale külgmisele lõikeservale, kinnitatakse ta tornile selliselt, et ta esitahk moodustaks torni telge läbiva tasapinnaga nurga τ , mis võrdub kruijoone tounurgaga põhitigu jaotussilindril (vt. joon. 9). Siit järeldub, et lendtera profiil peab kokku langema tigu niidi normaallõike profiiliga. Seega on kõige kergem valmistada konvoluut-



Joon. 8.

tiguga hamuvaid tigurattaid - konvoluuttigul on normaalõikes sirgjooneline profiil. Kõige levinumad on Arhimedese tiguga tiguülekaned. Siin on tigu niidi normaalõige kõverjooneline, mis ras-

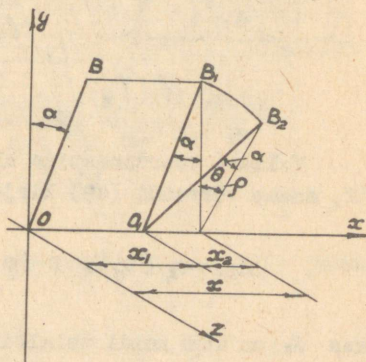


Joon. 9.

kendab lendtera profileerimist ja valmistamist. Praktikas kasutatakse lendterade profileerimise lähendusvõtteid - lendtera kõverjooneline profiil asendatakse ringi kaare või sirgega. Et selgitada lähendusvõtete rakendatavust, tuleb osata leida nendest tingitud lendtera profiili hälve. Profiili hälbe määramiseks arvutatagu lendtera täpne profiil.

Allpool on toodud Arhimedese tiguülekande tiguratta valmistamise lendtera täpne profileerimine.

Koostame kõigepealt Arhimedese tigu niidi külgpindade võrrandid silindrilistes koordinaatides. Valime teljestiku nii, et telg x langeks kokku tigu teljega. Tigu külgpinda kujundava moodustaja algasend on tasapinnas xOy (joon. 10 on näidatud vasakpoolse külgpinna moodustaja). Moodustaja α kalutatud y -telje suhtes nurga α võrra (α - tigu telglõike profiilnurk). Tigu külgpinna kujundamiseks peab moodustaja hakama liikuma piki x -telge, üheaegselt pöördudes selle ümber, kusjuures sirgjooneline ja pöörlev liikumine peavad olema omavahel seotud nii, et liikumisel x -telje sihis ühe tigu niidi samu S võrra peab moodustaja tegema ühe täispöörde. Joon. 10 on moodustajat nihutatud piki x -telge lõigu x_1 võrra asendist OB asendisse O_1B_1 ja seejärel pööratud ümber x -telje nurga θ võrra asendisse O_1B_2 , kusjuures on silmas peetud seost



Joon. 10.

$$\frac{x_1}{s} = \frac{\theta}{2\pi} \text{ ehk } x_1 = \frac{s}{2\pi} \theta .$$

Joon. 10 kohaselt

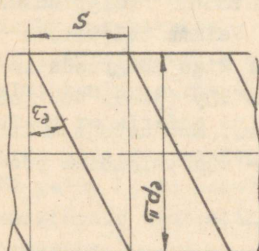
$$x_2 = \rho \operatorname{tg} \alpha$$

ja tigu niidi vasakpoolse külgpinna võrrand avaldub kujul

$$x_v = \frac{s}{2\pi} \theta + \rho \operatorname{tg} \alpha . \quad (46)$$

Pole raske veenduda, et tigu niidi parempoolse külgpinna võrrand avaldub kujul

$$x_p = \frac{s}{2\pi} \theta - \rho \operatorname{tg} \alpha . \quad (47)$$



Joon. 11.

Tigu pinnalaotuselt jaotussilindril d_2 saame leida seose tigu külgpinna käigu ja tõusunurga ϵ_2 vahel. Joon. 11 kohaselt

$$\operatorname{tg} \epsilon_2 = \frac{s}{\pi d_2} . \quad (48)$$

Asetades s väärtuse võrrandist (48) võrranditesse (46) ja (47), saame:

$$x_{p,v} = r_2 \cdot \theta \operatorname{tg} \epsilon_2 \mp \rho \operatorname{tg} \alpha . \quad (49)$$

Valides koordinaatide alguse nii, nagu näidatud joon. 12, saame võrrandi (49) kirjutada ümber kujul

$$x_{p,v} = r_2 \cdot \theta \operatorname{tg} \epsilon_2 \mp (\rho - r_2) \operatorname{tg} \alpha \pm \frac{s_2}{2} , \quad (50)$$

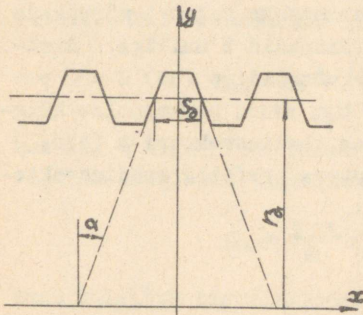
kus s_2 on tigu niidi telglõike paksus jaotussilindril. Võrrandis (50) ülemised märgid kehtivad tigu niidi parempoolse, alumised vasakpoolse külgpinna koordinaadi x arvutamisel.

Tigu niidi mingi punkti koordinaate y ja z saame arvutada valemitega:

$$y = \rho \cos \theta, \quad (51)$$

$$z = \rho \sin \theta, \quad (52)$$

kus ρ on vaadeldava punkti polaarraadius, θ - polaarnurk.



Joon. 12.

$$Y = y. \quad (53)$$

Joon. 14 järgi

$$X = DE - CE \text{ ehk}$$

$$X = x \cos \tau_3 - z \sin \tau_3 \quad (54)$$

ja

$$Z = AB + BC \text{ ehk}$$

$$Z = z \cos \tau_3 + x \sin \tau_3. \quad (55)$$

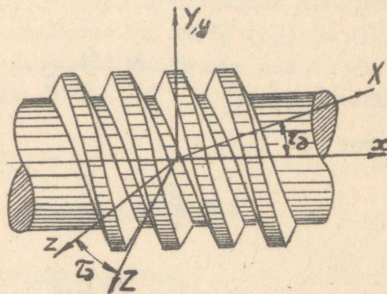
Tigu külgpindade võrrandid uutes koordinaatides saame võrrandite (50)...(55) kooslahendamisel.

Lõpptulemusena saame:

$$X = r_3 \theta \sin \tau_3 \mp \rho (\operatorname{tg} \alpha \cos \tau_3 \pm \sin \theta \sin \tau_3) \pm (r_3 \operatorname{tg} \alpha + \frac{S_2}{2}) \cos \tau_3, \quad (56)$$

Tigu niidi tõusunurk jaotussilindril τ_3 loetakse paremakäelise tigu puhul positiivseks, vasakukäelise tigu puhul negatiivseks.

Pöörame valitud koordinaatsüsteemi telje Oy ümber selliselt, et koordinaattasapind xOy võtaks ristasenditigu külgpinna krüvijoonega jaotussilindril, s.t. pöörame koordinaatsüsteemi nurga τ_3 võrra (vt. joon. 13). Tähistame uued koordinaadid tähtedega X, Y ja Z . On ilmne, et



Joon. 13.

$$X = \bar{r} \rho \frac{\sin \theta}{\sin \epsilon_2}, \quad (64)$$

s.t. lendtera profiil on sümmeetriline.

Lendtera profiili koordinaadi Y saame arvutada valemiga (57).

Lendtera projekteerimisel tuleb tigu niidi paksuse jaotussilindril S_2 asendada lõiguga S_{uo} :

$$S_{uo} = S_2 + \Delta S_2, \quad (65)$$

kus ΔS_2 - tigu niidi paksuse muutus tigu telglõikes, mis on vajalik külglõtku tagamiseks. Tavaliselt

$$S_{uo} = \frac{\pi m}{2}, \quad (66)$$

kuna külglõtk tiguülekanDES tagatakse tigu hamba nominaalpak-
suse vähendamisega. Harilikult võrdub hamba nominaalpaksum
poole telglõike sammuga.

Lendtera profiili koodrinaate on otstarbekohane arvutada järgmises järjekorras:

1. Valemitega (61), (62) ja (63) arvutatakse konstandid k_1 , k_2 ja k_3 , kusjuures arvestatakse valemEid (65) ja (66).

2. Valitakse ette rida nurga θ väärtusi, nii et valemiga (60) arvutatav ρ muutuks piires $R_{eu} \dots R_{i1}$. R_{eu} määratakse valemiga

$$R_{eu} = R_{e1} + C, \quad (67)$$

kus R_{e1} - tigu niidi välisläbimõõdu raadius,

C - radiaallõtk,

R_{i1} - tigu niidi põhjaderingi raadius.

Nurga θ orienteerivaks ettevalimiseks võib kasutada tabelit 4.

3. Arvutatakse koordinaadid X (valem (64)).

4. Arvutatakse koordinaadid Y (valem (57)).

Koordinaatide X ja Y järgi ehitatakse šablooni profiil, kusjuures X väärtused kantakse mõlemale poole ordinaattelge. Lendtera külgmistelt lõikeservadelt otsmisele minnakse üle ümardusraadiuse $r_{\bar{u}}$ abil.

$$r_{\ddot{u}} \approx C, \quad (68)$$

kus C on radiaallõtk.

Lendtera täpse profiili valmistamine, mis nõuab spetsiaalset sisseseadet, ei osutu sageli vajalikuks. Küllalt suure täpsuse saab tagada, kui arvutatud profiil asendada ringikaarega (vt. juhend ülesandele nr. 6). Paljudel juhtudel, eriti väikse τ puhul, on võimalik tagada vajalik täpsus ka lendtera kõverjoonelise profiili asendamisel sirgega. Sel juhul arvutatakse lendtera profiilinurk α_u ühega järgmistest valemitest:

$$\alpha_{u1} = \alpha_n - \frac{\sin^3 \tau_2 \cdot 90^\circ}{2z_1} \quad (69)$$

või

$$\alpha_{u2} = \alpha_n - \frac{\sin^3 \tau_2 \cdot 90^\circ}{z_1}, \quad (70)$$

kus z_1 on tigu käikude arv.

Nurk α_n arvutatakse valemiga

$$\operatorname{tg} \alpha_n = \operatorname{tg} \alpha \cdot \cos \tau_2. \quad (71)$$

Lendtera paksust S_u tema ligikaudsel profileerimisel kontrollitakse kõrgusel h_u . Mõõtmised S_u ja h_u arvutatakse valemitega:

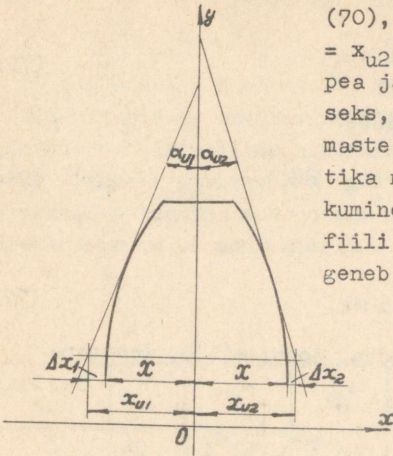
$$S_u = S_{u0} \cos \tau_2, \quad (72)$$

$$h_u = R_{eu} - r_{\ddot{u}}. \quad (73)$$

Suurus S_{u0} arvutatakse kas valemiga (65) või (66), suurus R_{eu} valemiga (67).

Kui α_u on arvutatud valemiga (69), siis profiili hälve $\Delta x_1 = x_{u1} - X$ (vt. joon. 15) kujuneb suurimaks lendtera hamba jala juures. Sisselõikeoht töödeldavate hammaste jalgade juures on väike, hammaste peade juures lõikub lendtera sisse sügavamalt.

Kui α_u on arvatatud valemiga (70), siis profiili hälve $\Delta x_2 = x_{u2} - X$ kujuneb töödeldava hamba pea ja jala juures peaaegu ühesuguseks, mistõttu sisselõikehoit hammaste jalgade juures suureneb. Praktika näitab, et mõningane sisselõikumine töödeldavate hammaste profiili on koguni kasulik, kuna kergeneb tiguajami sissetöötamine.



Joon. 15.

T a b e l 4

z_1	q	τ_a	θ	M
1	12	$4^{\circ}45'48''$	$-0^{\circ}17'..-1^{\circ}05'$	5
	10	$5^{\circ}42'38''$	$-0^{\circ}24'..-1^{\circ}37'$	5
	8	$7^{\circ}07'30''$	$-0^{\circ}35'..-2^{\circ}40'$	6
	6	$9^{\circ}27'44''$	$-1^{\circ}00'..-5^{\circ}00'$	8
2	12	$9^{\circ}27'44''$	$-0^{\circ}35'..-2^{\circ}10'$	6
	10	$11^{\circ}18'36''$	$-0^{\circ}50'..-3^{\circ}10'$	6
	8	$14^{\circ}02'10''$	$-1^{\circ}10'..-5^{\circ}00'$	8
	6	$18^{\circ}26'06''$	$-1^{\circ}45'..-9^{\circ}30'$	10

Tähised tabelis: z_1 - tigu käikude arv, q - moodulite arv tigu jaotusringi läbimõõdul, M - punktide arv profiilil, millele tuleb arvutada ϕ .

Täiendavaid valemeid ülesande lahendamiseks:

1) tigu jaotusringi läbimõõt

$$d_{a1} = q \cdot m_{oc},$$

(74)

2) tigu välisläbimõõt

$$D_{e1} = d_2 + 2f_{oc} \cdot m_{oc}, \quad (75)$$

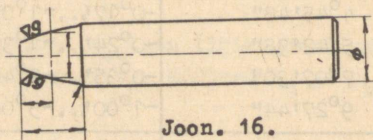
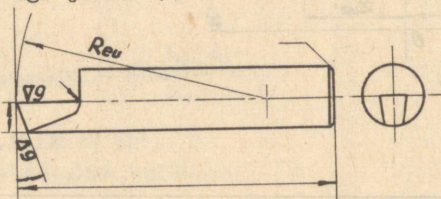
3) tigu niidi põhja läbimõõt

$$D_{i1} = d_2 - 2f_{oc} \cdot m_{oc} - 2C, \quad (76)$$

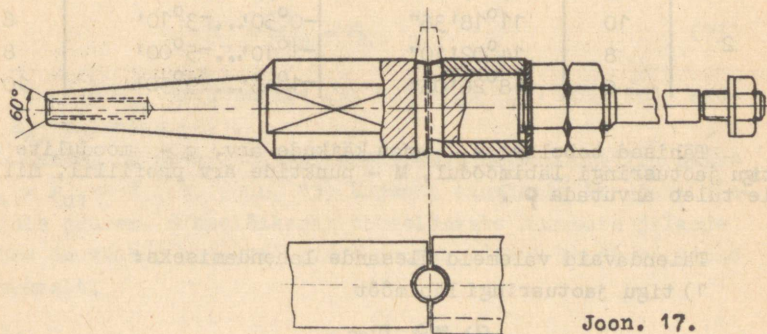
4) radiaallõtk

$$C = 0,25 \text{ m}. \quad (77)$$

Näide lendterast on toodud joonisel 16, lendvera kinnitamisest aga joon. 17.



Joon. 16.



Joon. 17.

KONTROLLTÖÖDE ÜLESANDED

Ü l e s a n n e nr. 1. Tuletada valem läbilõiketera abinurga plaanis φ_1 arvutamiseks (läbilõiketera abitagatahk on kujundatud elliptilise silindri järgi). Valida tera terituseks ülesseade parameetrid h , θ ja ψ selliselt, et teral kujuneksid etteantud suurustega nurgad α_1 ja φ_1 . Lähteandmed ülesandele on toodud tabelis 5. Tähised vt. joon. 1.

T a b e l 5

Variandi nr.	R mm	α_1°	φ_1°	Variandi nr.	R mm	α_1°	φ_1°
0	80	$3^\circ 30'$	$3^\circ 30'$	13	65	$4^\circ 30'$	4°
1	"	$3^\circ 30'$	3°	14	"	$4^\circ 30'$	$3^\circ 30'$
2	"	$3^\circ 30'$	$2^\circ 30'$	15	"	4°	3°
3	"	3°	$2^\circ 30'$	16	60	5°	5°
4	75	$3^\circ 30'$	$3^\circ 30'$	17	"	5°	$4^\circ 30'$
5	"	$3^\circ 30'$	3°	18	"	5°	4°
6	"	$3^\circ 30'$	$2^\circ 30'$	19	"	5°	$3^\circ 30'$
7	"	3°	$2^\circ 30'$	20	55	$5^\circ 30'$	$5^\circ 30'$
8	70	4°	4°	21	"	$5^\circ 30'$	5°
9	"	4°	$3^\circ 30'$	22	"	$5^\circ 30'$	$4^\circ 30'$
10	"	4°	3°	23	"	$5^\circ 30'$	4°
11	"	$3^\circ 30'$	3°	24	50	6°	6°
12	65	$4^\circ 30'$	$4^\circ 30'$	25	"	6°	5°

M ä r k u s: Teritatakse läbilõiketera, mille lõikeserva kõrgus $H = 25$ mm. Tera ülesseade arvutustes tagada α_1 ja φ_1 täpsusega $\pm 15'$.

Ü l e s a n n e nr. 2. Projekteerida kaldhammastega masinhõõrits etteantud ava töötlemiseks. Hõõritsa projekteerimisel lähtuda selle standardsest kujundusest (ГОСТ 1672-62). Hõõritsa üksikute elementide valikul arvestada instituudi ВНИИ soovitusi. Hõõritsa tehnilisel joonisel näidata ka hõõ-

ritsa tolerantsivälja asetus töödeldava ava tolerantsivälja suhtes. Ülesande lähteandmed on toodud tabelis 6.

T a b e l 6

Variandi nr.	Ava läbi- mõõt mm ja täpsus- klass	Eemaldatav töötlemis- varu läbi- mõõdule mm	Variandi nr.	Ava läbi- mõõt mm ja täpsus- klass	Eemaldatav töötlemis- varu läbi- mõõdule mm
0	14 A	0,05	13	14 A ₃	0,25
1	15 A	"	14	15 A ₃	"
2	16 A	"	15	16 A ₃	"
3	18 A	0,06	16	18 A ₃	"
4	20 A	"	17	20 A ₃	"
5	22 A	"	18	22 A ₃	"
6	24 A	"	19	24 A ₃	0,29
7	25 A	"	20	25 A ₃	"
8	26 A	"	21	26 A ₃	"
9	28 A	"	22	28 A ₃	"
10	30 A	0,07	23	30 A ₃	"
11	32 A	"	24	32 A ₃	0,34
12	35 A	"	25	35 A ₃	"

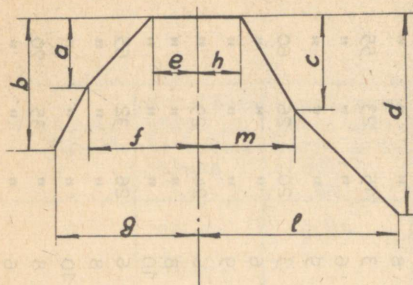
M ä r k u s: O- ja paarisvariandi puhul on töödeldavaks materjaliks teras, paaritu variandi puhul malm.

Ü l e s a n n e nr. 3. Arvutada Arhimedese spiraali järgi kukaldatud kujufreesi kukaldamise lihvketta telglõike profiil ja ülesseade (lihvketta ja freesi telgede kõrguste vahe). Lihvketta profiili maksimaalne sügavus leida analüütiliselt, nagu näidatud meetodilistes juhendites. Ülejäänud profiili punktide arvutamiseks kasutada [9, lk. 81] toodud arvutusmeetodikat ja arvutustabeleid, mis arvutustööde mah- tu tunduvalt vähendab. Võrrelda analüütiliselt leitud ja [9, lk. 81] järgi arvutatud lihvketta profiili maksimaalset sügavust. Arvutused esitada tabeli kujul. Joonestada välja freesi ja lihvketta telglõigete profiilid, kusjuures näida- ta sõlmpunktide koordinaadid. Freesi telglõike profiil on

Tabel 7

Var. nr.	R _f	z	k	a	b	c	d	e	f	g	h	m	l	R _g
0	40	12	5,0	4	6	8	10,0	5	10	14	5	8	10	50
1	"	"	"	3	5	7	"	6	10	14	6	8	"	"
2	"	"	"	2	4	6	"	7	9	14	7	8	"	"
3	45	"	"	2	4	6	12	5	10	14	5	8	12	"
4	"	"	"	4	6	8	"	6	10	14	6	8	"	"
5	"	"	"	4	8	6	"	7	10	15	7	8	"	"
6	50	"	6,0	4	6	8	15	4	10	15	4	"	15	"
7	"	"	"	6	8	10	"	6	10	15	6	"	"	"
8	"	"	"	8	10	12	"	8	12	15	8	10	"	"
9	55	10	6,5	6	8	10	19	4	12	15	4	"	19	"
10	"	"	"	8	10	12	"	6	12	15	6	"	"	"
11	"	"	"	10	12	15	"	8	12	15	8	"	"	"
12	60	"	7,5	10	12	15	23	3	12	15	3	15	23	55
13	"	"	"	12	15	20	"	6	12	15	6	"	"	"
14	"	"	"	10	12	20	"	9	12	15	9	"	"	"
15	65	"	8,0	12	15	20	26	3	12	15	3	20	26	60
16	"	"	"	6	15	18	"	6	12	15	6	"	"	"
17	"	"	"	15	18	12	"	9	15	20	9	"	"	"
18	70	"	9,0	12	15	20	29	6	15	20	6	24	29	"
19	"	"	"	15	18	12	"	8	15	20	8	"	"	"
20	"	"	"	10	12	20	"	10	15	20	10	"	"	"
21	75	"	9,5	10	12	20	32	6	15	20	6	26	32	65
22	"	"	"	6	12	24	"	8	15	20	8	"	"	"
23	"	"	"	8	10	20	"	10	15	20	10	"	"	"
24	80	"	10,0	10	12	20	35	8	15	20	8	"	35	70
25	"	"	"	15	18	12	"	6	15	20	6	"	"	"

toodud joonisel 18, andmed freesi ja lihvketta kohta tabelis 7.



Joon. 18.

Ülesanne nr.4.
Määrata etteantud kujud-freesi kukaldamise lihvketta maksimaalne läbimõõt. Arvutada teise kukaldamise suurus ja läbimõõt, millelt tuleb alustada teist kukaldamist. Lähteandmed ülesandele on toodud tabelis 8.

T a b e l 8

Var. nr.	D_f	h_f max	H	z	k	C	ϕ°	r
0	80	6	14	10	4	10	25	1,5
1	"	6	"	"	"	12	"	"
2	"	8	"	"	"	12	"	"
3	90	8	17	"	4,5	13	"	"
4	"	8	"	"	"	15	"	"
5	"	10	"	"	"	15	"	"
6	100	10	20	"	5	14	"	2
7	"	10	"	"	"	16	"	"
8	"	12	"	"	"	16	"	"
9	110	12	23	"	6	14	"	"
10	"	12	"	"	"	16	"	"
11	"	14	"	"	"	16	"	"
12	120	14	27	"	6,5	15	"	2,5
13	"	14	"	"	"	17	"	"
14	"	16	"	"	"	17	"	"
15	130	16	29	"	7	16	"	"
16	"	16	"	"	"	18	"	"
17	"	18	"	"	"	18	"	"
18	140	18	32	"	7,5	17	"	3

Var. nr.	D_f	h_f max	H.	z	k	C	γ°	r
19	140	18	32	10	7,5	19	25	3
20	"	20	"	"	"	19	"	"
21	150	20	34	"	8	18	"	"
22	"	20	"	"	"	20	"	"
23	"	22	"	"	"	20	"	"
24	160	22	37	"	8,5	20	"	"
25	"	24	"	"	"	22	"	"

Märkus: D_f - freesi läbimõõt, z - freesi hammaste arv, C - lihvimisega kukaldatud osa pikkus freesi hamba välisläbimõõdul, ülejäänud tähised vt. joon. 4.

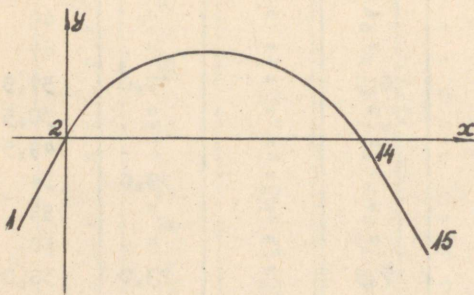
Ülesanne nr. 5. Arvutada, milline peab olema etteantud läbimõõdu teritatud Arhimedese spiraali järgi kukaldatud kujufreesi esinurk, mis tagab detaili profiili muutumatus. Leida detaili profiili kõrguse muutus, mis tekiks juhul, kui teritatud freesil säilitada esialgne esinurk. Andmed kujufreesi kohta on toodud tabelis 9, tähised vt. joon.5.

Tabel 9

Var. nr.	R_f mm	z	k mm	γ_1°	h_d mm	R_A mm
0	50	12	6,0	15 ⁰	15,0	49
1	"	"	"	"	"	48
2	"	"	"	"	"	47
3	52,5	10	6,5	"	17,0	51,5
4	"	"	"	"	"	50,5
5	"	"	"	"	"	49,5
6	55	"	"	"	19,0	54
7	"	"	"	"	"	53
8	"	"	"	"	"	52
9	60	"	7,5	"	23,0	58,0
10	"	"	"	"	"	57,0
11	"	"	"	"	"	56,0
12	65	"	8,0	"	26,0	63,0

Var. nr.	R_f mm	z	k mm		h_d mm	$R_{A'}$ mm
13	65	10	8,0	15°	26,0	62,0
14	"	"	"	"	"	61,0
15	70	"	9,0	"	29,0	68
16	"	"	"	"	"	66
17	"	"	"	"	"	65
18	75	"	9,5	"	32,0	73
19	"	"	"	"	"	71
20	"	"	"	"	"	70
21	80	"	10,0	"	35,0	78
22	"	"	"	"	"	76
23	"	"	"	"	"	75
24	85	"	11,0	"	38,0	83
25	"	"	"	"	"	81

Ü l e s a n n e nr. 6. Leida, millise täpsuse saab tagada, kui asendada tööriista etteantud kõverjooneline profiil ühe ja kahe ringi kaartega. Ülesande lahendamisel joonestada etteantud profiil ja seda asendavate ringide kaared millimeetripaberile ning näidata ära kaarte tsentrite koordinaadid ja punktide koordinaadid, mille järgi on arvutatud asendavad ringid, ning punktide koordinaadid, mille järgi on arvutatud kõrvalekalle teoreetilisest profiilist.



Joon. 19.

mastaap valida nii, et see mahuks formaadile A_4 või A_3 . Arvutused teha täpsusega 0,001 mm. Tulemused ümardada täpsuseni 0,01 mm. Tööriista teoreetiline profiil on toodud joonisel 19, profiili koordinaadid tabelis 10.

Koordinaadid	Profiliil kõverjoonelise osa punktide koordinaadid															Profiliil sirgete osade punktide koordinaadid					
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	Var. nr.	Punktid	1	Var. nr.	Punktid	1	Var. nr.	Punktid
0...2	x	0,0	5,0	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	0...25	-10	70	0...25	-10	70	15
0...3	y	0,0	7,0	12,2	15,6	17,9	19,4	20,2	20,1	19,2	17,6	14,5	10,3	3,0	0	-	-	2	-	2	-19,3
															1	-16,5	-	3	-	3	-16,5
4...7	y	0,0	5,0	8,6	11,6	13,9	15,3	16,7	17,2	17,2	16,7	16,0	11,3	4,0	4	-	-	6	-	6	-26,5
															5	-10,8	-	7	-	7	-26,5
8...11	y	0,0	6,1	10,8	14,0	16,1	17,6	18,2	18,2	17,7	16,0	13,0	8,0	0,0	8	-	-	10	-	10	-20,0
															9	-13,7	-	11	-	11	-20,0
12...15	y	0,0	9,1	14,7	18,3	20,7	22,0	22,0	21,3	20,0	17,9	14,2	9,0	-0,7	12	-	-	14	-	14	-23,2
															13	-24,8	-	15	-	15	-23,2
16...19	y	0,0	5,0	9,8	13,7	16,8	19,5	21,5	22,7	23,0	22,5	21,0	17,3	9,7	16	-	-	18	-	18	-14,3
															17	-10,8	-	19	-	19	-14,3
20...23	y	0,0	3,1	5,1	6,5	7,3	7,2	6,6	5,1	3,2	0,5	-2,7	-6,1	-10,0	20	-	-	22	-	22	-17,8
															21	-7,0	-	23	-	23	-17,8
24...25	y	0,0	1,6	2,7	3,1	3,1	2,8	2,0	0,8	-0,8	-2,4	-4,8	-7,1	-10,0	24	-	-	25	-	25	-17,8
															25	-3,5	-	-	-	-	-

M ä r k u s: Variantidel, mille puhul punktidele 1 ja 15 ei ole antud ordinaati, vastavad punktid puuduvad.

Ü l e s a n n e nr. 7. Projekteerida lendtera etteantud Arhimedese tigufreesiga hambuva tiguratta töötlemiseks. Arvutada teoreetiline profiil analüütiliselt, asendada teoreetiline profiil sirgega ning määrata asendamisel tekkiv profiili maksimaalne hälve. Valmistada lendtera tehniline joonis koos šablooni skeemiga. Ülesande lähteandmed on toodud tabelis 11.

T a b e l 11

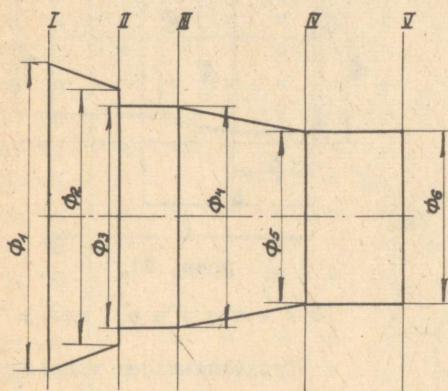
Var. nr.	z_1	m_{oc} mm	τ_3°	q	α_{oc}	f_{oc}
0	1	3	4°45'48"	12	20°	1,0
1	"	4	"	"	"	"
2	"	5	"	"	"	"
3	"	6	"	"	"	"
4	"	3	5°42'38"	10	"	"
5	"	4	"	"	"	"
6	"	5	"	"	"	"
7	"	6	"	"	"	"
8	"	3	7°07'30"	8	"	"
9	"	4	"	"	"	"
10	"	5	"	"	"	"
11	"	6	"	"	"	"
12	"	3	9°27'44"	6	"	"
13	"	4	"	"	"	"
14	"	5	"	"	"	"
15	"	6	"	"	"	"
16	2	3	"	12	"	"
17	"	4	"	"	"	"
18	"	5	"	"	"	"
19	"	6	"	"	"	"
20	"	3	11°18'36"	10	"	"
21	"	4	"	"	"	"
22	"	5	"	"	"	"
23	"	6	"	"	"	"
24	"	3	14°02'10"	8	"	"
25	"	4	"	"	"	"

Tabelis toodud suuruste tähised: z_1 - tigu käikude arv, m_{oc} - tigu telgmoosul, τ_3 - tigu niidi tõusunurk jaotussilindril, q - tigu telgmoosulite arv jaotusringi läbimõõdul, α_{oc} - tigu telgloike profiilnurk, f_{oc} - tigu niidi kõrgustegur.

KURSUSEPROJEKTI ÜLESANDED

Ülesanne nr. 1

Leida graafiliselt radiaalse kujutera etteantud sõlmpunkti raadius (ümarteradel) või kaugus gabariiti määravast



sõlmpunkti läbivast lähtepinnast (prismaatilistel teradel) ning telje(lähtepinna)sihiline kaugus gabariiti määravast sõlmpunktist. Teral on profiili lähtepind. Tera telg (lähtepind) on detaili telje suhtes kaldu. Koostada arvutuskeem graafiliselt leitud suuruste arvutamiseks (arvutuskeemis kasutada

Joon. 20.

tähttähistust). Arvutusvalemid anda kolmeliikmelistena.

Paaritunumbrilise variandi puhul on tegemist ümarteradega, paarisnumbrilise ja nullvariandi puhul prismaatiliste teradega.

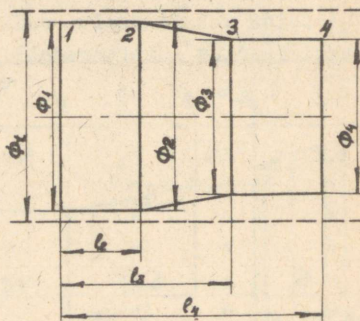
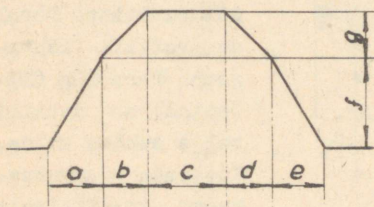
Ülesande lähteandmed on toodud tabelis 12, detail joonisel 20.

Ülesanne nr. 2

Projekteerida tangentsiaalne kujutera etteantud kujuga detaili töötlemiseks. Kujutera profiil leida nii graafiliselt kui ka analüütiliselt. Valmistada tera tehniline joonis. Tera projekteerimisel võtta arvesse, et detailid valmistatakse varbmaterjalist. Teral tuleb ette näha ka osa lä-

bilõiketera tööd kergendava soone valmistamiseks. Tera üldise kontuuri kujundamisel tekivad sõlmpunktid tuleb leida nii nagu etteantud sõlmpunktideki. Detaili valmistamise täpsus - 4.kl. Pinnasiledus detailil - $\nabla 5$. Ülesande lähteandmed on toodud tabelis 13, detail joonisel 21.

Joon. 22.



Joon. 21.

Ülesanne nr. 3

Projekteerida vahelduva kaldega hammastega kahest poolt koostatav Arhimedese spiraali järgi kukaldatud kujufrees etteantud profiilpinna töötlemiseks. Freesi profiil leida nii graafiliselt kui ka analüütiliselt. Valmistada freesi tehniline joonis. Ülesande lähteandmed on toodud tabelis 14, valmistatav profiil joonisel 22. Profiilpinna mõõtmed tuleb valmistada 4. täpsusklassi järgi, pinnasiledus - $\nabla 5$.

Ülesanne nr. 4

Projekteerida vahelduva lõikeskeemiga kammlõikur etteantud ava töötlemiseks. Lähteava on töödeldud paksuseinalise detaili 4. täpsusklassi järgi. Töödeldud ava täpsus - 2.kl, pinnasiledus - $\nabla 7$. Valmistada kammlõikuri tehniline joonis.

Ülesande lähteandmed on toodud tabelis 15.

T a b e l 12

Vari- andi nr.	Sõlmpunktidele vastavad läbimõõdud mm						Profiili läh- tejoon on ta- sapindade vahel	Arvutus teha sõlm- punktile nr.
	\varnothing_1	\varnothing_2	\varnothing_3	\varnothing_4	\varnothing_5	\varnothing_6		
1; 2	60	50	46	46	40	40	I - II	4
3; 4	"	"	"	"	"	"	"	5
5; 6	"	"	"	"	"	"	"	6
7; 8	"	"	"	"	"	"	III - IV	1
9; 10	"	"	"	"	"	"	"	2
11; 12	"	"	"	"	"	"	"	6
13; 14	"	"	"	"	"	44	IV - V	1
15; 16	"	"	"	"	"	"	"	2
17; 18	"	"	"	"	"	"	"	4
19; 20	"	"	"	50	"	"	II - III	1
21; 22	"	"	"	"	"	"	"	2
23; 24	"	"	"	"	"	"	"	5
25; 0	"	"	"	"	"	"	"	6

M ä r k u s: Kõikidel variantidel on järgmised ühised suurused:

1. Sõlmpunkte läbivate tasapindade vahekaugused: I - II = 4 mm, II - III = 4 mm, III - IV = 10 mm, IV - V = 4 mm. 2. Gabariiti määrav kujutera raadius $R_G = 30$ mm. 3. Detaili telje ja tera lähtepinna vaheline nurk, $\xi = 20^\circ$. 4. Profiili lähtejoonel oleva väiksema indeksiga sõlmpunktile vastav esi-
nurk $\gamma = 25^\circ$, taganurk $\alpha = 15^\circ$.

T a b e l 13

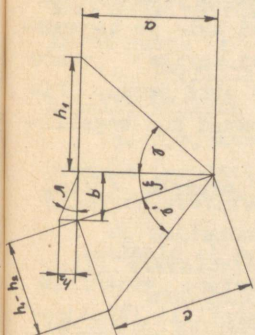
Variandi nr.	Tooriku ja detaili sõlm-punktidele vastavad läbimõõdud mm					Sõlmpunktide detaili teljesihilised vahekaugused mm			Lõike-serva kalde-nurk α°
	ϕ_t	ϕ_1	ϕ_2	ϕ_3	ϕ_4	l_2	l_3	l_4	
0	78	76	76	70	70	10	25	35	30°
1	"	74	"	"	"	"	"	"	"
2	"	72	"	"	"	"	"	"	"
3	"	70	"	"	"	"	"	"	"
4	"	68	"	68	"	"	"	"	"
5	"	66	"	66	"	"	"	"	"
6	68	"	66	60	60	"	"	"	"
7	"	64	"	"	"	"	"	"	"
8	"	62	"	"	"	"	"	"	"
9	"	60	"	"	"	"	"	"	"
10	"	58	"	58	"	"	"	"	"
11	"	56	"	56	"	"	"	"	"
12	"	"	"	"	"	15	20	40	"
13	58	"	56	50	50	10	25	35	"
14	"	54	"	"	"	"	"	"	"
15	"	52	"	"	"	"	"	"	"
16	"	50	"	"	"	"	"	"	"
17	"	48	"	48	"	"	"	"	"
18	"	46	"	46	"	"	"	"	"
19	78	76	76	70	70	15	25	40	"
20	"	74	"	"	"	"	"	"	"
21	"	72	"	"	"	"	"	"	"
22	"	70	"	"	"	"	"	"	"
23	"	68	"	68	"	"	"	"	"
24	"	66	"	66	"	"	"	"	"
25	"	64	"	64	"	"	"	"	"

T a b e l 14

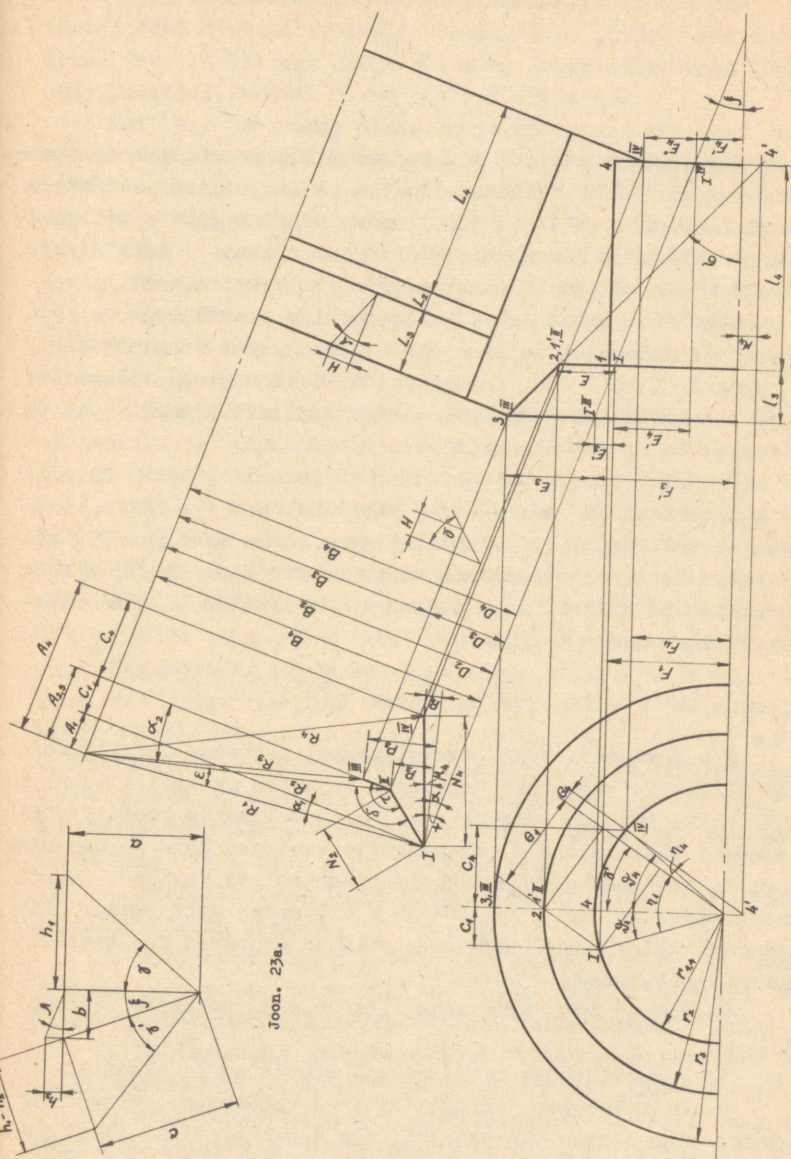
Var. nr.	a	b	c	d	e	f	g	δ_1	δ_2
0	5	5	10	5	5	10	5	10	15 ^o
1	"	"	"	"	"	11	"	"	"
2	"	"	"	"	"	12	4	"	"
3	"	"	"	"	"	13	"	"	"
4	"	"	"	"	"	14	3	"	"
5	"	"	"	"	"	15	"	"	"
6	10	5	5	5	10	10	5	"	"
7	"	"	"	"	"	11	"	"	"
8	"	"	"	"	"	12	4	"	"
9	"	"	"	"	"	13	"	"	"
10	"	"	"	"	"	14	3	"	"
11	"	"	"	"	"	15	"	"	"
12	5	10	5	10	5	10	5	"	"
13	"	"	"	"	"	11	"	"	"
14	"	"	"	"	"	12	4	"	"
15	"	"	"	"	"	13	"	"	"
16	"	"	"	"	"	14	3	"	"
17	"	"	"	"	"	15	"	"	"
18	10	5	10	5	10	10	5	"	"
19	"	"	"	"	"	11	"	"	"
20	"	"	"	"	"	12	4	"	"
21	"	"	"	"	"	13	"	"	"
22	"	"	"	"	"	14	3	"	"
23	"	"	"	"	"	15	"	"	"
24	10	10	10	10	10	14	3	"	"
25	"	"	"	"	"	15	"	"	"

T a b e l 15

Var. nr.	Lähteava Ø mm	Lõplik ava Ø mm	Ava pikkus L mm	Töödeldav materjal
0	46	50	25	45
1	"	"	50	"
2	"	"	75	"
3	56	60	26	"
4	"	"	52	"
5	"	"	78	"
6	66	70	35	20X
7	"	"	70	"
8	"	"	103	"
9	76	80	40	"
10	"	"	60	"
11	"	"	80	"
12	"	"	120	"
13	50	54	27	40X
14	"	"	54	"
15	"	"	81	"
16	60	64	32	"
17	"	"	64	"
18	"	"	96	"
19	70	74	37	45
20	"	"	74	"
21	"	"	111	"
22	80	84	42	"
23	"	"	63	"
24	"	"	84	"
25	"	"	126	"



Жоон. 23а.



Жоон. 23.

METOODILISED JUHENDID KURSUSEPROJEKTI
ÜLESANNETE LAHENDAMISEKS

Ü l e s a n d e nr. 1 juurde

Projekteerimise kõik kuni kujutera sõlmpunktide koordinaatide leidmiseni on nii ümara kui ka prismaatilise kujutera puhul ühesugune. Mõlemal juhul tuleb leida kujutera sõlmpunkte graafiliselt. Graafilise lahenduse alusel koostatakse arvutusskeem sõlmpunktide koordinaatide arvutamiseks.

Olgu ette antud detaili sõlmpunktide raadiustega r_1, r_2, r_3, r_4 ja sõlmpunktide detaili teljesihilised vahekaugused l_3 ning l_4 (joon. 23). Läbigu profiili lähtejoon sõlmpunkte 2 ja 3 (profiili lähtejoonel olevat kujutera profiili osa on võimalik seada detaili tsentrite kõrgusele).

Projekteerima asumisel tuleb kõigepealt valida detaili ja kujutera telje (lähtepinna) vaheline nurk φ . Nurk φ valitakse selliselt, et detaili rööngaspinna (kus $\sigma = 90$) või liiga suure σ -ga pinnaosale vastavas kujutera profiili osas (1-2) tekiks küllalt suur taganurk. Minimaalse φ võib orienteeruvalt määrata valemiga

$$\varphi_{\min} = \sigma_{\max} - 75^\circ.$$

Seejärel määratakse (arvutatakse, leitakse graafiliselt või valitakse vastavast tabelist) kujutera gabariiti määrava sõlmpunkti raadius (ümarteradel) ning valitakse profiili lähtejoonel olevale ühele sõlmpunktile vastavad esi- ja taganurgad. Et ülesande graafilisel lahendamisel ei tekiks joonte kokkulangemist, on φ, R_g, α ja γ ülesandes ette antud. Nimetatud kaalutlustel on α ja γ valitud suuremad kui tegelikes kasutatavad.

Ülesannet saab lahendada alltoodud järjekorras (joon. 23).

1. Joonestatakse välja detail otsvaates ja plaanis.
2. Leitakse tera esitahu kalle λ (mõõdetuna ettenihke sihiga risti olevas tasapinnas), mis tagab profiili lähtejoo-

ne teral. Lähtejoonel asuvad kujutera sõlmpunktid peavad olema detaili tsentrite kõrgusel. λ leidmiseks tõmmatakse läbi lähtejoonel olevate profiili sõlmpunktide jooned, mis moodustavad detaili teljega nurga ξ , ning nende ristisirged läbisamide punktide.

Kui tera esitahul oleks kalle vaid tera teljega risti olevas tasapinnas (nurk δ) ning tera oleks detaili suhtes üles seatud selliselt, et tema profiili sõlmpunkt II asuks detaili tsentrite kõrgusel, oleks sõlmpunkt III lõigu H võrra madalamal. Lõigu H leidmiseks pöörame maha kujutera telje risttasapinna. Püstitatud nõude täitmiseks tuleb sõlmpunkti III sama lõigu võrra tõsta, mis saavutatakse esitahu kallutamiseega nurga λ võrra. λ määramiseks pöörame joonise pinnale tera ettenihke sihiga risti oleva tasapinna.

3. Määratakse tera esitahu kalle δ' tasapinnas, mis on risti detaili teljega. Selleks asetatakse läbi profiili mingi sõlmpunkti 2 tasapinda, milledest esimene on risti kujutera, teine detaili teljega (joon. 23 a). Pöörame mõlemad tasapinnad maha, kusjuures mahapöörde laiust, mõõdetuna risti kujutera teljega või lähtepinnaga (paralleelselt ettenihke sihiga), võib vabalt valida (joonisel lõik a). Esimesel mahapöördel on sõlmpunktist kaugusel a olev tera esitahu punkt detaili tsentrite kõrgusest h_1 võrra madalamal; $h_1 = f(a; \delta)$. Detaili teljega risti olev tasapind moodustab tera teljega (lähtepinnaga) risti oleva tasapinnaga nurga ξ . Nurkadega ξ ja λ on määratud tera esitahu punkti, mis asub detaili telje risttasapinnal vaadeldavast sõlmpunktist kaugusel $a/\cos \xi$, kaugus h_2 detaili tsentrite kõrgusest. Joonise 23 a järgi koostatakse arvutuskeem nurga $\delta' = f(\delta; \lambda; \xi)$ leidmiseks.

4. Profiili lähtejoont pikendatakse, nii et ta lõikuks detaili kõikide osadega.

5. Projekteeritakse detaili sõlmpunktid profiili lähtejoonele (projekteerimise siht on risti detaili teljega). Joonisel on vastavad punktid tähistatud indeksitega "prim".

6. Lähtejoonele projekteeritud sõlmpunktid kantakse detaili otsvaatele (asuvad detaili tsentrite joone kõrgusel).

7. Määratakse punktide "prim" kaugused detaili teljest - lõigud K. Selleks on sobiv kasutada detaili plaani.

8. Leitakse kujutera sõlmpunktid detaili otsvaates. Selleks tõmmatakse profiili lähtejoonele projekteeritud detaili sõlmpunktidest sirged detaili tsentrite kõrgusjoone suhtes nurga δ' all, kuni lõikumiseni vastavat sõlmpunkti läbiva detaili raadiusega. Leitud punktid on joonisel tähistatud roma numbritega.

9. Määratakse detaili tsentrite kõrgusest kõrgemal või madalamal olevate tera sõlmpunktide kaugused detaili teljest, mõõdetuna risti tera esitahuga - lõigud G:

$$G = f(K; \delta').$$

10. Määratakse tera sõlmpunktidesse viivate raadiusvektorite ja detaili tsentrite kõrgusjoone suhtes nurga δ' all tõmmatud joonte vahelised nurgad η :

$$\eta = f(G; r).$$

11. Määratakse detaili tsentrite kõrgusjoone ja tera sõlmpunktidesse minevate raadiusvektorite vahelised nurgad ϑ :

$$\vartheta = f(\delta'; \eta).$$

12. Määratakse tera sõlmpunktide kaugused detaili tsentrite kõrgusjoonest - lõigud C:

$$C = f(r; \vartheta).$$

13. Tera sõlmpunktid kantakse detaili otsvaatelt detaili plaani.

14. Detaili plaanil määratakse tera sõlmpunktide kaugused detaili teljest - lõigud F:

$$F = f(r; \vartheta).$$

15. Kujutera gabariiti määrav sõlmpunkt projekteeritakse detaili plaanil detaili telje risttasapindadesse, milles asuvad ülejäänud kujutera sõlmpunktid. Projekteeritakse paralleelselt kujutera teljega (lähtepinnaga). Vastavad punktid joonisel on tähistatud I^{III}, I^{IV} jne.

16. Määratakse eelkirjeldatud viisil projekteeritud tera gabariiti määrava sõlmpunkti ja tema lähteasendi vaheline kaugus, mõõdetuna detaili telje ristsihis - lõigud E':

$$E' = f(l; \xi).$$

17. Määratakse punktide I^{III}, I^{IV} jne. kaugused detaili teljest - lõigud F':

$$F' = f(F; E').$$

18. Määratakse kujutera sõlmpunktide kaugused punktide I^{III}, I^{IV} jne., mõõdetuna risti detaili teljega - lõigud E'':

$$E'' = f(F; F').$$

19. Määratakse p. 18 kirjeldatud punktide vahekaugused, mõõdetuna kujutera plaanis risti kujutera teljega või lähtepinnaga - lõigud D:

$$D = f(E''; \xi).$$

Eespool toodud graafiliste lahenduste ja arvutuste tulemusena oleme määranud kujutera sõlmpunktide koordinaadid C detaili tsentrite kõrgusel olevate tera sõlmpunktide suhtes, mõõdetuna risti tsentrite kõrgusjoonega, ja kujutera teljega (lähtepinnaga) risti olevad koordinaadid D kujutera gabariiti määrava sõlmpunkti suhtes.

Ümara ja prismaatilise kujutera "hisest suurusest tuleb leida veel nende sõlmpunktide kujutera telje (lähtepinna) sihilised vahekaugused.

Kujutera profiili osades, mis kujundavad detailil rõngaspindu, on otsitavad suurused L määratud:

$$L = f(E; \xi), \text{ kus } E = f(F; F').$$

Teistes profiili osades on otsitavad suurused:

$$L = f(E'; E''; \xi).$$

Kujutera sõlmpunktide koordinaatide abil saame välja joonestada kujutera lõikeserva otsvaates. Et see oleks seotud kujutera plaaniga, tõmbame detaili plaanis läbi kujutera sõlmpunktide jooned, mis moodustavad detaili teljega nurga β . Nende vahekaugused on määratud koordinaatidega D. Kanname väljaspool detaili plaani ühele nendest joontest kujutera sõlmpunkti. Ülejäänute asend joonisele kantud esimesest punktist on määratud koordinaatidega C. Ühendades saadud sõlmpunktid detaili plaanis näidatud järjekorras, saamegi kujutera lõikeserva otsvaates.

Edasine projekteerimise käik ümarate ja prismaatiliste terade osas on erinev.

Ümarterade projekteerimisel tuleb määrata sõlmpunktide raadiused. Ülesande lahendamisel loeme teadaolevaiks eespool leitud sõlmpunktide koordinaadid, gabariiti määrava raadiuse, milleks joon. 23 kohasalt on R_1 , ning lähtejoonel oleva väiksema indeksiga sõlmpunkti esi- ja taganurgad (α_2 ja α_1). Ülesannet saab lahendada järgmiselt:

1. Määratakse gabariiti määrava sõlmpunkti ja sõlmpunkti, mille kohta on teada γ ja α , vahekaugused N:

$$N = f(C; D).$$

2. Määratakse nurk τ detaili tsentrite kõrgusel oleva kujutera lõikeserva ja eelmises punktis määratud lõigu vahel:

$$\tau = f(C; D).$$

3. Kantakse joonisele sõlmpunktist, mille kohta on teada γ ja α , sõlmpunkti mineva raadiuse siht (moodustab detaili tsentrite joonega nurga α).

4. Kantakse joonisele gabariiti määrav raadius, milleks tõmmatakse gabariiti määravast sõlmpunktist vastava raadiusega kaar, kuni lõikumiseni p. 3 tõmmatud sihiga. Lõikepunkt määrab kujutera tsentri asendi ja detaili tsentrite kõrgusel oleva sõlmpunkti raadiuse suuruse.

5. Määratakse nurk δ punktis 1 leitud lõigu ja punktis 3 tõmmatud sihi vahel:

$$\delta = f(\tau; \alpha).$$

6. Määratakse nurk ε kahe joonisele kantud raadiuse vahel, kasutades siinus- või koosinuslauset.

7. Määratakse gabariiti määrava kujutera sõlmpunktile vastav taganurk α :

$$\alpha = f(\alpha; \varepsilon).$$

8. Määratakse gabariiti määrava kujutera sõlmpunkti koordinaadid kujutera tsentri suhtes A_g ja B_g :

$$A_g; B_g = f(R_g; \alpha).$$

9. Määratakse ülejäänud sõlmpunktide koordinaadid kujutera tsentri suhtes A, B:

$$A = f(A_g; C),$$

$$B = f(B_g; D).$$

10. Määratakse kujutera ülejäänud sõlmpunktidele vastavad taganurgad α :

$$\alpha = (A; B).$$

11. Määratakse kujutera ülejäänud sõlmpunktide raadiused R:

$$R = f(\alpha; A) = f(\alpha; B).$$

Prismaatiliste terade projekteerimisel tuleb määrata sõlmpunktide kaugused etteantud lähtepinnast. Lähtepinnaks valitakse tavaliselt tasapind, mis läbib gabariiti määrava kujutera sõlmpunkti, tera külgvaates on paralleelne tera tagatahu sihiga, plaanis aga moodustab detaili telje nurga ξ .

Ulesannet saab lahendada järgmiselt:

1. Määratakse nurgad χ , mis asuvad gabariiti määrava ja arvutatava sõlmpunkti ühenduslõigu ning tagatahu sihi suhtes etteantud α all tõmmatud joone vahel:

$$\chi = f(D; C).$$

2. Määratakse gabariiti määrava sõlmpunkti ja arvutatava sõlmpunkti vahelise lõigu pikkus N:

$$N = f(D; \chi).$$

3. Määratakse tagatahu sihi ja gabariiti määrava ning arvutatava sõlmpunkti ühenduslõigu vahelised nurgad μ :

$$\mu = f(\alpha; \alpha).$$

4. Määratakse sõlmpunktide kaugused P ettevalitud lähtepinnast:

$$P = f(N; \mu).$$

Ü l e s a n d e nr. 2 juurde

Tangentsiaalse kujutera projekteerimisel tuleb leida tema normaallõike profiil. Profiili projekteerimiseks tuleb ette valida lõikeserva kaldenurk λ , esinurk δ ja taganurk α (valitakse kirjanduses [9] toodud juhendite kohaselt).

Joon. 24 kohaselt $\delta = \delta_1 + \delta_2$, kus δ_1 - esinurga väärtus lõikeprotsessi algmomendil, δ_2 - esinurga muutus lõikeprotsessis. Nurk δ_2 avaldub valemiga

$$\cos \delta_2 = \frac{d}{D}, \quad (78)$$

kus d - töödeldava detaili minimaalne läbimõõt,

D - tooriku maksimaalne läbimõõt (mitte detaili maksimaalne läbimõõt, nagu kirjanduses [9, lk. 56] ekslikult toodud).

Esimese suurusena tuleb määrata nn. fiktiivse tagatahu kaldenurk δ kujutera normaallõikes. Sellise tagatahuga tera kujundab lõikeprotsessis silindrilise detaili. Viimane tingimus ongi aluseks nurga δ määramisel.

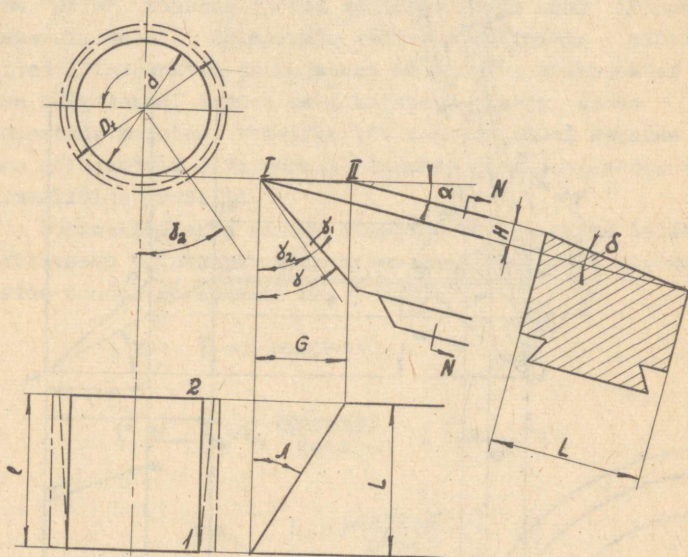
Kui tera tagatahk oleks kaldu vaid taganurga α all (vt. joon. 24), siis lõikeserva sõlmpunkt II, liikudes ettenihke sihil, kujundaks detaili profiilil sõlmpunkti, mille kaugus detaili teljest on suurem kui sõlmpunktil I ning detail kujuneks ilmselt kooniliseks (näidatud joonisel kriipsjoonega). Silindrilise detaili tagamiseks tuleb tera sõlmpunkti II asendit muuta selliselt, et teda läbiva ettenihke sihi kaugus detaili teljest oleks sama, kui vastav kaugus sõlmpunktist I. Viimase tingimuse tagab tagatahu täiendav kallutamine nurga δ võrra.

Joon. 24 kohaselt:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{H}{L}, \quad H = G \sin \alpha,$$

$$G = L \operatorname{tg} \lambda, \quad H = L \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha,$$

$$\operatorname{tg} \delta = \operatorname{tg} \lambda \sin \alpha. \quad (79)$$

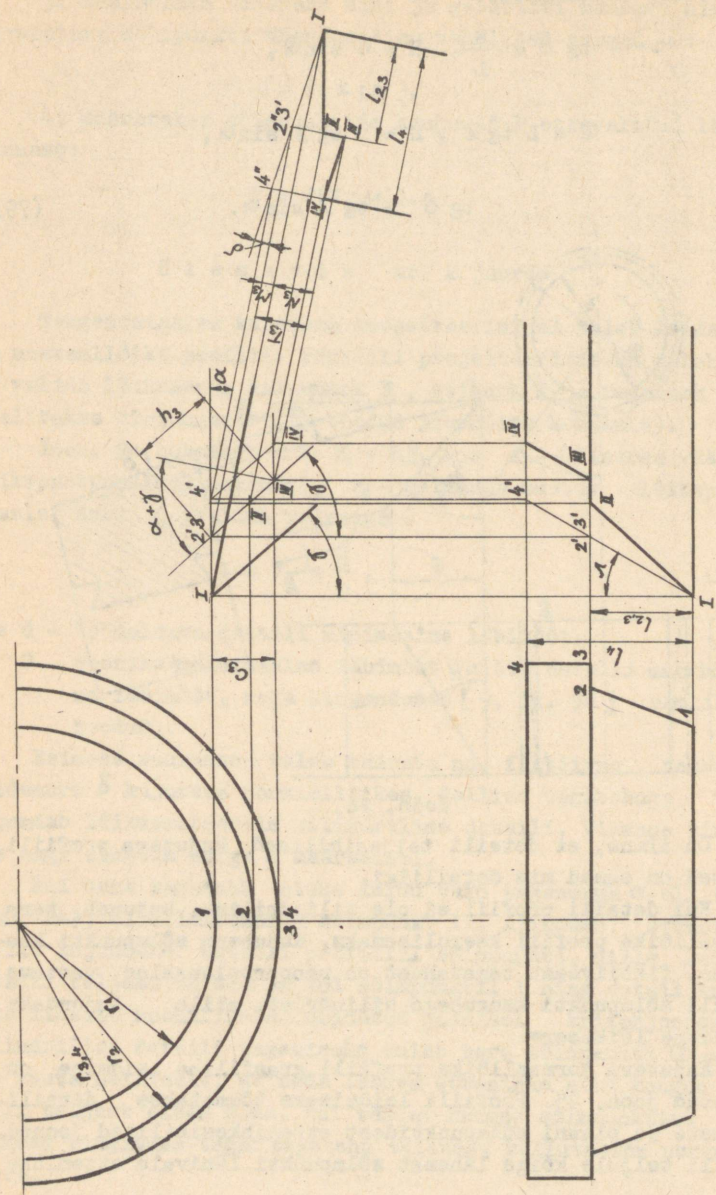


Joon. 24.

On ilmne, et detaili teljesihilised kujutera profiili mõõtmed on samad mis detaililgi.

Kui detaili profiil ei ole silindriline, kujuneb tera normaallõike profiil keerulisemaks. Kujutera sõlmpunkti kaugus nn , fiktiivsest tagatahust on proportsionaalne vastava detaili sõlmpunkti kaugusega silindrist, mille kujundaks fiktiivne lõikeserv.

Kujutera normaallõike profiili graafiline leidmine on näidatud joon. 25. Profiili leidmiseks tõmmatakse detaili otsvaate ja plaani sõlmpunktidest ettenihkesihilised jooned. Detaili teljele kõige lähemat sõlmpunkti läbivale ettenihke



Joon. 25.

sihile kanname vastava kujutera lõikeserva sõlmpunkti. (Kujutera sõlmpunktid on joonisel tähistatud rooma numbritega.) Läbi kujutera plaani kantud sõlmpunkti tõmbame fiktiivse lõikeserva sihi, mis ettenihke ristsihiga moodustab nurga λ . Projekteerime detaili sõlmpunktid fiktiivsele lõikeservale nii kujutera plaanis kui ka külgvaates (vastavad punktid on tähistatud joonisel indeksiga "prim"). Tera külgvaate punktidest "prim" tõmbame jooned esinurga γ all kuni lõikumiseni vastavaid detaili sõlmpunkte läbivate ettenihke sihtidega. Leitud lõikepunktid on kujutera lõikeserva sõlmpunktid kujutera külgvaates. Kandes need kujutera plaani, saame välja joonestada kujutera tegeliku lõikeserva. Edasi kanname kujutera sõlmpunktid tera normaallõikesse ning joonestame välja normaallõike profiili.

Normaallõikesse kantud sõlmpunktide kauguste leidmiseks fiktiivsest tagatahust võib kasutada järgmist arvutuskeemi (näide toodud sõlmpunkti nr. 3 kohta):

$$T_3 = h_3 \cos(\alpha + \gamma), \quad h_3 = \frac{C_3}{\cos \gamma}$$

$$T_3 = C_3 \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma}, \quad T_3 = C_3 \cdot h_t,$$

$$\text{kus} \quad h_t = \frac{\cos(\alpha + \gamma)}{\cos \gamma}. \quad (80)$$

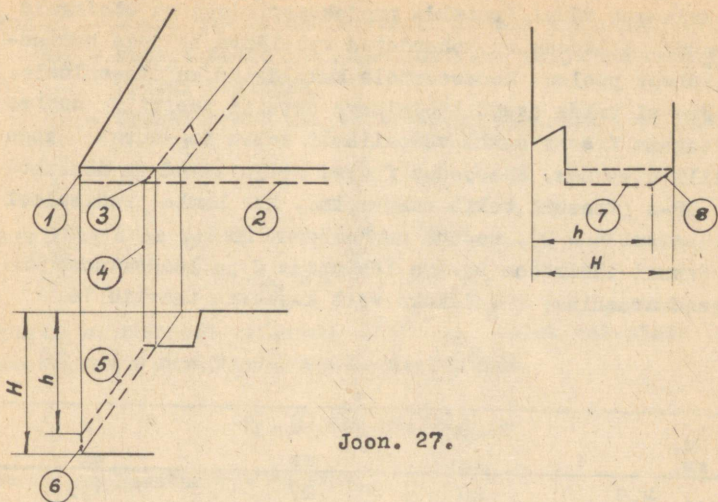
On ilmne, et T arvutamiseks on valemil üldjuhul kuju:

$$T = C \cdot h_t, \quad (81)$$

kus h_t on valemiga (80) määratud moonutuse koefitsient, C - antud sõlmpunktile vastav detaili profiili sügavus.

Kujutera valmistamise seisukohast on otstarbekohane anda tema sõlmpunktide kaugused kõige kõrgemast sõlmpunktist. Vastavad suurused on joon. 25 tähistatud tähtedega N ja L . Ilmselt:

$$\begin{aligned} L &= 1, \\ N &= T \pm M, \\ M &= L \operatorname{tg} \delta. \end{aligned} \quad (82)$$

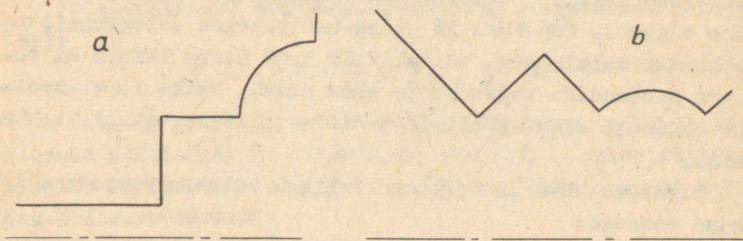


Joon. 27.

Ülesande nr. 3 juurde

Kujufreeside projekteerimisel tuleb lahendada järgmised küsimused:

1. Valida freesi tüüp.
2. Valida freesi telje asend töödeldava profiili suhtes.
3. Arvutada ja valida freesi gabariitmõõtmed, hammaste arv ja kujundamise parameetrid.
4. Määrata freesi telglõike profiil.
5. Määrata freesi kukaldamise lõikeriistade profiilid.
6. Profileerida kukaldamise nukk.



Joon. 28.

Erinevat tüüpi freeside projekteerimisel on mõningaid erinevusi. Alltoodu on kohandatud vahelduva kaldega hammastega kahest poolest koosnevatele kukaldatele kujufreesidele.

Freesi telje asend töödeldava detaili profiili suhtes peab tagama freesi hamba võimalikult suure taganurga kogu profiili ulatuses. Ebasoodus freesi telje asend on näidatud joon. 28-a (freesil tekib rõngaspind, kus hamba radiaalsel kukaldamisel $\alpha_w = 0$), soodus asend joon. 28-b.

Freesi läbimõõdu D , ava läbimõõdu d ja laastusoone püha ja ümardusraadiuse r valikuks võib kasutada tabelit 16.

T a b e l 16

h_d mm	$D (B_7)$ mm	d mm	r mm
... 2,5	80	27	1,5
2,6 ... 5	100	32	1,5
5,1 ... 11	125	32	2
11,1 ... 23	160	40	2,5
23,1 ... 35	200	50	30

M ä r k u s: h_d - töödeldava detaili profiili sügavus.

Tabeli 16 koostamisel on silmas peetud soovitatavat freesi läbimõõtude rida (rea tegur $\varphi = 1,26$).

Valitud freesi läbimõõdu korral määrab oluliselt freesi töö kvaliteedi tema hammaste arv z , mis tootlikkusest lähtudes püütakse valida võimalikult suur. Hammaste arvust sõltub hamba laius, ettevalitud taganurga korral ka laastusoone sügavus. Tugevuse ja suure teritusvaru seisukohalt tuleb hammas valmistada võimalikult lai. Hamba laiust ei tohi aga suurendada laastusoone mahu arvel. Väike laastusoone maht takistab väga sageli intensiivsema lõikerežiimi rakendamist.

Hammaste arvu ja mõõtmete valikul tuleb arvestada alltoodud seoseid:

$$z = \frac{2\pi}{\epsilon_h + \omega_p + \nu} \quad (85)$$

- kus ε_h - hamba pea laiuzele vastav freesi kesknurk,
 ω_p - kukaldustera laastusoonde vaba väljajooksu tagav
 freesi kesknurk,
 ϑ - freesi hamba kallet arvestav kesknurk (vt. joon.30):

$$\vartheta = \frac{e}{R}, \quad (86)$$

kus lõik e on määratud valemiga (93).

$$\omega_p = \omega + 2 \dots 5^\circ, \quad (87)$$

kus ω on määratud valemiga (97) ω_p tuleb valemisse (85) asetamiseks ümber arvutada radiaanidesse.

$$\varepsilon_h = \frac{(0,8 \dots 1,0)H}{R_f}, \quad (88)$$

kus H on laastusoonde sügavus.

Laastusoonde sügavuse võib esialgselt määrata ligikaudse valemiga

$$H \cong h + \{k_1 - \frac{R_k - R_f}{2} + 2 \dots 5 \text{ mm}, \quad (89)$$

kus h - detaili profiili arvutuslik sügavus,

k_1 - teise kukalduse suurus,

f - kukaldusnuki langeva osa nurka arvestav tegur,

R_k - raadius, millelt alustatakse teist kukaldust (vt. joon. 4).

Laastusoonde sügavus, nagu teisedki hambaparametrid, täpsustatakse laastusoonde projekteerimisel (vt. tagapool).

Ülalloetletud suurused määratakse järgmistest sõltuvustest:

$$h = d_d + 1 \dots 2 \text{ mm}. \quad (90a)$$

Detaili profiili arvestusliku sügavuse h valikul arvestatakse töötlemisvaru võimalikke hälbeid. h tuleb valida selliselt, et freesi profiili ja otspinna lõikepunkt ei võtaks osa lõikeprotsessist.

$$\text{Kui } \alpha = 60^\circ, \text{ siis } f = 5/6, \quad (90b)$$

$$\text{" } \alpha = 90^\circ, \text{ " } f = 3/4 \text{ (vt. joon. 31)}. \quad (90c)$$

$$k_1 = (1,5 \dots 1,75)k. \quad (90d)$$

Kukalduse suurus k arvutatakse valemiga

$$k = \frac{\pi D_f}{z} \operatorname{tg} \alpha, \quad (90e)$$

kus D_f - freesi välisläbimõõt,

α - freesi taganurk freesi välisläbimõõdul.

α soovitatakse valida piires:

$$\alpha = 10 \dots 14^\circ. \quad (90f)$$

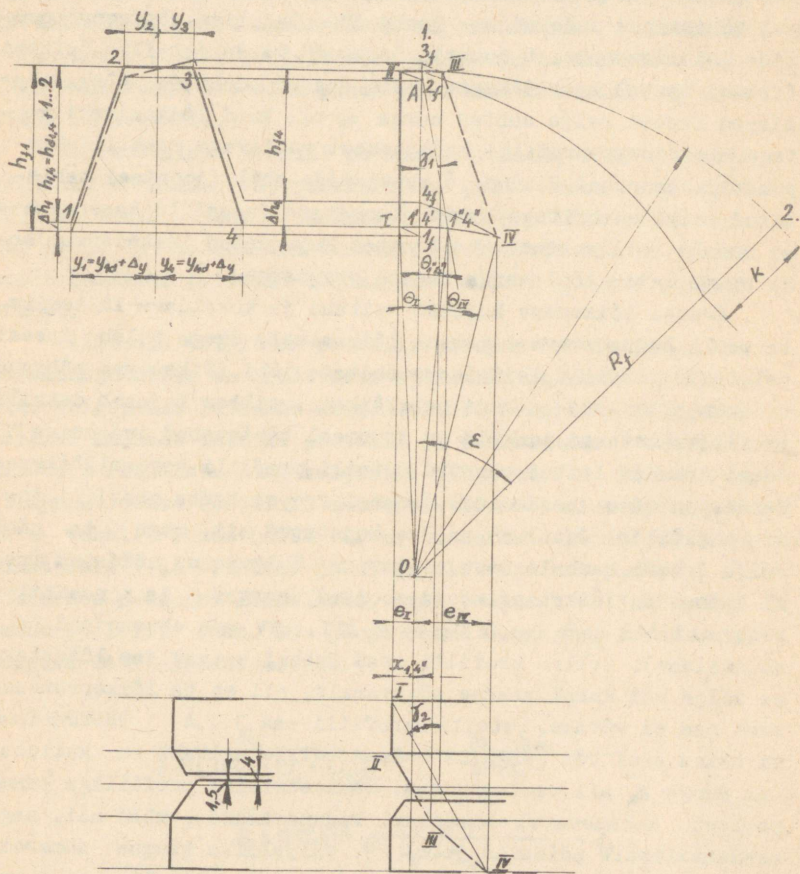
α valikul tuleb silmas pidada, et $\alpha_N \geq 2^\circ$ (nurk α_N mõõdetakse lõikeserva risttasapinnas). Juhul, kui α_N kujuneb väiksemaks kui 2° , tuleb freesi telje risttasapinnas mõõdetud taganurka suurendada.

Raadiuse R_k arvutamist vt. selgitustest ülesande nr. 4 juurde. Toodud sõltuvuste arv vastab otsitavate arvule ja võimaldab koostada võrrandisüsteemi z arvutamiseks. Et võrrandid ei kujuneks liiga pikaks, on otstarbekohane neis esinevad arvvärtused kohe asendada.

Edasi saame hakata projekteerima freesi hammast ja arvutama selle profiili freesi telglõikes, mis on vajalik kukalduslõikeriistade valmistamiseks.

Kanname joonisele detaili profiili normaallõike (vt. joon. 29). Kui töödeldav profiil on sümmeetriline, on tema laiuse mõõtmed otstarbekohane anda sümmeetriateljelt. Detaili normaallõikest paremale kanname tasapinna jälgjoone, milles kujuneb detaili normaallõike profiil. Viimasesse tasapinda asetame freesi telje selliselt, et freesi välisläbimõõdul olev lõikeserv kujundaks detaili profiili põhja või kõige sügavamale ulatuva punkti. Edasi kanname freesi külgvaatesse esitahu sihi nurga δ , all. Freesi teljest allapoole joonestame detaili plaani, nagu näidatud joon. 29. Seejärel projek-

teerime detaili sõlmpunktid tasapinna jälgjoonele, kus nad kujundab freesi lõikeserv. Vastavad punktid on joonisel tähistatud indeksiga "prim". Freesi lõikeserva vastavad punktid läbivad punkte "prim", pööreldes ümber freesi tsentri O.



Joon. 29.

Kui hambal oleks kalle vaid esinurga δ_1 all, saaksime punktidele "prim" vastavad freesi lõikeserva punktid freesi otsvaates leida läbi punktide "prim" tsentrist O tõmmatud kaarte ja esitahu jälgjoone lõikepunktidenä. Kui aga freesi hambal on kalle ka veel nurga δ_2 all, on viimati leitud punktid lõikeservale vastavateks punktideks freesi hamba kesklõikes (lõige risti freesi teljega). Vastavad punktid on joonisel tähistatud indeksiga "sekund". Tegelik lõikeserva punktide leidmiseks tuleb punktid "sekund" kanda detaili plaani (freesi hamba) kesklõikesse. Läbi saadud punktide tõmmatakse sirged freesi telje suhtes nurga δ_2 all kuni lõikumiseni joon- tega, mis asuvad profiili keskjoonest vastavate detaili sõlm- punktide kaugusel. Saadud lõikepunktide abil (joonisel tähis- tatud rooma numbritega) saame joonestada freesi lõikeserva free- si hamba pealtvaates. Pealtvaates kujundatud lõikeserva jär- gi saame leida lõikeserva freesi otsvaates.

Freesi lõikeserv kujuneb esitahu ja kukaldava lõikeriis- ta poolt kujundatava tagatahu lõikumisel. Seega tuleb freesi telglõike profiili leidmiseks ehitada läbi lõikeserva sõlm- punktide kukalduskõverad kuni telglõikeni, milles kujuneb detaili profiil. Vastavad punktid on joonisel tähistatud indeksiga "f". Edasi kanname leitud punktid detaili profiili normaallõikesse. Nende punktide ühendamisega saamegi freesi hamba profiili free- si telglõikes. Joon. 29 on see kujutatud nii, nagu ta näeb välja freesi hambale eest vaadatuna. Külgvaates näidatud free- si hambal on lõiketingimused soodsad (nurgad δ_1 ja δ_2 positiiv- sed) profiili osas I...III, osas III...IV aga ebasoodsad (δ_2 negatiivne). Selles profiili osas freesi hammas kas lõigatak- se välja või kukaldatakse sügavamalt, nii et ta lõikeprotses- sist osa ei võtaks. Detaili profiili osa 3...4 töötleb free- si teine pool või järgmine hammas, mille esitahk on kalluta- tud nurga δ_2 all vastassuunas. Sümmeetrilise profiiliga kahest poolest koosnevatel freesidel kujundatakse hambad nii, nagu skemaatiliselt näidatud joon. 29. Väljalõike kaugus sümmeet- riateljest (või profiili poolitusjoonest) valitakse ~ 4 mm, vastasoleva hamba ülekate $\sim 1,5$ mm. Hammaste vahe töötab laas- tujaotussuuna. Laiade profiilide töötlemisel tuleb kasutada

täiendavaid laastujaotussooni, vt. [9, lk. 72, tabel 10]. Näide kahest poolest koosneva freesi konstruktiivsest kujundusest on toodud [9, lk. 100, joon. 66]. Sellel freesil on lõikeprotsessi suurema sujuvuse saavutamiseks ühte freesi poolt pööratud teise suhtes hammaste poole ringsammu võrra. Et hambaid oleks võimalik pööramata asendis kukaldada (taolised freesid kukaldatakse koostatult, et tagada freesi mõlema poole hammaste ühesugune kõrgus), valmistatakse ühele freesi poolele kaks kiilusoont. Vahelduva kaldega hammastega freeside puhul võib ülalnimetatud pöörde jätta ka tegemata.

Kui töödeldav profiil on sümmeetriline, võib freesi profiili arvutada vaid profiili ühe poole kohta - teine pool kujuneb samasuguseks. Ebasümmeetrilise profiili puhul tuleb joon. 29 toodud konstruktsiooni korrata freesi teise poole hammaste profiili leidmiseks, millel $\frac{\delta}{2}$ suuna poolest erineb.

Alltoodud telglõike profiili arvutus kehtib juhul, kui kukaldusjoonteks on Arhimedese spiraalid ja nende konhoiidid. Kõigepealt leitakse nurgad freesi telglõike jälgjoone (milles kujuneb detaili profiil) ja punktidesse "sekund" minevate raadiuste ning telglõike jälgjoone ja lõikeserva sõlmpunktidesse (profiili muutepunktidesse) minevate raadiuste vahel. Toome näite vastavate nurkade leidmiseks sõlmpunktidele 1 ja 4. (Antud juhul ei ole vajadust punktile 4 vastavate suuruste leidmiseks, sest see asub väljalõigatud hamba poolel.) Joon. 29 järgi saame nurga $\theta_{1,4}$ leida kolmnurgast OA1" siinuslause abil:

$$\frac{R_2}{\sin [180^\circ - (\delta_1 + \theta_{1,4})]} = \frac{R_2 - h_{1,4}}{\sin \delta_1},$$

$$\theta_{1,4} = \arcsin \frac{R_2 \cdot \sin \delta_1}{R_2 - h_{1,4}} - \delta_1. \quad (91)$$

Nurkade θ_I ja θ_{II} arvutamiseks tuleb leida vastavate sõlmpunktide kaugused (lõigud e) freesi telglõikest OA.

Joon. 29 kohaselt:

$$x_{r,n} = (R_f - h_{1,n}) \sin \theta_{r,n}, \quad (92)$$

$$e_I = y_n \operatorname{tg} \alpha_2 - x_{r,n}, \quad e_{II} = y_n \operatorname{tg} \alpha_2 + x_{r,n}, \quad (93)$$

$$\sin \theta_I = \frac{e_I}{R_f - h_{1,n}}, \quad \sin \theta_{II} = \frac{e_{II}}{R_f - h_{1,n}}. \quad (94)$$

Kui profiil ei ole sümmeetriline, tuleb x_{1n} ja x_{2n} leida eraldi.

Nurkade θ_I ja θ_{II} jne. abil saab leida detaili profiili normaallõike ja freesi telglõike profiili vastavate sõlmpunktide kõrguste erinevused Δh :

$$\frac{\Delta h_1}{\theta_I} = \frac{k}{\varepsilon}, \quad \frac{\Delta h_2}{\theta_{II}} = \frac{k}{\varepsilon},$$

$$\Delta h_1 = \theta_I \cdot \frac{k}{\varepsilon}, \quad \Delta h_2 = \theta_{II} \cdot \frac{k}{\varepsilon}, \quad \text{jne.}, \quad (95)$$

$$\text{kus } \varepsilon = \frac{2\sigma}{z}.$$

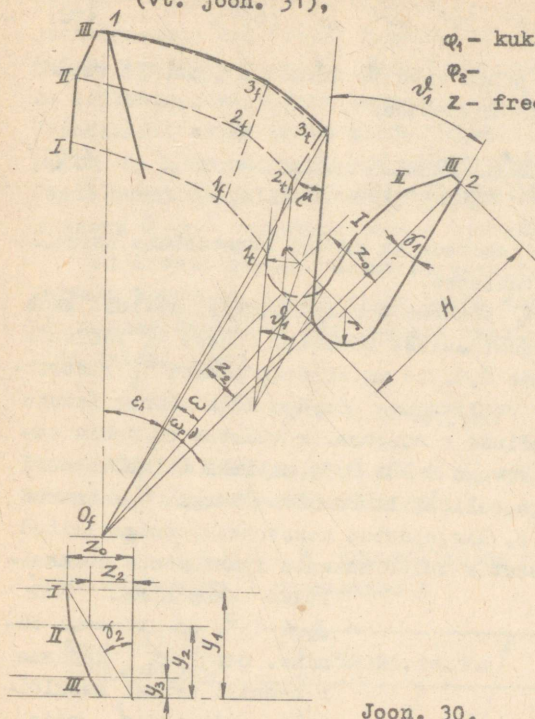
Vastavad freesi profiili kõrgused h_f freesi telglõikes saame leida valemiga

$$h_f = h \pm \Delta h. \quad (96)$$

Freesi laastusoone kujundamiseks tuleb välja joonestada kaks järjestikust freesi hammast freesi külgvaates (vt. joon. 30). Esimese hamba sõlmpunktidest joonestatakse kukaldusjooned hamba osani, mis kukaldatakse lihvimisega (joon. 30, punktid 1_f , 2_f ja 3_f ; vt. ka selgitused kontrolltöö ülesande nr. 4 juurde ja joon. 4). Freesi teise hamba profiili eespoolseim punkt (joon. 30, punkt I) ühendatakse freesi tsentriga. Edasi tõmmatakse freesi tsentrist sirge, mis moodustab eelmisega nurga ω . Nurk ω arvutatakse valemiga

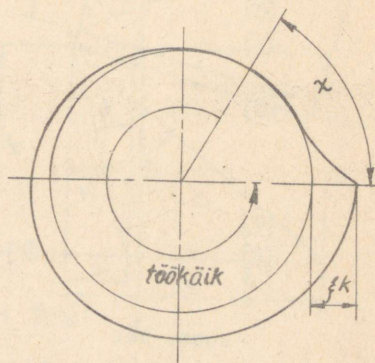
$$\omega = \frac{\chi}{z} + \varphi_1 + \varphi_2, \quad (97)$$

kus χ - kukaldusnuki profiili langevale osale vastav kesknurk
(vt. joon. 31),



Joon. 30.

dustera väljub laastusoone. Kas see nii on, selgub hamba tagakülje ülejäänud sõlmpunktide 2_t ja 3_t jne. leidmise järel. Läbi punktide I ja 1_t joonestatakse laastusoone sihid freesi telje ristlõikes. Need sihid moodustavad omavahel nurga δ_1 (siht läbi punkti I läheb paralleelselt freesi keskloike esitahu sihiga δ_1). Laastusoone nurk freesi telje ristlõikes δ_1 erineb laastusoone normaalloikenurgast δ tavaliselt alla 1° , kui $\delta_2 \leq 15^\circ$.



Joon. 31.

Nurk ϑ valitakse järgmisest reast:

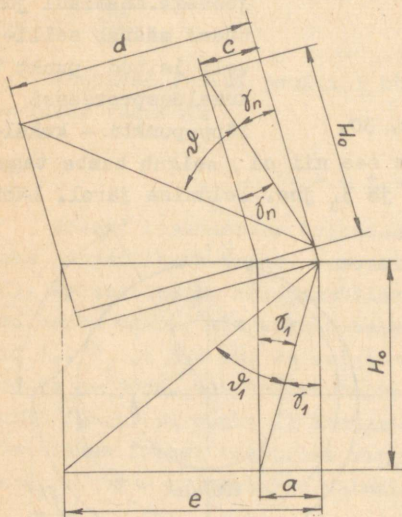
$$\vartheta = 18^\circ, 22^\circ, 25^\circ, 30^\circ, (45^\circ). \quad (98)$$

Suure δ_2 väärtuse puhul saab ϑ_1 arvutada joon. 32 toodud skeemi järgi. Lõpptulemusena saame:

$$\operatorname{tg} \vartheta_1 = \frac{1 + \operatorname{tg}^2 \delta_1 \cdot \cos^2 \delta_2}{\cos \delta_2 \cdot \cot \vartheta (1 + \operatorname{tg}^2 \delta_1) + \operatorname{tg} \delta_1 \cdot \sin^2 \delta_2}. \quad (99)$$

Sama skeemi saame kasutada ka freesi laastusooone normaallõike esinurga δ_n arvutamiseks.

Ehitatud nurgale ϑ_1 tõmbame nurgapoolitaja, millel asub laastusooone põhja ümardusraadiuse tsenter. Punkti 1_t läbivale nurga ϑ_1 haarale tõmbame $0,5 \dots 1$ mm allpool punkti 1_t ristsirge kuni lõikumiseni ϑ_1 poolitajaga. Saadud lõik määrab laastusooone põhja ümardusraadiuse r suuruse. r väärtus on sobiv valida nii, et ta lõpeb arvuga 0 või 0,5, milleks tuleb tsentri asukohta nihutada nurgapoolitajal. Ühendame nurga ϑ_1 haarad kaarega, mille raadius on r . Kirjeldatud konstruktsiooniga leitud r erineb tegelikust, sest r tuleb määrata laastusooone normaallõike tasapinnas. Kui



Joon. 32.

$\delta_2 \leq 15^\circ$, on erinevus tühine. Seepärast kanname r tsentri freesi keskloikesse, nihutades seda lõigu z_0 võrra paremale (z_0 on määratud γ_1 ja δ_2 -ga; nihutuse siht on risti freesi hamba tippu mineva raadiusega freesi keskloikes) ning joonestame välja laastusooone profiili ja laastusooone põhja. Laastusooone põhjast joonestame välja kuldusjoonte kohal olevad laastusooone freesi telje ristlõike jäljoo-

ned kuni lõikumiseni punktidest 2_f , 3_f jne. tõmmatud kukaldus-joontega. Kuna osa freesi hambaid ulatub üle profiili keskjoone, tuleb joonisele kanda ka spiraal (või selle konhoid), mis tekib hamba lõikumisel väljalõike tasandiga. Saadud punktide 2_t , 3_t , jne. ühendamisel saame freesi hamba tagakülje. Kui need punktid on punkti 1_t läbivast raadiusest vasakul, lõpeb kukaldamine punktis 1_t . Nende punktide paiknemisel nimetatud raadiusest paremal tuleb suurema ν_1 -ga konstruktsiooni korrata.

Et freesi hammas pärast korduvaid teritusi säilitaks küllaldase tugevuse, on soovitatav hamba tagakülje ja hamba välispinna ning tagakülje lõikepunkti raadiuse vaheline nurk μ valida valemi järgi

$$\mu = \delta_1 + 15 \dots 20^\circ. \quad (100)$$

Liiga väikese μ puhul tuleb ν_1 väärtust suurendada. Soovitatav on valida ν_1 mitte üle 30° .

Kirjandus kontrolltööde ülesannete lahendamiseks ja kursuseprojekti koostamiseks

Kontrolltöö ülesande nr.	Põhikirjandus	Täiendav kirjandus
1	M	-
2	M [1]	[2]; [8]
3	M; [9]	-
4	M	[8]
5	M	[4]
6	M	-
7	M	[6]
Kursuseprojekti ülesande nr.		
1	M	[5]
2	M; [9]	[5]
3	M	[4]
4	[3]; [7]; [10] ¹	

Märkus: ¹ Ülesande lahendamisel tuleb kasutada üht raamatut toodetest. M - meetodilised juhendid ülesande lahendamiseks.

Kasutatud ja soovitatav kirjandus

1. ТПИ. Lõikeriistade projekteerimine. Skeemid ja joonised, Tallinn 1965.
2. ВНИИ. Высокопроизводительные конструкции зенкеров и раз-верток и их рациональная эксплуатация, Машгиз, 1960.
3. ВНИИ. Высокопроизводительные конструкции протяжек и их рациональная эксплуатация, Машгиз, 1960.
4. ВНИИ. Высокопроизводительные конструкции фасонных фрез и их рациональная эксплуатация, Машгиз, 1961.
5. ВНИИ. Фасонные резцы, Машгиз, 1947.
6. А.Н. Грубин и др. Зуборезный инструмент П, Машгиз, 1946.
7. Д.К. Маргулис. Протяжки переменного резания, Машгиз, 1962.
8. И.И. Семенченко и др. Проектирование металлорежущих ин-струментов, Машгиз, 1963.
9. И.А. Фрайфельд. Расчеты и конструкции специального ме-таллорежущего инструмента, Машгиз, 1957.
10. А.В. Щеголев, Конструирование протяжек, Машгиз, 1960.

A-29186

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00380153 9