



MASINA- EHITUSLIKUD MÕÕTE- RIISTAD

Laboratuursete
tööde juhend

II

TALLINN 1975

A - 31805

TALLINNA POLÜTEHNILINE INSTITUUT
Peenmehaanika kateeder

I. Märtson

MASINAEHITUSLIKUD MÕÕTERIISTAD

Laboratoorse te tööde juhend

II

~~fr. K. Kreutzwaldi
nim ENSV Riiklik
Raamatukogu~~

Tallinn
1975

ТАЛЛИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
Кафедра точной механики

И. Мяртсон
РУКОВОДСТВО К ЛАБОРАТОРНЫМ РАБОТАМ
ПО ИЗМЕРИТЕЛЬНЫМ ПРИБОРАМ
В МАШИНОСТРОЕНИИ
II
На эстонском языке

TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU

Kinnitatud kateedri koosolekul
24. juunil 1975

Kontrolleksaemplar

Vastutav toimetaja E. Rannat

Trükkida antud 24. XI 1975. Paber 60x84/16
Trükipg. 4.0. Tingtrükipg. 3,72. Arvestuspg. 3,4. Tiraaž 500
TPI rotaprint, Tallinn, Koskla 2/9. Tell.825

Hind 10 kop.

JAGAMISPEA

Töö eesmärk. Tutvuda optilise jagamispea, optilise pikkusmõõturi ja okulaarnooniuse tööpõhimõtte, konstruktsiooni ja kasutamise võtetega. Omandada nimetatud riistadega töötamise kogemusi.

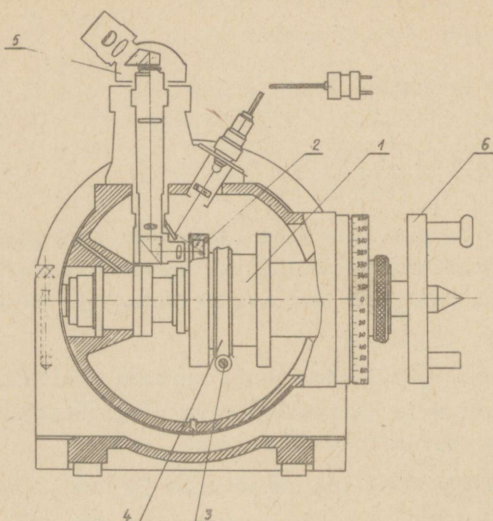
Ülesanne. Mõõta nukkvõllil asetsevate nukke profiil, teha nende profiili joonis ja määrata joonise järgi ühel võllil asetsevate nukke omavaheline pöördenurk.

Kasutatavad vahendid. Optiline jagamispea OIT-60, horisontaalne pikkusmõõtur KV3-2, sile väliskruvik MK 25... ..50 mm, kontrollvõll.

Mõõtevahendid

Optiline jagamispea OIT-60. Jagamispea on ette nähtud tema spindlisse või tsentrite vahele kinnitatud detaili pööramiseks mingi etteantud nurga võrra ja vastupidi, detaili mingi määratud pöördenurga väärtuse määramiseks. Sel viisil võimaldab optiline jagamispea temasse kinnitatud detaili jagada täispöörde mistahes osadeks ja kontrollida juha jagatud detaili. Kasutades jagamispead koos optilise pikkusmõõturi või mõne muu joonmõõteriistaga, võime mõõta polaarkoordinaatides (nukke mõõtmine). Jagamispead võib kasutada nii märkimisel ja kontrollimisel kui ka töötlemisel (lihvimine, freesimine, puurimine jne.).

Optilise jagamispea põhiosaks on hästi laagerdatud spindel 1 (joon.1.1), millele on jäigalt kinnitatud klaasist limb 2. Limbi jaotise väärtus $c=1^\circ$. Spindlit pööratakse teo 3 abil, mis on hambumises spindliga liikumatult seotud tigurattaga 4. Spindli pöördenurk on loetav limbilt lugemi-



Joon. 1.1. Optilise jagamispea konstruksioon.

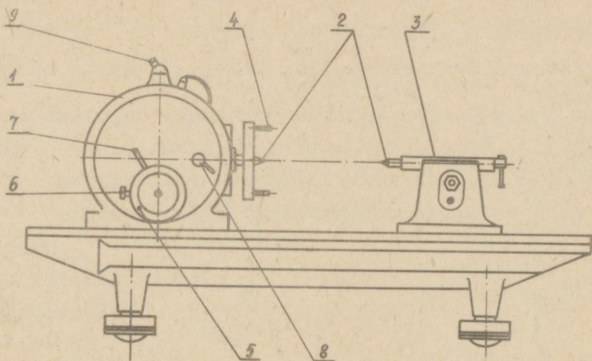
spindli suhtes pööratav täisringi ulatuses (pärast fiksaatori avamist). See võimaldab jämelimbi lugemi ühitada kas klaaslimbi lugemiga või mõne muu sobiva suurusega.

Möödetav detail kinnitatakse spindlis olevasse koonilisse (Morse 4) avasse või jagamispea 1 (joon.1.2) ja tagapuki 3 tsentrite 2 vahele.

Tsentrites kinnitatud detaili nurkasendi fikseerimiseks kuulub jagamispea komplekti kaasaveduk 4 ja rangid. Üks neist kinnitatakse tsentrile, teine möödetavale detailile. Esi- ja tagatsentri mittedamateljelisusest tingitud pöördenurga viga on minimaalne, kui rangid on kinnitatud möödetavale detailile, kaasaveduk aga esitsentrile nii, et tema sõrme sfääri keskpunkti liikumise tasapind ühtib esitsentri tipuga.

Jagamispea spindlit pööratakse tiguülekandega käsiratta 5 abil. Pöördenurga peenreguleerimiseks kasutatakse hammasülekande kaudu käsirattaga seotud nappu 6. Spindli kiireks

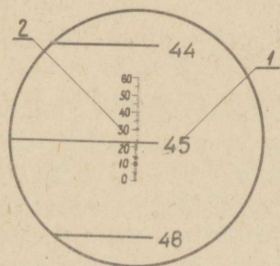
mikroskoobi 5 abil. Lugemistäpsuse suurendamiseks kasutatakse lugemimikroskoobis okulaarnooniust. Jagamispeal ОИТ-60 on okulaarnooniuseks 60 jaotisega liikumatu skaala, mille jaotise väärtus $c_1=1'$. Spindli pöördenurga ligikaudseks määramiseks on spindli välispinnale kantud limb 6 jaotise väärtusega $c_2=1^{\circ}$. Limbi lugemiseks on korpusel kriipsindeks. Limb 6 on



Joon. 1.2. Optiline jagamispea koos aluse ja tagapükiga.

pööramiseks võib tiguratta vabastada hambumisest teo eks-tsentriliste laagripükside pööramisega hoova 7 abil. Spindli nurkasendi fikseerimine toimub pãrsiga 8.

Spindli pöördenurka loetakse lugemimikroskoobi 9 kau-du.



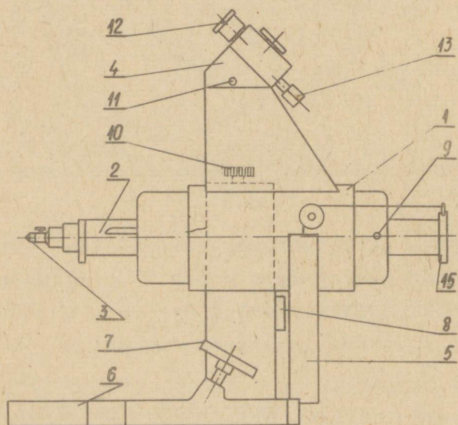
Joon.1.3. Jagamispea lugemimikroskoobi vaateväli.

Mikroskoobi vaateväljas (joon.1.3) on rohelises valguses näha põhiskaala kujutis 1. Põhiskaalaks on spindlile kinnitatud limbi skaala jaotise väärtusega $c=1^{\circ}$. Põhiskaala kujutisega ühes tasapinnas on 60 jaotisega liikumatu skaala 2. Liikumatu skaala nullkriips on põhiskaalale viidaks. Liikumatu skaala jaotise väärtus $c_1=1'$. Viidaks liikumatule skaalale

on põhiskaala vastava kriipsu kujutis. Joonisel 1.3 toodud skaalade asendi korral on näit $45^{\circ}22'$.

Seadet valmistava tehase andmeil on viga nurkade mõõtmisel jagamispeaga alla 20".

Horisontaalne pikkusmõõtur KMB-2. Pikkusmõõtur on ette nähtud joonmõõtmete kontaktmõõtmiseks koguvaartuse hindamise meetodil. Komplektis optilise jagamispeaga võimaldab optiline pikkusmõõtur mõõta polaarkoordinaatides (näiteks hinnata nuki raadiust sõltuvalt pöördnurkast).



Joon. 1.4. Horisontaalne pikkusmõõtur.

teetsik 3. Mõõdetava suuruse muutumisele vastav mõõteotsiku nihe on otseselt loetav skaalalt. Lugemiseks kasutatakse okulaarooniusega 4 varustatud lugemimikroskoopi. Pikkusmõõturil KMB-2 on okulaarooniuseks optiline läätskompensaator.

Vajalik mõõtejõud saadakse pinooli külge kapronniidi ja rulli abil riputatud raskusega 5. Pinooli pidurdamiseks on korpuse küljes pärss 9.

Pikkusmõõtur toetub alusele 6, mis liigub optilise jagamispea sängil. Pikkusmõõtuuri vajalik asend sängil fikseeritakse kinnituri 7 abil.

Horisontaalne pikkusmõõtur koosneb korpusest 1 (joon.1.4), milles liigub laagritel pinool 2. Pinooli keskosas on pikipilu, millesse on liikumatult kinnitatud klaasist 100 mm pikkune lattkriipsmõõt. See kriipsmõõt jaotise väärtusega $c=1$ mm on pikkusmõõtuuri skeelaks. Pinooli esiosale on kinnitatud vahetatav mõõ-

la ühe jaotise võrra. Järelikult liikuva skaala jaotise
vaartus

$$c'' = \frac{c'}{100} = \frac{0,1}{100} = 0,001 \text{ mm.}$$

Kui lugemi tegemisel ei lange põhiskaala kriips täpselt liikumatu skaala mingile kaksikkriipsule, siis kompanseeritakse see mittekokkulangemine läätse nihutamise ja kompensatsiooni suurus loetakse liikuvalt skaalalt.

Joonisel 1.5 toodud skaalade asendi korral on lugem 12,812.

Horisontaalse pikkusmõõturi viga on $\pm (1 + \frac{L}{100})$ mm, kus L on mõõdetav pikkus millimeetrites.

Töö käik

Mõõteriista häälestamine. Enne mõõtmist tuleb pikkusmõõturi pinooli telg seada jagamispea tsentrite joone kõrgusele ja jagamispea tsentrite joonele vastav pikkusmõõturi näit seada nulliks.

Pinooli kõrgust seatakse kontrollvõlli abil. Kontrollvõll kinnitatakse jagamispea tsentrite vahele. Pikkusmõõtur nihutatakse võlli mingi mõõtepinna kohale ja kinnitatakse. Pikkusmõõturi mõõteotsik viiakse kontakti võlli mõõtepinna. Nihutades pinooli aeglaselt üles-alla, jälgitakse pikkusmõõturi lugemit. Hetkel, kui lugem on maksimaalne, asub pinooli telg jagamispea tsentrite joonel. Selles punktis fikseeritakse pinooli asend kõrguse sihis ja kogu töö vältel kõrgust enam ei muudeta.

Pikkusmõõturi nulliseadmiseks ühendatakse kontrollvõll kaasaveduki ja rangide abil jagamispea spindliga.* Pikkusmõõtur nihutatakse võlli selle mõõtepinna kohale, mille

* Kui tekib vajadus muuta jagamispea või tagapuki asendit sangil, siis tuleb nende samateljelisuse kindlustamiseks suruda nad kinnitamisel vastu juhtsoone tagumist pinda (lükata endast eemale).

asend vastab kontrollitava nuki kaugusele esipukist, ja kin- nitatakse selles asendis.

Kontrollvõlli mõõtepinna diameeter mõõdetakse väliskru- vikuga horisontaal- ja vertikaalsihis. Saadud tulemustest arvutatakse mõõtepinna keskmine raadius r_k .

Pikkusmõõturi mõõteotsik viiakse kontakti võlli mõõte- pinnaga ja vabastatakse okulaarnooniuse fikseerimiskruvi 11 (vt. joon.1.4). Liikuva skaala nihuti 12 ja kogu okulaarnoo- niuse nihuti 13 abil seatakse okulaarnooniuse näiduks võlli mõõtepinna keskmine raadius r_k . Pärast okulaarnooniuse asen- di fikseerimist kruviga 11 mõõdetakse kontrollvõlli raadius pöördenurkade 0° ; 90° ; 180° ja 270° juures. Tulemused pea- vad rahuldama tingimust

$$\frac{r_0 + r_{90} + r_{180} + r_{270}}{4} = r_k$$

Juhul kui pikkusmõõturiga ja kruvikuga mõõdetud raadiu- sed erinevad teineteisest rohkem kui $4 \mu\text{m}$, tuleb okulaarnoo- niuse asendit korrigeerida nupuga 13.

Mõõtmine. Mõõdetav nukkvõll kinnitatakse jagamispea tsent- rite vahele ja fikseeritakse kaasaveduki ning rangide abil tema nurkasend. Sama võlli teise nuki mõõtmisel võlli nurk- asendit ei muudeta, et oleks võimalus määrata mõõtetulemuste alusel ühel võllil olevate nukside vastastikune asend. Nuki raadius mõõdetakse iga 10° tagant. Mõõtmisel pööratakse võl- li ainult ühesuunas, et vältida kaasaveduki ja rangide va- hel olevast lõtkust tingitud viga.

Töö vormistamine

Töö vormistatakse laboratoorse töö aruande näol.

Aruandes fikseeritakse mõõdetud detailid ning kasutatud mõõtevahendid. Kirjeldatakse lühidalt, üksikute võtete kaupa, tehtud tööd.

Mõõtetulemused esitatakse tabelite kujul. Pikkusmõõtu nulliseadmiseiga seotud mõõtmistulemuste esitamisel kasutatakse tabeli 1.1 vormi. Nukkvõlli mõõtmistulemused kantakse tabelisse 1.2.

T a b e l 1.1

Kontrollvõlli mõõtmise tulemused mm

| Mõõteriist | Tulemused | | | | |
|-------------------|-----------|----------|-----------|-----------|--|
| Kruvik | D_h | | D_v | | $r_k = \frac{D_h + D_v}{4}$ |
| | | | | | |
| Pikkus- mõõtur | r_0 | r_{90} | r_{180} | r_{270} | $r_p = \frac{r_0 + r_{90} + r_{180} + r_{270}}{4}$ |
| | | | | | |

T a b e l 1.2

Nukkide mõõtmise tulemused

| Jrk. nr. | Põorde- nurk o | Nuki... raadius mm | Nuki... raadius mm | Jrk. nr. | Põorde- nurk o | Nuki... raadius mm | Nuki... raadius mm |
|-------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|-------------|----------------------|--------------------------|--------------------------|
| | | | | | | | |

Mõõtetulemuste alusel joonestatakse mõõdetud nukide profiilid. Ühel völliil olevad nukid joonestatakse ühisest tsentrist ja määratakse jooniselt nende vastastikune nurkasend.

Kontrollküsimused

1. Optilise jagamispea kasutusala.
2. Pikkusmõõtuuri kasutusala.
3. Jagamispea ehitus.
4. Jagamispeal kasutatav okulaaroonius.
5. Pikkusmõõtuuri optikaskeem.
6. Pikkusmõõtuuri ehitus.
7. Pikkusmõõtuuri okulaaroonius.
8. Optilise jagamispea OИГ-60 andmed.
9. Pikkusmõõtuuri tehnilised andmed.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 2

SUUR INSTRUMENTAALMIKROSKOOP

Töö eesmärk. Tutvuda suure instrumentaalmikroskoobi ja tema tarvikute tööpõhimõtte, konstruktsiooni ning kasutamise võtetega. Omandada mikroskoobil töötamise kogemusi.

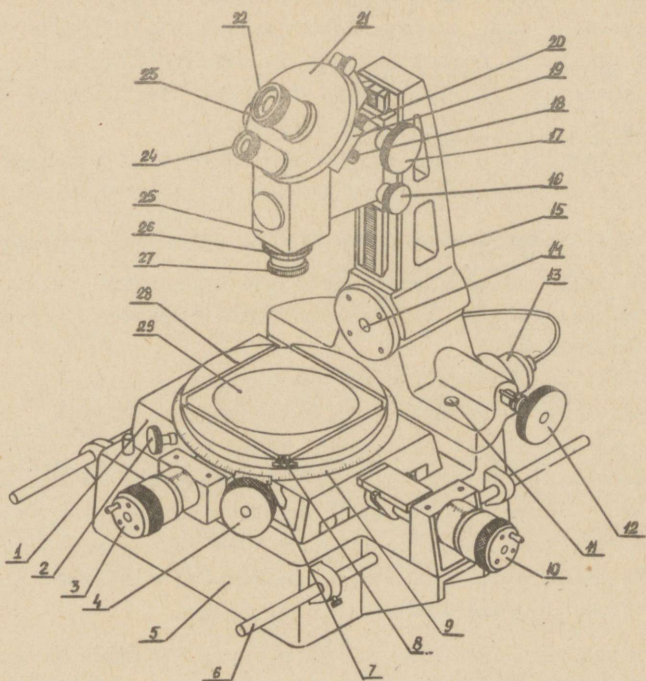
Ülesanne. Koostada mõõdetavas detailis olevate väikeste ümarate avade asukoha joonis. Selleks määrata kõigi 14 ava telgede asukohad ristkoordinaatides ja kahel aval (13 ja 8) polaarkoordinaatides ava 1 suhtes.

Kasutatavad vahendid. Suur instrumentaalmikroskoop EMM koos vajalike tarvikutega (nurgamõõteokulaarpea ja kaksikujutisokulaarpea).

Mõõtevahendid

Suur instrumentaalmikroskoop BMM on ette nähtud joon- ja nurgamõõtmete kontaktita mõõtmiseks koguvaärtuse meetodil. Mikroskoobil võib mõõta väga mitmesuguse ja keeruka konfiguratsiooniga detaile nii rist- kui ka polaarkoordinaatides.

Suur instrumentaalmikroskoop (joon.2.1) on monteeritud massiivsele alusele 5, mida tõstetakse kangidega 6. Liigendi 14 kaudu on alusele kinnitatud samm 15, mille kalasaba- tapil liigub peamikroskoopi kandev kronstein. Kaldsete objektide (keermeniidid) viseerimiseks on samm liigendi ümber kallutatav käepideme 12 abil $\pm 12,5^{\circ}$ ulatuses. Aluse küljes on veel lood 11 riista rõhtasendi kontrollimiseks, valgusti 13 ja töölaud 1. Töölaud on pikisihis nihutatav kruvinihuti 10 ja põikisihis kruvinihuti 3 abil. Kruvinihutid on varustatud skaalaga, mis võimaldab määrata nihutuse suuruse lugemistäpsusega 0,005 mm. Kruvinihutite käik on 25 mm. Töölaua liikumine kuni ülemise mõõtepiirini, s.o. pikisihis 150 mm ja põikisihis 50 mm saavutatakse vastavate, mikroskoobi komplekti kuuluvate pikkusplaatide asetamisega kruvinihuti ja töölaua vahele. Töölaua ülemine osa 28 on koos esemeklaasiga 29 täisringi ulatuses pööratav käepideme 4 abil. Töölaua nurkasend fikseeritakse pärsiga 2. Pöördenurga väärtus on loetav limbilt 9, mille jaotise väärtus $c=1^{\circ}$. Limbi noonus 7 kindlustab lugemistäpsuse 3'. Esemeklaasi alumisele küljele ristiga märgitud tsentri ühitamiseks töölaua pöörlemisteljega kasutatakse nelja reguleerimiskruvi 8.



Joon. 2.1. Suur instrumentaalmikroskoop.

Seadme peamikroskoobi 25 põhiosadeks on vahetatav objektiiv 27 (suurendusega 1x; 1,5x; 3x ja 5x) ja vahetatav okulaarpea 21 (nurgamõõte-, kaksikkujutis- ja profiilokulaarpea). Objektiiv on kinnitatud tuubusesse keerme-ga. Okulaarpea vahetamiseks tuleb kinnitusklotsis lahti keerata kruvi 18 ja eemale tõmmata vedrufiksaator 20. See-järel võib okulaarpea oma pesast välja tõmmata.

Peamikroskoobi ja okulaarpea optikaskeem langeb täpselt kokku universaalse mõõtemikroskoobi vastavate elementide skeemiga (vt. vastava laboratoorse töö juhend).

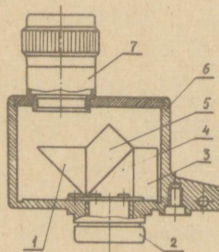
Mikroskoobi fookustamiseks on viimane püstsihis nihitatav käsiratta 17 abil. Asend fikseeritakse pärsiga 16. Peenteravustamine toimub rõnga 26 abil.

Okulaari 22 juurde kuuluv okulaarvõrk on pööratav ratkese 23 abil ja pöördnurk loetav lugemimikroskoobist 24.

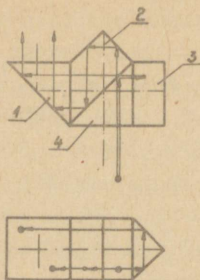
Kaksikkujutisokulaarpea OIV-22 võimaldab täpselt viseerida telg- ja pöörd-sümmeetriliste elementide telgi. Okulaarpead kasutatakse tavaliselt avade telgedevaheliste kauguste mõõtmiseks.

Kaksikkujutisokulaarpea töö põhimõte on lihtne, ta annab vaadeldavast esemest kaks mikroskoobi optilise telje suhtes sümmeetrilist (s.o. 180° võrra pööratud) kujutist. Kui vaadeldava objekti telg ühtib mikroskoobi optilise teljega, siis langevad need kaks kujutist kokku, s.t. vaateväljas on objektist üksainus kujutis. See võimaldab vaadeldava objekti telje täpselt ühitada mikroskoobi optilise teljega, s.t. viseerida vaadeldava elemendi telge.

Kaksikkujutisokulaarpea (joon. 2.2) koosneb korpusest 6, okulaarist 7 ja mitmest osast 1, 3, 4 ning 5 kokkuliimitud nn. kahendavast prismast. Okulaarpea tsentreerimiseks mikroskoobi tuubuses on ta korpuse küljes rõngas 2.



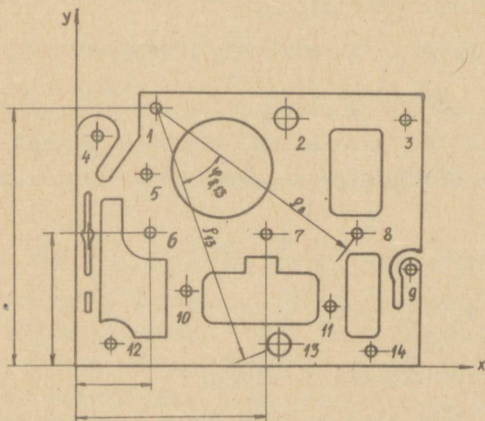
Joon. 2.2. Kaksikkujutisokulaarpea.



Joon.2.3. Kiirte kõik kahendavas prisma.

Seadme tootja andmeil on piirviga pikkuste mõõtmisel põik- ja pikikruvinihutiga $\pm 0,005$ mm ning nurkade mõõtmisel töölauda pööramisega $\pm (3 + \frac{2}{L})$ minutit, kus L on mõõdetav pikkus (nurga haar) millimeetrites.

Töö kõik



Joon. 2.4. Mõõdetava detaili joonis.

Kiirte kõik kahendavas prisma on kujutatud joonisel 2.3. Prisma osade 2 ja 4 liitepinnas on õhuke kroomikiht. Osa kroomikihile langenud valgusest peegeldub, osa neeldub ja ülejäänud läbib selle kihi. Sel viisil saadakse esemest kaks kujutist. Kui eseme telg ühtib prisma 2. ja 3. osa harjasid läbivate risttasapindade lõikejoonega, langevad kroomikihti läbinud ja sellelt peegeldunud valguse poolt tekitatud kujutised kokku.

Seadme tootja andmeil on piirviga pikkuste mõõtmisel põik- ja pikikruvinihutiga $\pm 0,005$ mm ning nurkade mõõtmisel töölauda pööramisega $\pm (3 + \frac{2}{L})$ minutit, kus L on mõõdetav pikkus (nurga haar) millimeetrites.

Mõõtmise rist-

koordinaatides.

Seadme mõõdetava detaili töölauale nii, et selle pikem külge ühtiks töölauda pikiliikumise sihiga (loeme x-teljeks) ja lühem külge põikliikumise sihiga (loeme y-teljeks). Seda on hõlpus teha

okulaarnurgamõõturi niitristi järgi, kui viimane on seatud nullasendisse. Seejuures võime kasutada töölauda pöörämist. Detaili asukoha valikul töölaual peame silmas pidama, et kõik mõõdetavad avad mahuksid mikroskoobi mõõtepiiridesse.

Pikikruvinihuti lugemi suurenemisel nihkub töölaud vasakult paremale: tähendab viseeritavate punktide abstsissid vähenevad. Pikkusplaadi vaheleasetamisel nihkub laud vasakule.

Põikruvinihuti näidu suurendamisel viseerime suuremate ordinaatidega punkte, pikkusplaat aga vähendab viseeritavate punktide ordinaate.

Seega tuleb viseeritava punkti koordinaatide määramisel lugeda pikikruvinihuti näit negatiivseks, põikruvinihutil aga positiivseks. Pikkusplaatide pikkus aga tuleb lugeda positiivseks pikinihutuse andmisel ja negatiivseks põiknihutusel.

Viseeritava punkti koordinaadid töölaual (x'_i ja y'_i), on siis määratavad valemitega (kõik suurused on märgiga)

$$\begin{aligned} x'_i &= x_{ni} + x_{mi} \\ y'_i &= y_{ni} + y_{mi} \end{aligned}$$

ja kus x_{ni} ja y_{ni} - kruvinihutite näidud;

x_{mi} ja y_{mi} - kasutatud pikkusplaatide väärtused.

Ava telje asukoha mõõtme (koordinaat joonisel) saamiseks tuleks telje koordinaadist töölaual lahutada lähtepinna koordinaat. Detaili lähtepindadeks loeme tema alumise ja vasaku serva.

Seega

$$\begin{aligned} x_1 &= x'_1 - x_0 \\ y_1 &= y'_1 - y_0 \end{aligned}$$

ja kus x_1 ja y_1 - ava i koordinaadid joonisel;

x_0 ja y_0 - detaili lähtepindade lõikejoone koordinaadid töölaual.

Pärast detaili ülesseadmist asume mõõtma. Selleks asendame nurgamõõteokulaari kaksikkujutisokulaarpeaga ja viseerime viimasega järjestikku mõõdetavaid punkte. Viseerinud ava, märgime üles piki- ja põiktrumli näidu ja vastava pikusplaadi väärtuse.

Esimesena määrame detaili lähtepindade lõikejoone koordinaadid töölaual. Selleks viseerime eraldi detaili alumist ja vasakut serva. Serva viseerimiseks viime tema kaks kujutist puutesse, nii et servade vahel poleks pilu ega tekiks ülekatet.

Mõõtetulemused kanname tabelisse 2.1.

T a b e l 2.1

Mõõtmise ristkoordinaatides

| Ava nr. | Kruvinihuti nait mm | | Pikkusplaadi väärtus mm | | Ava koordinaat töölaual mm | | Detaili läh- tepinna koordinaat töölaual mm | | Ava koordinaat joonisel mm | |
|---------|---------------------|-------|-------------------------|-------|----------------------------|------|--|-------|----------------------------|-----|
| | x_n | y_n | x_m | y_m | x' | y' | x_0 | y_0 | x | y |
| 1 | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Mõõtmise polaarkoordinaatides. Polaarkoordinaatides mõõ-

miseks asetatakse detail töölauale nii, et pooluseks loetud punkt (antud juhul ava 1) ühtiks töölaua pöörlemisteljega. Mõõdetavate avade viseerimiseks pööratakse ja nihutatakse töölauda. Nihutamiseks kasutatakse ainult ühte, tavaliselt piki-kruvinihutit. Mõõdetava punkti koordinaadi määrab kruvinihuti lugem ja töölaua pöördenurk.

Töölaua pöörlemistelje koordinaatide määramiseks kasutatakse nurgamõõteokulaarpead ja esemeklaasi alumisele küljele ristiga märgitud tsentrit.

Peamikroskoobi okulaarvõrk pööratakse nullasendisse ja mikroskoop teravustatakse esemeklaasi ristile.

Esemeklaasi tsepter ei lange üldjuhul kokku töölaua pöörlemisteljega, vaid liigub töölaua pööramisel mööda ringikujulist trajektoori. Määrame töölaua tsentri trajektoori ja okulaarvõrgu niitristi (vertikaalne ning horisontaalne joon) lõikepunktide koordinaadid ning arvutame neist töölaua pöörlemistelje koordinaadid. Selleks kasutame järgmisi valemeid:

ja

$$O_x = \frac{N_1 + N_2}{2}$$

$$O_y = \frac{M_1 + M_2}{2},$$

kus O_x ja O_y - töölaua pöörlemistelje koordinaadid;

N_1 ja N_2 - tsentri trajektoori ja okulaarvõrgu horisontaaljoone lõikepunktide abstsissid;

M_1 ja M_2 - tsentri trajektoori ja okulaarvõrgu vertikaaljoone lõikepunktide ordinaadid.

Pöörlemistelje leidmisel on soovitatav töölaua algasendiks valida piki- ja põikkruvinihuti nullseis. Mõõtmise ja arvutamise tulemused pöörlemistelje leidmisel koondame tabelisse 2.2.

Pöörlemistelje koordinaatide leidmine

| | | Abstsiss | Ordinaat |
|--|-------|----------|----------|
| Töölaua algasend | | 0,000 | 0,000 |
| Trajektoori lõikepunktide koordinaadid | N_1 | | 0,000 |
| | N_2 | | 0,000 |
| | M_1 | 0,000 | |
| | M_2 | 0,000 | |
| Pöörlemistelje koordinaadid | O_x | | _____ |
| | O_y | _____ | |

Leitud pöörlemistelje koordinaatide järgi ühitame pöörlemistelje mikroskoobi optilise teljega, s.t. seame kruvinihutite trumlitele koordinaatidele vastavad näidud. Nüüd asendame nurgamõõteokulaari kaksikkujutisokulaarpeaga ja seame mõõdetava detaili töölaualle nii, et pooluseks valitud ava annaks vaateväljas ühe kujutise. Sel juhul asub ava telg mikroskoobi optilisel teljel ja seega ka töölaua pöörlemisteljel.

Mõõtmine ise on nüüd juba väga lihtne. Viseerinud vajaliku ava, loeme töölaua pöördenurga ja kruvinihuti näidu. Mõõtetulemused kanname tabelisse 2.3.

Töö vormistamine

Töö vormistatakse laboratoorse töö aruande näol.

Aruandes fikseeritakse kasutatud seadmed ja tarvikud ning mõõdetud detail. Kirjeldatakse väga lühidalt tehtud tööd.

Mõõtetulemused koondatakse tabelleisse.

T a b e l 2.3

Mõõtmine polaarkoordinaatides

| Ava nr. | Kruvini- huti nait mm x_n | Pikkus- plaadi mõõde mm x_m | Koordinaat toolaul mm $x' = x_n + x_m$ | Polaar- raadius mm $\rho_1 = x'_1 - x'_1$ | Polaar- nurk ° ψ | Nurka- de vahe $\psi_8 - \psi_{13}$ |
|---------|--------------------------------------|--|--|--|--------------------------------|---|
| 1 | | | | 0,000 | — | |
| 8 | | | | | | |
| 13 | | | | | | |

Mõõtetulemuste alusel koostatakse mõõdetud detaili joonis (vt. joon.2.4) mastaabis 2:1. Joonisel antakse ümarate avade koordinaadid detaili alumisest ja vasakust servast. Avad märgitakse ringidega $\emptyset 5$ mm. Avadel 8 ja 13 näidatakse nende asukoha raadius ava 1 suhtes ja märgitakse raadiuste vaheline nurk.

Kontrollküsimused

1. Suure instrumentaalmikroskoobi kasutusvõimalused.
2. Suure instrumentaalmikroskoobi okulaarpead.
3. Kaksikkujutisokulaarpea tööpõhimõte.
4. Suure instrumentaalmikroskoobi põhiparameetrid.
5. Mõõtmine ristkoordinaatides.
6. Mikroskoobi optikaskeem.
7. Mõõtmine polaarkoordinaatides.
8. Töölaua pöörlemistelje leidmine.
9. Noonlused instrumentaalmikroskoobil.

UNIVERSAALNE MÕÕTEMIKROSKOOP

Töö eesmärk. Tutvuda universaalse mõõtemikroskoobi ja tema tarvikute (mõõtenoad, optiline kombits, pöördlaud) töö- põhimõtte, konstruktsiooni ning kasutamise võtetega. Õppida töötama nimetatud riistadega.

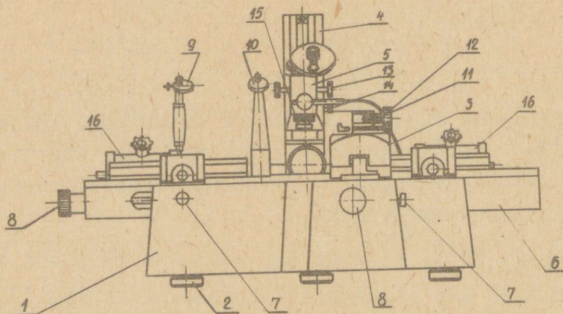
Ülesanne. Mõõta väliskeerme keskmine läbimõõt ning samm ja silindrilise ava läbimõõt ning ümaruse hälve.

Kasutatavad vahendid. Universaalne mõõtemikroskoop YIM-21 koos tarvikutega (mõõtenugade komplekt, pöörd- laud CT-2; optiline kombits W30-1).

Mõõtevahendid

Universaalne mõõtemikroskoop YIM-21 võimaldab mõõta koguväärtuse meetodil joonmõõtmeid nii rist- kui ka polaar- koordinaatides ja nurki kõige erinevama konfiguratsiooniga detailidel (šabloonid, nukid, lõikeriistad, keermestatud de- tailid jne.). Mikroskoobiga võib mõõta projektsioon- (vari- meetodil ja telglõikemeetodil (mõõtenugade abil). Peale üksikute erandite (optiline kombits, mõõtmise vertikaalsiis) on mikroskoop ette nähtud kontaktita mõõtmiseks.

Mikroskoobi aluseks on säng 1 (joon.3.1), mis toetub kolmele reguleeritavale tugikruvile 2. Sängi täpsetel juht- pindadel liigub vabalt pikikelk 6 ja põikkelk 3. Kelkude va- jalik asend fikseeritakse kruvidega 7. Pärast fikseerimist on kelkude asend kruvinihutite 8 abil ± 5 mm ulatuses täp- sustatav. Kelgu asendi määramiseks kasutatakse lattkriips- mõõtu, milleks on pikikelgul 200 mm pikkune ja põikkelgul 100 mm pikkune liikumatult kelgule kinnitatud klaaskaala. Skaala jaotise väärtus $c = 1$ mm. Skaalade lugemiseks on sän- gile kinnitatud lugemimikroskoop 9 pikikelgu skaala kohal



Joon. 3.1. Universaalne mõõtemikroskoop.

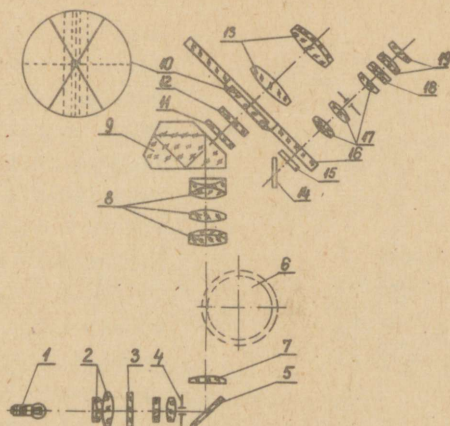
ja 10 põikkelgu skaala kohal. Lugemimikroskoobid on varustatud okulaarspiraalsooniustega, mille lugemitäpsuseks on 0,001 mm.

Pikikelgule kinnitatakse tsentripukkide 16, töölaua, pöördlaua või mõne muu tarviku abil mõõdetav detail.

Põikkelgule on monteeritud samm 4, millele on kronsteini abil kinnitatud seadme peamikroskoop 5. Fokuseerimiseks on mikroskoop sambal püstsihis nihutatav kremaljeeri 13 abil. Liikumine pärsitakse käepidemega 14. Peenfokuseerimine toimub rõnga 15 pööramisega.

Mikroskoobi optilise telje suhtes kaldu asetatud objektide (näiteks tsentrites kinnitatud detaili keermeniidid) viseerimiseks on peamikroskoop koos sambaga käepideme 11 abil kallutatav $\pm 12^\circ$ ulatuses. Mikroskoobi telje püstsihi määrab fiksaator 12.

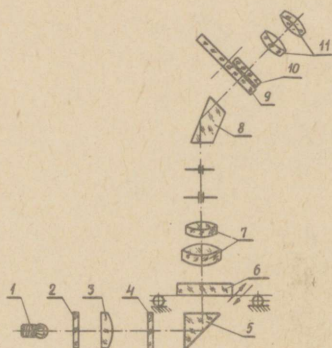
Peamikroskoobi optikaskeemis (joon.3.2) on valgusallikas 1, vahetatav kondensator 2, valgusfilter 3, diafragma 4, peegel 5 ja lääts 7 vaadeldava eseme 6 ühtlaseks valgustamiseks. Eseme kujutis antakse läbi mikroskoobi objektiivi 8, kujutist pöörava ja kallutava prisma 9 ja kaitseklaaside 11 ning 12 okulaarvõrgule 10. Okulaarvõrku ja sellele tekkinud



Joon. 3.2. Peamikroskoobi optikaskeem.

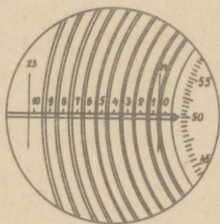
eseme kujutist vaadeldakse läbi okulaari 13. Okulaarpead on vahetatavad, toodud skeemil on neist kujutatud nurgamõõte-okulaar. Okulaarvõrk on koos temaga liikumatult seotud limbiga 16 pööratav täispöörde ulatuses. Limbi jaotise väärtus $c=1^\circ$. Okulaarvõrgu pöördenurk loetakse limbilt väikese lugemimikroskoobi abil, mis koosneb reguleeritavast peeglist 14, valgusfiltrist 15, objektiivist 17 ja okulaarist 19. Okulaarooniuseks kasutatakse nurgalugemimikroskoobis liikumatut skaalat 18, mille pikkus võrdub täpselt limbi jaotise kujutise pikkusega ja mis koosneb 60 jaotisest. Liikumatu skaala jaotise väärtuseks ja ühtlasi nurga lugemitäpsuseks on seega $1'$.

Piki- ja põikkkelgu lugemimikroskoopide optikaskeemid (joon. 3.3) on põhimõtteliselt sarnased. Lamp 1 valgustab läbi valgusfiltri 2, kondensori 3, kaitseklaasi 4 ja prisma 5 kelgule kinnitatud skaalat 6. Skaala kujutis antakse läbi ob-



Joon.3.3. Lugemimikroskoobi optikaskeem.

rataval plaadil on kaksikspiraal, mille samm võrdub liikumatu skaala jaotise pikkusega, ja saja jaotisega ühtlane ringskaala. Ringskaala nullasendis ühtivad spiraali keerud liikumatu skaala kriipsudega. Seega jaotab ringskaala liikumatu skaala jaotise sajaks võrdseks osaks ja ringskaala jaotise väärtus $c'' = 0,001$ mm. Okulaarnooniuse lugemiseks pööratakse spiraali koos ringskaalaga seni, kuni spiraali kaksikkriips haarab täpselt põhiskaala kriipsu. Lugemimikroskoobi vaateväljas (joon.3.4) näidatud skaalade asendi korral on lugem 24,050.



Joon. 3.4. Lugemimikroskoobi vaateväli.

jektiivivi 7 ja prisma 8 okulaarvõrgu 9 ja 10 taandasse. Kujutist vaadeldakse läbi okulaari 11. Okulaarnooniuseks kasutatakse spiraalnooniust, mis koosneb liikumatust skaalast plaadil 10 ja pööratavast klaasplaadist 9. Liikumatul skaalal on 10 jaotist ja tema pikkus võrdub millimeeterskaala jaotise pikkusega, seega jaotise väärtus $c' = 0,1$ mm. Liikumatul klaasplaadil on veel viit ringskaala lugemiseks. Pöör-

Universaalse mõõtemikroskoobi vea piir sõltub mõõtmisviisist ja kasutatavaist vahendeist.

Seadme instruksiooni kohaselt on vea piir projektsioonmeetodi korral keermes keskmise diameetri mõõtmisel

$$\pm \left(4 + \frac{2}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{67} \right) \mu m$$

ja keermesammu
mõõtmisel

$$\pm \left(1 + \frac{2}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{32} \right) \mu m.$$

Telglõike meetodit (mõõtenugasad) kasutades on samad vead vastavalt

$$\pm \left(1 + \frac{1,7}{\sin \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{67} \right) \mu m$$

ja

$$\pm \left(1 + \frac{1,7}{\cos \frac{\alpha}{2}} + \frac{L}{67} \right) \mu m,$$

kus α - keermes profiilnurk ja

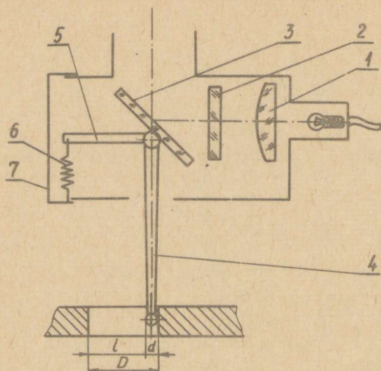
L - mõõdetav pikkus millimeetrites.

Mõõtenugade komplekti kuuluvad peale nugade (parempoolne, vasakpoolne, suur, väike ja sirge) veel täpse paksusega tugiplaadid nugade toetamiseks ja vedruhoidurid nugade kinnitamiseks. Peamikroskoobi objektiivi ette asetatakse nuga-dega mõõtmisel erilise klaasiga istak, mis peegeldab osa objektiivi langevast valgusest tagasi töölauale, parandades sel viisil nugade pealispinna valgustatust.

Optiline kombits ИЗО-1 on mõõtemikroskoobi lisaseade haaravate mõõtmete (ava diameeter, soone laius, vahekaugus jne.) kontaktmõõtmiseks.

Kombits (joon.3.5) kinnitatakse peamikroskoobi objektiivi (suurendusega 3x) ette spetsiaalse kinnitusmutriga.

Kombits koosneb valgustist, mis läbi kondensori 1 valgustab kolme kaksikkriipsuga klaasplaati 2. Klaasplaadi asend on piki telge reguleeritav, mis võimaldab anda kaksikkriipsude terava kujutise peegli 3 abil peamikroskoobi okulaarvõrgule. Peegel ja temaga liikumatult ühendatud varvad 4 ning 5 on asetatud liigendile. Varval 4 asetseb mõõteotsik. Varvale 5 on kinnitatud mõõtejõudu andev vedru 6. Vedru teine ots on kinnitatud rõngale 7, mille pööramisega 180° võrra on võimalik muuta mõõtejõu suunda sama nurga võrra.



Joon. 3.5. Optiline kombits.

seotud ava mõõtmega D järgmise valemi kaudu:

$$D = l + d,$$

kus d on mõõteotsiku diameeter.

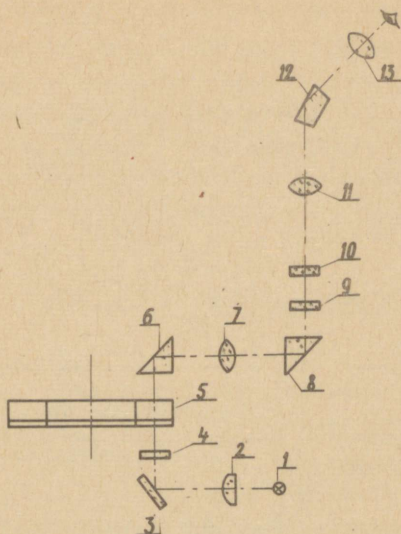
Kombitsa näiduveaks loetakse

$$\pm \left(1,5 + \frac{L}{100} \right) \mu m,$$

kus L on mõõdetav pikkus millimeetrites.

Pöördlaud CT-9 on rõhtne täisringi ulatuses pööratav laud, mille pöördenurk on loetav limbilt. Universaalse mõõtemikroskoobi lisaseadmena võimaldab ta mõõta mitmesuguste detailide nurkasid ja polaarkoordinaate.

Pöördlaua optikaskeemis (joon.3.6) kindlustavad valgusti 1, kondensor 2, peegel 3 ja valgusfilter 4 töölauaga koos pöörduva limbi 5 ühtlase valgustatuse. Limbil on nurgaskaala 360° ulatuses jaotise väärtusega $c=1^\circ$. Limbi loetakse mikroskoobiga, mis peale objektiivi 7 ja okulaari 8 sisaldab prismsid 6, 8 ning 12, kaitseklaasi 10 ja gabariidi suurendamiseks läätsede süsteemi 11. Okulaarooniuseks on lugemimikroskoobis 120 jaotisega liikumatu skaala 9, mille pikkus



Joon. 3.6. Pöördlaua optika-
skeem.

Töö käik

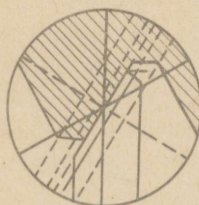
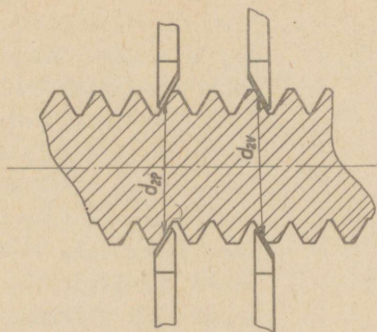
Keerme keskmine diameeter. Mõõdetav keermekaliiber asetatakse ettevaatlikult (valgusti lääts on kaitsmatult töö-
laua all) tsentrite vahele. Kasutatakse kolmekordse suurendusega objektiivi. Kontrollitakse, kas mikroskoobi samm on püstasendis, diafragma täielikult avatud ja objektiivi ees poolläbilaskva klaasiga istak.

Kinnitatakse pikikelgu pealispinnale mõõtenugade tugiplaadid ja nende peale vedruhoidurid. Kahest ühenimelisest (parem- või vasakpoolsed) mõõtenoast asetatakse üks kummalegi poole keermekaliibrit vedruhoiduri alla ja nihutatakse mõlemad ühe keermeniidi vahetusse lähedusse (joon. 3.7). Tuuakse peamikroskoop noa kohale ja jälgides mikroskoobis noa liikumist viiakse nuga lõtkuta kontakti keerme profiiliga (mitte libistada nuga piki profiili). Sama tehakse teise noaga.

võrdub nurgaskaala jaotise kujutise pikkusega. Liikumatu skaala jaotise väärtus $c' = 30''$.

Pöördlaud toetatakse nelja kaabitsetud pinnaga pikikelgu pealispinnale, tsentreeritakse laua keskel oleva kaksikristiga korgi abil ja kinnitatakse kruviga. Mõõdetav detail kinnitatakse pöördlauale ringsoonnes liikuvate vedruhoiduritega.

Laua pöördnurga viga on $\pm 15''$.



Joon.3.7. Keermese keskmise diameetri mõõtmine parem- ja vasakpoolsete nuga- dega.

Joon.3.8. Parempoolse keermemõõteno- va viseerimine.

Nihutades ainult põikkelku, viseeritakse nuga- de kriipse okulaarvõrgu vastava kriipsuga (joon.3.8) ja fikseeritakse kelgu asendi näidud.

Sama mõõdetakse mõnes teises lõikes vastaspoolsete nu- gadega. Keermese keskmine läbimõõt arvutatakse tabelis 3.1.

T a b e l 3.1

Keermese keskmise läbimõõdu mõõtmine

| Kasutatud mõõtenoad | | Parempoolsed PJM nr.....; nr..... Vasakpoolsed PJM nr.....; nr..... | | |
|-------------------------------------|-------------------|--|----------------------------|-----------------------------------|
| | | Parempoolse profiili järgi | Vasakpoolse profiili järgi | Keermese keskmine diameeter |
| Põikkelgu lugemi mikroskoobi näidud | N_1 | | | $d_2 = \frac{d_{2v} + d_{2p}}{2}$ |
| | N_2 | | | |
| Näitude vahe | $d_2 = N_1 - N_2$ | $d_{2p} =$ | $d_{2v} =$ | |

Keerme samm. Keerme sammu mõõtmiseks asetatakse kaks ühelimelist nuga ühele poole mõõdetavat keeret võimalikult kaugemale teineteisest (ca 1/2 sammu keerme algusest ja lõpust). Sammu mõõtmisel nihutatakse ainult pikikelku. Mõõdetakse kahes erinevas lõikes (pööratakse mõõdetavat detaili tsentrite vahel) vasak- ja parempoolsete mõõtenugadega. Mõõtetulemused kantakse tabelisse 3.2.

T a b e l 3.2

Keerme sammu mõõtmine

| Kasutatud mõõtenoad | | Parempoolne PJM nr.....; nr..... Vasakpoolne PJM nr.....; nr..... | | |
|------------------------------------|-------------------|--|----------------------------|-------------------------------------|
| | | Parempoolse profiili järgi | Vasakpoolse profiili järgi | Keerme samm |
| Pikikelgu lugemimikroskoobi näidud | N_1 | | | $S_n = \frac{S_{np} + S_{nv}}{2} =$ |
| | N_2 | | | |
| Näitude vahe | $S_n = N_1 - N_2$ | $S_{np} =$ | $S_{nv} =$ | $S = \frac{S_n}{n} =$ |

Silindrilise ava kontaktmõõtmiseks asetatakse objektiviivette valgustusistaku asemele optiline kombits. Teravustatakse kaksikkriipsude kujutised ja reguleeritakse nende sihtparalleelseks okulaarvõrgu püstkriipsuga.

Pikikelgule kinnitatakse pöördlaud, millele kruvitakse külge okulaartoru ja valgusti. Valgusti ühendatakse universaalse mõõtemikroskoobi transformatoriga.

Pöördlauale asetatakse mõõdetav detail, antakse talle silma järgi keskne asend laual ja kinnitatakse vedruhoiduritega.

Peamikroskoobi kremaljeeri abil viiakse mõõdetavasse mõõdetavasse avasse umbes 10 mm sügavusele ava ülemisest servast ja pikikelguga nihutatakse ava kontakti otsikuga.

Põikkelgu aeglase nihutamisele leitakse talle koht, mis vastab kaksikkriipsude ekstreemsele asendile mikroskoobi vaateväljas.

Selles asendis mõõdetakse ava läbimõõt.

Edasi pööratakse töölauda 30° võrra, nihutatakse põikkelk jälle asendisse, mis võimaldab mõõta läbimõõtu (mitte kõõlu) ja tehakse järgmine mõõtmine. Sel viisil mõõdetakse 12 läbimõõtu. Tulemused kantakse tabelisse 3.3.

T a b e l 3.3

Ava diameetri mõõtmine

Optiline kombits nr.....; otsiku diameeter $d =$ mm

| Jrk. nr. | Pöörde- nurk o | Näit | | Näitade vahe $l = N_1 - N_2$ | Ava läbimõõt $D = l + d$ mm | Kujuhälve $D_k - D$ mm | Keskmine läbimõõt D_k mm |
|----------|----------------------|-------|-------|------------------------------------|--------------------------------------|------------------------------|---|
| | | N_1 | N_2 | | | | |
| | | | | | | | $D_k = \frac{D_1 + D_2 + \dots + D_n}{n}$ |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

Töö vormistamine

Töö vormistatakse laboratoorse töö aruande näol.

Aruandes loetletakse kasutatud seadmed ja mõõdetud detailid. Kirjeldatakse lühidalt üksikute võtete kaupa tehtud tööd.

Mõõtmistulemused ja vajalikud arvutused koondatakse tabelleisse.

Ava mõõtmistulemuste alusel joonestatakse keskmise dia-

meetriga (D_k) ava mõõtkavas 1:1 ja sellele sobiva suurendusega ümaruse häälve.

Kontrollküsimused

1. Universaalse mõõtemikroskoobi kasutusvõimalused.
2. Universaalse mõõtemikroskoobi põhimõtteline ehitus.
3. Universaalse mõõtemikroskoobi tarvikud.
4. Seadme УИМ-21 mikroskoobid.
5. Lugemimikroskoopide okulaarooniused.
6. Pöördlaua skeem.
7. Optilise kombitsa töö põhimõte.
8. Pöördlaua okulaarooniuse.
9. Mõõtenugade kasutamise mõte.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 4

INTERFERENTSMIKROSKOOP

Töö eesmärk. Tutvuda pinnakareduse mõõtmise meetodite ja vahenditega.

Ülesanne. Mõõta nelja proovikeha pinnakonaruste keskmise kõrgus R_z .

Kasutatavad vahendid. Interferentsmikroskoop МИИ-4 koos okulaarkruvikuga МОБ.

Mõõtevahendid ja mõõtmiste käik on kirjeldatud laboratoorsete tööde juhendite kogumikus Н.Н. Зябрева, М.Я. Шегал, Лабораторные занятия по курсу "Основы взаимозаменяемости и технические измерения", "Машиностроение", М. 1966, lk. 303... 306, 311...319.

Valge valguse keskmiseks lainepikkuseks lugeda $\lambda = 0,6 \mu\text{m}$.

Aruandes esitada mõõtetulemused tabeli kujul ja arvutada

proovikehade pinnakaredust iseloomustav konaruste keskmine kõrgus R_z vastavalt GOST 2789-73.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 5

OPTIMEETER

Töö eesmärk. Tundma õppida optimeetri ehitust ja kasutamise võtteid.

Ülesanne. Taadelda vertikaalne optimeeter vastavalt instruksiooni 108-55 punktidele 2; 3; 5 ja 7. Enne taatlemist varustada optimeeter ekraaniga ja reguleerida töölaud paralleelseks tasapinnalise mõõteotsikuga (vt. instruksiooni 108-55 lisa 3).

Kasutatavad vahendid. Vertikaalne optimeeter; pikkusplaatide komplekt.

Mõõtevahendid ja taatlemise käik on kirjeldatud laboratoorsete tööde juhendite kogumikus Н.Н. Зябрева, М.Я. Шегал, Лабораторные занятия по курсу "Основы взаимозаменяемости и технические измерения", "Машиностроение", М. 1966, lk. 76... 83 ja инструкция 108-55 по проверке вертикальных и горизонтальных оптиметров.

Taatlemise tulemused esitada tabelite kujul. Iga taateldud parameetri kohta teha otsus tema vastavuse kohta optimeetrile esitatavatele tehnilistele nõuetele.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 6

MINIMEETER JA SÜGAVUSKRUVIK

Töö eesmärk. Tutvuda minimeetri ja sügavuskruviku töö-
põhimõtte ja kasutamise võtetega.

Ülesanne. Taadelda laia skaalaga minimeeter vastavalt instruksiooni 133-55 punktidele 6 ja 7 ning sügavuskruvik vastavalt GOST 15985-70 punktidele 3.5; 3.6; 3.7 ja 3.12.

Kasutatavad vahendid. Laia skaalaga minimeeter jaotise väärtusega $c = 0,001$ mm, pikkusplaatide komplekt, sügavuskruvik, väliskruvikud 25...50 mm, 50...75 mm, 75...100 mm ja 100...125 mm, tasapinnaline klaasplaat.

Juhendid tööks:

- a) инструкция 133-55 по поверке миниметров;
- b) ГОСТ 15985-70 глубиномеры микрометрические.

Taatlemise tulemused esitada tabelite kujul. Iga taadeldud parameetri kohta teha otsustus tema vastavuse kohta mõõtevahendile esitatavatele nõuetele.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 7

КОНТАКТИНТЕРФЕРОМЕТЕР

Töö eesmärk. Tundma õppida kontaktinterferomeetrit ja tema kasutamise võtteid.

Ülesanne. Määrata kontaktinterferomeetri ИКПВ abil tegeliku pikkuse omavaheline erinevus ja tasaparalleelsuse hälve kahel rühmal pikkusplaatidel (nominaalmõõtmega 10 ja 50 mm).

Kasutatavad vahendid. Kontaktinterferomeeter ИКПВ, pikkusplaadid nominaalmõõtmega 10 ja 50 mm.

Mõõtevahend ja mõõtmise käik on kirjeldatud laboratoorse te tööde juhendite kogumikus Н.Н. Зябрева, М.Я. Шегал, Лабораторные занятия по курсу "Основы взаимозаменяемости и технические измерения", "Машиностроение", М. 1966, lk. 23...24 ja 34...40.

Mõõtmistulemused esitada tabeli kujul. Tulemuste alusel otsustada, millisesse klassi võiksid mõõdetud pikkusplaadid

kuuluda tasaparalleelsuse ja pikkuse hälbe järgi, juhul kui lähteplaadi pikkus lugeda võrdseks nominaalmõõtmega.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 8

VERTIKAALNE PIKKUSMÕÖTUR

Töö eesmärk. Tundma õppida vertikaalset pikkusmõõturit ja temal mõõtmise võtteid.

Ülesanne. Taadelda vertikaalne optiline pikkusmõõtur vastavalt GOST 8.114-74 punktidele 3.3; 3.11; 3.13; 3.14; 3.15; 3.16; 3.19 ja 3.20.

Kasutatavad vahendid. Vertikaalne optiline pikkusmõõtur ИЗВ-1, stopper, pikkusplaatide komplekt.

Mõõtevahendid ja taatlemise käik on kirjeldatud:

a) laboratoorsete tööde juhendite kogumikus Н.Н. Зябрева, М.Я. Шегал, Лабораторные занятия по курсу "Основы взаимозаменяемости и технические измерения", "Машиностроение", М. 1966, lk. 100...107;

b) GOST 8.114-74 Длиномеры вертикальные оптические. Методы и средства поверки;

c) GOST 14028-68 Длиномеры оптические.

Taatlemise tulemused koondada tabelleisse. Iga taadeldud parameetri kohta teha otsustus tema vastavuse kohta pikkusmõõturitele esitatavatele tehnilistele nõuetele.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 9

KRUVIKLOOD. OPTILINE KVADRANT

Töö eesmärk. Tutvuda kruvikloodi ja optilise kvadranti ehituse ja kasutamise võimalustega ning omandada nende mõõteriistadega töötamise kogemusi.

Ülesanne. Viia märkimislaud kruvikloodi abil horisontaalasesse. Väljarihitud laual mõõta optilise kvadrandi-
ga detaili nurgad.

Kasutatavad vahendid. Kruviklood, optiline kvadrant,
kaks komplekti lehtkaliibreid, märkimislaud.

Mõõtevahendid

Optiline kvadrant KO-1 (GOST 14 967-69 kohaselt KO-30) on ette nähtud silindriliste pindade ja tasapindade kaldenurga määramiseks, samuti nende ülesseadmiseks vajaliku nurga all horisontaaltasapinna suhtes.

Tehnilised andmed

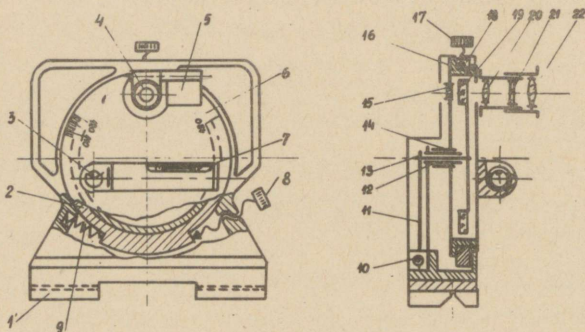
| | |
|---------------------------------------|-----------------|
| Suurim lubatud viga | $\pm 30''$ |
| Lugemistäpsus | 60'' |
| Mõõtepiirkond limbi järgi | $\pm 120^\circ$ |
| Põhiloodi (pikiloodi) jaotise väärtus | 30'' |
| Ristoloodi jaotise väärtus | 4' |
| Jämelimbi jaotise väärtus | 1° |
| Täpse limbi jaotise väärtus | 60' |
| Gabariidid | 85x140x156 mm |
| Mass | 2,5 kg |

Ehitus. Optiline kvadrant koosneb alusest 1 (joon. 9.1), mis on kinnitatud käepidemetega varustatud korpuse 2 külge, mikroskoobist 4 peegli- ja 5, limbide 19 ja 6, ühes raamis olevast pikiloodist 7 ja ristloodist 3, pärsist 17 koos rõnga- ja 18 ja peenreguleerimise mehhanismist 8 ja 9.

Lugemimikroskoop koosneb objektiivist 20, okulaarist 22 ja nende vahel olevast klaasplaadist 21. Viimasele on kantud kaks liikumatut skaalat (joon. 9.2) 60 jaotisega, mis asuvad teineteise kohal ja on nummerdatud vastassuundades.

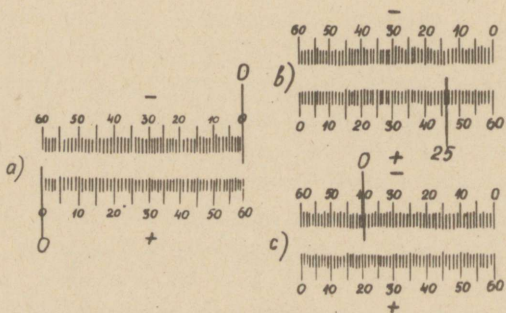
Liikumatu skaalade jaotise väärtus on 1'. Mikroskoobi vaateväljas mahuvad need 60 jaotist täpselt limbi kahe kõrvuti asetseva jaotise vahele ja võimaldavad seega limbi jaot-

tise jagada 60-ks osaks. Lugemise mugavuse mõttes on üks skaala tähistatud plussmärgiga (+), teine miinusmärgiga (-).



Joon. 9.1. Optilise kvadrandi ehituse skeem.

Peejel 5 (joon. 9.1) on pööratav kahes suunas ja võimaldab mugavalt jälgida loodi 7 nullasendit.



Joon. 9.2. Vaade skaalale mikroskoobi vaateväljas lugemite puhul:
 a) $0^{\circ} 0' 0''$; b) $+25^{\circ} 46' 30''$; c) $-0^{\circ} 39' 30''$.

Limb koosneb klaaslimbist 19, hoidekettast 16 ja reast vahedetailidest. Limbile on kantud kaks erineva raadiusega ringskaalat $\pm 0...120^{\circ}$ jaotise väärtusega 1° . Limbi valgustakse läbi filtri 15.

Kaant 6 koos temale kinnitatud mikroskoobi 4 ning loodidega 6 ja 7 on võimalik pöörata korpuse 2 ja limbi 19 suhtes. Kaane 6 täpse asendi fikseerimiseks on pärss 17 ja rõngas 18.

Pärssi kinnitamisel ühendub rõngas 18 kettaga 16, mis omakorda on jäigalt ühendatud kaanega 6.

Rõnga 18 alumises osas olev sektor on vedruka 9 surutud vastu reguleerimiskruvi 8. Kruvi pööramine võimaldab väikeses ulatuses täpsustada kaane 6 ja temale kinnitatud seadiste asendit. Pärssi vabastamisel on aga kaant võimalik vabalt pöörata kogu skaala ulatuses.

Ketas 16 koos kõigi temaga seotud osadega on kinnitatud puksile 14, mis saab pöörduda puksil 12. Viimane on kinnitatud liikumatult korpuse 2 külge. Puksi 12 läbib telg 13, millele on kinnitatud limb 19. Teljele 13 on kinnitatud veel hoob 11, mis on korpusega 2 ühendatud justeerimiskruvide 10 abil. Justeerimiskruvid võimaldavad pöörata limbi 19 väikeses ulatuses korpuse 2 suhtes, seega täpsustada nulli asukohta, mida tehakse kvadrandi justeerimisel, mitte mõõtmisel.

Kaane 6 ligikaudse pöördenurga määramiseks võib kasutada kaanele kantud jämelimbi.

Pikiloodi 7 ampulli jaotise väärtus on $30''$. Pikilood on mõõtmisel põhiloodiks. Ristolood 3 jaotise väärtusega $4'$ on ette nähtud kvadrandi horisontaalasendi kontrollimiseks põiksihis.

Lugemi saamine. Kraadide arv saadakse skaala kriipsu kujutise kohalt, mis jääb mikroskoobi nooniusse skaala piirkonda. Kraadide skaala kriips on viidaks mikroskoobi nooniusse skaalale. Minutid loeme viida kohalt nooniuselt. Lugemi tegemisel tuleb tähele panna märki (- või +). Selgituseks vaata joonist 9.2. Minuti osasid hindame silmaga.

Kaldenurga mõõtmise. Mõõtmiseks tuleb kvadrant asetada mõõdetavale pinnale. Tasapinna puhul peab kvadranti pöörama tasapinnal nii, et ristloodi mull oleks ampulli keskkohas täpsusega $\pm 0,5$ jaotist. Sellega on põhilood orienteeritud piki tasapinna langust. Silindrilise pinna puhul tuleb kvadranti keerata ümber silindri telje, kuni ristloodi mull jääb keskele. Edasi vabastada pärss 17 (joon. 9.1) ja keerata kaant 6, kuni ka pikiloodi 7 mull jääb ligikaudu keskele. Seejärel kinnitada pärss 17 ja reguleerimiskruvi 8 abil viia loodi 7 mull täpselt keskele. Seejuures jälgida, et ristloodi 3 mull ei nihkuks ära keskasendist. Nüüd teeme mikroskoobist lugemi, mis annabki mõõdetava pinna kalde horisontaaltasapinna suhtes.

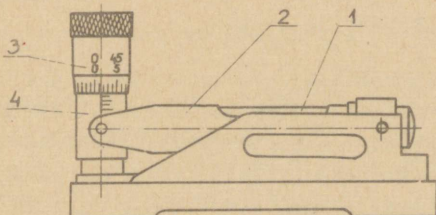
Pinna ülesseadmine ettenähtud nurga all horisontaaltasapinna suhtes. Selleks vabastada pärss 17 ja keerata kaant 6, kuni saame skaalal ligikaudu vajaliku nurga. Seejärel pärsime kaane ja keerame kruvi 8 abil näidu täpselt, jälgides limbi läbi mikroskoobi. Asetame kvadranti antud pinnale ja kallutame seda, kuni nii piki kui ka ristloodis mullid jäävad keskasendisse. Tulemuseks on pinna vajalik kalle horisontaaltasapinna suhtes.

Kahe pinna omavahelise kalde määramine. Kahe pinna vahel oleva nurga väärtuseks on nende pindade kaldenurkade (horisondi suhtes) vahe. Seejuures ei ole kvadranti justeerimise täpsusel tähtsust, sest vead taanduvad välja, küll aga tuleb silmas pidada, et mõõdetav detail oleks mõõtmise vältel ühes ja samas asendis.

Kruviklood on ette nähtud tasapinnaliste ja silindriliste pindade horisontaalasendi kontrollimiseks. Laboratoorses töös kasutataval kruvikloodil on jaotise väärtus trumlil 0,1 mm/m ja varrel 5 mm/m, mõõtepiirkond ± 30 mm/m ($\approx \pm 1^{\circ}43$).

Kruvikloodi põhielemendiks on ampull 1 (joon. 9.3), mis on ümbritsetud kestaga 2. Ampull on kambrilise ehitusega, võimaldades seega reguleerida õhumulli pikkust, mis võib muuta sõltuvalt temperatuurist. Horisontaalasendi kontrolli-

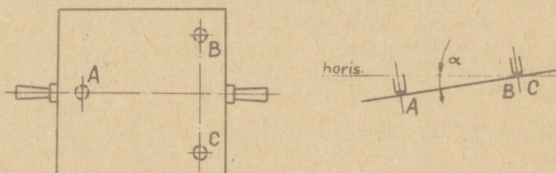
miseks tuleb õhumull viia ampullil oleva skaala keskele trumli 3 pööramisega. Hälbe horisontaalasendist loeme trumli 3 ja varrel 4 olevate skaalade abil.



Joon. 9.3. Kruviklood.

Töö käik

Töölaua horisontaalasendisse rihtimine. Rihtimise lihtsustamiseks leitakse (väikest märkimislauda suurel pöörates) kruvikloodi abil väikese märkimislauda selline asend, kus punkt A asetseb punktidest B ja C madalamal (vt. joon. 9.4).



Joon. 9.4. Märkimislauda rihtimine.

Jättes märkimislauda leitud asendisse, mõõdetakse kruvikloodiga laua kalle suunal BC. Rihtimiseks asetatakse märkimislauda jala (B või C) alla lehtkaliiber, mille paksus arvutatakse valemiga

$$H = 0,022 \cdot n \text{ mm,}$$

kus n - loetud jaotiste arv kruvikloodi trumli.

Seejärel mõdetakse laua kalle BC ristsuunal. Rihtimiseks asetatakse jala A alla lehtkaliiber, mille paksus leitakse eespool toodud valemiga. Pärast väljarihtimist mõõta kruvikloodiga märkimislaua tegelik jääkhälve horisondist kahes sihis (siht BC ja sellega risti).

Mõõtmine. Väljarihitud märkimislauale asetatakse mõdetav detail. Optilist kvadranti kasutades mõdetakse detaili pindade kalded horisontaaltasapinna suhtes. Detail mõdetakse kahes erinevas, vabalt valitud asendis.

Pindade kallete põhjal arvutatakse detaili nurgad järgmise valemiga:

$$\angle MN = 180^\circ - |\angle MH - \angle NH|,$$

kus M' ja N on pinnad, mille vahelist nurka on vaja leida, ja $\angle MH$ ning $\angle NH$ vastavate pindade kalded horisontaaltasapinna suhtes. Arvestada ka kalde suunda (+ või -).

Mõõtetulemused kanda järgmisse tabelisse:

| Detaili asend | Pinna tähis | Nurk pinna ja horisontaaltasapinna vahel (kraadi) | Nurga tähis | Nurga suurus (kraadi) |
|---------------|-------------|---|-------------|-----------------------|
| I | A | | AB | |
| | . | | BD | |
| | . | | DC | |
| | . | | CA | |
| II | . | | AB | |
| | . | | BD | |
| | . | | DC | |
| | . | | CA | |

Töö vormistamine

Töö vormistatakse laboratoorse töö aruandena. Aruanne peab sisaldama:

- 1) kasutatud seadmete loetelu ja nende tehnilised andmed;
- 2) töö käigu lühikese kirjelduse;
- 3) mõttetulemused tabeli kujul;
- 4) detaili jconise koos pindade ja nurkade tähistamisega ning detaili asendite skitsid.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 10

NURGAMÕÖTURID

Töö eesmärk. Tutvuda nurgamõõturitega, nende konstruktsiooni ja kasutamise võtetega.

Ülesanne. Taadelda nooniusega nurgamõõtur ja optiline nurgamõõtur.

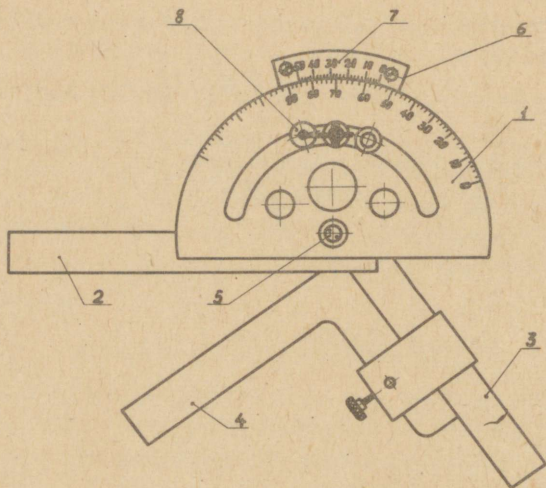
Kasutatavad vahendid. Nooniusega nurgamõõtur JM (YT), optiline nurgamõõtur YO, nurgaplaadid, kruvik.

Mõõtevahendid

Nurgamõõtureid kasutatakse nurkade mõõtmiseks kontakt-meetodil.

Kõigil nurgamõõturite tüüpidel on kaks haara. Üks neist on ühendatud viida või nooniusega, teine on seotud nurgaskaalaga (limbiga). Esimene joonlaud pöörduv ümber telje, mis on samaaegselt ka nurgaskaala keskmeks. Mõõdetava nurga väärtuse määrab nurgaskaala ja viida vastastikune asend.

Nooniusega nurgamõõtur JM (varasem tähis YT) (joon. 10.1) koosneb poolkaarekujulisest skaalaga alusest 1, sektorist 6, millele on kinnitatud noonius 7, mõõdetava nurga haaradeks olevatest joonlaudadest 2 ja 3 ning kruvinihutist 8.

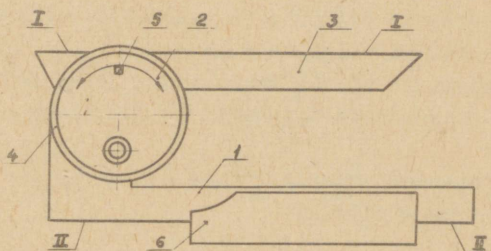


Joon. 10.1. Nooniusesega nurgamõõtur.

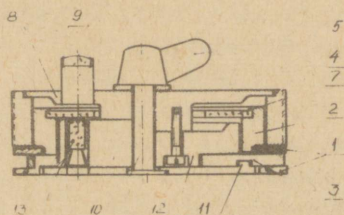
Limb, mille kese on teljel 5, on gradueeritud $0...120^{\circ}$ -ni jaotise väärtusega 1° . Nurkade mõõtmiseks vahemikus $0...90^{\circ}$ kinnitatakse joonlauale 3 nurgik 4. Mõõdetava nurga väärtus saadakse lugemi näol otse limbilt. Nurki vahemikus $90...180^{\circ}$ mõõdetakse lisanurgikut kasutamata. Sel juhul tuleb lugemile lisada 90° . Sektori täpseks nihutamiseks mõõtmisel kasutatakse kruvinihutit. Nooniusel 7 on 30 jaotist ja järelikult lugemi suuruseks nooniusse järgi ehk nooniusse lugemistäpsuseks on $2'$.

Optilise nurgamõõduri YO (joon. 10.2 ja 10.3) konstruktioonil kuulub lõhestatud joonlaud 1, mis on ühendatud keermesliite abil nurgamõõduri korpusega 2. Korpusesse on liikumatult kinnitatud limb jaotise väärtusega $10'$. Limbi skaala koosneb neljast veerandist, millest igaüks on varustatud

arv märkidega 0...90°-ni. Teist, vahetatavat joonlauda 3 on võimalik kinnitada nurgamõõturisse mistahes pikkusel. Selleks tuleb pöörata kangi 5. Ekstsentriline võll surub nüüd surveketta 11 tapi abil joonlaua vastu ketast 12. Ketas 12 ja kaas 8, millel asub luup 9, on ühendatud kruvidega ja moodustavad ühtse terviku. Vahetatava joonlaua pööramisel pöörduv ketas 12 koos indeksit kandva klaasplaadiga 13, kaanega 8 ja luubiga 9. Paigale jääb korpus limbiga. Joonlaudade vastastikune asend fikseeritakse välisvõru 4 pööramisega kellaosuti liikumise suunas.



Joon. 10.2. Optiline nurgamõõtur tarvikuga silindriliste detailide mõõtmiseks.



Joon. 10.3. Optilise nurgamõõturi ehitus.

Lugem võetakse luubi abil. Luubi vaateväljas on näha viit ja osa limbist.

Optilise nurgamõõturi komplekti kuuluvad kaks vahetatavat joonlauda pikkusega 150 ja 300 mm ning tarvik 6, mida kasutatakse silindriliste pindadega detailide mõõtmisel alusena.

Töö käik

Nurgamõõturite taatlemise eeskirjad on määratud standardiga GOST 13006-67*. Standard näeb taatlemisel ette järgmisi toiminguid:

- 1) mõõteriista välimuse ja osade koostöö kontroll;
- 2) skaalamärkide laiuse mõõtmine;
- 3) nooniusse ja skaala vahel oleva lõtku mõõtmine;
- 4) mõõtepinde tasapinnalisuse ja sirgjoonelisuse hälbe mõõtmine;
- 5) mõõtepinde pinnakareduse määramine;
- 6) näiduvea kontroll.

Käesolevas töös tuleb taadelda ainult nurgamõõturite näiduviga. Selleks mõõdetakse 2. täpsusklassi või 4. järgu nurgaplaate. Mõõtetulemuse ja nurgaplaadi nimiväärtuse võrdlemise alusel tehakse otsus nurgamõõturi näiduvea ja tema tööks kõlblikkuse kohta.

Mõõtmisel tuleb silmas pidada, et mõõtepinde ja nurgaplaadi vahel oleks ühtlase laiusega valguspilu.

Nurgamõõturi YM näitu kontrollitakse järgmise väärtusega nurgaplaatide või neist koostatud plokkide abil: 0° ; $15^{\circ}10'$; $30^{\circ}20'$; $45^{\circ}30'$; $60^{\circ}40'$; $75^{\circ}50'$ ja 90° , kasutades nurgikut, ja 90° ilma nurgikuta.

Näiduviga ei tohi olla suurem kui $\pm 2'$.

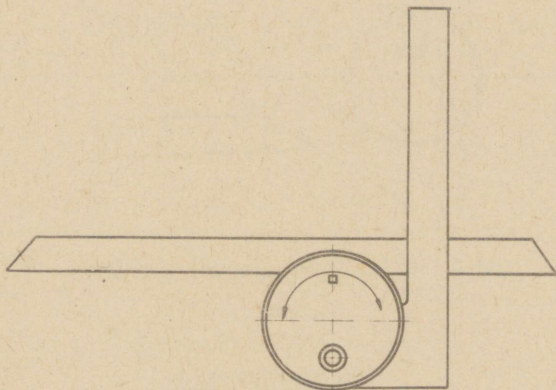
Optilise nurgamõõturi YO näitu kontrollitakse:

- 1) nurga väärtusel 0° joonisel 10.2 näidatud asendis. Nurgamõõturi näit viiakse 0° -le skaala järgi. Seejärel kontrollitakse kruviku abil tasapindade I-I ja II-II paralleel-

* ГОСТ 13006-67 Угломеры. Методы и средства поверки.

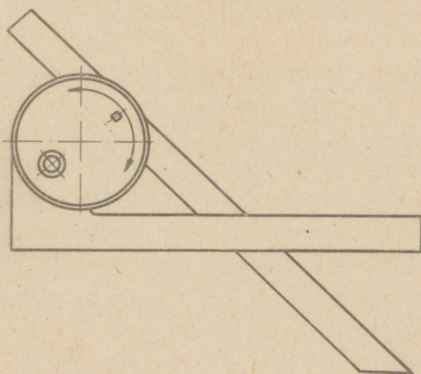
sust. Samuti kontrollitakse tasapinna I-I ja tarviku tugipinna paralleelsust, asetanud tarviku tugipinna alla pikkusplaa-di. Paralleelsushälbest arvutatakse näiduviga. Edasine taatlemine toimub nurgaplaatidega;

2) nurga väärtustel $15^{\circ}10'$; $30^{\circ}20'$ ja 90° joonisel 10.4 näidatud joonlaudade asendis (vasakpoolne nurk);



Joon. 10.4. Optiline nurgamõõtur.

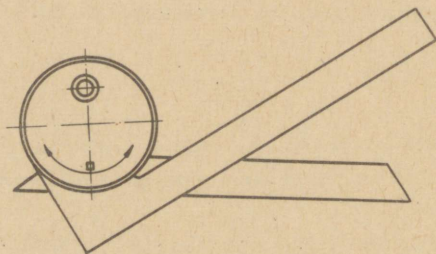
3) nurga väärtusel 45° joonisel 10.5 näidatud asendis mõlema joonlaua kasutamisel;



Joon. 10.5. Optiline nurgamõõtur.

4) nurga väärtustel $45^{\circ}30'$; $60^{\circ}40'$; $75^{\circ}50'$ ja 90° joonisel 10.6 näidatud joonlaudade asendis.

Näiduviga optilistel nurgamõõturitel ei tohi olla üle $\pm 5'$.



Joon. 10.6. Optiline nurgamõõtur.

Töö vormistamine

Töö vormistatakse laboratoorse töö aruande näol.

Aruandes fikseeritakse kasutatud seadmed ja nende tehnilised andmed, kirjeldatakse lühidalt tehtud tööd ja esitatakse nurgamõõturite asendite skeemid erinevate nurkade töötlemisel.

Mõõtetulemused esitatakse tabelite kujul.

T a b e l 10.1

Näiduvea kontrollimine nurgaplaatidega

| Katse nr. | Nurgamõõturi tüüp | Nurgaplaadi väärtus α | Näit α_n | Näiduviga $\Delta\alpha = \alpha_n - \alpha$ | Lubatud näiduviga | Otsus kõlblikkuse kohta |
|-----------|-------------------|------------------------------|-----------------|--|-------------------|-------------------------|
| | | | | | | |

Näiduvea kontrollimine paralleelsuse hälbe abil

| Katse nr. | Kontrollitav pind | Mõõde lõikes 1 m_1 | Mõõde lõikes 2 m_2 | Paralleelsuse hälve $H=m_1-m_2$ | Lähtepikkus I | Näiduviga $\Delta_a = \frac{H}{I}$ | Otsus kõlblikkuse kohta |
|-----------|-------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|---------------|------------------------------------|-------------------------|
| | | | | | | | |

Laboratoorne töö 11

SIINUSLAUD

Töö eesmärk. Tutvuda siinuslaua tööõhimoto, konstruktsiooni ja kasutamise võtetega.

Ülesanne. Mõõta tasapinna ja väliskoonuse moodustaja kaldenurk ning sisekoonuse tipunurk.

Kasutatavad vahendid. Siinuslaud koos tarvikutega, pikusplaatide komplekt, mikromõõtur, statiiv, märkimislaud ja nihik.

Mõõtevahendid

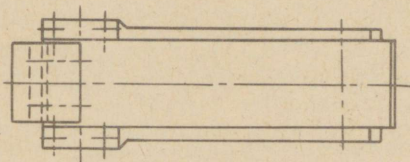
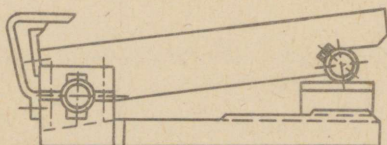
Siinuslaudu kasutatakse detailide ülesseadmiseks kindla nurga all lähtetasandi suhtes, selleks et neid mõõta või töödelda.

Siinuslaudu valmistatakse rullide vahekaugusega kuni 500 mm. Sõltuvalt konstruktsioonist jagunevad siinuslaud kolme tüüpi:

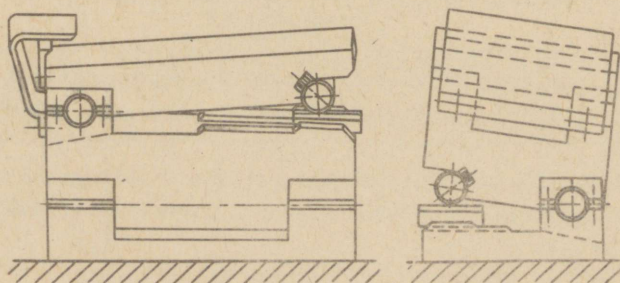
- 1) tüüp I ühesihilise kaldega ilma tugiplaadita (joon. 11.1);
- 2) tüüp II ühesihilise kalde ja tugiplaadiga (joon. 11.2);
- 3) tüüp III kahesihilise kaldega ja kahe tugiplaadiga (joon. 11.3).



Joon. 11.1. Alusplaadita siinuslaud (tüüp I).



Joon. 11.2. Alusplaadiga siinuslaud (tüüp II).



Joon. 11.3. Kahesihilise kaldega siinuslaud (tüüp III).

Valmistatakse 1. ja 2. täpsusklassi siinuslaudu. Täpsusklass määrab siinuslaua ülesseadenurga lubatud vea.

Siinuslaua vea piir tema seadmisel nurgale kuni 45° on 1. täpsusklassi korral $\pm 6... \pm 10''$ (sõltuvalt tüübist) ja 2. täpsusklassi korral $\pm 10... \pm 15''$.

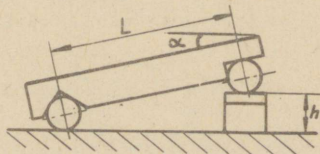
Siinuslaua põhimõõtmeks on rullide telgedevaheline kaugus L . Siinuslaudu valmistatakse telgede vahega 100; 200; 300 ja 500 mm. I tüüpi 1. täpsusklassi siinuslauda, mille rullide telgedevaheline kaugus $L=100$ mm ja laius $B=60$ mm, tähistatakse Лине́йка ЛС 1 - 100 × 60 кл. 1 ГОСТ 4046-71.

Siinuslaua konstruktsioon peab võimaldama lauda asetada $0...45^{\circ}$ nurga all. Laual peavad olema avad rakiste kinnitamiseks ja reguleeritav esi- ning külgl plaat mõõdetava detaili orienteerimiseks.

Nurkade mõõtmiseks, mis on väiksemad kui kaks kraadi, on II ja III tüübil tehtud rulli alla sisselõige sügavusega $3 \pm 0,001$ mm.

Laud, rullid, liistud ja tugiplaadid peavad olema termiliselt töödeldud (HRC vähemalt 60), tööpindade pinnasilemus peab olema $\nabla 11... \nabla 12$.

Joonisel 11.4 on näidatud siinuslaua ülesseadmine nurgale α .



Joon. 11.4. Siinuslaud.

Valem siinuslaua häälestamiseks:

$$\sin \alpha = \frac{h}{L},$$

kus α - ülesseadenurk;

h - pikkusplaatide ploki mõõde;

L - rullide telgedevaheline kaugus.

Töö käik

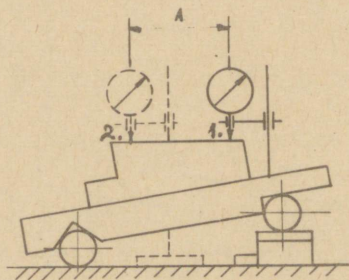
Pinna kaldenurga mõõtmine.

1. Uuritava detaili mõõtmete järgi või nurgamõõturi abil määrata detaili ligikaudne nurk α_{eel} . Saadud nurga järgi arvutada vajalik pikkusplaatide ploki kõrgus h.

2. Kinnitada uuritav detail siinuslauale. Et kindlustada detaili telje ja rulli telgede ristseisu, tuleb detail oma pikema küljega asetada vastu külgmist tugiplaati.

3. Koostada pikkusplaatide plokk.

4. Seada siinuslaud üles nurgale α_{eel} (joon. 11.5).



Joon. 11.5. Tasapinnalise detaili mõõtmine siinuslaual.

Kontrollida detaili ülemise pinna horisontaalsust mikromõõturi ja statiivi abil. Esimeses asendis häälestada mikromõõtur

näidule $h_1 = 0$ ja seejärel nihutada statiivi pikkuse A võrra.

5. Nihutuse lõpp-punktis tehakse lugem h_2 . Näitude vahe $\Delta h = h_2 - h_1$ annab uuritava detaili nurga hälbe ülesseade-nurgast nurgasekundites:

$$\Delta \alpha = \frac{\Delta h}{A} \cdot 2,06 \cdot 10^3 \text{ ''}$$

Mõõde A määrata nihikuga mõõdetavalt detaililt. Mõõtmist korrata 5 korda ja määrata hälvete aritmeetiline keskmine.

6. Arvutada nurga täpsustatud väärtus valemiga

$$\alpha_t = \alpha_{eel} + \Delta \alpha_k$$

ja seada siinuslaud nurgale α_t .

7. Mõõta 5 korda nagu punktis 4 ja arvutada hälbe $\delta \alpha_k$ abil nurga lõplik väärtus.

Tulemused koondada tabelleisse.

Nurga mõõtmine eelneva pikkusplaatide plokiga

| Nr. | α_{eel} o | h_1 mm | h_2 mm | $\Delta h = h_2 - h_1$ mm | $\Delta \alpha_k$ '' | α_t o | Märkusi |
|-----|---------------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------------------|-----------------|---------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| | | | | $\Delta h_k =$ | $\Delta \alpha_k =$ | | |

Nurga mõõtmine lõpliku pikkusplaatide plokiga

| Nr. | α_t o | h_1 mm | h_2 mm | $\delta h = h_2 - h_1$ mm | $\delta \alpha_k$ '' | $\alpha = \alpha_t + \delta \alpha_k$ o | Märkusi |
|-----|-----------------|-------------|-------------|------------------------------|-------------------------|--|---------|
| 1 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | |
| 3 | | | | | | | |
| 4 | | | | | | | |
| 5 | | | | | | | |
| | | | | $\delta h_k =$ | $\delta \alpha_k =$ | | |

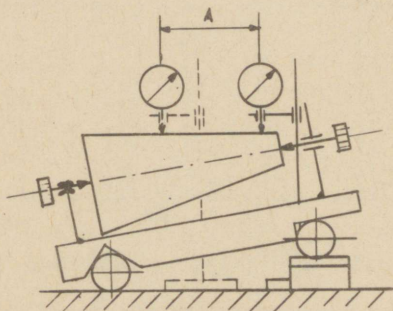
Väliskoonuse moodustaja kaldenurga mõõtmine. Väliskoonuse mõõtmiseks võime ta kinnitada siinuslauale prismade või tsentrite abil. Esimesel juhul mõõdame koonuse tipunurka, mis on kaks korda suurem kui moodustaja kaldenurk ja mille mõõtmisel järelilikult siinuslaua viga on tunduvalt suurem.

Tsentrite kasutamisel tekib täiendav viga tsentrite joone paralleelsuse hälbest siinuslaua suhtes.

Nimetatud viga on lihtne vältida, kui mõõta kontrollvõlli (instrumentaalmikroskoobi tarvikute hulgast) abil tsentrite joone paralleelsuse hälbe väärtus siinuslaua suhtes ja kasutada nimetatud suurust parandusena väliskoonuse mõõtmisel tsentrite vahel.

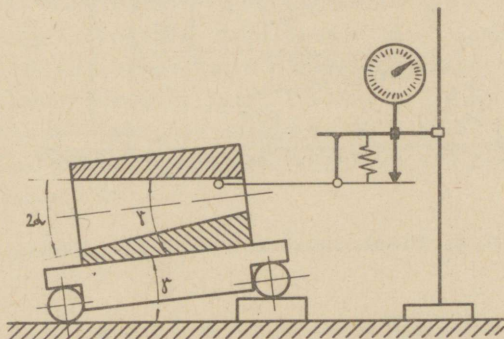
Seetõttu on otstarbekas mõõta koonust tsentrite vahel. Kinnitada mõõdetav detail tsentrite vahele (joon. 11.6) ja kasutada mõõtmisel sama meetodikat, mis pinna kaldenurga mõõtmiselgi.

Mõõtetulemused esitada tabelite kujul.



Joon. 11.6. Koonuse mõõtmine siinuslaual.

Sisekoonuse tipunurga mõõtmine. Sisekoonuse mõõtmisel kasutame lähtamiseks välispinda (joon. 11.7). Sel viisil saame detaili siinuslauale kinnitada ilma erirakisteta univertsalse prisma abil.



Joon. 11.7. Sisekoonuse mõõtmine siinuslaual.

Koonuspinna asendihälbe mõju vältimiseks mõõdame ülemise ja alumise moodustaja kalde detaili ühe kinnitusega. Vahetame ainult pikkusplaatide ploki asendit ühe rulli alt teise rulli alla (joon. 11.8). Mõõtmise meetodika jääb samaks mis pinna kaldenurga mõõtmisel.

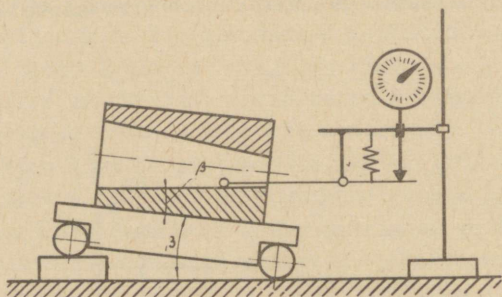
Mõõtetulemused esitame jälle tabelite kujul.

Töö vormistamine

Töö vormistatakse laboratoorse töö aruande näol. Aruan-des fikseeritakse kasutatud seadmed, nende metrooloogilised näitajad, tarvikud ja mõõdetud detailid. Kirjeldatakse lühidalt tehtud tööd.

Mõõtetulemused koondame tabelitesse.

Mõõtmise skeemidest antakse aruandes visandid, millele on märgitud mõõdetud nurkade väärtused.



Joon. 11.8. Sisekoonuse mõõtmine siinuslaual.

L a b o r a t o o r n e t ö ö 1 2

GONIOMEETER

Töö eesmärk. Tutvuda goniomeetri töö põhimõtte, konstruktsiooni ning kasutamisega nurkade mõõtmiseks.

Ülesanne. Mõõta nurgaplaadi tahkudevahelised nurgad autokollimaatori abil töölaual ja alidaadi pööramisega.

Kasutatavad vahendid. Goniomeeter-spektromeeter IC-5, nurgaplaadid.

Mõõtevahendid

Goniomeeter-spektromeeter IC-5 on laboratoorne mõõteriist, mida masinaehituslikus mõõtetehnikas kasutatakse läbiipaistvate ja läbipaistmatute kehade tasapinnaliste poleeritud tahkudevaheliste nurkade mõõtmiseks.

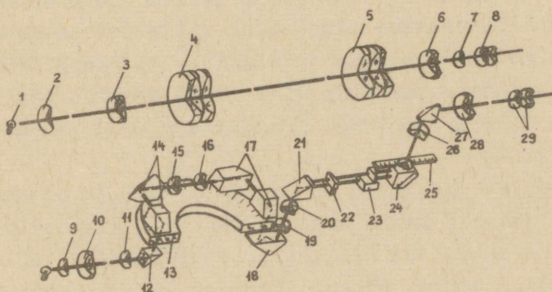
Mõõteriist on ette nähtud töötamiseks kuivas puhtas ruumis temperatuuril $+15...30^{\circ}\text{C}$. Lubatud temperatuuri kõikumine mõõtmisel $\pm 2^{\circ}\text{C}$.

Goniomeetri optikaskeem koosneb pikksilmast, kollimaatorist ja lugemiseadmest.

Kollimaator koosneb valgustist 1 (joon. 12.1), okulaarvõrgust 2 ning objektiivist 3, 4.

Pikksilm koosneb objektiivist 5, 6, okulaarvõrgust 7 ja okulaarist 8.

Valgustatuna lambi 1 poolt kollimaatori võrk 2 asetseb objektiivi 3, 4 fookuses. Kollimaator annab paralleelsete kiirte kimbu, mis, peegeldudes uuritava detaili pinnalt, langeb pikksilma objektiivi 5, 6, läbib võrgu 7 ja seejärel satub okulaari 8. Pikksilma objektiiv on sarnane kollimaatori objektiiviga. Kõrvuti pikksilma okulaariga 8 paikneb lugemiseadme okulaar 29.



Joon. 12.1. Goniomeetri optikaskeem.

Lugemiseade koosneb kattedklaasist 9, läätsest 10, valgusfiltrist 11, prismadest 12, 14, 17, 18, 21, 27; klaaslimbist 13, objektiividest 15, 16, 19, 20, 26, 28; liikumatute kiilude paarist 22, liikuvate kiilude paarist 23, jaotusplokist 24, skaalast 25 ja okulaarist 29. Klaaslimbile on kantud skaala arvmärkidega 0 kuni 360° . Iga arvmärkidega jaotis omakorda on jaotatud kolmeks osaks. Seega limbi ühe jaotise väärtus on $20'$.

Limbi kahe diametraalselt paikneva osa kujutis kantakse optilise süsteemi kaudu lugemimikroskoopi, mille vaateväljas näeme üheaegselt limbi mingit osa päripidiselt ja sellele diametraalselt asetatavat osa pööratult. Vaateväljas on veel vertikaalne viit kriipsindeksi kujul. Limbi jaotise osade lugemiseks on lugemimikroskoobis optiline noonius.

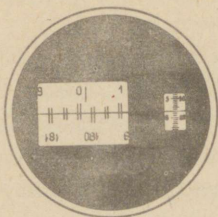
Nooniuse põhiosaks on kaks paari klaaskiilusid - liikumatud 22, liikuvad 23 ja viimastega jäigalt ühendatud kuuesaja jaotisega skaala 25.

Kummagi paari ülemised ja alumised kiilud on ühesuuruste, kuid vastupidi suunatud nurkadega ning moodustavad nii viisi kaks vastassuundades kallutatud tasaparalleelset õhkplaati. Ülemised kiilud paiknevad kiirtekimbu teel, mis annavad limbi päripidise kujutise, alumised limbi diametraalselt vastaspoolse osa kujutist kandvate kiirte teel. Nihutades liikuvaid kiilusid piki kiirte sihti, lähenevad need või kaugenevad teineteisest ning õhkplaatide paksus muutub. Koos viimastega muutub ülemiste ja alumiste kiirte nihe vastassuundades. Niiviisi on võimalik viia limbi märkide päri- ja vastupidiseid kujutisi ühtima. Läbinud kiilud, satuvad kiired jaotusplokki 24.

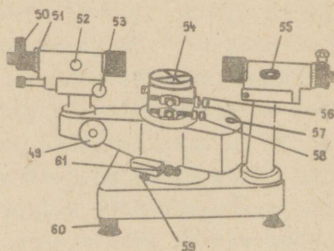
Okulaarist paistavad üheaegselt limbi ja nooniusse skaala, mis on jäigalt kinnitatud liikuvatele kiiludele. Skaala ja kiilud on arvatatud selliselt, et nihutades kiilusid skaala 600 jaotise võrra, nihkub limbi märkide ülemine kujutis alumise suhtes poole jaotise võrra. Seega skaala igale jaotisele vastab $1/600$ 10'-st, s. o. 1".

Vaatevälja kujutis on toodud joonisel 12.2. Vasakus aknas paistavad limbi diametraalsete osade kujutised ja vertikaalne viit, paremas aknas optilise nooniusse skaala ja horisontaalne indeks.

Et lugeda limbi, on vaja pöörata nooniusse käsiratast 49 (joon. 12.3) seni, kuni limbi ülemiste ja alumiste märkide kujutised langevad kokku. Kraadide arvu määrab viidast vasakule jääv arv. Kümnete minutite arv võrdub jaotiste arvuga, mis jääb loetud kraadide arvu tähistava ülemise märgi ja sellest 180° võrra erineva alumise arvmärgi vahele. Pare-



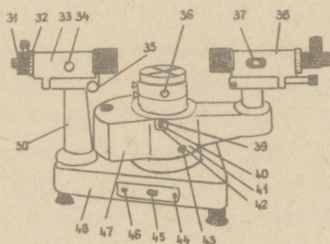
Joon. 12.2. Goniomeetri lugemimikroskoobi vaateväli.



Joon. 12.3. Goniomeeter.

poolsele aknas saadakse minutite arv nooniusse skaala vasakpoolse arvrea järgi. Kümnete sekundite arv loetakse sama akna parempoolse arvrea järgi. Sekundite arv on võrdne jaotiste arvuga, mis paiknevad kümnete sekundite suurust tähistava arvmärgi ja horisontaalse indeksi vahel. Joonisel 12.2 näidatud asend vastab lugemile 0°15'57".

Ehitus. Goniomeeter koosneb järgmistest põhiosadest: pikksilm 38, kollimaator 33 ja alidaad 41 (joon. 12.4).



Joon. 12.4. Goniomeeter.

Pikksilm ja kollimaator on ühesuguse konstruktsiooniga. Pikksilma ja kollimaatori fokuseerimine toimub käsiratastega 34 ja 52 (joon. 12.3 ja 12.4) skaalade 55 ja 37 järgi, millel on märk "∞" ja jaotised väärtusega 1 mm.

Skaala on ette nähtud fokuseeriva läätse asukoha määramiseks kujuhälvetega plaatide ja prismade mõõtmisel. Kruvid 35 ja 53 on visiirtelgede justeerimiseks vertikaalsuunas. Rõngad 32 ja 51 on okulaarpeade kinnitamiseks. Goniomeetri limbi ja okulaarvärke valgustatakse lambiga, mis asub pesas 47. Goniomeeter lülitatakse roseti 45 kaudu värku.

Kollimaator asetseb sambal 30, mis on jäigalt kinnitatud aluse 48 külge. Goniomeetri telje vertikaalasendisse seadistamine toimub kruvide 60 abil seadeloodi 57 järgi.

Alidaad on pööratav telje ümber nii vabalt kui ka kruvinihuti 61 abil, kui kruvi 59 on kinni keeratud.

Limb on pööratav koos alidaadiga, selleks on olemas mehhanism 42, mis neid seob. Limbi ühendamise alidaadiga või lahutamine alidaadist saavutatakse nuppude 39 ja 40 abil. Liikumatu alidaadi korral on limbil veel kaks pöörlemise võimalust: 1) iseseisev alidaadi ja laua suhtes, 2) koos lauaga 54. Limbi iseseisev pöördumine laua ja alidaadi suhtes saavutatakse nupu 43 abil. Viimast võimalust kasutatakse siis, kui mõõtmisi on vaja teha limbi eri piirkondades. Limbi pööramine koos lauaga on võimalik nii vabalt kui ka kruvinihuti 58 abil.

Laud 54 on kallutatav kahes ristsihis nuppude 36 abil.

Laud on pööratav

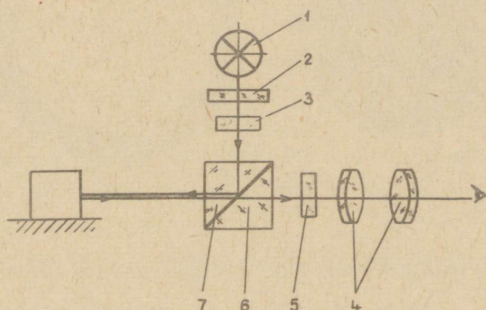
- 1) ümber oma telje liikumatu alidaadi ja limbi korral;
- 2) koos limbiga alidaadi ja pikksilma suhtes;
- 3) koos limbi ja alidaadiga.

Erinevate mõõtmetega prismade mõõtmiseks on komplekt rõngaid, mis võimaldavad muuta laua kõrgust.

Goniomeetri pikksilm ja kollimaator on varustatud mitmesuguste vahetatavate lisaseadmetega. Antud töös kasutame pikksilmal autokollimatsiooni-kuupokulaari ($f' = 9,8$ mm; suurendus $25\times$). Autokollimatsiooni-kuupokulaar koosneb kuubist 7 (joon. 12.5), okulaarvärkudest 3 ja 5, lambist 1 ja okulaarist 4.

Lambilt 1 saadav valgus läbib kaitseklaasi 2 ja valgustab võrku 3, millel asetseb niitrist.

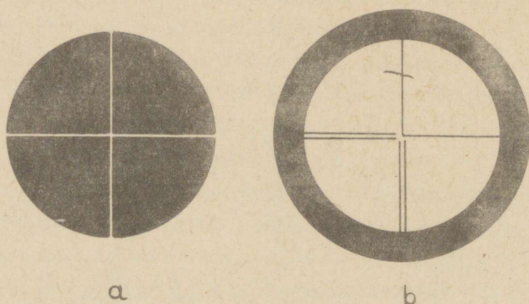
Niitrist on kujutatud joonisel 12.6,a.



Joon. 12.5. Autokollimatsiooni-kuupokulaar.

Valgus, peegeldunud kuubi diagonaalselt poolläbipaistvalt tahult, läbib objektiivi ja langeb mõõdetavale esemele. Valguskiirte kimp, peegeldunud esemelt, annab võrgu 3 (vt. joon. 12.5) niitristi kujutise okulaarvõrgu 5 tasapinnas. Niiviisi saadud kujutist jälgitakse okulaari 4 abil. Võrgu 3 kujutis ja okulaarvõrk 5 asetsevad goniomeetri toru objektiivi fokaaltasapinnas. Võrk 5 on näidatud joonisel 12.6,b.

Kuupokulaari kasutatakse juhtudel, kui on vaja saada mõõdetava nurga suurt täpsust, kuna sellel okulaaril on väiksem fookuskaugus kui Gaussi okulaaril, seega suurem suurenendus, mis võimaldab täpsemalt ühtida võrgu 3 (vt. joon. 12.5) kujutise okulaarvõrguga 5. Kuupokulaar kindlustab kujutise korraliku nähtavuse, kui eseme pind on vähemalt 2 cm^2 .

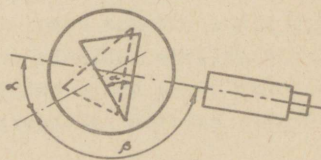
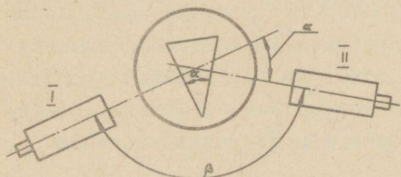


Joon. 12.6. Okulaarvõrk autokollimatsiooni-kuupokulaaris.

Töö käik

Goniomeetri kontroll ja häälestamine. Pikksilma optiline telg ja töölaua pind peavad olema risti alidaadi pöörlemisteljega. Seda tingimust kontrollitakse goniomeetri komplektis oleva tasaparalleelplaadi abil. Plaat asetatakse goniomeetri lauale perpendikulaarselt ühe nupu 36 teljega. Kruvi 36 (vt. joon. 12.4) abil saavutatakse plaadi lihvitud pinda ja pikksilma visiirtelje ristseis. Plaadi õigel asetusel langeb plaadilt saadav autokollimatsioonikujutis pikksilma niitristile. Pööranud alidaadi liikumatu laua juures 180° võrra, kontrollime plaadi teiselt pinnalt saadava autokollimatsioonikujutise kokkulangemist pikksilma niitristiga. Mittekokkulangemisel justeerime nuppude 36 ja 53 (joon. 12.3 ja 12.4) abil, kusjuures pool häälestust kõrvaldatakse ühe nupu, pool teise nupu abil. Reguleerime seni, kuni kujutised plaadi mõlemalt pinnalt langevad kokku pikksilma niitristiga. Seejärel pöörame plaati laual ca 90° ja kordame tehtut, reguleerides nüüd juba ainult nupu 36 abil.

Mõõtmine. Asetada nurgaplaat lauale 54 (vt. joon. 12.3) nii, et üks tahk oleks perpendikulaarne laua diameetriga, mis läbib kruvi 36 (vt. joon. 12.4). Pöörata pikksilma horisontaalpinnas ja, kasutades seadekruvi 56, leida niitristi autokollimatsioonikujutis. Kruvide 36 ja 56 abil viia autokollimatsioonikujutis kokku pikksilma niitristiga. Pöörata horisontaalpinnas pikksilma või lauda nurgaplaadiga nurga β (joon. 12.7 või 12.8) võrra ja leida autokollimatsioonikujutis nurgaplaadi teiselt tahult. Pikksilma või töölauda õige asend on saavutatud siis, kui vastavalt tahult saadava risti autokollimatsioonikujutis langeb kokku okulaarvõrguga. Joonisel 12.7 on toodud nurgaplaadi mõõtmise üks võimalus - pikksilma pööramisega.



Joon. 12.7. Nurga mõõtmine gonio-
meetril alidaadi pöö-
ramisega.

Joon. 12.8. Nurga mõõtmine
goniomeetril töö-
lauda pööramisega.

- I - pikksilma esimene asend
- II - pikksilma teine asend
- β - goniomeetril mõõdetav nurk
- α - nurgaplaadi nurk.

Teine võimalus nurgaplaadi mõõtmiseks on toodud joonisel 12.8 - töölauda pööramisega.

Esimeselt tahult saadava niitristi autokollimatsiooniku-
jutise kokkulangemisel pikksilma okulaarvõrguga võtta limbilt
lugem A_1 .

Pöörata pikksilma või lauda seni, kuni saavutame teiselt tahult niitristi autokollimatsioonikujutise kokkulangemise pikksilma okulaarvõrguga. Võtta limbilt lugem A_2 .

Nurk α on võrdne leitud nurga β täiendusnurgaga

$$\alpha = 180^\circ - \beta,$$

kus $\beta = A_1 - A_2$;

α - nurgaplaadi väärtus;

A_1 ja A_2 - lugemid limbilt.

Iga mõõtmist kordame kolm korda ja määrame iga kord nurgaplaadi vea Δ kui mõõdetud väärtuse α ja nurgaplaadi nimiväärtuse α_0 vahe.

Töö vormistamine

Töö vormistatakse laboratoorse töö aruande näol. Aruan- des fikseeritakse kasutatud nurgaplaadid ning mõõtevahendid. Kirjeldatakse lühidalt tehtud tööd. Mõõtetulemused koondatak- se tabelisse. Nelja töönergaga nurgaplaadi mõõtmisel piken- datakse tabelit vastavalt tahupaaride ja nurkade arvule.

Nurgaplaatide mõõtmise tulemused kraadides

| Mõõtmisviis | α_0 | A_1 | A_2 | β | α | $\Delta = \alpha - \alpha_0$ |
|--------------------------|------------|-------|-------|---------|----------|------------------------------|
| Töölaua pööramisega | | | | | | |
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Pikksilma pööramisega | | | | | | |
| | | | | | | |

S i u k o r d

| | | |
|----------------------|-------------------------------------|----|
| Laboratoorne töö 1. | ✓Jagamispea | 3 |
| Laboratoorne töö 2. | ✓Suur instrumentaalmikroskoop . . . | 11 |
| Laboratoorne töö 3. | ✓Universaalne mõõtemikroskoop . . . | 21 |
| Laboratoorne töö 4. | Interferentsmikroskoop | 31 |
| Laboratoorne töö 5. | Optimeeter | 32 |
| Laboratoorne töö 6. | Minimeeter ja sügavuskruvik. . . . | 32 |
| Laboratoorne töö 7. | Kontaktinterferomeeter. | 33 |
| Laboratoorne töö 8. | ✓Vertikaalne pikkusmõõtur | 34 |
| Laboratoorne töö 9. | ✓Kruviklood. Optiline kvadrant. . . | 34 |
| Laboratoorne töö 10. | Nurgamõõturid | 41 |
| Laboratoorne töö 11. | Siinuslaud | 47 |
| Laboratoorne töö 12. | Goniomeeter | 54 |

TÜ RAAMATUKOGU



10300015780085

A-31805

Hind 10 kop.