

A. ŽURAVLJOV

Tolerantsid ja

**tehniline
mõõtmine**



A - 26771

A. N. ŽURAVLJOV

Tolerantsid ja tehniline mõõtmine

*NSV Liidu Riikliku Plaanikomisjoni Tehnilise Kutsehariduse
Riikliku Komitee Teadusliku Nõukogu poolt lubatud kasutada
õppevahendina tehnilistes kutsekoolides*

KIRJASTUS «EESTI RAAMAT»
TALLINN 1965

Originaali tiitel:

А. Н. Журавлев

ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

Всесоюзное учебно-педагогическое издательство профтехиздат
Москва 1963

Tõlkinud L. Valdma

Kaane kujundanud H. Arrak

Raamatus antakse ülevaade vahetatavusest masinaehituses ning standardiseerimise ja normaliseerimise mõjust sellele. Üksikasjalikult on vaadeldud siledete liidete tolerantside ja istude süsteeme. Samuti on toodud vajalikke andmeid tehnilise mõõtmise alustest ning kirjeldatud enamlevinud kodumaisi pikkuste ja nurkade mõõtmise vahendeid ning nende kasutamiskäitumist. Teiste liidete (keerme-, hammasvõll-, hammas-, koonusliidete) tolerantsid, istud ning mõõtmis- ja kontrollimismeetodid on esitatud komplekselt eripeatükkides.

Õpikus on valgustatud detailide kvaliteedi kontrollimise automatiseerimise ja mehhaniseerimise, mõõtmise täpsuse ja mõõtmisvahendite valiku küsimusi. Lisades on toodud võllide ja aukude eelismõõtmis- ja mõõtmismeetodite piirvead ning kaliibrите valmistamise ja kulumise tolerantsid, mis on vajalikud praktiliste ülesannete lahendamiseks.

Raamat on mõeldud õppevahendiks tehnilistele kutsekoolidele, kuid seda võivad kasutada ka masinaehitustehaste töölised kvalifikatsiooni tõstmiseks.

**TARTU ÜLIKOOLI
RAAMATUKOGU**

Retsenseerinud K. Tippe

E E S S O N A

Kaasaegne tootmisprotsesside organiseerimine ja varustamine tehastes nõuab, et kvalifitseeritud töölised orienteeruksid võrdsest meistrite, seadistajate ja tehnoloogidega õigesti detailide töötlemisel ja masinate monteerimisel tolerantside, istude ja tehnilise mõõtmise küsimustes, saaksid aru tolerantside ja istude riiklike standardite ning normaalide otstarbest ja struktuurist ning teaksid kõiki joonistel ja tehnoloogilistel kaartidel esinevaid tinglikke tähistusi.

Kvalifitseeritud tööline peab valdama tehnilise mõõtmise aluseid, s. t. tal peab olema ettekujutus mõõtühikutest ja nende lähteetaloonidest, mõõtude ühtsusest ja mõõtevahendite kontrolli organiseerimisest, enamlevinud mõõtevahendite töötamis põhimõttest ja nende metrooloogilistest näitajatest; vältimatute mõõtmisvigade põhjustest; mõõtevahendi valiku meetodikast võimalike mõõtmisvigade võrdluse alusel mõõdetavate detailide tolerantside suurustega; uutest kodumaistest mõõtevahenditest ja nende kaas-aegsetest arengusuundadest; mõõtmisprotsesside mehhaniseerimisest ja automatiseerimisest ning kvaliteedi kontrollist.

Õpiku koostamisel arvestati, et mõnede paragrahvide sisuga tutvuvad põhjalikult ainult need õpilased, kellele see on kõige vajalikum hilisemas praktilises töös. Näiteks treialid ja lukksepad tutvuvad siledate kooniliste pindade, freesijad — hammasrataste hambumise ja hammasvõll-liidete andmetega, lukksepad-monteerijad — tolerantside ja nende valiku juhistega jne.

Autor leiab, et termineid ja definitsioone, mis esinevad uutes standardites (pinnakareduse, hammasrataste põhi- ja täiendavate täpsusnormide, pindade kuju ja asendi hälvete, keermepara-

meetrite seoste, uute mõõtühikute jt. standardid), ei või esitada lihtsustatud kujul, kuna see moonutaks standardite nõudeid, millel on seaduse jõud. Seepärast eeldatakse, et üksikutes küsimustes antakse kutsekoolide õpilastele täiendavaid selgitusi teoreetilistes tundides.

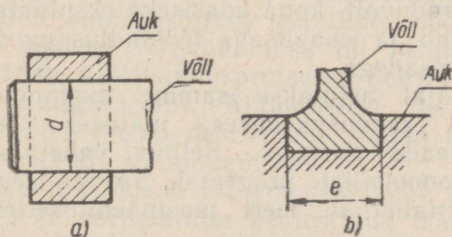
Peatükkides, mis sisaldavad tehnilise mõõtmise küsimusi, ei ole autor seadnud endale eesmärgiks kirjeldada kõigi vaadeldavate mõõtevahendite kasutamismõtteid, kuna need omandatakse kiiremini ja kergemini demonstreerimisel praktikas.

Õpikus on toodud ainult tsehhide kõige enam levinud mõõtevahendite kasutamise näiteid.

VAHETATAVUS MASINAEHITUSES

§ 1. Vahetatavuse mõiste ja eelised

Igasugune masin või aparaat koosneb üksikutest sõlmedest ja detailidest. Kahe teineteise sisse mineva detaili ühendamisel eristatakse liite haaravat ja haaratavat pinda (joon. 1). Juhul kui nendeks on ümmargused silindrilised pinnad, siis nimetatakse liidet siledaks silindriliseks liiteks (joon. 1, a). Kui aga haarava ja haaratava pinna moodustavad kaks paralleeltasapinda, siis



Joon. 1. Kahe detaili liide

a — sile silindriline liide; b — tasaparalleel-liide

nimetatakse liidet tasaparalleel-liiteks (joon. 1, b). Silindrilistes liidetes nimetatakse haaravat pinda üldiselt auguks, haaratavat aga võlliks. Nimetused auk ja võll on tinglikult kasutatavad ka teiste haaravate ja haaratavate pindade juures. Konstruktorid püüavad luua detaile ja sõlmi vastastikku vahetatavatena, s. t. sellistena, mida võiks masinate montaažil ja remondil asendada teiste sama numbri ja nimetusega detailidega.

Selleks et peale ühtede detailide asendamist teistega masin töötaks häireteta, on tarvis kõik detailid valmistada tehases ühesugustena nii oma mõõtmetelt kui ka materjali omadustelt (kõvadus, tugevus jne.). Seepärast eristatakse geomeetrist, s. t. mõõtmelist vahetatavust, detailide valmistamiseks kasutatud materjalide mehaaniliste omaduste järgi vahetatavust, elektromagnetiliste näitajate järgi vahetatavust jne. Käesolevas raamatus

vaadeldakse geomeetrilist vahetatavust, s. t. niisugust detailide töötlemise viisi, kus partii iga detaili võib valikuta ja sobitamata asetada määratud kohale masinas. See määrang kehtib täieliku vahetatavuse kohta. Masinaehituses esineb mittetäielik vahetatavus, kus töödeldud detailid sorteeritakse mõõtmete järgi gruppidesse. Masinate ja sõlmede montaažil ning remondil ei kasutata sel juhul mitte iga vastava numbri ja nimetusega detaili, vaid need võetakse kindlast grupist.

Vahetatavus masinaehituses on automaatide ja automaatliinide kasutamisel põhineva kaasaegse mass- ja seeriatootmise arengu põhiliseks ja möödapääsmatuks tingimuseks. Ilma vahetatavuseeta on võimatu tehaste spetsialiseerimine ja koopereerimine; ta lihtsustab remonti ja teeb selle odavamaks. Vahetatavuse põhimõtete silmaspidamiseta pole võimalik ka paljude koduste tarbesemete normaalne kasutamine.

Ökonoomiliselt on näiteks kasulik, kui sama numbriga kuullaagrit saab oma istamismõõtmete poolest kasutada ükskõik millises masinas (jalgrattas, autos, tööpingis jne.), samuti püssipadruneid igas sama kaliibriga relvas jne.

Masinate ja aparatuuride remont ning profülaktiline järelevaatus lihtsustub tunduvalt, kuna edasiseks ekspluatatsiooniks kõlbmatuks muutunud ja ebapiisava töökindlusega detailid asendatakse uute varuosadega.

Käesoleval ajal astutakse samme toodangu vahetatavuse kindlustamiseks rahvusvahelises ulatuses (esmajärjekorras sotsialistlike maade piirides). Selline vahetatavus soodustab tehnilist ja ökonoomilist progressi, spetsialiseerumist, koopereerimist ja sotsialistliku leeri masinaehitusettevõtete vahelist tööjaotust.

Vahetatavuse juurutamisest ja täiustamisest on huvitatud nii konstruktorid — masinate loojad, tootjad — masinate valmistajad kui ka tarbijad — masinate kasutajad.

Pindade mõõtmeid, millede järgi ühendatakse kaks detaili, nimetatakse liite nimi- ehk nominaalmõõtmeiks. Mitmesuguste töötlemisprotsessi mõjutavate tegurite tõttu ei ole aga võimalik ühte ja sama läbimõõtu saada mitte üksnes kõigil töödeldavatel detailidel, vaid ka isegi ühel ja samal detailil erinevates ristlõigetes.

Detailide töötlemisel võivad mitmesuguste vigade tekkepõhjuks olla kasutatavad seadmed (pingid, pressid), tehnoloogilised tarvikud (lõikeriistad, tornid, rakised jne.), detailide toorikute ebaühtlased mõõtmed, kuju, kõvadus jne., temperatuuri kõikumine, mis põhjustab üksikute pingiosade, rakiste, lõike- ja mõõteriistade ning töödeldavate detailide mõõtmete muutumist, seadmete osade, rakiste, lõikeriistade ja töödeldavate detailide elastne deformeerumine, vundamendi vibratsioon ja palju muud. Töötlemisvigu mõjutavad oluliselt ka mõõtmisvead.

Arvestades töötlemis- ja mõõtmisvigade tekkimise võimalusi, annab konstruktor joonistel mitte ühe, vaid kaks mõõdet (suurima ja vähima piirmõõtmel). Lubatava suurima ja vähima piirmõõtmel vahet nimetatakse töötlemise tolerantsiks. Järelikult on kõlblikud säärased detailid, mille tegelikud mõõtmel ei välju suurimast ja vähimast lubatavast piirist, s. t. jäävad tolerantsi piiridesse.

§ 2. Standardiseerimise ja normaliseerimise tähtsus vahetatavuse arengus

Kui üldse ei piiraks konstruktorite tööd projekteerimisel, siis selle tulemuseks võib olla väga suur hulk eritüübilisi masinaid, mehhanisme ja aparate. Mitmesugustes masinates, mis on määratud sama töö sooritamiseks, esineb sel juhul palju erikujulisi detaile ja sõlmi, millel on üks ja sama nimetus ja otstarve, kuid erinevad nimimõõtmel. Selline olukord teeb tootmise tunduvalt keerukamaks, pikendab masinate valmistamise aega ning tõstab maksumust, sest igale detailile tuleb välja töötada erinev tehnoloogiline protsess ja valmistada erinev tehnoloogiline varustus.

Seepärast tuleb konstruktoreid detailide mõõtmel ja kuju valikul piirata. Sellega kergendatakse nii nende tööd kui ka detailide ja masinate valmistamisprotsessi. See oli arusaadav juba tööstuse arengu alperioodil. Ajaloolistest dokumentidest on teada, et juba Peeter I oma dekreetides pööras tähelepanu ühtsuse vajadusele relvade valmistamisel¹.

Käesoleval ajal piiratakse nii konstruktorite kui ka tootjate tööd standardites ja normaalides kehtestatud nõuetega.

Standardid. Riiklikkude üleliiduliste standardite (ГОСТ) kasutamine on kohustuslik kõikides rahvamajanduse harudes ning neil on seaduse jõud. Väljalastava toodangu mittevastavusel standardite nõuetele võetakse ettevõtete juhid rangele vastutusele. Standardid määravad kindlaks esemete (masinate, aparate, tööriistade, mitmesuguste materjalide jt.) tüübid, liigid, margid, kujud ja mõõtmel ning tehnilised nõuded, samuti ka katsetamise meetodid ning pakkimise, säilitamise ja transportimise reeglid.

Standardid määravad kindlaks ühtsed mõisted, tähistused, teaduslik-tehnilised terminid ja definitsioonid. Näiteks kehtestavad standardid kõikide tööstusharude töötajatele ühtsed tolerantside ja istude (ГОСТ 7713-62) ning normaal-joonmõõtmel ja -nurkade mõisted, samuti siledate, keermes- ja teist liiki liidete tolerantsid, kaliibrise konstruktsioonid jne.

Normaalid. Sõna «normaal» on tuletatud sõnast «norm». Normaalid on dokumendid, mis määravad kindlaks ühtsed nõuded

¹ Большая советская энциклопедия, т. 7, изд. 2-е. Взаимозаменяемость, стр. 621, 622.

(normid) mitmesugustele detailidele ja teistele toodangu liikidele ning nende tootmisviisidele. Normaaliid jaotatakse üleliidulisteks, ametkondlikeks ja tehase normaalideks. Üleliidulised normaalid lastakse välja sageli standardite asemel, kui toodangule ja selle valmistamise viisile esitatavaid nõudeid ei ole veel tootmises küllaldaselt kontrollitud ning standardi kui seaduse jõudu omava dokumendi väljalaskmine tunnistatakse enneaegseks.

Unifitseerimine ja tüübistamine. Standardiseerimine ja normaliseerimine on seotud unifitseerimise ja tüübistamisega. *Unifitseerimine* on püüdlus ühtsusele, s. t. ühtsele kujule või süsteemile.

Unifitseerida tähendab ühendada suure hulga oma otstarbelt ühesuguste, kuid tüüpide ja mõõtmete poolest erinevate esemete põhiomadused ja nõuded. Unifitseerimine masinaehituses võimaldab vältida liigset tüüpide ja mõõtmete mitmekesisust, lihtsustada tootmist ja vähendada masinate ning aparaatide maksumust.

Laialdane unifitseerimine kõikides rahvamajandusharudes on võimalik ainult varem koostatud standardite ja normaalide alusel.

Tüübistamine on suurest hulgast mitmesugustest masinatest, aparaatidest, tööriistadest, tehnoloogilistest protsessidest jne. oma omaduste poolest optimaalsete väljavahimine. Tüübistamise eesmärgiks on liigse mitmekesisuse likvideerimine ja oma omadustelt parimate ning kõige odavamate masinate, aparaatide, lõike- ja mõõteriistade jt. konstruktsioonide põhjendatud koondamine valitud tüüpide väikseks hulgaks.

Ühesuguse otstarbega esemete (näiteks lõiketerade) tüüpide hulga vähendamine võimaldab organiseerida spetsialiseeritud tehaseid nende masstootmiseks. Kui tüübistada masinaehituses kõik lõikeriistad ja organiseerida nende valmistamine spetsialiseeritud tehastes vooltootmise meetodil, siis väheneb lõiketerade maksumus 2...3 korda, keermepuuride maksumus 15 korda ja spiraalpuuridel 8...10 korda. Tööriistade valmistamise aeg spetsialiseeritud tehastes väheneb keskmiselt kuni 40%.

Standardite ja normaalide laialdane juurutamine ning unifitseerimise ja tüübistamise areng soodustab uue tehnika juurutamist, materjalide ja tootmisreservide paremat ning ökonomisemat ärakasutamist, toodangu kvaliteedi tõstmist ja detailide, sõlmede ning masinate agregaatide vahetatavuse taseme tõusu.

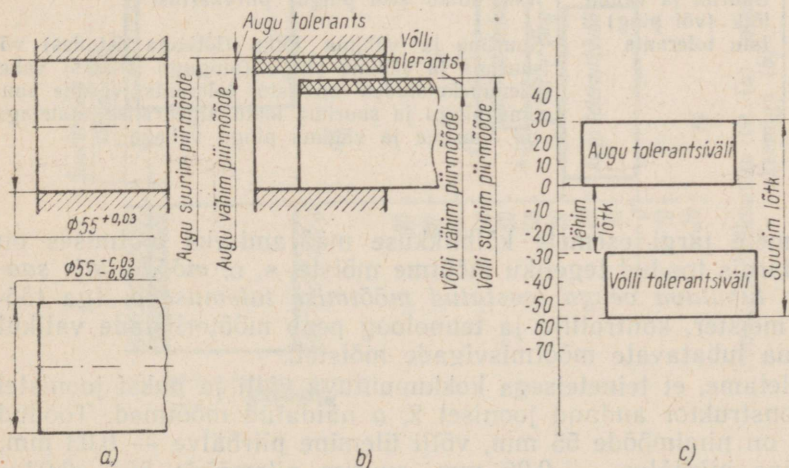
MÕOTMETE JA KUJU LUBATAVAD HÄLBED

§ 3. Mõõtmete ja istude definitsioonid

Tolerantside ja istude valdkonna termineid ja definitsioone tuleb kasutada kõikidel tootmisega tegelevatel töötajatel: konstruktoritel, tehnoloogidel, kontrollijatel ja töölistel. Arusaamatuste vältimiseks mitmesuguste mõõtmete, hälvete, tolerantside jm. mõistete määramisel näeb spetsiaalne standard (ГОСТ 7713-62) kõikidele tööstusharudele ette ühtsed definitsioonid (tabel 1).

Nimimõõde on liidet moodustava augu ja võlli ühiseks mõõtmeks. See määratakse konstruktori poolt arvutuste alusel ja ümardatakse suuruseni, mida näeb ette normaal-joonmõõtmete standard (ГОСТ 6636-60).

Üskõik millise detaili tõelist mõõdet ei ole vältimatute mõõtmisvigade tõttu võimalik määrata. Ühe ja sama võlli mõõtmisel erinevate mõõteriistadega, näiteks nihkkaliibri ja mikromeetriga, saadakse tavaliselt üksteisest väikese suuruse võrra erinevad tulemused. Mõõtmete erinevad väärtused võib saada ka võlli korduval mõõtmisel ühe ja sama mõõteriistaga. Seepärast



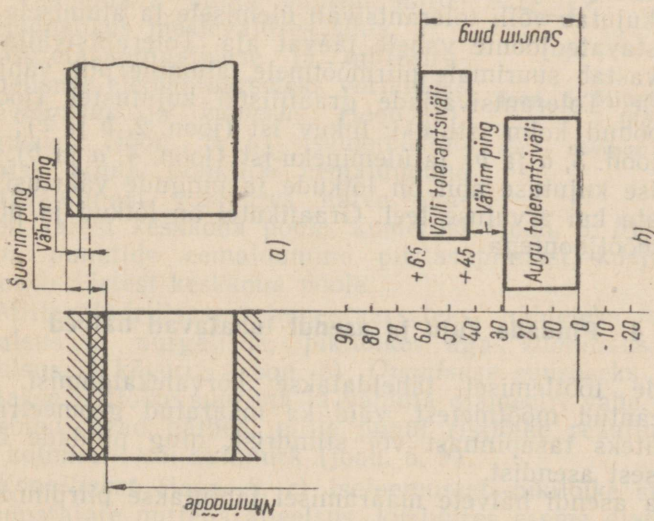
Joon. 2. Liikuv ist (a, b) tolerantsiväljade skeemiga (c)

Tolerantside ja istude terminid ja definitsioonid

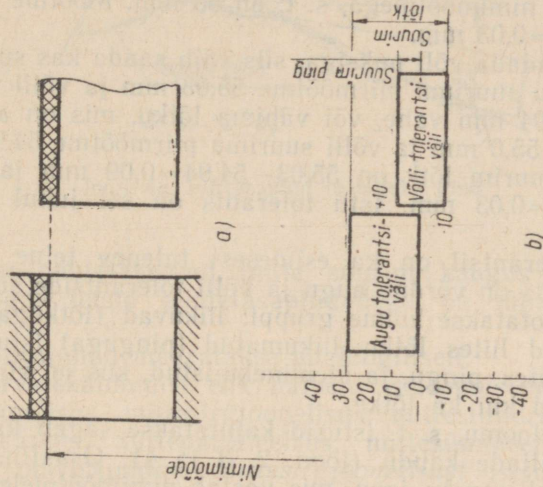
Jrk. nr.	Termin	Definitsioon GOCT 7713—62 järgi
1	Nimimõõde	Põhimõõde, mis määratakse lähtudes detaili funktsionaalsest otstarbest ja mis on aluseks hälvete määramisel
2	Tegelik mõõde	Mõõde, mis on saadud lubatava veaga teostatud mõõtmise tulemusena
3	Piirmõõtmed	Mõõtme kaks piirväärtust, millede vahel peab asetsema tegelik mõõde
4	Mõõtme hälve	Mõõtme ja ta nominaalväärtuse algebraline vahe. Hälve on positiivne, kui mõõde on nominaalsest suurem, ja negatiivne, kui mõõde on nominaalsest väiksem
5	Tegelik hälve	Tegeliku ja nimimõõtme algebraline vahe
6	Ülemine piirhälve	Suurima piirmõõtme ja nimimõõtme vahe
7	Alumine piirhälve	Vähima piirmõõtme ja nimimõõtme vahe
8	Mõõtme tolerants	Suurima ja vähima piirmõõtme vahe
9	Tolerantsiväli	Mõõtmete intervall, mis on piiratud piirmõõtmetega; see määratakse tolerantsi suuruse ja asetusega nimimõõtme suhtes
10	Ist	Detailide liite iseloom, mis määratakse selles tekivate lõtkude ja pingudega. Ist iseloomustab ühendatavate detailide suhtelise nihkumise vabadust ehk vastastikuse nihkumise vastupanuastet
11	Lõtk	Augu ja võlli mõõtmete positiivne vahe, juhul kui augu mõõde on võlli mõõtmest suurem
12	Ping	Võlli ja augu mõõtmete positiivne vahe enne detailide monteerimist, juhul kui võlli mõõde on augu mõõtmest suurem
13	Suurim ja vähim lõtk (või ping)	Kaks lõtku (või pingu) piirväärtust
14	Istu tolerants	Suurima ja vähima lõtku (lõtkuga istudes) või suurima ja vähima pingu (pinguga istudes) vahe. Üleminekuistudes on istu tolerants võrdne suurima pingu ja suurima lõtku algebralise summaga või suurima ja vähima pingu vahega

mõõtmete järgi esemete kõlblikkuse määramiseks tootmises on standardis toodud tegeliku mõõtme mõiste, s. o. *mõõde, mis saadakse lubatava veaga teostatud mõõtmise tulemusena*. Iga tööline, meister, kontrollija ja tehnoloog peab mõõteriistade valikul teadma lubatavate mõõtmisvigade mõistet.

Oletame, et teineteisega kokkupuutuva võlli ja puksi joonistel on konstruktor andnud joonisel 2, a näidatud mõõtmed. Toodud juhul on nimimõõde 55 mm, võlli ülemine piirhälve — 0,03 mm, alumine piirhälve — 0,06 mm, suurim piirmõõde $55,0 - 0,03 = 54,97$ mm, vähim piirmõõde $55,0 - 0,06 = 54,94$ mm, mõõtme tole-



Joon. 3. Liikumatu ist (a) tolerantsväljade skeemiga (b)



Joon. 4. Ülemineku-ist (a) tolerantsväljade skeemiga (b)

rants $54,97 - 54,94 = 0,03$ mm. Puksi augu ülemine piirhälve on $+0,03$ mm, alumist piirhälvet pole aga näidatud, sest see võrdub 0-ga; suurim piirmõõde on $55 + 0,03 = 55,03$ mm, vähim piirmõõde aga võrdub nimimõõtmega, s. t. on 55 mm. Mõõtme tolerants on $55,03 - 55,0 = 0,03$ mm.

Kui ühendada võll puksiga, siis võib saada kas suurima lõtku, mis on augu suurima piirmõõtme 55,03 mm ja võlli vähima piirmõõtme 54,94 mm vahe, või vähima lõtku, mis on augu vähima piirmõõtme 55,0 mm ja võlli suurima piirmõõtme 54,97 mm vahe. Järelikult suurim lõtk on $55,03 - 54,94 = 0,09$ mm ja vähim lõtk $55,0 - 54,97 = 0,03$ mm. Istu tolerants on sel juhul $0,09 - 0,03 = 0,06$ mm.

Istu tolerantsil on ka esimesest tulenev teine definitsioon: istu tolerants on võrdne augu ja võlli tolerantside summaga.

Istud jaotatakse kolme gruppi: liikuvad (lõtkuga) istud, mis kindlustavad liites lõtku; liikumatud (pinguga) istud, mis kindlustavad liites pingu, ja ülemineku-istud, kus on võimalik saada nii pingusid kui ka lõtke.

Liite iseloomu, s. t. istusid kujutatakse sageli ka graafiliselt tolerantsiväljade kaudu (joon. 2, 3 ja 4). Graafilisel kujutusel võetakse nulljooneks joon, mis vastab nimimõõtmele ja kantakse sellest mõõtmete hälbed. Positiivsed hälbed kantakse nulljoonest ülespoole, negatiivsed allapoole. *Tolerantsiväljaks* nimetatakse piirmõõtmega piiratud mõõtmete intervalli, mis määratakse tolerantsi suuruse ja asetusega nimimõõtme suhtes. Graafilisel esitamisel kujutab võlli tolerantsiväli ülemisele ja alumisele piirhälbele vastavate joonte vahele jäävat ala. Tolerantsivälja ülemine piir vastab suurimale piirmõõtmele, alumine piir vähimale piirmõõtmele. Tolerantsiväljade graafilistel kujutustel (joon. 2, 3, 4) on toodud kolm istuliiki: liikuv ist (joon. 2, *b* ja *c*); liikumatu ist (joon. 3, *a* ja *b*) ja ülemineku-ist (joon. 4, *a* ja *b*).

Graafilise kujutuse abil on lõtkude ja pingude väärtusi lihtsam määrata kui arvutuse teel. Graafikutel on lõtkud ja pingud märgitud mõõtjoontega.

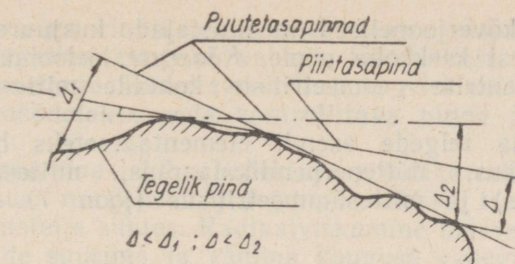
§ 4. Pindade kuju ja asendi lubatavad hälbed

Detailide töötlemisel täheldatakse kõrvalekaldumisi mitte ainult etteantud mõõtmetest, vaid ka määratud geomeetrisest kujust, näiteks tasapinnast või silindrist, ning pindade õigest vastastikusast asendist.

Kuju ja asendi hälvete määramisel lähtutakse piirpinnast ja piirprofiilist.

Piirpinnad ja piirprofiilid võivad omada piirtasapinna, piirsilindri, piirsirge, piirringjoone kujusid.

Piirtasapind on väljaspool materjali paiknev detaili tegeliku



Joon. 4a. Piirtasapind ja tegelik pind

pinna selline puutetasapind, mille suurim kaugus detaili pinnast, võrreldes teiste puutetasapindadega, on minimaalne (vt. joon. 4a).

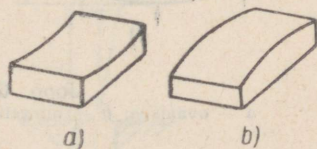
Teised piirpinnad määratakse analoogiliselt.

Kuju kõrvalekaldumisi ehk hälbeid iseloomustavad detailide mittetasapinnalisus, mittesirgjoonelisus, mittesilindrilisus, mitteperpendikulaarsus, mitteparalleelsus, mittesümmeetrilisus ning radiaal- ja otsviskumine. *Mittesirgjoonelisust* iseloomustatakse kontrollitava pinna maksimaalse kaugusega piirsirgest antud sihis. *Mittetasapinnalisus* on kõikide pinna kujuhälvete kompleks ja see määratakse kui vaadeldava pinna suurim mittesirgjoonelisus meelevaldses sihis.

Mittetasapinnalisuse ja mittesirgjoonelisuse elementaarseteks vormideks on *nõgusus* ja *kumerus* (joon. 5). Nõgusust (joon. 5, a) iseloomustab reaalse pinna punktide eemaldumine piirtasapinnast, kusjuures hälve suureneb äärest keskkoha poole, kumerust (joon. 5, b) aga reaalse pinna punktide eemaldumine piirtasapinnast, kusjuures hälve väheneb äärtest keskkoha poole.

Mittesilindrilisuse elementaarseteks näideteks on ristlõike ovaalsus ja nurgelisus, pikilõikes aga koonilisus, tünnilisus, sadulsus ja kõverus (joon. 6). *Ovaalsuse* suuruseks (joon. 6, a) võetakse ristlõike suurima ja vähima diameetri vahe. *Nurgelisust* iseloomustavad hälbed, mille puhul ristlõike reaalne profiil on kas kolmnurk või hulknurk (joon. 6, b).

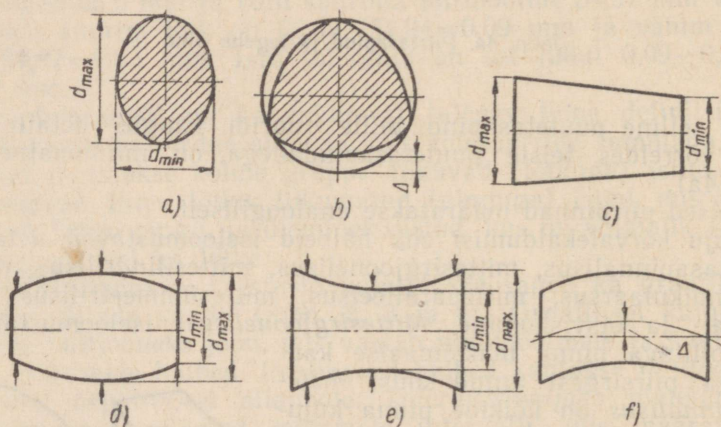
Koonilisust (joon. 6, c) iseloomustab pikilõike sirgjoonelist moodustajate mitteparalleelsus, kusjuures eseme diameeter muutub ühtlaselt. *Tünnilisust* iseloomustab moodustajate kõverjoonelisus, kusjuures eseme diameeter suureneb ebaühtlaselt otstest keskkoha poole (joon. 6, d). *Sadulsust* (joon. 6, e) iseloomusta-



Joon. 5. Mittetasapinnalisuse liigid
a — nõgusus; b — kumerus

vad samuti kõverjoonelised moodustajad, kusjuures diameeter väheneb otstest keskkoha poole. *Kõverust* iseloomustab silindri ristlõigete tsentrite geomeetriliste kohtade mittesirgjoonelisus (joon. 6, f).

Pindade ja telgede asendi elementaarseteks hälveteks on mitteparalleelsus, mitteperpendikulaarsus, mittesamateljelisus (desaksiaalsus) ja mittesümmeetrilisus (joon. 7). *Tasapindade*



Joon. 6. Mittesilindrilisuse liigid:

a — ovaalsus; b — nurgelisus; c — koonilisus; d — tünnilisus; e — sadulus; f — kõverus

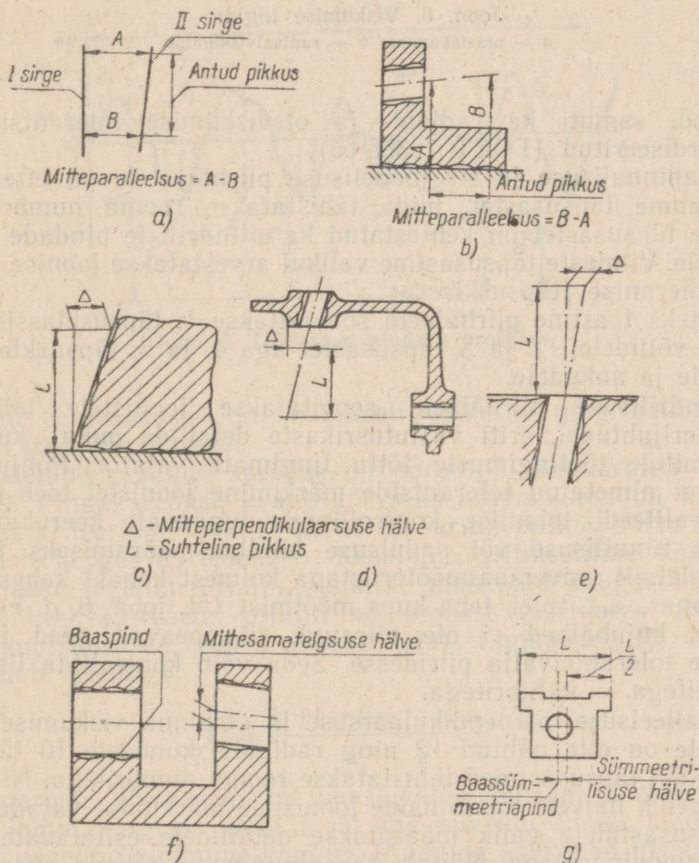
mitteparalleelsus on piirtasapindade vahelise suurima ja vähima kauguse vahe antud pinnaosal või pikkusel (joon. 7, a). *Pöördpinna telje ja tasapinna mitteparalleelsus* määratakse telje ja piirtasapinna vahelise suurima ja vähima kauguse vahega antud pikkusel (joon. 7, b). *Tasapindade* (joon. 7, c), *telgede* (joon. 7, d) või *telje ja tasapinna* (joon. 7, e) *mitteperpendikulaarsus* määratakse tasapindade, telgede või telje ja tasapinna vahelise nurga hälbe täisnurgast, mida väljendatakse pikkusühikutes antud pikkuse kohta. *Mittesamateljelisus* (*desaksiaalsus*) (joon. 7, f) on vaadeldava pinna telje suurim kaugus (vaadeldava pinna pikkuse piirides) kahe või mitme nominaalselt samateljelise (koaksiaalse) pöördpinna ühisest teljest. *Mittesümmeetrilisus* on vaadeldava pinna sümmeetriatasapinna ja baassümmeetriatasapinna (sümmeetriatelje) vaheline suurim vahekaugus (joon. 7, g). Pindade asendi hälvete hulka kuulub ka ots- ja radiaalviskumine (joon. 8).

Otsviskumine tekib otspinna ja baastelje mitteperpendikulaarsuse ning otsa kujuhälbe tagajärjel. See määratakse

antud diameetriga ringil asetsevate reaalse otspinna punktide suurima ja vähima kauguse vahega tasapinnast, mis on risti baaspöörlemisteljega. Kui diameetrit pole viskumise mõõtmiseks antud, siis mõõdetakse seda kontrollitava pinna suurimal diameetril.

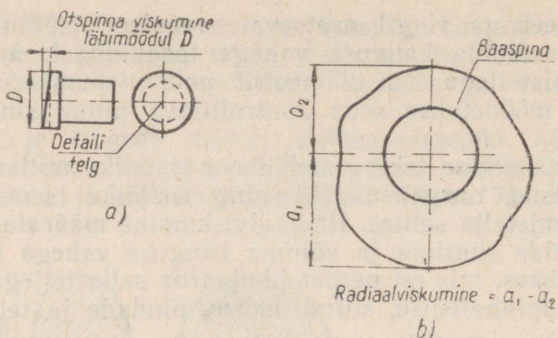
Radiaalviskumine tekib vaadeldava ristlõike mitteringjoonelisuse (ovaalsus, nurgelisus jt.) ning ristlõike tsentri nihutuse tõttu pöörlemistelje suhtes. Radiaalviskumine määratakse reaalse pinna punktide suurima ja vähima kauguse vahega baaspöörlemisteljest lõikes, mis on perpendikulaarne selle teljega.

Kõik tasapinnalisuse, silindrilisuse, pindade ja telgede asen-



Joon. 7. Pindade ja telgede asendi hälvete liigid:

- a - tasapindade mitteparalleelsus; b - telje ja tasapinna mitteparalleelsus;
 c - tasapindade mitteperpendikulaarsus; d - telgede mitteperpendikulaarsus;
 e - telje ja tasapinna mitteperpendikulaarsus; f - mittesamateljelisus; g - mitesümmeetrilisus



Joon. 8. Viskumise liigid:

a — otsviskumine; *b* — radiaalviskumine

dihälbed, samuti ka radiaal- ja otsviskumise tolerantsid on standardiseeritud (ГОСТ 10356-63).

Tasapinnalisuse ja sirgjoonelisuse piirhälvetele on ette nähtud kümme täpsusastet, mida tähistatakse rooma numbritega. Kümme täpsusastet on kehtestatud ka silindriliste pindade kujuhälvetele. Viimaste täpsusastme valikul arvestatakse joonise mõõtmete tolerantsse (täpsusklasse).

Näiteks I astme piirhälbeid soovitatakse 1. täpsusklassis töödeldud võllidele, IX ja X täpsusastet aga 4. ja 5. täpsusklassiga võllidele ja aukudele.

Silindrilisuse piirhälbeid soovitatakse joonistele märkida ainult erijuhtudel, eriti vastutusrikaste detailide puhul, kui see on detailide töötingimuste tõttu tingimata vajalik. Põhjus on selles, et nimetatud tolerantside märkimine joonistel teeb detailide kvaliteedi tehnilise kontrollimise tunduvalt keerukamaks. Näiteks tünnilisuse või sadulsuse kindlaksmääramiseks tuleks mõõta detaili universaalmõõteriistaga kolmest kohast kahes risttasapinnas, s. t. tuleb teha kuus mõõtmist (vt. joon. 6, *d*, *e*). Kui joonisel kujuhälbed ei ole piiratud, siis peavad need jääma mõõtme tolerantsivälja piiridesse. Seda võib kontrollida lihtsate vahenditega — kaliibritega.

Paralleelsuse, perpendikulaarsuse ja otspinna viskumise piirhälvetele on ette nähtud 12 ning radiaalviskumisele 10 täpsusastet. Kõik täpsusastmed tähistatakse rooma numbritega. Nii pindade asendi hälvete tolerantside joonistele märkimise vajadus kui ka täpsusastmete valik määratakse detailidele esitatavate ekspluatatsiooninõuetega. Näiteks tasapinnalisuse hälbeid piiratakse liugehõrdepindele, samuti liikumatute plaatide pindadel ja baaspindadel. Paralleelsuse ja perpendikulaarsuse hälbeid piiratakse pindadel, kui nõutakse täpset nihutust või ühe detaili täpset ülesseadmist teise suhtes, samuti ka mõõteriistade tööpindadel.

Kareduse hindamiseks on standardiga kehtestatud 14 siledusklassi, milledest kõige jämedam on 1. klass. 6. kuni 14. klassi piirides on kehtestatud veel järgud (a, б, в), mis lubavad täpsemi normida pinnakaredust. Kõigi pinnasiledusklasside tähistamiseks on võetud kasutusele võrdkülgse kolmnurga märk ∇ , millele lisatakse klassi number, näiteks $\nabla 8$ või $\nabla 106$. Konaruste suurust valitud klassis piiravad ainult kriteeriumide R_a ja R_z maksimaalsed väärtused mikromeetrites. Juhul kui nõutakse kareduse piiritlemist, märgitakse kahe lubatavat karedust piirava klassi numbrid või järgud, näiteks $\nabla 8 \dots \nabla 9$ või $\nabla 96 \dots \nabla 9B$. Kokkupuutuvate pindade karedus mõjustab oluliselt masina tööd, põhjustades liikuvates istudes kaaspindade enneaegset kulumist, liikumatutes istudes aga detailide liite nõrgenemist.

Pinnakaredus on otseses seoses detailide töötlemisviisidega. Ligikaudne seos pinnasiledusklasside (ГОСТ 2789—59) ja pinna-töötlemisviiside vahel on toodud lisas 4.

Pinnasiledust, kus konarused on suuremad kui 1. klassis, tähistatakse märgiga \surd , millel märgitakse konaruste kõrgus R_z ⁵⁰⁰ mikromeetrites, näiteks \surd . Sileduse mõõtmisel mitmesuguseid töödeldud pinna defekte, nagu kriimustused, tühimikud jt. arvesse ei võeta.

SILEDATE SILINDRILISTE LIIDETE TOLERANTSIDE SÜSTEEMID

§ 6. Tolerantside süsteemi struktuur

Detailide mitmekesised töötingimused masinas nõuavad mitmesuguste lõtkude ja pingudega istusid. Juhul kui detailid peavad teineteise suhtes nihkuma loksuta, peab olema väga väikene lõtk. Et detail võiks vabalt pöörelda, näiteks völli laagris, peab lõtk olema suurem. Mõnikord on nõutav ka väga suur lõtk. Eksploatatsiooninõuetest lähtudes rakendatakse masinates ja mehhanismides erinevatesse täpsusklassidesse kuuluvaid lõtke ja pingusid. *Erinevate suurustega tolerantside ja hälvete kogu tootmises vajalike istude saamiseks nimetatakse tolerantside süsteemiks.*

Siledate liidete detailide töötlemiseks on mõõtmetele 0,01 mm kuni 10 000 mm ette nähtud standardsete tolerantside neli erineva ülesehitusega tolerantside süsteemi. Esimene süsteem harrab tolerantsse mõõtmetele 0,01 mm...0,1 mm (excl.), teine — 0,1...1 mm (excl.), kolmas — 1...500 mm, neljas — üle 500...10 000 mm. Täiendavalt on tolerantsid määratud mõõtmetele 10 000...31 500 mm.

Täpsusklassid. Täpsusklassi iseloomustatakse tolerantsi suurusega. Mida ebatäpsem on ühe ja sama nimimõõtmega detaili täpsusklass, seda suurem on tolerants ja vastupidi, mida täpsem on klass, seda väiksem on tolerants. Igas tolerantside süsteemis võib olla mitu täpsusklassi. Väikeste tolerantsidega on detaili töödelda keerukam ja kallim, seepärast konstruktor, valides täpsusklassi, arvestab, millistes tingimustes peab detail töötama. See on tähtis ka seepärast, et täpsusklassist oleneb lõtkude ja pingude stabiilsus, sest istu tolerants on võrdne augu ja völli tolerantside summaga (vt. näited § 3). Täpsusklassid, mis on ette nähtud igas tolerantside süsteemis, jaotatakse kahte gruppi: täpsusklassid detailide kokkupuutuvatele (koostamis-) mõõtmetele, s. t. istudele, ja suurte tolerantsidega täpsusklassid, mis on ette nähtud mittekokkupuutuvaile (vabadele) mõõtmetele ning ettevalmistusoperatsioonidele, näiteks sepistele, valanditele jm. (tabel 2).

Mitmesuguste tolerantsisüsteemide täpsusklassid

Tolerantsisüsteemid mõõtmetele mm	Täpsusklassid	
	koostamismõõtmetele	suurtele tole- rantsidele
0,01 ... 0,1 (excl.)	0,1; 0; 1; 2; 2a; 3; 3a; 4	5
0,1 ... 1 (excl.)	1; 2; 2a; 3; 3a; 4; 5	6; 7
1 ... 500	1; 2; 2a; 3; 3a; 4; 5	7; 8; 9
Üle 500 kuni 10 000	1; 2; 2a; 3; 3a; 4; 5	7; 8; 9; 10; 11
Üle 10 000 kuni 31 500	3; 3a; 4; 5; 7; 8; 9; 10; 11	

Istud. Kõikide masina- ja aparaadiehituse harude rahuldamiseks on igas tolerantside süsteemis ette nähtud erinevate istude saamiseks mitmesugused tolerantsiväljad. Reeglina tähistatakse tolerantsivälju istu nimetuse ühe või kahe esitähga (tab. 3).

Tabel 3

Istude nimetused ja võllide ning aukude tolerantsiväljade tähised

Istu liik	Istu nimetus	Tolerantsiväljade tähised
Liikumatud istud (garanteeritud pinguga)	3. press-ist	Пр 3
	2. press-ist	Пр 2
	1. press-ist	Пр 1
	Kuumpress-ist	Гр
	Press-ist	Пр
	Kergepress-ist	Пл
Ülemineku-istud (pingu või lõtkuga)	Umb-ist	Г
	Kinnis-ist	Т
	Pingu-ist	Н
	Tihe-ist	П
Liikuvad istud (garanteeritud lõtkuga)	Liugu-ist	С
	Liike-ist	Д
	Käigu-ist	Х
	Kergekäigu-ist	Л
	Lobe-ist	Ш
	Termineline käigu-ist	ТХ

Tolerantsiühik. Tolerantsi suurus ei iseloomusta piisavalt istu täpsust. Võtame näiteks ühe võlli läbimõõduga $8_{-0,03}$ mm ja teise $64_{-0,03}$ mm. Tolerantsi suuruseks on mõlemal võllil 0,03 mm. Kuid töödelda võlli läbimõõduga $64_{-0,03}$ mm on tunduvalt raskem kui $8_{-0,03}$ mm. Mehhanismis või masinas mõjutab tolerants 0,03 mm läbimõõdu 64 mm puhul liikuva või liikumatu

liite töövõimet vähem kui läbimõõdu 8 mm juures. Järelikult võib öelda, et vaatamata ühesugusele tolerantsi suurusele võll 64_{-0,03} mm on täpsem kui võll 8_{-0,03} mm. Seepärast on täpsuse ühikuks, mille abil võib väljendada täpsuse olenevust läbimõõdust, kehtestatud tolerantsiühik. Kõige levinenumatele mõõtmetele (1...500 mm) on kehtestatud tolerantsiühik $i = 0,5\sqrt[3]{d}$, kus läbimõõt võetakse millimeetrites ja tulemus saadakse mikromeetrites. Nagu valemist näha, väljendab tolerantsiühik tolerantsi suuruse olenevust läbimõõdust. Andes ette täpsuse tolerantsiühikutes, võib arvutada tolerantsi valemiga:

$$\delta = a_k \cdot i,$$

kus δ — tolerantsi suurus, a_k — tolerantsiühikute arv mitmesugustes täpsusklassides. Võrreldes erinevatele täpsusklassidele kehtestatud a_k väärtusi, näeme, mitu korda on tolerantsiühikutes väljendatud tolerantsid üksteisest suuremad või väiksemad. Teguri a_k väärtused standardsetele täpsusklassidele (mõõtmetele 1...500 mm) on toodud tabelis 4.

Teguri a_k arv väärtused (vt. tab. 4) näitavad, et tolerantside suurus on täpsetes klassides 1, 2 ja 2a võllidel ja aukudel eri-

Tabel 4

Tolerantsiühikute arv (tegur a_k) mitmesugustel standardsetel täpsusklassidel

Täpsusklass	Võlli tähis augusüsteemis	Tegur a_k	Augu tähis võllisüsteemis	Tegur a_k
1	Pr ₂₁ , Pr ₁₁ , Г ₁ , Т ₁ , Н ₁ , П ₁ , В ₁ =С ₁ , Д ₁ , X ₁	7	Г ₁ , Т ₁ , Н ₁ , П ₁ , А ₁ = =С ₁ , Д ₁ , X ₁	10
2	Pr, Пл, Г, Т, Н, П, В=С, Д Гр, X Л Ш, ТХ	10 15 20 25	А—С, Пр, Г, Т, Н, П, Д Гр, X Л Ш	15 20 25 30
2a	Pr _{2a} , Pr _{1a} , Г _{2a} , Т _{2a} , Н _{2a} , П _{2a} , С _{2a} =В _{2a} , X _{2a}	15	А _{2a} =С _{2a} , Г _{2a} , Т _{2a} , Н _{2a} , П _{2a} , Пр _{2a}	24
3	В ₃ =С ₃ , Пр ₁₃ , Пр ₂₃ , Пр ₃₃ X ₃ Ш ₃	30 40 50	А ₃ =С ₃ X ₃ Ш ₃	30 40 50
3a	В _{3a} =С _{3a}	64	А _{3a} =С _{3a}	64
4	В ₄ =С ₄ , X ₄ , Л ₄ , Ш ₄	100	А ₄ =С ₄ , X ₄ , Л ₄ , Ш ₄	100
5	В ₅ =С ₅ , X ₅	200	А ₅ =С ₅ , X ₅	200
7	В ₇	400	А ₇	400
8	В ₈	640	А ₈	640
9	В ₉	1000	А ₉	1000

nevad. Aukudel on tegur a_k 1,5 korda suurem kui võllil, järelikult ka augu tolerants on 1,5 korda suurem. See on tingitud asjaolust, et täpseid auke on raskem töödelda ja mõõta kui täpseid võlle.

Teine a_k arvvaartuste iseärasus seisneb selles, et nad näitavad, kuidas suurenevad või vähenevad tolerantside suurused üleminekul ühest täpsusklassist teise. Kui on teada 2. täpsusklassiga võlli tolerantsi suurus, siis a_k väärtuste tabel näitab, et 3. täpsusklassiga võlli tolerants (väljendatuna tolerantsiühikutes) on kolm korda suurem ($a_k=30$) ja 9. täpsusklassiga võllil 100 korda suurem.

Mõõtmete intervallid. Kui arvutada tolerantsiühikutes ette antud täpsuse jaoks valemi $\delta=ai$ järgi tolerantside suurused mõõtmetele 1...500 mm iga 1 mm järgi, siis võib lõpuks koostada tolerantside tabeli. Säärane tabel tuleb aga väga suur. Kasutamiseks mugavate ja kompaksete tolerantsitabelite koostamisel ei arvutata tolerantsi igale meelevaldsele mõõtmele, vaid üksikutele mõõtmete intervallidele. Selleks jaotatakse kõik mõõtmepiirides 1...500 mm intervallidesse (tab. 5).

Tabel 5

Mõõtmete intervallid

Mõõtmete intervall mm	Intervalli keskmine mõõde mm	$\sqrt[3]{d}$ mm
Üle 1...3	2	1,26
" 3...6	4,5	1,65
" 6...10	8	2,0
" 10...18	14	2,41
" 18...30	24	2,88
" 30...50	40	3,42
" 50...80	65	4,02
" 80...120	100	4,64
" 120...180	150	5,31
" 180...260	220	6,04
" 260...360	310	6,77
" 360...500	430	7,55

Iga mõõtmete intervalli tolerantsiühik ja tolerants arvutatakse intervalli keskmise mõõtme alusel. Näiteks intervallil üle 50 kuni 80 mm on keskmine mõõde 65 mm. Mõõtmele 65 mm arvutatud tolerants jääb muutmatuks kõigile selle intervalli mõõtmetele. Selgitame 2. täpsusklassi 65 mm läbimõõduga võlli tolerantsi arvutuse näitega, kuidas on määratud standardite tabelites leiduvad tolerantside suurused (lisa 1). Tabelitest 4 ja 5 leiame, et 2. täpsusklassiga võllil $a_k=10$ ning $\sqrt[3]{d}=4,02$. Järelikult tolerants $\delta=10 \cdot 0,5 \cdot 4,02=20 \mu\text{m}$.

§ 7. Augusüsteem ja vällisüsteem

Tolerantside süsteemid jaotatakse augusüsteemiks ja vällisüsteemiks. Augusüsteem on istude kogu, kus ühes täpsusklassis ühel ja samal nimimõotmel on augu piirhälbed võrdsed, erinevad istud saadakse aga vällide piirhälvete muutmisega (joon. 10). Kõikidel augusüsteemi standardsetel istudel on augu alumine piirhälve võrdne nulliga. Säärast auku nimetatakse põhiauguks.

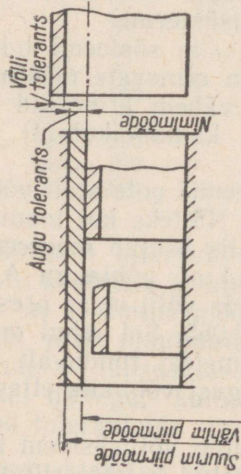
Vällisüsteem on istude kogu, kus välli piirhälbed on võrdsed (ühel ja samal nimimõotmel ja ühes täpsusklassis), erinevad istud saadakse aga augu piirhälvete muutmisega (joon. 11). Kõikidel vällisüsteemi standardsetel istudel on välli ülemine piirhälve võrdne nulliga. Säärast välli nimetatakse põhivälliks.

Augusüsteemi ja vällisüsteemi press-, kinnis- ning käiguistude tolerantsiväljade asetus läbimõodule 60 mm on toodud joonisel 12. Põhiaugu tolerantsivälja tähistatakse tähega A, põhivälli oma aga tähega B koos numbrilise indeksiga, mis tähistab täpsusklassi. Näiteks A_1 tähistab 1. täpsusklassi põhiauku, A_4 — 4. täpsusklassi põhiauku jne. Ülejäänud vällisüsteemi aukude ja augusüsteemi vällide tolerantsiväljad tähistatakse istu nimetusele vastavate tähtedega koos täpsusklassi indeksiga. Kuna 2. täpsusklass on masinaehituses kõige levinenum ning seda loetakse põhiliseks, siis selle klassi tolerantsivälja tähistamisel indeksit 2 ei kasutata (näiteks B tähistab 2. täpsusklassi põhivälli tolerantsivälja). Vällide tolerantsiväljade jaotus augusüsteemi ja aukude tolerantsiväljade jaotus vällisüsteemi erinevates täpsusklassides koos tähistega on toodud tabelis 4. Tolerantsiväljade asetusest on näha (joon. 12), et ühte ja sama istu, näiteks käigu-istu, võib valida nii augu- kui ka vällisüsteemis. Milleks on siis vaja kahte tolerantsisüsteemi?

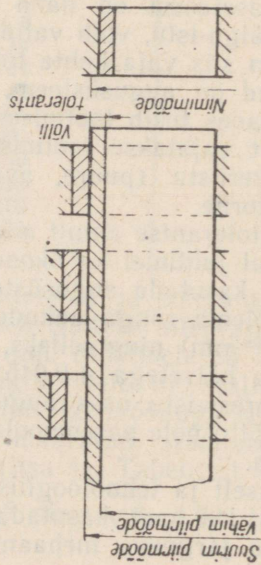
Enamlevinud on augusüsteem, kuna selle süsteemi tolerantide järgi töötades tekib tootmises vähem erinevate mõõtmetega auke, järelikult vajatakse tootmises ka vähem erinevaid augutöötlemise lõikeriistu (puure, avardeid, kammlõikureid), korkkaliibreid ja torne.

Kuid anda tolerantse ainult augusüsteemis pole alati võimalik ning ei ole real juhtudel ka ökonoomne. Näiteks kui joonisel 13 toodud sõlmes kasutada augusüsteemi, siis osutub monteerimine võimatuks. Mõlema rõnga aukude hälbed on põhiaugu A järgi võrdsed ($75^{+0,03}$ mm) ning selleks, et saada välli otsas press-istu, tuleb väll teha hälvetega $+0,045$ ja $+0,065$. Sel juhul on välli piirmõotmed press-istu osas augu mõõtmetest tunduvalt suuremad ning seetõttu pole parempoolset rõngast võimalik ettenähtud kohale asetada.

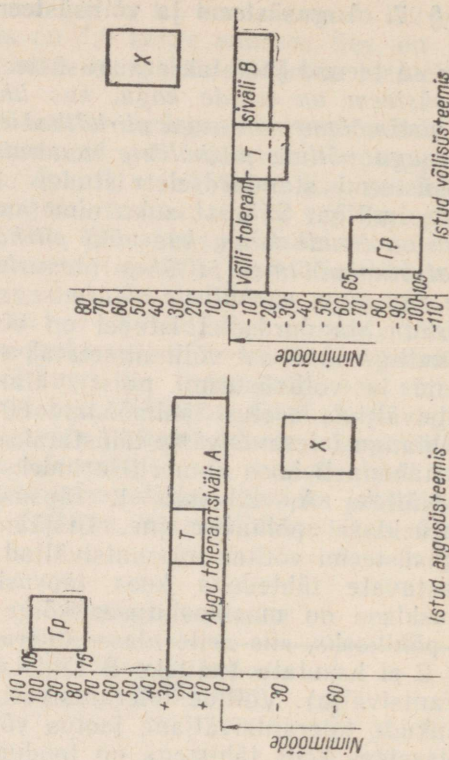
Ökonoomiliselt ja tehnoloogiliselt osutub vällisüsteem kasulikuks sel juhul, kui saab kasutada tõmmatud kalibreeritud varbmaterjali, ilma järgneva mehaanilise töötlemiseta. See on või-



Joon. 10. Augusüsteemi istud



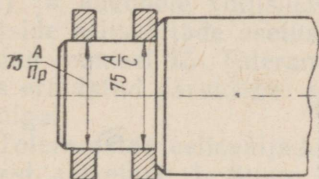
Joon. 11. Võllisüsteemi istud



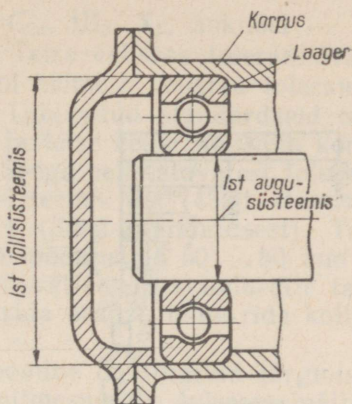
Istud augusüsteemis

Istud võllisüsteemis

Joon. 12. Kolme erineva istu tolerantsiväljade skeem



Joon. 13. Istude paigutus, kui ei osutu võimalikuks kasutada augusüsteemi



Joon. 14. Veerelaagri istud

malik ainult 2a ja madalamates täpsusklassides ning nendel juhtudel, kui augud treitakse või lihvitakse.

Völlisüsteemi on otstarbekas rakendada ka juhtudel, kui masinate konstruktsioonides kasutatakse normaliseeritud ja standardiseeritud sõlmi ning detaile, näiteks kuul- ja rull-laagrite istamisel korpusesse (joon. 14), kontrolltihtvite juures jne. Sel juhul töödeldakse kuul- ja rull-laagrite istamispesad, samuti kontrolltihtvite ning teiste normaliseeritud ja standardiseeritud detailide augud masinate korpustes völlisüsteemi vastava istu hälvetega.

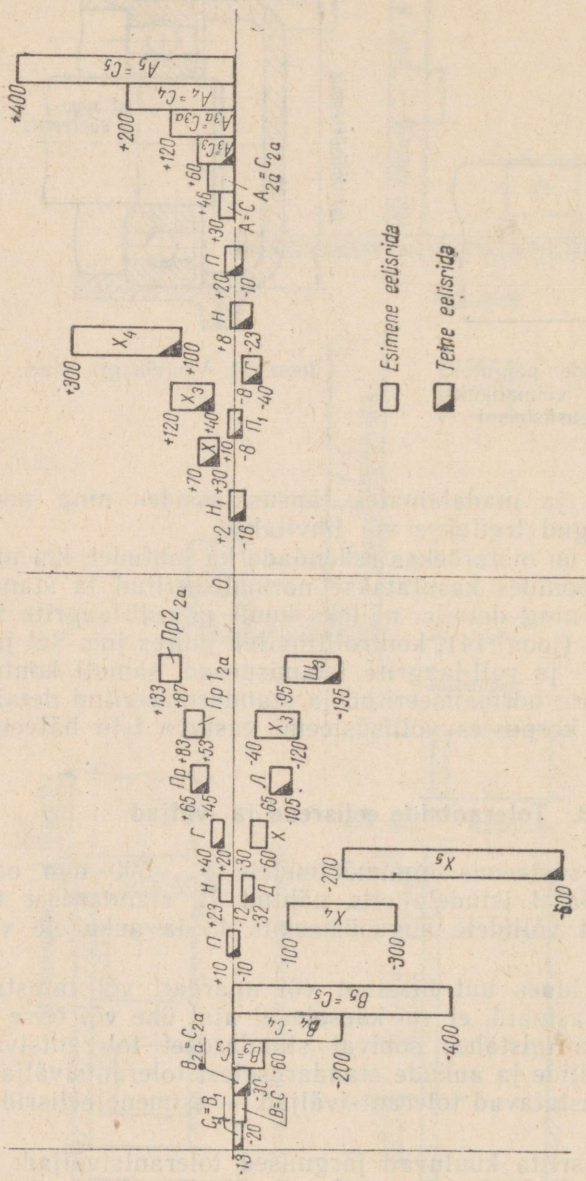
§ 8. Tolerantside eelisread ja -väljad

Tolerantside süsteemis nimimõõtmetele 1...500 mm on 1. kuni 5. täpsusklassi istudele ette nähtud 77 standardset tolerantsivälja, neist völlidele augusüsteemis 43 ja aukudele völlisüsteemis 34.

Konstruktor, luues uut masinat või aparati või täiustades olemasolevaid masinaid, ei või käesoleval ajal ühe või teise istu saamiseks valida mistahes sobivat standardset tolerantsivälja, sest kõikidest völlide ja aukude standardsetest tolerantsiväljadest on eraldatud eelistatavad tolerantsiväljad — esimene eelisrida ja teine eelisrida.

Esimesse eelisritta kuuluvad järgmised tolerantsiväljad: völlidel — H, B=C, X, Пp2_{2a}, Пp1_{2a}, B₃=C₃, X₃, B₄=C₄, X₄, B₅=C₅; aukudel — A=C, A_{2a}=C_{2a}, A₃=C₃, A₄=C₄, A₅=C₅.

Teise eelisritta kuuluvad järgmised tolerantsiväljad: völlidel



□ Esimene eelisriide
 ■ Teine eelisriide

a) b)

Joon. 15. Tolerantside eelisväljade asetuse skeem:
 a — völliidel; b — aukudel

— $B_1=C_1$, Пр, Г, П, Д, Л, $B_{2a}=C_{2a}$, III₃, X₅; aukudel — H₁, П₁, Г, H, П, X, X₃, $A_{3a}=C_{3a}$, X₄. Teise eelisrea tolerantsivälju soovitatakse kasutada sel juhul, kui esimese eelisrea tolerantsiväljad ei rahulda konstruktsiooni. Ülejäänud standardseid tolerantsivälju, mis ei kuulu esimesse ja teise eelisritta, võib konstruktor kasutada ainult erijuhtudel. Seega eelistatavatest tolerantsiväljadest kuulub võllidele augusüsteemis 19 (43-st standardsest) ja aukudele võllisüsteemis 14 (34-st standardsest). Tolerantside eelisväljade asetuse skeem mõõtmetele 50...80 mm on toodud joonisel 15. Tolerantside eelisväljad on standardite tabelites eraldatud värvidega: esimene rida oranži, teine rida kollase fooniga.

Tolerantside eelisväljade sissetoomine on tingitud järgmisest kahest asjaolust: 1. Suure hulga mitmesuguste tolerantsiväljade kasutamine põhjustaks tootmises töötlemist vajavate võllide ja aukude palju erinevaid mõõtmeid. Mida rohkem on aga erinevaid aukude ja võllide mõõtmeid, seda enam on vaja mitmesuguseid lõike- ja mõõteriistu ning rakiseid (puure, hõõritsaid, avardeid, kaliibreid jne.). Kõik see teeks ettevõtte tööriistamajanduse keeruliseks, suurendaks masinate maksumust ning pikendaks tootmise ettevalmistamist uue konstruktsiooniga masinate väljalaskmisel. Seevastu lõikeriistade ja kaliibrите suhteliselt väike nomenklatuur loob aga soodsad võimalused masootmise organiseerimiseks, mis alandab toodangu maksumust ja parandab kvaliteeti.

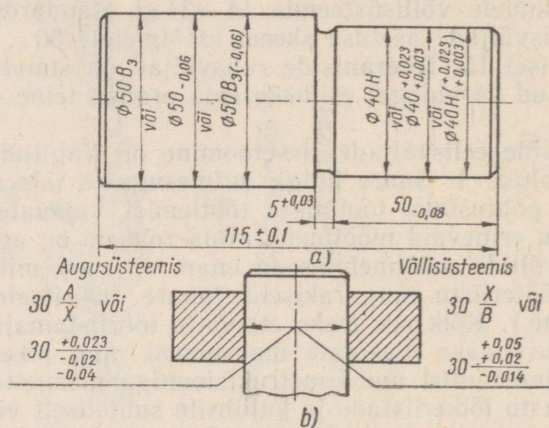
2. Standardsete tolerantsiväljade piiramine lähendab meie tolerantside süsteemi rahvusvahelisele, mida kasutatakse reasotsialistliku leeri maades. Põhiliselt valiti eelistatavaks kasutamiseks need tolerantsiväljad, mis vastavad või on lähedased rahvusvahelise süsteemi tolerantsiväljadega. Tolerantside eelisväljade kehtestamine tõstab vahetatavuse taset masinaehituses ning parandab sotsialistlike maade tehnilist ja ökonoomilist koostööd.

§ 9. Mõõtmete ja tolerantside märkimine joonistel

Mõõtmete joonisele kandmise üldised reeglid määrab kindlaks GOCT 3458—59. Mõõtmed antakse joonistel mõõtearvude ja mõõtejoontega. Lubatakse mõõtearve näidata ka tabelites, joonise tekstis või selgitavates pealkirjades, kasutades vajaduse korral mõõtmete tähistamiseks tähti.

Tolerantsid kantakse joonisele piirhälvetena või tolerantsiväljade tingtähistena. Joon- ja nurgamõõtmete piirhälvete joonistele kandmise üldreeglid on toodud GOCT 9171—59. Joonmõõtmete piirhälbed antakse joonistel otseselt nimimõõtme järel hälvete numbriliste väärtustega millimeetrites (joon. 16). Tolerantside märkimisel tolerantsiväljade tingtähistega võib nende juures anda ka piirhälbed.

Ülemine piirhälve, mis määrab suurema lubatava mõõtme, tuleb märkida alumise peale. Hälvet, mis võrdub nulliga, ei märgita; sel juhul kantakse joonisele ainult üks hälve: ülemine piirhälve plussiga (+) ja alumine piirhälve miinusega (-). Sümmeetrilise tolerantsivälja puhul kantakse hälbe suurus märgiga (\pm) nimimõõtme ühte ritta niisama suurte numbritega.



Joon. 16. Tolerantside tähistamine:
a — tööjoonistel; b — montaažijoonistel

Montaažijoonisel antakse detailide mõõtmete piirhälbed või tingtähised murruna (joon. 16, b); lugejas märgitakse augu (haarava detaili) tingtähis või hälvete arvvaartused, nimetaias aga võlli (haaratava detaili) hälvete tingtähised või arvvaartused.

Joonistele võib peale mõõtmete hälvete kanda veel lubatavad pindade kuju- ja asendihälbed. Nimetatud hälvete ja tähistate pealekandmise kord on samuti standardiseeritud.

TÖENÄOSUSTEOORIA KASUTAMISEST VAHETATAVUSES

§ 10. Tõenäosusteooria mõiste

Igal inimesel tuleb elus sageli vältimatult kokku puutuda sündmustega, millel on tõenäoline iseloom. Mingisuguse toimuda või mittetoimuda võiva sündmuse toimumise tõenäosust iseloomustavad väljendid nagu: tõenäoline, vähe tõenäoline, väga tõenäoline, võimalik, vaevalt, arvatavasti, tõepärane, võib-olla, vaevalt et, kõige õigem, oletame, näib jne. Need sõnad väljendavad tõenäosuse erinevat astet.

Palju täpsemalt võib ühe või teise sündmuse ilmnemise tõenäosuse kindlaks määrata numbriliste karakteristikute abil.

Näiteks monteerimisele toodi 15 võlli, neist 1 võll mõõtmega 50 mm, 2 võlli mõõtmega 49,98 mm ning 12 võlli nende vahepealsete mõõtmega. Tegelikult monteeriija ei tea iga võlli tegelikku mõõdet ning töötades täieliku vahetatavuse põhimõttel, võib ta igale masinale võtta ükskõik millise võlli. Milline on tõenäosus, et esimesesse monteeritavasse masinasse satuks võll mõõtmega 49,98 mm? Oodatava sündmuse ilmnemiseks, s. t. 49,98 mm mõõtmega võlli masinasse sattumiseks soodsate juhtude arv on kaks, sest ainult kahel võllil 15-st on selline mõõde. Kõikide juhtude üldarv on aga 15.

Olgu meid huvitava sündmuse (näiteks mõõtmega 49,98 mm võlli sattumine masinasse) arvuliselt väljendatav tõenäosus P , antud sündmuse ilmnemiseks soodsate juhtude arv m ning kõikide võimalike juhtude arv n ; sel juhul

$$P = \frac{m}{n} = \frac{2}{15} = 0,133 \text{ või } 13,3\%.$$

Kui monteerimisele tuuakse 15 võlli, mille hulgas pole ühtegi mõõtmega 49,98 mm ($m=0$), siis sellise mõõtmega võlli masinasse monteerimise tõenäosus on null

$$P = \frac{0}{15} = 0.$$

See tähendab, et mõõtmega 49,98 mm võlli sattumine masinasse pole tõenäoline.

Kui kõigil 15-l völli on sama mõõde 49,98 mm, siis mõõtmega 49,98 mm völli masinasse sattumise tõenäosus on üks:

$$P = \frac{15}{15} = 1.$$

Sel juhul 49,98 mm mõõtmega völli sattumine masinasse pole juhuslik, vaid vältimatu sündmus. Seega tõenäosuse arvuline väärtus asub nulli ja ühe vahel ning seda võib väljendada protsentides (alla 100%, kuid üle 0%).

§ 11. Tõenäosusteooria põhiteoreemid

Tõenäosusteooria on matemaatiline teadus, mis lubab ühtede juhuslike sündmuste tõenäosuse põhjal leida teiste juhuslike sündmuste tõenäosust. *Juhuslikuks sündmuseks* nimetatakse seda, mis võib toimuda või ka mitte toimuda, kuid ei ole võimalik, et mõlemad võimalused esinevad korraga, ega ka mingi kolmas võimalus.

Juhuslike sündmuste teoreem. Mingi sündmuse ilmlemise tõenäosus (P) määratakse antud sündmuseks soodsate juhtude ning kõikide võimalike, võrdvõimalike, mitteühtivate ja ainuvõimalike juhtude suhtega, s. o.

$$P = \frac{m}{n}.$$

Võrdvõimalikud on sellised juhud, millel on võrdne võimalus toimuda.

Mitteühtivaiks nimetatakse juhte, mis lülitavad teineteist vastastikku välja (kui üks neist toimub, siis teine ei saa toimuda).

Liitmisteoreem. Kui esinevad mõned mitteühtivad, s. t. teineteist väljalülitavad sündmused erinevate tõenäosustega $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$, siis tõenäosus, et toimuks kas või üks neist sündmustest, on võrdne nende sündmuste tõenäosuste summaga, s. o.

$$P = P_1 + P_2 + P_3 + \dots + P_n.$$

Näiteks masina sõlme monteerimiseks on antud 50 völli ja 40 puksi. Völlide hulgas ($n_1=50$) on kaks völli suurima mõõtmega (30 mm), üks völli vähima mõõtmega (29,98 mm), ülejäänud aga vahepealsete mõõtmega. Puksidest ($n_2=40$) on kahel auk suurima mõõtmega (30,08 mm), neljal vähima mõõtmega (30,02 mm), ülejäänutel aga vahepealsete mõõtmega.

Lukksepp ei tea, milliste mõõtmega on üksikud detailid, ja võtab sõlme monteerimiseks esimesed ettejuhtuvad. Missugune on järjekordsesse monteeritavasse sõlme suurima mõõtmega

30 mm (tõenäosus P_1) või vähima mõõtmega 29,98 mm (tõenäosus P_2) võlli sattumise tõenäosus P ? Kasutame liitmisteoreemi

$$P = P_1 + P_2.$$

Kuna $P_1 = \frac{2}{50} = 0,04$ ja $P_2 = \frac{1}{50} = 0,02$, siis monteeritavasse sõlme suurima või vähima mõõtmega võlli sattumise tõenäosus on $0,04 + 0,02 = 0,06$ ehk 6%.

Korrutamise teoreem. Kui meil on rida üksteisest sõltumatuid sündmusi vastavate individuaaltõenäosustega $P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$, siis neist kahe või mitme üheaegse ilmnenise tõenäosus on võrdne nende üksikute sündmuste tõenäosuste korrutisega, s. o.

$$P = P_1 \cdot P_2 \cdot P_3 \cdot \dots \cdot P_n.$$

Näiteks kui lukksepp võtab sõlme monteerimiseks vähima mõõtmega 29,98 mm võlli (tõenäosus P_1) ning suurima mõõtmega 30,08 mm puksi (tõenäosus P_3), siis liites tuleb suurim lõtk, mis võrdub $30,08 - 29,98 = 0,1$ mm. Säärase sündmuse (suurima lõtku tekkimine sõlmes) tõenäosuse arväärtuse P määramiseks kasutame korrutamise teoreemi $P = P_1 \cdot P_3$.

Kuna $P_1 = 0,02$ ja $P_3 = \frac{2}{40} = 0,05$, siis $P = 0,02 \cdot 0,05 = 0,001$ ehk 0,1%.

§ 12. Juhuslike suuruste jagunemisseadused ja nende kasutamine

Juhuslike sündmuste arväärtusi nimetatakse *juhuslikeks suurusteks*. Nad jagunevad kindlate matemaatiliste seaduste järgi, mida graafiliselt kujutatakse mitmesuguste kõveratena. Detailide töötlemisel tekivad nende mõõtmetes paljude põhjuste tõttu paratamatult vead ja hälbed. Seepärast järjekordse töödeldava detaili ühe või teise mõõtme kujunemine on juhuslik sündmus ja mõõtme väärtus juhuslik suurus. Juhuslikel suurustel on kindlad seaduspärasused, mis ilmnevad suure arvu vaatluste puhul.

Töötlemisprotsessis rakendatuna võib seda eriti selgelt jälgida masstootmisel.

Olgu näiteks mõõdetud 200 töödeldud detaili pikkus. Saadud mõõtmed (tab. 6) on eelnevalt valitud mõõtmete intervallide alusel jaotatud gruppidesse (tab. 7). Tabeli 7 teises lahtris on antud selle mõõtmete intervalli piirides olevate mõõtmetega detailide hulk, s. t. nende esinemissagedus. Kui graafikul paigutada horisontaalteljele (x) mõõtmete intervallid ja vertikaalteljele (y) detailide hulk, siis kogu detailipartii mõõtmete jagunemise iseloom esitub näitlikult tulpdigrammina (joon. 17). Ühendades

tulpdiaagrammil riskülikute ülemiste otste keskkohad kriipsjoontega, saame detailide tegelike mõõtmete praktilise jagunemiskõvera. Võrreldes praktilist jagunemiskõverat mitmesuguste jagunemisseaduste matemaatiliste kõveratega, määratakse antud tehnoloogilises protsessis saadavate tegelike mõõtmete jagunemisseadus.

Tabel 6

Töödeldud detailide mõõtmed

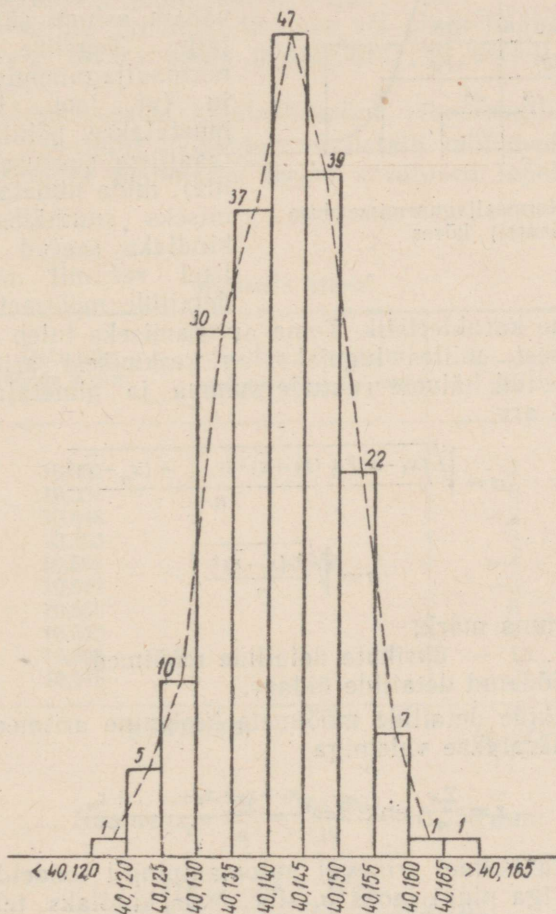
40,145	40,141	40,151	40,151	40,158	40,139	40,143	40,134
145	125	132	140	140	147	141	151
146	134	134	144	148	150	144	134
166	139	143	146	150	133	128	129
157	141	123	140	143	145	147	140
150	152	146	129	143	155	141	137
146	142	126	136	137	149	158	144
134	138	142	150	139	148	151	134
146	138	136	140	143	134	142	144
144	138	142	143	112	144	148	137
151	150	141	143	137	130	122	151
142	148	136	124	139	135	130	139
141	134	155	147	143	138	154	138
146	138	148	145	146	145	139	133
121	134	134	147	126	135	148	133
146	149	135	136	150	130	135	127
152	130	134	139	145	136	137	132
142	128	133	143	140	151	145	138
144	139	134	149	147	140	153	132
142	150	145	134	140	150	145	132
148	151	149	127	140	136	162	139
145	144	133	132	149	130	123	157
135	143	134	144	139	150	146	142
148	140	143	145	131	138	141	150
158	136	131	139	144	128	142	40,141

Tabel 7

Jagunemissagedus 11 intervalli puhul

Mõõtmete intervall mm	Detailide hulk
Alla 40,120	1
40,120 . . . 40,124	5
40,125 . . . 40,129	10
40,130 . . . 40,134	30
40,135 . . . 40,139	37
40,140 . . . 40,144	47
40,145 . . . 40,149	39
40,150 . . . 40,154	22
40,155 . . . 40,159	7
40,160 . . . 40,164	1
Üle 40,165	1

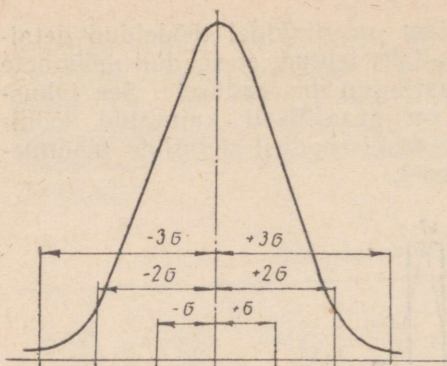
Automaatidel, poolautomaatidel jm. pinkidel töödeldud detailide hulgalisel mõõtmisel on kindlaks tehtud, et saadud mõõtmete jagunemine on lähedane normaaljagunemisseadusele. See juhuslike suuruste jagunemisseadus on graafiliselt kujutatud joonisel 18. Rakendades normaaljagunemisseadust detailide mõõtmetele, täheldatakse kolme iseärasust.



Joon. 17. 11 intervalliga histogramm

1. Aritmeetilisele keskmisele lähedaste mõõtmetega detaile esineb sagedamini kui neid detaile, mille mõõtmed sellest märgatavalt erinevad.

2. Keskmisest mõõtmest võrdsete kuid vastasmärgiliste hälvetega detailide ilmumine on võrdtöenäoline, s.t. keskmisest



Joon. 18. Normaalgagunemisseaduse (Gaussi) kõver

väiksemate mõõtmetega ja keskmisest suuremate mõõtmetega detailide arv on võrdtõenäoline.

3. Mida suurem on mingi detaili mõõtme hälve keskmisest aritmeetilisest, seda vähem esineb sääraseid detaile. Tegelik mõõtmete normaalgagunemiskõvera kuju (vt. joon. 18) iseloomustatakse põhiliselt matemaatilise suurusega σ (sigma), mida nimetatakse keskmiseks ruuthälbeks. σ on kindlaks seatud tehnoloogilisel režiimil töödeldavate detailide mõõtmete hajumise

kvantitatiivne karakteristik. Tema arvutamiseks tuleb võtta ruutjuur jagatisest, milles lugejaks on keskmisest aritmeetilisest väärtusest leitud hälvete ruutude summa ja nimetajaks mõõdetud detailide arv

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n}}$$

ehk

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (x - \bar{x})^2}{n}},$$

kus Σ — summa märk;

x_1, x_2, \dots, x_n — üksikute detailide mõõtmed,

n — mõõdetud detailide üldarv,

\bar{x} — kõikide detailide mõõtmete keskmine aritmeetiline, mis määratakse valemiga

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} \text{ ehk } \bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + x_3 + \dots + x_n}{n}$$

Kui mõõta kolmel erineval automaatpingil töödeldud detaile ja arvutada iga pingi jaoks σ , siis saab kindlaks teha, milline ping kolmest on kõige täpsem. Normaalgagunemisseaduse alusel saab määrata kindlaks tehnoloogilise protsessi täpsust ja selle vastavust joonisel ettenähtud detaili töötlemise tolerantsile. Töödeldud detailide mõõtmete hajumisväli asetseb praktiliselt piirides $\pm 3\sigma$, s. t. 6σ . Joonisel antud tolerantsi suuruse δ ja 6σ suhet nimetatakse tehnoloogilise protsessi täpsuse teguriks E_t :

$$E_t = \frac{\delta}{6\sigma}$$

Tõenäosusteooria arvutuste põhjal, kui $E_t=1$, s. t. juhul kui $\delta=6\sigma$ ja \bar{x} ühtib tolerantsivälja keskväertusega, on kõlblike detailide (mõõtmised tolerantsi piirides) tõenäosus 0,9973 ehk 99,73%.

Loetakse, et tehnoloogilise protsessi täpsus vastab joonisel nõutud tolerantsile juhul, kui $E_t=1,2 \dots 1,5$.

Tehnoloogilise protsessi täpsuse või pingi häälestuse õigsuse orienteerivaks määramiseks piisab 10...30 detaili töötlemisest ja mõõtmisest.

Olgu näiteks teada kindlaksseatud tehnoloogilisel protsessil tsentriteta lihvpingil töödeldud 10 detaili mõõtmised. Suuruste \bar{x} ja σ hõlpsamaks leidmiseks teeme arvutused tabeli 8 eeskujul.

Tabel 8

Mõõtmete hälbed

Jrk. nr.	Detailide mõõde x mm	Mõõtmise keskmine aritmeetiline \bar{x} mm	$(x-\bar{x})$ μm	$(x-\bar{x})^2$ μm^2
1	10,552	10,550	2	4
2	10,550		0	0
3	10,548		-2	4
4	10,553		3	9
5	10,548		-4	4
6	10,547		-3	9
7	10,550		0	0
8	10,552		2	4
9	10,551		1	1
10	10,548		-2	4
$\Sigma x = 105,499$			$\Sigma (x - \bar{x})^2 = 39 \mu\text{m}^2$	

$$\text{Saame } \bar{x} = \frac{\Sigma x}{n} = \frac{105,499}{10} \approx 10,550 \text{ mm};$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma (x - \bar{x})^2}{n}} = \sqrt{\frac{39}{10}} \approx 2 \mu\text{m}.$$

Järelikult antud tehnoloogilise protsessi tolerants peab olema suurem kui 12 μm , sest $6\sigma = 12 \mu\text{m}$.

Kui $E_t=1,45$, siis saadakse täpsus, mis vastab tolerantsile $\delta=1,45 \cdot 6\sigma = 1,45 \cdot 12 = 17 \mu\text{m}$ ehk 0,017 mm.

Pingi (automaadi, poolautomaadi) häälestuse õigsuse määramiseks piisab mõõtmise keskmise aritmeetilise \bar{x} leidmisest. Viimane näitab tsentrit, mille ümber detailid grupeeruvad.

Kui \bar{x} vastab mõõtmele, mis on võetud häälestamise aluseks, siis häälestus on õige.

Peale juhuslike suuruste normaaljagunemisseaduse on veel teisi juhuslike suuruste matemaatilisi jagunemisseadusi, mida tootmises kasutatakse aga vähe.

§ 13. Mitmesuguste suuruste mõõtmistulemuste läbitöötamise viisid

Tootmises ja laboratooriumides tehakse mitmesugustel eesmärkidel arvukaid mõõtmisi. Õigeks mõõtmistulemuste läbitöötamiseks peab valdama matemaatilise statistika elementaar-seid võtteid.

Sagedusread. Mõõtmise käigus üleskirjutatud mingite suuruste arvvaartused ei anna otseselt ettekujutust uuritavate nähtuste (suuruste) jagunemise iseloomust. Näiteks pole võimalik avastada mingeid seaduspärasusi tabelis 6 toodud mõõtmete vaatlemisel, mis saadi 200 detaili mõõtmise tulemusena.

Kui aga saadud vaartused paigutada suuruste kasvamise või kahanemise korras ning määrata iga suuruse kordumise arv (sagedus), kirjutades nad eelmiste kõrvale, siis saadakse nn. jagunemis- ehk sagedusread. Sagedusread võivad juba näidata uuritavate parameetrite jagunemise seaduspärasusi ja nende grupeerumise tsentreid. Näiteks esimese 20...40 töödeldud ja mõõdetud detaili sagedusreas võib mõõtmete grupeerumise tsentri järgi hinnata töötlemiseks kasutatud pingi (automaadi või poolautomaadi) häälestuse õigsust.

Kui suuruste erinevate vaartuste arv, mis saadi mõõtmisel, on suhteliselt suur (näiteks üle 15...16), siis koostatakse jagunemise intervallread. Sel juhul eraldatakse kõik tabelis esinevad vaartused intervallridadesse ning määratakse igasse intervalli kuuluvate vaartuste arv (sagedus).

Tabelis 7 on toodud 200 detaili mõõtmete jagunemise intervallread (vt. tabel 6).

Sageduse intervallridade koostamisel on väga tähtis intervallide arvu valik. Kui intervallide arv on väga suur, siis võib sagedus igas intervallis tulla liiga väike, mis raskendab jagunemise iseloomu kindlakstegemist. Intervallide väikse arvu puhul lähevad mõnikord kaduma jagunemise iseloomu üksikasjad. Kõige sagedamini võetakse intervallide arvuks 7...13. Intervallide algust ja lõppu nihutatakse tavaliselt mõõtmisel saadud vähimast ja suurimast vaartusest. Harilikult võetakse nihkeks 0,5 intervalli laiust.

Tabelis 7 on antud jagunemissagedus 11 intervallis; saadud sagedusrida näitab detailide mõõtmete hajumises kindla seaduspärasuse olemasolu. Kui suurendada intervallide arv 25-ni nagu

tabelis 9, siis on mõõtmete hajumise seaduspärasuse kindlaksmääramine sagedusrea järgi juba raskem. Sel juhul on ühe grupeerumistsentri asemel, mida tabelis esindavad mõõtmepiirides 40,140...40,144, tekkinud kaks võrdset maksimaalväärtust (sagedus 21) erinevates intervallides (intervallis 40,145...40,146 ja intervallis 40,139...40,140).

Tabel 9

Jagunemissagedus 25-s intervallis

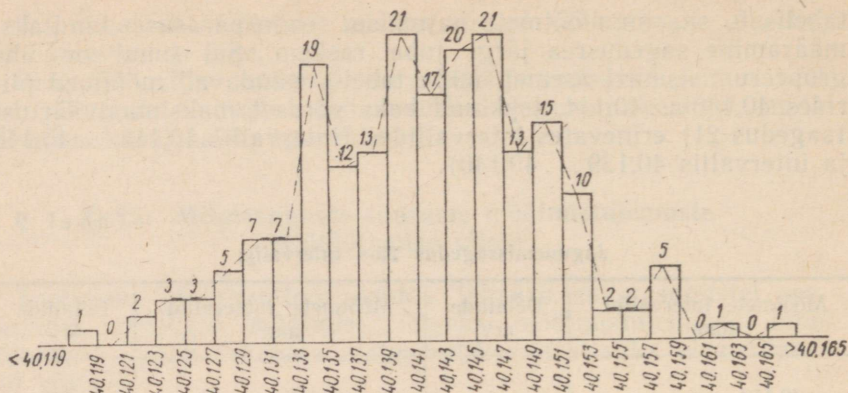
Mõõtmete intervallid mm	Detailide arv	Mõõtmete intervallid mm	Detailide arv
40,118	1	40,143 ... 44	20
40,119 ... 20	0	40,145 ... 46	21
40,121 ... 22	2	40,147 ... 48	13
40,123 ... 24	3	40,149 ... 50	15
40,125 ... 26	3	40,151 ... 52	10
40,127 ... 28	5	40,153 ... 54	2
40,129 ... 30	7	40,155 ... 56	2
40,131 ... 32	7	40,157 ... 58	5
40,133 ... 34	19	40,159 ... 60	0
40,135 ... 36	12	40,161 ... 62	1
40,137 ... 38	13	40,163 ... 64	0
40,139 ... 40	21	40,165 ... 66	1
40,141 ... 42	17		

Tabelist 7 on näha mõõtmete esinemise sageduse vähenemine nende väärtuste eemaldumisel grupeerumise tsentrist nii vähene-mise kui ka suurenemise poole. Tabelis 9 avaldub see vähene-mine nõrgemini.

Uuritavate nähtuste jagunemise võimalikud seaduspärasused on näitlikumad, kui mõõtmistulemused esitada graafiliselt tulp-diagrammidena või jagunemiskõveratena.

Histogrammid. Histogrammiks nimetatakse sagedus-ridade alusel ehitatud tulpdiagrammi (vt. joon. 17). Graafikul kantakse abstsissteljele intervallid, ordinaatteljele sagedused. Joonisel 19 on toodud histogramm, mis vastab tabelis 9 toodud sagedusridadele. Kuna ristkülikukujuliste tulpade alused on isekeskis võrdsed, siis nende pindalad on võrdelised kõrgustega.

Praktikas mitmesugustel mõõtmistel, eriti suure tootlikkusega pinkide ja automaatliinide häälestamisel ehitatakse sagedusread ja diagrammid mõõtetulemuste läbitöötamise kiirendamiseks samaaegselt mõõtmisega. Tehnoloogilise protsessi jälgimiseks on vaja kiiresti saada uuritavate parameetrite läbitöötamise tulemused sagedusridadena, tulpdiagrammidena või grupeerumis-tsentrina. Selline analüüs on võimalik ainult tingimusel, kui analüüsitavate parameetrite ligikaudsed jagunemise piirid, s. t.



Joon. 19. 25 intervalliga histogramm

nende suurimad ja vähimad võimalikud väärtused (näiteks töötlemise tolerant) on juba teada.

Sel juhul kantakse millimeetri- või mingile muule grafeeritud paberile kas suuruste suurenemise või vähenemise korras intervallide tabel ja märgitakse sellesse vastava intervalli kohal iga mõõtmise tulemus punktina või kriipsuna. Peale mõõtmiste lõpetamist näitab punktide asetus ja arv graafikul grupeerumistsentrit, üksikute väärtuste tihedust ja uuritavate juhuslike suuruste jagunemisseaduse ligikaudset iseloomu.

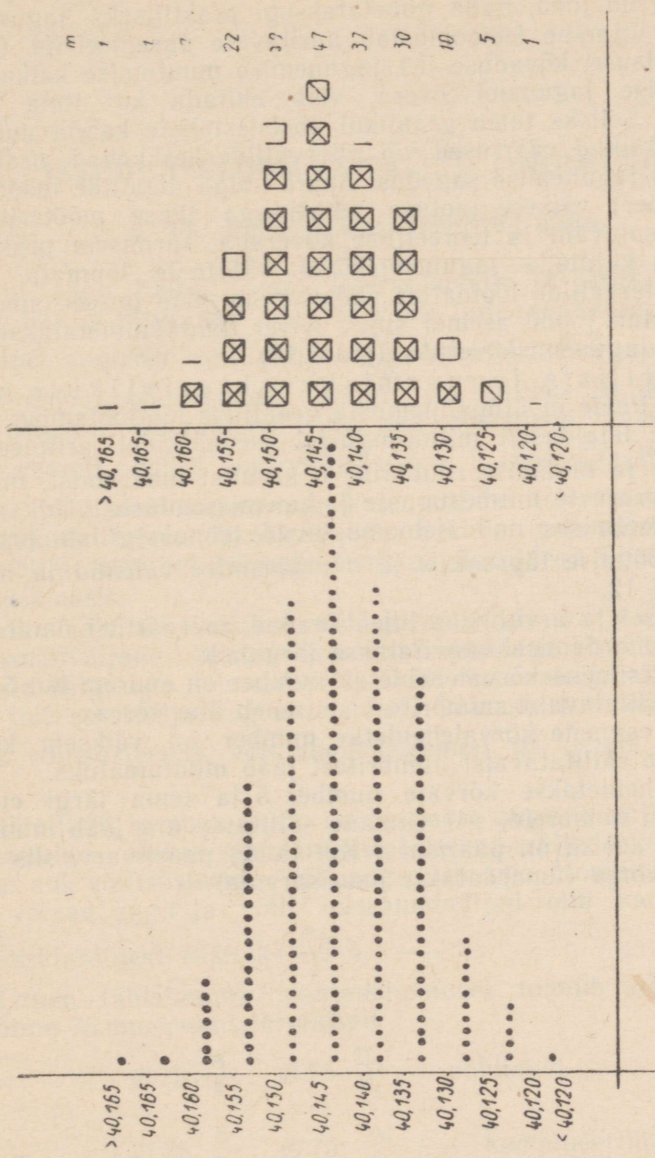
Joonisel 20 on vertikaalteljele kantud võimalikud mõõtmised suurenemise järjekorras, teljest paremale aga mõõtmistulemused punktidiagrammina.

Kui punktide pealekandmisel pidada rangelt kinni mastaabist, s. t. säilitada punktide vahel võrdsed kaugused, siis annab punktidiagramm näitlikult uuritavate parameetrite jagunemisseaduse või näitab selle puudumist.

Kui üksikute mõõtmiste hulk on suur, näiteks üle 200, siis järjestikuliste mõõtmiste tulemus grupeeritakse tinglike kujundite näol, mis kergendab sageduste arvestust. Näiteks joonisel 20 on üksikute väärtuste ilmnenise sagedus vastavalt tabelile 7 näidatud järgmiste tingmärkidega: \boxtimes — 6; \boxplus — 5; \square — 4; \square — 3; \sqsubset — 2; $|$ — 1.

Pärast mõõtmist on kerge leida jagunemise sagedus igas intervallis. Selleks tuleb täisruutude arv korrutada kuuega ja liita korrutisele mittetäisruudule vastav suurus. Ruutude asetus intervallide kõrval võib (vt. joon. 20) täielikult asendada histogrammi.

Praktilised jagunemiskõverad. Saadud seaduspärasuste paremaks võrdlemiseks matemaatikas tuntud mitme-



Joon. 20. Detailide määritumete jagunemisgraafikud

suguste teoreetiliste jagunemiskõveratega ehitatakse praktilised kõverad. Näiteks kui histogrammil ristkülikute keskkohaade ordinaadid ühendada joontega (kriipsjooned joonistel 17 ja 19), saadakse murtud joon, mida nimetataksegi praktiliseks jagunemiskõveraks. Viimane iseloomustab uuritavate parameetrite (mõõtmete, elastsuse, kõvaduse jt.) jagunemise muutumise käiku.

Praktilise jagunemiskõvera võib ehitada ka ilma histogrammita. Selleks tuleb graafikul abstsissiteljele kanda uuritava tunnuse üksikud väärtused või intervallide keskkohad, ordinaattele aga jagunemise sagedus. Suure hulga detailide mõõtmisel (1000 ümber) väikese jaotuse väärtusega täpse mõõteriistaga saadakse sujuvam ja teoreetilise kõveraga sarnasem praktiline kõver. Kui kujutada jagunemiskõver väärtuste lõpmata suure arvu ja intervallide lõpmatult väikeste suuruste juures, siis saadakse murtud joone asemel sujuv kõver, mida nimetatakse teoreetiliseks jagunemiskõveraks (joon. 18).

Numbriliste jagunemiskarakteristikute määramine. Peale mõõtmistulemuste graafilise läbitöötamise praktiliseeritakse laialdaselt mitmesugustel eesmärkidel aritmeetilise keskmise \bar{x} ja keskmise ruuthälbe σ arvulist määramist, mis on juhuslike suuruste mitmesuguste jagunemisseaduste põhikarakteristikud. Tootmises nad iseloomustavad tehnoloogiliste protsesside ja mõõtmise täpsust. \bar{x} ja σ määramise valemid ja näited on antud § 12.

Mõõtmisel ja arvutustes tuleb saadud arvvaartusi ümardada. Suuruste ümardamisel soovitatakse järgmist:

1. Kui esimene kõrvaleheidetav number on suurem kui 5, siis viimane säilitatavaist numbritest suureneb ühe võrra.
 2. Kui esimene kõrvaleheidetav number on väiksem kui 5, siis viimane säilitatavaist numbritest jääb muutumatuks.
 3. Kui heidetakse kõrvale number 5 ja tema järgi ei ole tähendusega numbreid, siis viimane säilitatav arv jääb muutmatuks juhul, kui ta on paarisarv. Kui ta on paaritu arv, siis suureneb ühe võrra (ümardatakse paarisarvule).
-

ISTUDE ISELOOM JA VALIKU TINGIMUSED

§ 14. Põhi- ja kombineeritud istud

Kui augu hälbed võtta tolerantsivälja A järgi, võllil aga käigu-istu X järgi, siis augu ja võlli liide saadakse standardiseeritud augusüsteemi põhiistu $\frac{A}{X}$ kohaselt. Kui augule võtta tolerantsiväli võllisüsteemi mingi istu, näiteks Π_1 järgi, võllile aga põhivõlli tolerantsiväli B_1 , siis niisuguste detailide istuks tuleb samuti põhiist, kuid võllisüsteemi 1. täpsusklassis $\frac{\Pi_1}{B_1}$. Järelikult põhiistud kujunevad kas võllide tolerantsiväljade ja põhiaukude tolerantsiväljade või aukude tolerantsiväljade ja põhivõllide tolerantsiväljade kombinatsioonidega ühes ja samas täpsusklassis.

Liite vajaliku iseloomu võib garanteerida ka augu ja võlli tolerantsiväljade teiste kombinatsioonidega (näiteks võttes augule käigu-istu tolerantsivälja võllisüsteemis ja võllile käigu-istu tolerantsivälja augusüsteemis). Sääraste tolerantsidega liite (auk võllisüsteemis, võll augusüsteemis) ist $\frac{X}{X}$ on kombineeritud.

Järelikult kombineeritud ist saadakse augu ja võlli erinevates süsteemides võetud standardsete tolerantsiväljade kombinatsioonina: auk võllisüsteemis, võll augusüsteemis. Kombineeritud istudes võivad augu ja võlli tolerantsiväljad olla ka erinevatest täpsusklassidest (näiteks $\frac{A_{2a}}{\Gamma}$).

Istude tähistamine montaažijoonisel toimub näiteks nimimõõtme 75 mm puhul järgmiselt:

$$\varnothing 75 \frac{A}{X} ; \varnothing 75 \frac{\Pi_1}{B_1} \text{ — põhiistud}$$

$$\varnothing 75 \frac{X}{X} ; \varnothing 75 \frac{A_{2a}}{\Gamma} \text{ — kombineeritud istud}$$

Nende istude tolerantsiväljade graafilised kujutised on toodud joonisel 15 (tolerantside eelisväljad).

Tolerantside eelisväljade kasutuselevõtmisel arvestati sellega, et igat augu tolerantside eelisvälja saaks kombineerida iga võlli tolerantside eelisväljaga. Kõikidel võimalikel tolerantside eelisväljade kombinatsioonidel võib saada ühel nimimõõtmel üle 200 erineva lõtku ja pinguga istu ($14 \times 9 = 256$). Sellisel lähenemisel istude valikule langeb tolerantside mitte-eelisväljade kasutamise vajadus ilmselt ära, mis vähendab tootmises mitmesuguste kaliibrite (kork- ja harkkaliibrite), lõikeriistade, tornide jne. hulka.

§ 15. Standardsete istude otstarve

Standardsete istude kasutamise näited augu ja võllisüsteemis on toodud tabelis 10.

Liug-istudes on vähim lõtk võrdne nulliga. Nad asetsevad ülemineku- ja liikuvate istude piiril, mistõttu neid kasutatakse nii liikuvates kui ka liikumatutes liidetes. Hea määrimise korral nihkuvad detailid teineteisel vabalt. Liikumatus liidetes kasutatakse liug-iste siis, kui nõutakse sõlmede sagedast lahti- ja kokkumonteerimist masina eksploatatsioonis. Neil juhtudel tagatakse liikumatu liide täiendavate kinnitusdetailide (liistude, tihtvõrste jt.) abil.

Liike-istudel on väga väike garanteeritud lõtk. See tagab detailide hea tsentreerimise ning väldib löökide tekkimist koormuse muutumisel. Hea määrimise korral kasutatakse neid kolbmootori vāntvõlli kaela ja kepsu ühendamisel, samuti ka regulaarselt nihutatavate detailide juures.

Kāigu-istudel on küllaldane vähim lõtk ning neid kasutatakse põhiliselt mõõduka ja konstantse kiiruse ning löökideta koormusega töötavates liidetes.

Kergekāigu-istud on suhteliselt suurte lõtkudega. Neid kasutatakse liikuvates liidetes samadel tingimustel kui kāigu-istused, kuid suuremal istu pikkusel või suurema tugede arvu puhul, samuti ka kiirustel, mis ületavad keskmisi.

Lobe-istused iseloomustavad suhteliselt suured lõtkud ning neid kasutatakse suurtel kiirustel, kui detailide töötingimuste kohaselt lubatakse ebatāpset tsentreerimist, kaardumisi ja läbi-painet; istu suurel pikkusel; mitmetoelistes liidetes; detailide ühendamiseks, mille mõõtmed masina töötamisel temperatuuri mõjul muutuvad.

Termilisi kāigu-istused kasutatakse detailide ühendamiseks, mis töötavad kõrgetel temperatuuridel, näiteks mitmesugustes soojusmootorites, kus töö lõtk võib detailide ebaühtlase soojuspaisumise tagajärjel oluliselt väheneda.

Umb-istudel on 1. täpsusklassis garanteeritud ping, 2. ja 2a. täpsusklassis saadakse aga vähima pingu asemel lõtk. Neid istused kasutatakse suhteliselt harva, peamiselt suurte dūnaamiliste

Standardsete istude kasutamismäited

Standardsete istude nimelused	Liidete näited
1. ja 2. täpsusklassi liig-istud	Pinkide, aparaatide ja mehhanismide täpsed juhtpinnad, pumpade ja pneumaatiliste masinate kolvivarred kompleksis silindriga; kaante ja äärikute tsentreerimispiinad; pinoolid või spindlid hülssides; kütusepumpade ja õli-agregaatide vahetusrattad (liistul) völlidel, jäigad ja hõõrdsidurid völlidel
Liike-istud	Puksid jaotussiibritel, liikuvatel klappidel ja torudel, turbiinrootori völlil, täpsete masinate spindlitel. Völlide ja telgede liikumatud liited (pikikiilu või tihvtiga) vahetusrattastega
Käigu-istud	Laagrites pöörlevad vänt-, nukk-, kardaan- või teised völlid ja spindlid; mootori kepsusõrm puksis
2. ja 3. täpsusklassi kergekäigu-istud	Sünkroonmasinate, tsentrifugaalpumpade, turbogeneraatorite, lihvpinkide ajamate völlide tapid laagripuksides. Ölipumba völl kaanes, veetava ratta puksid teljel, tühi-jooksurihmarattad ja vabalt pöörlevad hammasrattad völlil. Täpsete kuul- ja kahveliigendite ühendused
4. täpsusklassi kergekäigu-ist	Puksid völlidel põllutöö- ja teedemasinates; käivitushoobade lingid ja piduritõmmitsate kahvlid puksidega; tihendusrõngad kolvisoonetes (laiuses)
2. täpsusklassi lobe-ist	Ölifiltrite klapid juhikutes, käivitusklapid puksides; kolvid silindrites, turbogeneraatorite völlid laagrites, kompressorite kolvirõngad soontes (laiuse suunas)
Umb- ja kinnis-istud	Hammasidurid, hoorattad, rihmarattad ja hoovad völlidel ning telgedel, elektrimasinate rootorid völlidel. Silindriliste ja kooniliste hammasrattaste, samuti ka tigurattaste liikumatud liited völlidega täiendava kinnituse kasutamisel
Ping-istud	Kiirekäiguliste rihmarattaste, reduktorite hammasrattaste, käsirattaste, käepidemete, sidurite, seaderõngaste, kompressorite ristpeade sõrmede ja rattaste ning laagrite vahetatavate pukside istamiseks
Tihe-istud	Vahetusrattaste ja pukside, tsentreerimistihvtide, käsirattaste istamiseks

koormuste (põrutused, löögid, vibratsioon) puhul, kui sõlmede lahtimonteerimine on ette nähtud ainult masinate kapitaalremondis.

Kinnis-istused kasutatakse samadel juhtudel kui umb-istused, kuid väiksema tugevusega materjalide puhul, samuti juhtudel, kui puksi pikkus $l > 1,5d$ või pukside seinapaksus on väike.

Ping-istud annavad hea tsentreerimistäpsuse ja võimaldavad detaile kergele vasarate abil kiiresti lahti ja kokku monteerida.

Tihe-istusi kasutatakse sagedase ja kiire sõlmede monteermise ja lahtimonteerimise vajaduse korral, samuti ka ping-istu asemel, kui puksi pikkus $l > 1,5d$. Need istud tagavad detailide aeglase aksiaalnihutamise ja hea tsentreerimise.

Standardised press-istud on võetud kasutusele kui orienteerivad. Press-istude valikul soovitatakse teha pingude arvutus ja arvestada kõiki tegureid, mis mõjutavad nende valikut. Pärast istu valikut tuleb seda kontrollida katseliselt.

§ 16. Istude valik

Mitmesuguste istude valiku korda peavad teadma mitte ainult konstruktorid, vaid ka tootvad töölised, eelkõige montaažitsehhi töölised.

Liikuvate või liikumatute istude valikul tuleb esmajärjekorras tutvuda sarnaste liidetega teistes mehhanismides ja masinates, mis töötavad analoogilistes tingimustes, vastasel juhul tuleb teha arvutus koos liite järgneva kontrolliga töös. Liikuvate istude teoreetilised arvutused tehakse hüdrodünaamilise määrimise teooria alusel, liikumatutel istudel aga tugevusõpetuse teooriate alusel.

Augu ja võlli hõõrdepinnad peavad liikuvates istudes olema eraldatud määrekihiga. Kui see kiht puudub, siis tekib vedelikulise hõõrdumise asemel kuivhõõrdumine, kus detailide pöörlemise mehaaniline energia muundub soojuseks, detailid kuumenevad ja masin langeb rivist välja.

Määrimise hüdrodünaamilise teooria alusel määratakse määrekihi paksus ehk optimaalse lõtku suurus, mille puhul on garanteeritud võlli ja puksi vaheline vedelikuline hõõrdumine minimaalse hõõrdekaoga.

Pinguga istu valik. Press-istude kasutamisel kontrollitakse suurima pingu lubatavust ja määratakse vähim ping, mille juures ühendatud detailid teineteise suhtes ei nihku. Suurim ping on võimalik sel juhul, kui pressimisel tekkivad pinged ei ületa tugevustingimustega lubatavaid.

Pressliite tugevus oleneb kokkupuutuvate pindade vahelistest hõõrdejõududest, viimased aga omakorda võlli ja puksi elastsetest deformatsioonidest tingitud jõududest ning hõõrdetegurist. Järelikult pingu suurenemisel elastse deformatsiooni piirides suureneb ka liite tugevus, pingu suurendamine üle elastsuse piiri aga liite tugevust enam ei mõjuta.

Pinguga liite tugevus oleneb seega ka kokkupuutuva puksi ja võlli seinapaksusest (kui tegemist on õõnesvõlliga) ja kontaktpinna suurusest. Lõpuks mõjutab pinguga liite tugevust veel

ühendamise viis. Kui näiteks puks asetatakse võllile kuumutatult (ilma jõudu rakendamata), saadakse tunduvalt tugevam liide kui kuumutamata puksi pressimisel võllile. See on tingitud sellest, et pressimisel pinna ebatasasused muljutakse osaliselt maha ning ping, mis arvutati pressimiseelsete mõõtmete alusel (saadud võlli või puksi mõõtmisel) veidi väheneb.

Istu valikul tuleb arvestada samuti liite töötemperatuuri. Näiteks kui haaratav ja haarav detail valmistatakse erinevate joonpaisumisteguritega materjalidest, võib ping töötemperatuuri märgataval kõrvalekaldumisel normaalsest (20°C) muutuda ja mitte rahuldada mehhanismi töötingimusi.

Pinguga liidete saamine haarava detaili kuumutamiselega võib põhjustada ebaühtlast deformatsiooni (kuju moonutust), mis on eriti ohtlik keerulise kujuga detailide juures. Tuleb arvestada, et pinguga liited on reeglina mittelahutatavad, sest teistkordne pressimine vähendab liite tugevust.

Lõtkuga istu valik liugelaagritele. Lõtkuga istu valikul on põhieesmärgiks võlli ja puksi puutepindade vahel minimaalse hõõrdumise, järelkult aga ka minimaalse kulumise kindlustamine. Eristatakse järgmisi hõõrdumise liike: kuiv, vedelikuline ja vahepealne (poolkuiv, poolvedelikuline). Vedelikulisel hõõrdumisel peab võlli ja puksi (laagri) vaheline määrdekiht olema sellise paksusega, et puksi ja võlli pindade vaheline hõõrdumine asenduks praktiliselt määrdekihtide vahelise hõõrdumisega. Kui hõõrdepinnad pole määritud, tekib kuiv hõõrdumine. Vahepealne poolkuiv või poolvedelikuline hõõrdumine esineb sel juhul, kui hõõrdepinnad pole täielikult eraldatud määrdekihiga.

Liugelaagril on parimad töötingimused vedelikulisel hõõrdumisel. Et määrdekiht pinnakonaruste toimel ei katkeks, peab selle minimaalne paksus ületama võlli ja augu pinnakonaruste kõrguste summa. Võlli ja augu läbimõõtude erinevuse tõttu kujuneb kiilukujuline (sirbitaoline) lõtk. Võlli pöörlemisel tekib määrdega täidetud kiilukujulises lõtkus hüdrauliline rõhk. Kiiruse suurenemisel hüdrauliline rõhk kasvab. Kui see saavutab väärtuse, mis võrdub võllile mõjuva jõuga (kaasa arvatud kaal), võtab võll asendi, mille puhul tekib vedelikuline hõõrdumine (võlli ja laagri pinnad on täielikult eraldatud õlikihiga). Õlikiht vähendab hõõrdumise miinimumini, õli tsirkulatsioon aga soodustab laagri tööpindadelt hõõrdumisel tekkiva soojuse ära voolu.

Arvutused ja masinate ekspluatatsioonipraktika näitavad, et võlli pöörlemiskiiruse ja õli sitkuse suurenemisel tuleb lõtku suurendada, s. t. tuleb valida suurema lõtkuga ist, koormuse suurenemisel aga väiksema lõtkuga ist. Teisest küljest, lõtku suurenemisel õlikihi minimaalne paksus väheneb, õlikihi väikse paksuse (võrdne või väiksem konaruste kõrgusega) korral tekib aga poolkuiv hõõrdumine. Seepärast tuleb liiga suurt lõtku vältida. Kuna määrde sitkuse suurenemisel tuleb lõtku suurendada ja

vastupidi, siis lõtku suurenemisel vastavalt mehhanismi kulumisele tuleb kasutada suurema sitkusega määret kui uues mehhanismis. Määrde valikul tuleb arvestada, et määrde sitkus temperatuuri tõusul väheneb, temperatuuri langemisel aga suureneb.

§ 17. Kuul- ja rull-laagrite tolerantsid ning istud

Pöörlevate detailidega liidete kvaliteedile esitatavate nõuete suurenemine kaasaegsetes masinates ja aparaatides sunnib liugelaagreid asendama veerelaagritega, s. o. kuul- ja rull-laagritega.

Kuul- ja rull-laagrite tehnilised nõuded, sealhulgas ka tolerantsid on toodud ГOCT 520-55. Valmistamistäpsuse alusel jaotatakse laagrid viide klassi: normaalne H, suurendatud täpsusega П, kõrge täpsusega B, eriti kõrge täpsusega A ja ülikõrge täpsusega C. A ja C klassi laagreid kasutatakse juhtudel, kui nõutakse võllide suurt pöörlemistäpsust, samuti suurtel pöörlemiskiirustel (lihv- ja treipinkide spindlid, lennukite reaktiivmootorite võllid).

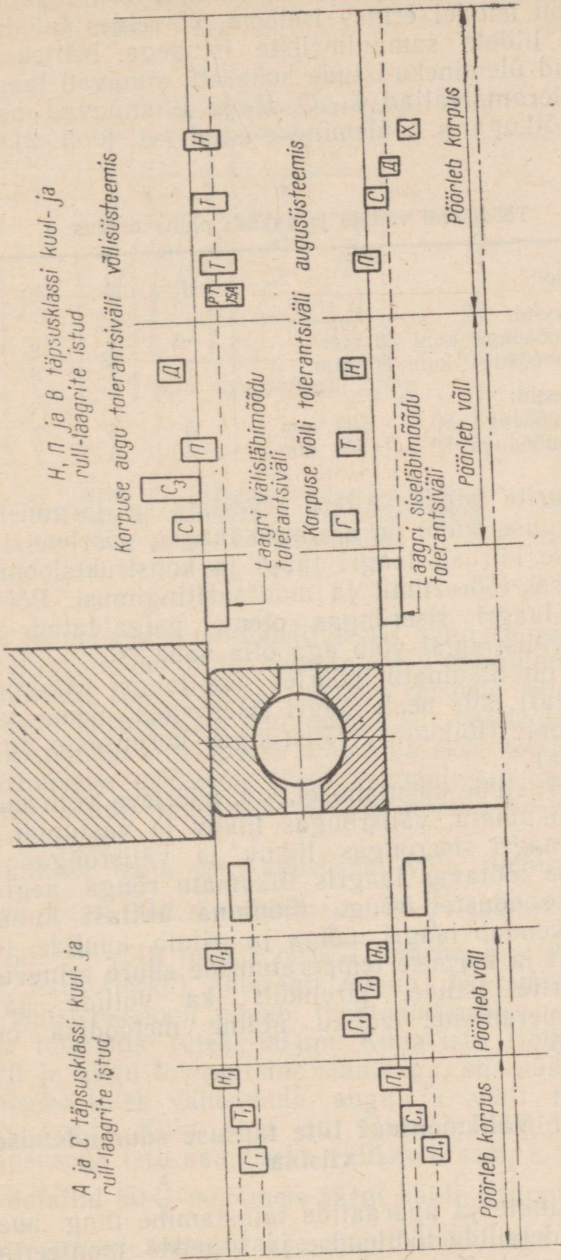
Võllide ja korpuste avade töötlemise tolerantsid kuullaagrite alla võetakse siledate silindriliste detailide standardsete tolerantside järgi (kasutatakse laagritele sobivaid iste). Laagri siserõnga istamiseks võetakse võlli tolerants augusüsteemis (joon. 21) vastavalt ühele järgmistest istudest: $\Gamma_1, T_1, H_1, C_1, D_1, \Gamma, T, H, \Pi, C, D, X$. Eelistatavamad neist on C, Γ, Π, D, X .

Augu töötlemise tolerantsid masinate korpustes laagri välisläbimõõdu jaoks võetakse võllisüsteemis vastavalt ühele järgmistest istudest: $\Gamma_1, T_1, H_1, \Pi_1, C_1, \Gamma, T, H, \Pi, C, D, C_3$. Eelistatavamad neist on C, $H_1, \Pi_1, \Gamma, H, \Pi, C_3$. Augu tolerantsiväli C_3 on määratud lahtivõetavatele korpustele.

I. täpsusklassi tolerantsid on ette nähtud võllidele ja aukudele, kuhu asetatakse eriti kõrge täpsusega A ja ülikõrge täpsusega C laagrid.

Et tähistada laagrite alla töödeldud võlli ja augu (korpuses) läbimõõte, lisatakse standardsetele istude tähistele montaažijoonistel veel indeks «n», näiteks $\varnothing 60 T_n$. Indeks «n» näitab, et nendele pindadele esitatakse kõrgendatud nõudeid nii pinna-sileduse kui ka silindrilisuse osas (ovaalsust ja koonilisust piiratakse hälvete kindlate suurustega). Näiteks koonilisus ja ovaalsus ei tohi olla üle 50% mõõtme tolerantsist, A ja C klassi laagrite puhul aga üle 0,25% mõõtme tolerantsist. Võllide töödeldud pindade siledus peab vastama ГOCT 2789-59 (tabel 11).

Kuna laagrite istamisläbimõõtudele on ette nähtud spetsiaalsed tolerantsid, võllide ja korpuste aukude läbimõõtude tolerant-



Joon. 21. Kuul- ja rull-laagrite istud koostamismõõtmete

sid võetakse aga üldiselt siledate silindriliste detailide tolerant-side süsteemist, siis laagrite ühendamisel võllidega või korpuste aukudega on istudel erinev iseloom, võrreldes tavaliste siledate silindriliste liidete samanimeliste istudega. Näiteks võllid, mis on töödeldud ülemineku-istude kohaselt, annavad laagrites ainult pingud. Tolerantsiväljad C_1 , C, D_1 ja D annavad aga seevastu pingu või lõtkuga, s. t. ülemineku-istud (vt. joon. 21).

Tabel 11

Töödeldud võllide ja aukude pinnakaredus

Laagrite klassid	H	Π	B	A	C
Pinnasiledusklassid:					
võllidel läbimõõduga kuni 80 mm	7	7	8	8	9
aukudel läbimõõduga kuni 80 mm	7	7	8	8	8
Pinnasiledusklassid:					
võllidel läbimõõduga 80 . . . 500 mm	6	6	7	7	8
aukudel läbimõõduga 80 . . . 500 mm	6	6	7	7	7

Veerelaagrite istude valikul arvestatakse järgmisi tegureid: võlli või korpuse, kuhu on asetatud laager, pöörlemist; koormust ja pöörlemise kiirust, laagri tüüpi ja konstruktsiooni, temperatuuri stabiilsel töörežiimil ja montaažitingimusi. Pöörleva võlli puhul peab laagri siserõngas olema paigaldatud liikumatult (pinguga), välisrõngal võib aga olla vaba ist.

Kui võll on liikumatu, pöörleb aga laagri välisrõngas (näiteks autorattal), siis peab laagri siserõngas olema võllile paigaldatud vabalt (lõtkuga), välisrõngas korpusesse aga liikumatult (pinguga).

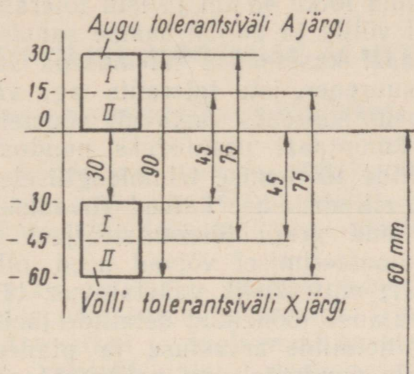
Niisugusel istude kasutamisel, s. t. pöörleva võlli puhul laagri siserõngas liikumatu, välisrõngas liikuv ja vastupidi, liikumatu võlli puhul laagri siserõngas liikuv ja välisrõngas liikumatu, kindlustatakse töötavas laagris liikumatu rõnga aeglane pöördumine. See soodustab rõnga tööpinna ühtlast kulumist, mis omakorda pikendab laagri tööiga ja väldib kuulide teljesihilist kiilumist võlli ja korpuse temperatuuride suure erinevuse korral.

Veerelaagrite istude, järelikult ka võllide ja aukude töötlemise tolerantside valiku üldine meetodika on toodud GOCT 3325-55.

§ 18. Valikmontaaž liite täpsuse suurendamise viisina

Pidev masinate ja aparaatide täiustamine ning uue tehnika areng nõuab detailide töötlemise ja sõlmede monteerimise täpsuse suurendamist. Kui neid nõudeid rahuldada ainult tolerant-

side vähendamisega, minnes üle kõrgematele täpsusklassidele, siis detailide valmistamine ja masinate monteerimine läheb keerukamaks ja kallimaks, järelikult masina hind tõuseb.



Joon. 22. Käigu-istu graafiline kujutamise detailide sorteerimisel kahte gruppi valikkoostamisel

Sõlmede ja masinate montaažitäpsust saab suurendada mitte ainult töödeldavate detailide tolerantside vähendamisega, vaid ka valikmontaaži teel. Viimase olemus seisneb selles, et detailide töötlemisel kasutatakse tehnoloogiliselt vastuvõetavaid tolerantsse, kuid monteerimistäpsust suurendatakse töödeldud detailide sorteerimisega mõõtmete järgi gruppidesse. Sel juhul joonise tolerants jaotub niimitmeks eritolerantsiks, kuipalju on sorteeritavaid gruppe.

Valikmontaaži mõju istu täpsusele võib illustreerida järgmise näitega. Olgu meil standardne ist $60 \frac{A}{X}$ (joon. 22), kus augu mõõde on $60^{+0,03}$, võlli mõõde $60^{-0,03}_{-0,06}$, suurim lõtk $90 \mu\text{m}$, vähim lõtk $30 \mu\text{m}$, istu (lõtku) tolerants $60 \mu\text{m}$. Oletame, et masina täiustatud konstruktsioon nõuab montaažitäpsuse suurendamist nii, et istu tolerants tuleks $30 \mu\text{m}$. Kuna istu (lõtku) tolerants võrdub võlli ja augu tolerantside summaga, siis säärase täpsuse kindlustamiseks tuleb vähendada augu ja võlli töötlemistolerantsse kaks korda. Kuid seda on võimalik vältida, kasutades nõutava täpsusega istu saamiseks valikmontaaži, s. t. sorteerides töödeldud detailid $60 \frac{A}{X}$ mõõtmete järgi kahte gruppi.

Esimesse gruppi sorteeritakse augud mõõtmega $60^{+0,03}_{+0,015}$, teise gruppi mõõtmega $60^{+0,015}$.

Esimesse gruppi sorteeritakse võllid mõõtmega $60_{-0,045}^{-0,030}$, teise gruppi mõõtmega $60_{-0,060}^{-0,045}$.

Ühendades esimese grupi võllid ja augud saame suurima lõtku $75 \mu\text{m}$, vähima lõtku $45 \mu\text{m}$ ja istu tolerantsi $30 \mu\text{m}$. Ühendades teise grupi võllid ja augud saame samasuured lõtkud ja istud. Valikmontaaži kasutamise tulemusena suurim lõtk vähenes, vähim lõtk suurenes, istu tolerants aga vähenes kahekordselt, mistõttu täpsus suurenes vastavalt nõuetele.

Masinate valikmontaaži peamisteks puudusteks on kõrge datud nõue detailide töötlemise tehnoloogilisele protsessile, mis seisneb selles, et silindrilisuse hälbed (ovaalsus, koonilisus jt.) ei tohi väljuda oma grupi tolerantsiväljast (samal ajal kui valikmontaažita monterimisel võivad need olla kogu joonise tolerantsi piirides), mittetäielik vahetatavus, täiendava sorteerimisoperatsiooni vajadus töödeldud detailide jaotamiseks mõõtme-gruppidesse ning detailide arvestuse ja planeerimise keerukus. Vaatamata nendele puudustele on valikmontaažil siiski ka tundu-vaid eeliseid: liidete suur täpsus, kõrge tööviljakus detailide töötlemisel suurendatud tolerantsiga, väiksemad kaod praagina, toodete madalam omahind.

TEHNILISE MÕÖTMISE ALUSED

§ 19. Uus rahvusvaheline mõõtühikute süsteem

Mõõtmine on mõõdetava suuruse, näiteks pikkuse või nurga võrdlemine suurusega, mis on võetud ühikuks. Järelikult mõõtmiseks on vaja varem kindlaks määratud mõõtühikuid ja nende etaloone.

Seniajani kasutati erinevates maades erinevaid mõõtühikuid, näiteks NSV Liidus pikkusühikuna meetrit, temperatuuriühikuna Celsiuse kraadi. Ameerikas ja Inglismaal kasutati pikkusühikuna jardi, mis jaotati kolmeks jalaks, temperatuuri aga mõõdeti Fahrenheiti kraadides. Peale selle reprodutseeriti kasutatavaid erinevaid ühikuid mitteküllaldase täpsusega etaloonide abil, mis olid kasutusele võetud väga ammu.

Mõõtmise täpsuse suurendamiseks, millest oleneb edukas teaduse ja tehnika areng, samuti mõõtühikute ühtsustamiseks kinnitati 1960. a. rahvusvaheline mõõtühikute süsteem SI. Vastavalt standardile ГOCT 9867-61 on nimetatud rahvusvaheline ühikute süsteem kehtestatud NSV Liidus alates 1. jaanuarist 1963. a. eelissüsteemina kõikides rahvamajanduse, teaduse ja tehnika harudes ning õpetamisel.

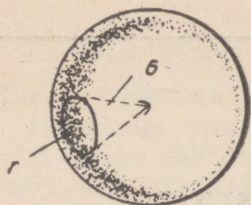
Rahvusvaheline ühikute süsteem sisaldab kuut põhi- ja kahte täiendavat ühikut. Selline põhi- ja täiendavate ühikute hulk teeb süsteemi universaalseks, kuna ta puudutab kõikvõimalike suuruste (mehaaniliste, soojuslike, elektriliste, magnetiliste, valguslike, akustiliste) mõõtmist. Põhiühikutena on kehtestatud: meetri (m) — pikkuse mõõtmiseks; kilogrammi (kg) — massi mõõtmiseks; sekund (s) — aja mõõtmiseks; Kelvini kraad ($^{\circ}\text{K}$) — temperatuuri mõõtmiseks, amper (A) — elektrivoolu tugevuse mõõtmiseks; kandela (cd) — valgustugevuse mõõtmiseks.

Täiendavate ühikutena kehtestati radiaan (rad) — tasannurkade mõõtmiseks ja steradian (sr) — ruuminurkade mõõtmiseks (joon. 23).

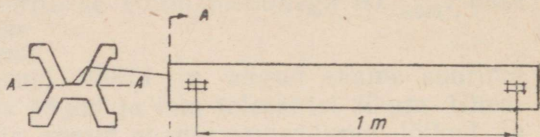
Vielele põhiühikule (peale kilogrammi) on mõõtmise täpsuse suurendamiseks kehtestatud nende uued definitsioonid ja etaloonid.

Detailide töötlemisel ja masinate monteerimisel mõõdetakse kõige enam pikkusi, nurki ja temperatuure, seepärast toome uue ühikutesüsteemi iseloomustuse ainult nende osas.

TARTU ÜLIKOOLI 51
RAAMATUKOGU



Joon. 23. Sfääriline nurk (steradiaan)



Joon. 24. Meetri vana etaloon

Pikkuse mõõtühik. Kuni 1963. a. loeti pikkuse 1 m rahvusvaheliseks (samuti ka NSV Liidu) etalooniks plaatinatriidiumi sulamist valmistatud X-kujulise ristlõikega talale märgitud kriipsudevahelist kaugust (joon. 24). Sellel etaloonil oli kaks olulist puudust: kriipsude vahekaugust etaloonil polnud võimalik mõõta täpsemini kui $\pm 0,1 \mu\text{m}$, mis ei rahulda kaas-aegset teaduse ja tehnika taset, ning etaloon on tehislik ja võib loodusõnnetuse puhul, näiteks maavärisemisel hävineda.

Uues ühikute süsteemis on meeter defineeritud järgmiselt: *meeter on võrdne krüptooni 86 aatomi nivoode $2p_{10}$ ja $5d_5$ vahelisele üleminekule vastava kiirguse 1650763,73 lainepikkusega vaakuumis.*

Nagu on teada füüsikakursusest, koosnevad elementide aatomid positiivse laenguga tuumast ja selle ümber tiirlevatest negatiivse laenguga elektronidest. Elektronid paigutuvad aatomites kihtidena. Mida keerukam on aatom, seda rohkem on tal elektronkihte, mida nimetatakse elektronorbiitideks. Elektronorbiite tähistatakse järjekorranumbritega 1, 2, 3 jne., mida füüsikas nimetatakse peakvantarvudeks; viimased ei iseloomusta ainult orbiidi eemaldumist tuumast, vaid ka energianivood.

Kui gaasilise krüptooni aatomeid ergutada elektrivooluga, siis kiirelttiirlevad elektronid siirduvad madalamalt energianivoolt kõrgemale, kusjuures nende energia kasvab. Elektronide tagasiminekul esialgsele nivoole (esialgsele orbiidile) vabaneb energia ülejääk valguskiirgusena.

Kiirguv valgus levib laineliselt. Selle valguse spektri oranžjoon, millel on rangelt kindlaks määratud lainepikkus, ongi võetud aluseks pikkuse etalooni väljendamiseks. Seega pikkuse ühik 1 m defineeritakse valguse lainepikkuse abil, s. t. loomuliku suuruse kaudu. Pikkuse uus etaloon võimaldab pikkust 1 m reprodutseerida veaga $\pm 0,001 \mu\text{m}$. Kuna vana etalooni juures sai kriipsude vahekaugust määrata täpsusega $\pm 0,1 \mu\text{m}$, siis järelikult üleminekul uuele pikkuse etaloonile väheneb võimalik viga etaloonmõõtmisel 100 korda.

Temperatuuri mõõtühik. Uues ühikute süsteemis on antud järgmine temperatuuri mõõtühiku definitsioon: *Kelvini kraad on temperatuuri mõõtühik termodünaamilise temperatuuri-skaala järgi, millel vee kolmikpunktile vastavaks temperatuuriks on võetud $273,16^{\circ} \text{K}$ (täpselt).*

Olemasolev ja laialdaselt kasutatav termomeetriline skaala, millel jää sulamis- (0°) ja vee keemis- (100°) punktide vahekaugus jagati 100 osaks, esitati 1742. a. Celsiuse poolt. Kuid jää sulamis- ja vee keemispunkti pole võimalik täpselt määrata. Näiteks olemasolevate mõõteriistadega mõõtmisel kõigub vee keemispunkti määramise viga piirides $0,01 \dots 0,002^{\circ} \text{C}$. Temperatuuri mõõtmise täpsuse suurendamiseks kehtestati termodünaamiline skaala, millel mõõtmise täpsus ei olene aine termostaatilisest olekust. Peale selle ei esine uue mõõtühiku kasutamisel miinustemperatuure, mis lihtsustab arvutusi.

Termodünaamilise temperatuuriskaala esitas 1848. a. esimesena inglise füüsik W. Thomson (lord Kelvin). Selle skaala järgi on temperatuuri nullväärtuseks absoluutne null (-273°C), vee kolmikpunktiks aga $273,16^{\circ} \text{K}$ või $+0,01^{\circ} \text{C}$. Vee kolmikpunkti all mõeldakse vee tasakaalupunkti tahkes, vedelas ja gaasilises faasis. Kolmikpunkt asetseb jää sulamispunktist $0,01^{\circ} \text{C}$ võrra kõrgemal. Sellist olekut on kerge saada jää kuumutamisel eriseadmes temperatuurini $+0,01^{\circ} \text{C}$ täpsusega $\pm 0,0001^{\circ} \text{C}$.

Temperatuuri väljendamine Kelvini kraadides on eelistatum teoreetilistes arvutustes. Inimeste praktilises tegevuses on säilinud temperatuuriskaala Celsiuse kraadides, mida nimetatakse rahvusvaheliseks praktiliseks skaalaks. Mõõtmistäpsuse suurendamiseks ja lähendamiseks Kelvini skaalale põhineb praktiline skaala mitte kahel punktil (jää sulamine ja vee keemine), vaid kuuel punktil. Esimeseks skaala punktiks on hapniku keemistemperatuur ($-182,970^{\circ} \text{C}$), viimaseks punktiks kulla tardumistemperatuur ($+1063,0^{\circ} \text{C}$).

Celsiuse järgi tähistatakse temperatuuri t , Kelvini järgi T . Üleminek ühelt temperatuuriskaalalt teisele on väga lihtne: kui on teada temperatuur Celsiuse järgi t , siis temperatuur Kelvini järgi $T = t + 273,15^{\circ}$; kui on teada temperatuur Kelvini järgi, siis Celsiuse järgi $t = T - 273,15^{\circ}$.

Nurkade mõõtühikud. Tasanurga täiendavaks mõõtühikuks on rahvusvahelises ühikute süsteemis võetud radiaan. Radian on kesknurk, millele vastav kaarepikkus võrdub ringi raadiusega. Radian on võetud kasutusele põhiliselt nurkkiiruse ja nurkkiiruse mõõtmiseks. Tootmises vastavalt GOST 7664-61 mõõdetakse nurki kraadides. Üks kraad on $\frac{1}{360}$ tasanurgast, mis toetub kogu ringjoone pikkusele ja mille tšenter ühtib nurga tipuga. Kraadi tähistatakse sümboliga $^{\circ}$ ja see jaguneb 60 minutiks ($60'$) või 3600 sekundiks ($3600''$). Avaldades radiaani vää-

tuse kraadides saame $57^{\circ}17'44,8''$. Nurga mõõtmisel on etalooni-
deks hulktahksed prismad, millega kontrollitakse hulktahksete
näidismõõtude (6, 8 ja 12 tahku) nurkasid, mis on valmistatud
täpsusega $\pm 1,5''$.

Ruuminurkade mõõtmiseks on kehtestatud ühik steradiaan.
*Steradiaan on tipuga kera tsentrisse toetuv ruuminurk, mis haa-
rab kera pinnal raadiuse ruuduga võrdse pindala (vt. joon. 23).*

§ 20. Mõõtmismeetodid ja mõõtevahendite metrooloogilised näitajad

Mõõtmismeetodi all mõeldakse kasutatavat mõõtevahendit ja selle kasutamisevõtteid. Otsitavate suuruste määramise viisi järgi jaotatakse mõõtmismeetodid otsesteks ja kaudseteks. Otseid mõõtmismeetodeid rakendatakse mõõtude ja mõõtevahendite puhul, mis on määratud antud suuruse mõõtmiseks. Kaudsetel meetoditel määratakse otsitav suurus selliste suuruste otsese mõõtmise abil, mis on otsitava suurusega mingis kindlas sõltuvuses (näiteks kahe augu telgedevahelist kaugust pole võimalik otseselt mõõta, kuna telg pole materiaalne, vaid geomeetiline mõiste).

Mõõtmismeetodid jagunevad veel absoluutseteks ja suhteliseks, kontaktiga ja kontaktita meetoditeks. Absoluutsel mõõtmismeetodil määratakse mõõteriista näidu järgi kogu mõõdetava suuruse väärtus (näiteks võlli läbimõõdu mõõtmisel mikroomeetriga). Suhtelisel meetodil määratakse mõõdetava suuruse hälve mõõtmest, mille järgi mõõtevahend on seatud nullasendisse (näiteks augu läbimõõdu määramine siseindikaatori abil).

Kontaktmeetodi hulka kuuluvad säärased mõõtmised, kus mõõteriista mõõtevarb puutub otseselt kokku mõõdetava objekti pinnaga, näiteks mõõtmisel nihkkaliibriga. Mõõtmine võib olla ka kontaktita, näiteks mõõtmisel pneumaatilise mõõteseadmega.

Mitmesuguste mõõteriistade ja -aparaatide võrdlemiseks kasutatakse nn. metrooloogilisi näitajaid. Nimetus «metrooloogiline» tuleb sõnast «metrooloogia», mis tähendab mõõtühikute, mõõteriistade ja mõõtmismeetodite teadust. Metrooloogilisteks näitajateks, mida arvestatakse mõõtevahendite valikul, on: skaala jaotuse väärtus, tundlikkuse lävi, mõõtevahendi lubatav viga, jaotuse intervall, mõõtmise piirid, mõõtevahendi osuti rahunemise (stabiliseerumise) aeg. Nende näitajate definitsioonid on standardiseeritud.

Skaala jaotuse väärtuseks nimetatakse mõõdetava suuruse muutust, mis vastab osuti liikumisele ühest skaala jaotust piiravast märgist (kriipsust) teiseni.

Mõõtevahendi tundlikkuse läveks nimetatakse mõõdetava suuruse vähimat muutust, mis mõõtmisel antud mõõtevahendiga nor-

maansel meetodil kutsub esile avastatava lugemi muutuse. Näiteks mõõteriist seati mingile kindlale mõõdule, siis mõõdeti järjest detaile, mille mõõtmed olid seadumõodust suuremad vastavalt 1, 2, 3 μm . Oletame, et riista osuti ei reageerinud mõõtme suurenemisel 1 ja 2 μm , kuid andis skaalal märgatava hälbe mõõtme muutusel 3 μm võrra. Järelikult riista tundlikkuse lävi on 3 μm .

Mõõtevahendi lubatavaks veaks nimetatakse suurimat viga, mille puhul mõõtevahendit lubatakse kasutada. NSV Liidus on lubatavad vead kõikidele kodumaistele mõõtevahenditele kindlaks määratud. Nende vigade suurused masinaehituses enamlevinud mõõtevahenditele on toodud tabelites 14...19.

Kõiki ekspluatatsioonis olevaid mõõtevahendeid ja -aparaate kontrollitakse tingimata määratud tähtaegadel ja kui nende viga ületab lubatava, kõrvaldatakse nad kasutamisel.

Jaotuse intervall on skaala kahe naabermärgi vaheline kaugus. Enamikul mõõtevahenditel on skaala jaotus piirides 1...2,5 mm. Mida suurem on skaala jaotuse intervall, seda mugavam on võtta lugemeid, kuid mõõtmise piirid sel juhul vähenavad (samal jaotuse väärtusel).

Mõõtmise piirid ehk diapsoon on mõõtevahendi näitamise kogu piirkond, mis on piiratud madalaima ja kõrgeima antud mõõtevahendile ette nähtud mõõtmise piiriga. Kui mõõtmise piir kehtib mõõtevahendi skaala kohta, siis selle all mõeldakse skaala tööpiirkonda.

Mõõtevahendi osuti rahunemise aeg on aeg, mis kulub mõõdetava suuruse järsust muutuse momendist kuni momendini, milal osuti hälve lõplikult stabiliseerunud asendist, väljendatuna mõõdetava suuruse ühikutes, osutub väiksemaks lubatavast veast.

§ 21. Mõõtmisvead ja nende tekkimise põhjused

Kui hoolikalt ka ei mõõdaks, ikkagi jääb mõõdetava suuruse tõeline väärtus teadmatuks, sest mõõtmistulemused sisaldavad vigu.

Ühe ja sama konstantse suuruse korduvad mõõtmised ühtedel ja samadel välistingimustel annavad üksteisest väikse suuruse võrra erinevaid tulemusi. *Mõõtmisveaks* Δ nimetatakse mõõtmisel saadud väärtuse X ja mõõdetava suuruse tõelise väärtuse Q vahet

$$\Delta = X - Q.$$

Tekkimispõhjuste järgi jaotatakse vead kolme põhigruppi: mõõtevahendi vead, välised vead ja subjektiivsed vead. *Mõõtevahendi vead* sõltuvad tema valmistamise kvaliteedist, seisukorrast ekspluatatsioonis ja mõõdu täpsusest, mille järgi mõõte-

vahend on seatud nullasendisse või antud mõõtmetele, s. t. mõõdu (näiteks pikkusmõõtplaatide) tegeliku mõõtme määramise täpsusest. *Välised vead* sõltuvad temperatuurist, niiskusest, atmosfäärirõhust, pinnase värisemisest jne. *Subjektiivsed vead* sõltuvad mõõtja kogemustest ja tähelepanust, tundeorganite täiuslikkusest (nägemise teravus, käe tundlikkus jne.). Peale selle avaldavad mõõtmisvigadele mõju mõõdetavate esemete pinnakonarused ja teised defektid.

Mõõtmisvea mõiste on lahutamatu seotud mõõtmise täpsuse mõistega. Mida väiksem on mõõtmisviga, seda suurem on mõõtmistäpsus, mis näitab mõõtmistulemuse lähenemise astet mõõdetava suuruse tõelisele väärtusele.

Arusaamatuste ja konfliktide vältimiseks tootmises on mõõtmete alusel esemete kvaliteedi hindamiseks kehtestatud standardiga ГОСТ 7713-62 mõiste «eseme tegelik mõõde», mis on lubatava veaga teostatud mõõtmisel saadud mõõde. Seepärast võimalike vigade teadmine mõõtmisel lubab määrata mõõtmistulemuste usaldatavust.

Mõõtmisvead võivad olla absoluutsed, s. t. väljenduda mõõdetava suuruse ühikutes, ja suhtelised, s. t. väljenduda mõõdetava suuruse väärtuse osades või protsentides. Kui absoluutset viga tähistada Δ ja mõõtmistulemust X , siis suhteline viga Δ_0 on

$$\Delta_0 = \frac{\Delta}{X} \quad \text{või} \quad \Delta_0 = \frac{\Delta}{X} 100\%.$$

Mõõtmisvead jaotatakse süstemaatilisteks, juhuslikeks ja jäädateks.

Süstemaatilised vead. Süstemaatiliseks nimetatakse säärast viga, mille väärtus korduval mõõtmisel kordub, s. t. jääb konstantseks kõikidel mõõtmistel. Need vead kas suurendavad või vähendavad iga mõõtmistulemust ühe ja sama suuruse võrra. Vigade põhjusteks võivad olla skaala ebaõige gradueerimine, mikromeeterkrüvi kulumine, mõõdetava eseme või mõõtevahendi stabiilne temperatuurihälve normaalsest (20° C) ja mõõtevahendi seadistamiseks kasutatud mõõdu viga.

Süstemaatiliste vigade mõju võib vältida, kui likvideerida nende tekkimise põhjused või viia mõõtmistulemusesse parandused, mis on vigadega võrdsed, kuid vastasmärgilised. Näiteks temperatuurist tingitud süstemaatilist viga saab vältida eseme ja mõõtevahendi temperatuuri võrdsustamisega või temperatuurihälvet arvestava paranduse sisseviimisega mõõtetulemusesse.

Juhuslikud vead. Juhuslikuks nimetatakse mõõtmisviga, mis ühe ja sama suuruse korduval mõõtmisel samades tingimustes omab erinevaid positiivseid ja negatiivseid väärtusi. Juhuslike vigade tekkepõhjusteks võivad olla ebaühtlane mõõtmisjõud,

mõõtevahendi detailide vahelised lõtkud, näidu ebatäpne lugemine mõõtja poolt, mõõdetava eseme mitteõige ülesseadmine mõõteriista suhtes jt.

Võiks arvata, et mõõtmisel juhuslikke vigu ei tohi esineda. Reeglina mõõdetava suuruse tõelist väärtust kindlaks teha ei saa, sest pole võimalik seda absoluutse täpsusega mõõta. Et aga ühe suuruse korduval mõõtmisel ja süstemaatiliste vigade puudumisel on ühtemoodi tõenäolised nii positiivsed kui ka negatiivsed juhuslikud vead, siis rea korduvate mõõtmiste aritmeetiline keskmine tulemus läheneb mõõdetava suuruse tõelisele väärtusele.

Lubades ligikaudsust, s. t. ebatäpsust, asendatakse tõeline väärtus keskmise aritmeetilise väärtusega, kusjuures üksiku mõõtmistulemuse ja keskmise aritmeetilise väärtuse vahet nimetatakse jääkveaks.

Jääkvead alluvad samadele seaduspärasustele mis juhuslikud veadki. Kuna aga juhuslikud mõõtmisvead alluvad normaaljagunemise seadusele, siis võib normaaljagunemise seaduse seoseid ja valemeid kasutada mõõtmisvigade analüüsiks (mõõtmistulemuste läbitöötamiseks).

Jämedad vead. Jämedaks nimetatakse säärast mõõtmisviga, mille suurus ületab märgatavalt süstemaatilisi või juhuslikke vigu, mida õigustavad objektiivsed mõõtmistingimused. Oma suuruse poolest moonutab jäme viga silmanähtavalt mõõtmistulemust. Ta võib olla mõõteskaala vale lugemi, mõõtmistulemuste üleskirjutamise vea, mõõtevahendi või mõõdetava eseme nihkumise tõttu saadud ebaõige näidu, mittekorras mõõtevahendi kasutamise, ebaõigete mõõtmisvõtete, mõõtevahendi ebaõige mõõtuseadmise ja rea teiste põhjuste tagajärjeks. Jämedaid vigu nimetatakse ka eksitusteks. Jämedaid vigu võib vältida, kui eelnevalt hästi ja põhjalikult tutvuda kasutatavate mõõtevahenditega, tähelepanelikult ja hoolikalt mõõta, mitte lubada hooletust nii tulemuste vormistamisel kui ka mõõtmisel.

§ 22. Korduva mõõtmise tulemus täpsus

Kaasaegne olukord tootmises näitab, et mõõtmistulemuste vähese matemaatilise läbitöötamise kartmine osutub täpsuse vaenlaseks.

Inimeste igapäevases elutegevuses ja tootmises määratakse otsitavad suurused tavaliselt ühekordse mõõtmise teel vastavate mõõtevahenditega.

Ühekordsel mõõtmisel võetakse mõõdetava suuruse tõelise väärtuse Q asemel mõõtevahendi näidu järgi saadud mõõtmistulemus X . Kuid mõõtmine on seotud vigadega ja seepärast mõõtmise tulemusena saadud suurus X on mõõdetava suuruse Q ligi-

kaudne väärtus. Järelikult mõõtmistulemust võib kirjutada ainult kujul $X \approx Q$, kus \approx tähendab ligikaudsust.

Mõõtmistulemuse X lähedus mõõdetava suuruse tõelisele väärtusele Q oleneb eelkõige kasutatavate mõõtevahendite täpsusest. Järelikult, kui nõutakse suurt mõõtmistäpsust, siis tuleb võtta väiksema lubatava veaga mõõtevahend ja luua soodsad mõõtmistingimused (temperatuuri konstantsus jne.). Mõõtmistulemuse täpsust või usaldatavust võib suurendada ühete ja samade suuruste mõõtmise kordamisega ühe ja sama mõõtevahendiga. Mitmekordsel mõõtmisel väheneb juhuslike vigade mõju, kuna nad tasanduvad ja kokkuvõttes mõõtmistulemuse täpsus suureneb.

Masina- ja aparaadiehitustehastes kasutatakse mitmekordset mõõtmist mõõtmistulemuse usaldatavuse ja täpsuse suurendamiseks mitte ainult mõõtmislaboratuurides, vaid ka mitmetes tsehhides. Nii näiteks mõõdetakse mitu korda mõõtevahendite, automaatide jms. seadistamiseks kasutatavate etaloonide ühte ja sama parameetrit, vastutusrikkaid lõikeriistu (näiteks lõikekamme jne.), nii uusi kui ka eksploatatsiooniprotsessis olevaid kaliibreid, proovidetaile ja teiste tehaste tooteid, esimesi töödeldud detaile täpsete ja suure tootlikkusega agregaatide seadistamisel, vastutusrikkaste kontroll- ja tehnoloogiliste rakiste baas-elemente (tornide, kontrollihvtide jt. mõõtmeid), esemete mõõtmiseid kvaliteedi arbitraazkontrolil, kui toodangu kvaliteedi hindamisel mõõtmete järgi esineb lahkavamusi tellija ja valmistaja või tootjate ja kontrollijate vahel.

Mõõtnud üht ja sama suurust mitu korda ning saanud iga kord erinevad tulemused, peab mõõtja lahendama küsimuse — milline väärtus lugeda mõõdetavaks suuruseks. Kuna mõõdetaval suurusel võib olla ainult üks õige väärtus, siis võetakse selleks rea mõõtmistulemuste aritmeetiline keskmine \bar{x} , mis väärib suuremat usaldust kui mingi üksik mõõtmistulemus:

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n},$$

kus x_1, x_2 jne. — üksikud mõõtmistulemused,
 n — kõikide mõõtmiste üldarv.

Matemaatilise statistikaga on tõestatud, et korduval mõõtmisel rea mõõtmistulemuste keskmine aritmeetiline \bar{x} on tunduvalt lähem mõõdetava suuruse tõelisele väärtusele Q , kui ühekordse mõõtmise tulemus. Mitmekordse mõõtmise tulemuse lähenemist tõelisele tõestab ka vanasõna: «Seitse korda mõõda, üks kord lõika». See vanasõna viitab asjaolule, et ühekordne mõõtmine võib olla ebaõige, seitsmekordne aga väldib eksituse.

Mõõdetava suuruse tõelise väärtuse Q asemel võetakse korduvatel mõõtmistel saadud mõõtmistulemuste rea aritmeetiline

keskmise \bar{x} kui kõikidest mõõtmistulemustest enamusutav ja sageli sellega arvutused piirduvad.

Korduvate mõõtmiste tulemuse usaldatavus tõuseb tunduvalt, kui kõikide mõõtmistulemuste täiendava matemaatilise töötlemise alusel määrata keskmise aritmeetilise väärtuse piirhälve S valemi järgi

$$S = \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}},$$

kus σ — mõõtmiste rea keskmise ruuthälve.

See hälve arvutatakse jääkhälbe kaudu valemi abil

$$\sigma = \sqrt{\frac{(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_n - \bar{x})^2}{n-1}}$$

ehk

$$\sigma = \sqrt{\frac{\Sigma(x - \bar{x})^2}{n-1}}.$$

Valemis Σ on summa märk; sulgudes olevat väärtust $(x - \bar{x})$ nimetatakse jääkhälbeks.

Järelikult vastutusrikastel mõõtmistel korratakse mõõtmist 5...10 korda. Kõikide saadud mõõtmistulemuste alusel arvutatakse keskmise aritmeetiline, mõõtrea keskmise ruuthälve σ ja siis keskmise aritmeetilise piirhälve S . Seejärel esitatakse mõõdetava suuruse tõeline väärtus Q järgmiselt

$$Q = \bar{x} \pm S \text{ ehk } Q = \bar{x} \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} \text{ ehk } \bar{x} + S > Q > \bar{x} - S.$$

Viimast valemit loetakse järgmiselt: mõõdetava suuruse tõeline väärtus Q on väiksem summast $\bar{x} \pm S$, kuid suurem vahest $\bar{x} - S$.

Näide. Proovidetaili augu mõõtme määramiseks mõõdeti seda sisemõõtjaga 10 korda, s. t. $n=10$. Arvutuste lihtsustamiseks kasutame tabelit 12.

Arvutamisele leiame

$$\bar{x} = \frac{600,12}{10} = 60,012,$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{12}{9}} \approx 1,2 \text{ } \mu\text{m.} = 0,0012 \text{ mm.}$$

Järelikult detaili augu mõõtme tõeline väärtus Q on

$$Q = \bar{x} \pm \frac{3\sigma}{\sqrt{n}} = 60,012 \pm \frac{3 \cdot 0,0012}{\sqrt{10}} = 60,012 \pm 0,0011 \text{ mm}$$

Arvutatud hälvete suurused

Mõõtmistulemus x mm	Keskmine aritmeetiline \bar{x} mm	Jääkhälve μm	$(x-\bar{x})^2$ μm
60,012	60,012	0	0
60,010		-2	4
60,011		-1	1
60,014		2	4
60,012		0	0
60,013		1	1
60,011		-1	1
60,012		0	0
60,013		1	1
60,012		0	0
			$\Sigma(x-\bar{x})^2=12 \mu\text{m}$

ehk

$$60,0131 > Q > 60,0109.$$

Need valemid näitavad, et katsedetaili augu mõõtme tõeline väärtus on määratud täpsusega $\pm 1,1 \mu\text{m}$.

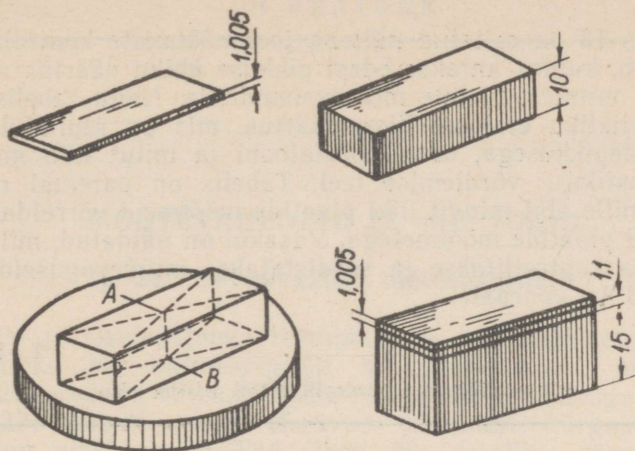
Uhe ja sama suuruse korduval mõõtmisel uhe ja sama meetodiga võetakse mõõtmismeetodi piirveaks Δ_{lim} väärtus, mis võrdub $\pm 3\sigma$. Näiteks kui kümnekordse mõõtmise eesmärgiks (vt. tab. 12) on antud mõõtmismeetodi piirvea määramine antud mõõtevahendiga, siis see viga igal üksikul mõõtmisel ei ületa

$$\Delta_{lim} = \pm 3\sigma = \pm 3 \cdot 1,2 = \pm 3,6 \mu\text{m}.$$

Antud mõõtmismeetodi täpsemaks atesteerimiseks nõutakse suurema hulga mõõtmiste sooritamist.

§ 23. Mõõtude ühtsuse säilitamise põhimõte ja kontrollimiskeem

Mõõtude ühtsuse säilitamise põhimõtte all mõeldakse riiklike etaloonide täpsuse tootismõõtmisteni viimise korda ja viise. NSV Liidus kehtib kõikide tööstuses kasutatavate mõõtevahendite ja -aparaatide kohustuslik kontrollisüsteem. Pikkuste mõõtmiseks kasutatavate mõõtevahendite põhilisteks kontrollimis- ja seadistamisvahenditeks on pikkusmõõtplaadid (tasaparalleelsed otsmöödud) (joon. 25). Pikkusmõõtplaadide abil võib ka otseselt mõõta, kuna nendest on võimalik kergesti koostada komplekte. Näiteks plaatide mikromeeterkomplekt koosneb 9-st



Joon. 25. Pikkusmõõtplaadid

plaadist, mis erinevad üksteisest oma paksuselt 1 mikromeetri võrra. Esimese plaadi mõõde on 1,001 mm, teisel 1,002 mm, kolmandal 1,003 mm jne. Viimase plaadi mõõde on 1,009 mm. Teistes komplektides on plaadid, mis erinevad oma mõõtmetelt 0,01 mm, 0,1 mm ja 1 mm. Plaatidest koostatakse ükskõik millise mõõtmega plokk, kusjuures kokkupandud plaadid ei kuku koost ära (tavaliselt koostatakse plokk kuni neljast plaadist). See on tingitud plaatide pinna väga hoolikast töötlemisest. Plaatide koostehoidvad jõud on küllaltki suured ning plaate saab lahutada ainult nihutamise teineteise suhtes.

Pikkusmõõtplaatide töömõõtmeks on keskjoon, mis määratakse plaadi ühe mõõtepinna keskpunkti lastud perpendikulaari AB pikkusega vastasmõõtepinna (joon. 25).

Kasutatavad pikkusmõõtplaadid liigitatakse valmistamistäpsuse järgi nelja klassi: 0; 1; 2; 3 (ГОСТ 9038-59), töömõõtmete atesteerimise täpsuse järgi, s. t. plaatide eneste mõõtmistäpsuse järgi aga viide liiki: 1; 2; 3; 4; 5. Kõige täpsemini on atesteeritud mõõtmed 1. liigi ja 0 klassi plaatidel, kõige vähemtäpsed on 5. liigi ja 3. klassi plaadid. Näiteks 1. liigi plaat nimimõõtmega 100 mm on atesteeritud täpsusega $\pm 0,2 \mu\text{m}$, 5. liigi plaat aga täpsusega $\pm 2 \mu\text{m}$.

Kõiki tootmises kasutatavaid mõõtevahendeid kontrollitakse määratud tähtaegadel. Vähemtäpsed mõõtevahendid kontrollitakse täpsematega. Kontrollimeetodid on määratud juhenditega. Igas ettevõttes koostatakse kõikide mõõtevahendite kontrolliskeem, mis kinnitatakse Riikliku Standardite, Mõõtude ja Mõõteriistade Komitee poolt.

Tabelis 13 on esitatud näitena joonmõõtmiste kontrolliskeem, mis näitab, kuidas antakse edasi pikkuse ühiku väärtus riiklikult etaloonilt mitmesugustele mõõtevahenditele. Nagu tabelist näha, antakse riikliku etalooni õige väärtus, mis on reprodutseeritav valguslainepikkusega, edasi tööetalooni ja mitut liiki mõõtplaatide järjestikuse võrdlemise teel. Tabelis on paremal näidatud vahend, mille abil mingit liiki plaatide mõõtmeid võrreldakse kõrgema liigi plaatide mõõtmega. Vasakul on näidatud, millist liiki plaatidega kontrollitakse ja seadistatakse mitmesuguseid mõõtevahendeid ja aparate.

Tabel 13

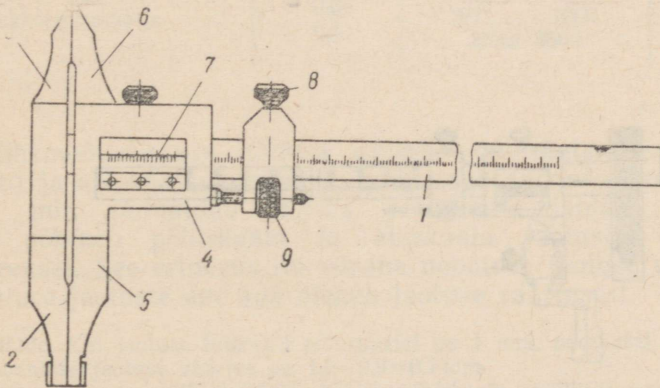
Joonmõõtmiste kontrolliskeemi näitlik sisu

Etalooni nimetus	Otstarve
1. Rahvusvaheline ja NSVL riiklik pikkuse etaloon, meeter, võrdne krüptooni 86 aatomi 1650763,73 lainepikkusega	Tööetaloonide kontrollimise loomulik lähteetaloon
2. Kvartsist tööetaloonid (pikkusmõõtplaadid)	1. liigi mõõtplaatide kontrollimiseks absoluutsel interferentsmeetodil, võrdlemise teel
3. 1. liigi mõõtplaadid	2. liigi mõõtplaatide kontrollimiseks interferomeetril
4. 2. liigi mõõtplaadid	3. liigi mõõtplaatide kontrollimiseks interferomeetril või mõõtemasinal ning jaotuse väärtusega kuni 0,2 μm mõõtevahendite kontrollimiseks ja gradueerimiseks
5. 3. liigi mõõtplaadid	4. liigi mõõtplaatide kontrollimiseks interferomeetril või mõõtemasinal ning jaotuse väärtusega 0,2 . . . 2 μm mõõtevahendite kontrollimiseks ja gradueerimiseks
6. 4. liigi mõõtplaadid	5. liigi mõõtplaatide kontrollimiseks mõõtemasinal või optimeetril ning jaotuse väärtusega 1 . . . 5 μm mõõtevahendite kontrollimiseks ja gradueerimiseks ning 1. klassi täpsusega kaliibrite kontrollimiseks
7. 5. liigi mõõtplaadid	Jaotuse väärtusega 5 μm ja enam mõõtevahendite kontrollimiseks ja gradueerimiseks ning kaliibrite kontrollimiseks.

MÕÖTEVAHENDID JA -MEETODID

§ 24. Universaalsed mõõtevahendid

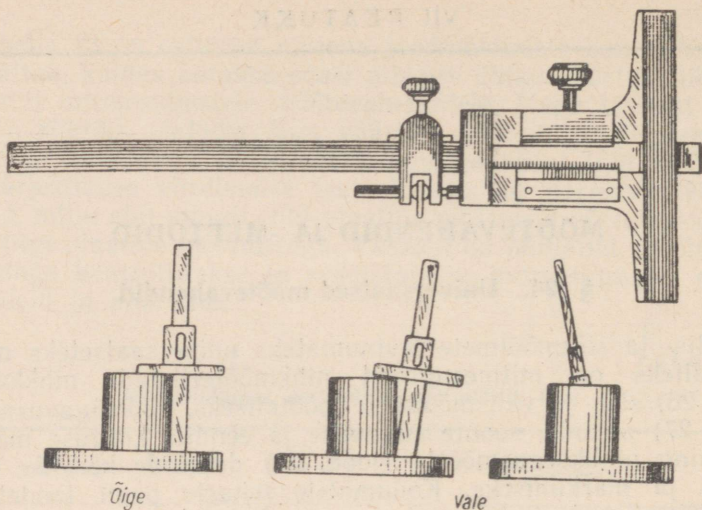
Välis- ja sisemõõtmete levinumateks universaalseteks mõõtevahenditeks on mitmesugused nihkmõõteriistad: nihkkaliiber (joon. 26) sise- ja välismõõtmete mõõtmiseks, nihksügavusmõõtja (joon. 27) aukude, soonte sügavuse ja eendite kõrguse mõõtmiseks ning nihkkõrgusmõõtja (joon. 28) detailide kõrguse mõõtmiseks ja märkimiseks. Kodumaiste tehaste poolt toodetavate nihkmõõteriistade iseloomustus on toodud tabelis 14.



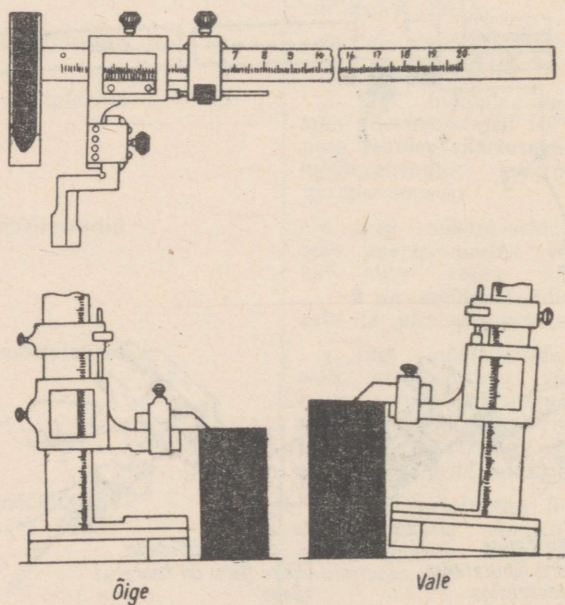
Õige mõõtmine
Liikuvat haru nihutatakse
mikromeeterkruviga

Vale mõõtmine
Liikuv haru on haaratud
käega

Joon. 26. Nihkkaliiber ja sellega mõõtmine



Joon. 27. Nihksügavusmõõtja ja sellega mõõtmine



Joon. 28. Nihkkõrgusmõõtja ja sellega mõõtmine

Nihkmõõteriistade iseloomustus

Mõõteriista nimetus	Lugemi täpsus mm	Mõõtmise piirid mm	Lubatud viga $\pm \mu\text{m}$
Nihkkaliiber	0,05	Kuni 300 300 . . . 500	20 50
	0,1	1000 1000 . . . 2000 Kuni 4000	100 200
Nihksügavusmõõtja	0,05	Kuni 300	50
	0,1	Kuni 300 400 . . . 500	100 150
Nihkkõrgusmõõtja	0,05	200 . . . 500 300 . . . 1000	50 100
	0,1	Kuni 3000	—

Nihkmõõteriistade ehituse aluseks on jaotustega joonlaud (varb) ja abiskaala — noonius, mida saab alusjoonlaual nihutada ning mis võimaldab lugeda põhiskaala jaotuse osi. Noonius põhineb põhiskaala ja abiskaala jaotuste intervallide erinevusel. See erinevus on võrdne nooniusse jaotuse väärtusega, nooniusse jaotuste arv aga oleneb jaotuse väärtusest.

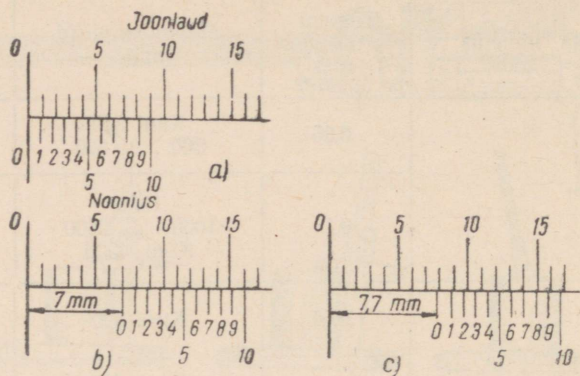
Näide. Kui jaotuse intervall põhiskaalal on 1 mm, nooniusel aga 0,9 mm, siis nooniusse jaotuse väärtus on $1,0 - 0,9 = 0,1$ mm.

Kui nooniusse nullkriips viia kokku põhiskaala nullkriipsuga (joon. 29), siis nooniusse esimene jaotus (kriips) jääb põhiskaala esimesest jaotusest maha suuruse võrra, mis võrdub skaalade intervallide erinevusega, s. t. 0,1 mm, teine jaotus 0,2 mm jne., kümnes nooniusse jaotus aga 1 mm, ühtides seega põhiskaala üheksanda jaotusega. Edasine nooniusse pikendamise pole otstarbekas, kuna see viib nooniusse kriipsude ühtelgemise kordamisele põhiskaala kriipsudega. Nooniusse jaotuse väärtuse võib leida ka põhiskaala jaotuste intervalli jagamise teel nooniusse jaotuste arvuga. Vaadeldavas näites saame

$$\frac{1 \text{ mm}}{10} = 0,1 \text{ mm.}$$

Nooniusse järgi lugemi tegemine seisneb täisjaotuste arvu leidmises põhiskaalalt nooniusse nullkriipsu järgi ning jaotuse osade (meie näites millimeetri osade) määramises nooniusse selle kriipsu järgi, mis langeb kokku põhiskaala mingi kriipsuga.

Lugemise näiteid. Kui nooniusse nullkriips ühtib joonlaua mingi kriipsuga, siis see jaotus näitabki eseme mõõdet täismillimeetrites (vt. joon. 29, b). Kui nooniusse nullkriips ei ühti põhiskaala kriipsuga, siis lähim vasak



Joon. 29. Nihkkaliibri skaala näit

jaotus joonlaul näitab täismillimeetrite arvu, kümnendikke loetakse aga nooniuselt. Milline nooniusse kriips (peale nullkriipsu) ühtib joonlaua mingi kriipsuga, niipalju kümnendikke millimeetreid lisatakse täismillimeetrite arvule. Joonisel 29, c on näidatud lugem 7,7 mm, kus nooniusse 7-s kriips ühtib põhiskaala kriipsuga.

Nihkkaliiber. Varbadega 2 ja 3 varustatud põhijoonlaul 1 nihkub raam 4 varbadega 5 ja 6. Põhijoonlauale on kantud millimeetrijaotused, liikuvale raamile on aga kinnitatud abiskaala — noonius 7. Nooniusse jaotuste intervall ja jaotuste arv olenevad jaotuse väärtusest. Kui põhiskaala jaotuse intervall on 1 mm, siis nooniusse jaotuse väärtuse 0,1 mm puhul on tal 10 jaotust, nooniusse jaotuse väärtusel 0,05 mm aga 20 jaotust ja jaotuse väärtusel 0,02 mm 50 jaotust (nooniusse jaotuse intervall 0,98 mm). Varbadega 5 ja 6 varustatud liikuva raami 4 aeglaselt nihutamiseks ja täpseks fikseerimiseks on ette nähtud peennihutamisseadis. See koosneb abiraamist survekraviga 8 ja nihutuskruvist mutriga 9.

Viimasel ajal on kodumaiste nihkkaliibrite konstruktsiooni täiustatud. Real nihkkaliibritel kinnitatakse üks varb liikuvasse raami liigendiliselt, mistõttu seda saab 90° võrra pöörata. Selline konstruktsioon võimaldab teostada mõõtmisi ka juhul, kui riista ja mõõdetava eseme kokkupuutepunktid asetsevad eri tasapindades, s. t. ei asetse ühel sirgel.

Jämedate vigade vältimiseks sisemõõtmete mõõtmisel tavalise nihkkaliibriga tuleb tingimata lisada mõõtmele, mida näitab nihkkaliiber, varbade mõõde. Sagedasel nihkkaliibri kasutamisel tuleb arvestada ka huulte kulumist. Need puudused on kõrvaldatud uue

konstruktsiooniga nihkkaliibril (lugemi täpsus 0,05 mm). Sellel on kaks skaalat ja kaks sõltumatut nooniust (üks välismõõtmete, teine sisemõõtmete mõõtmiseks).

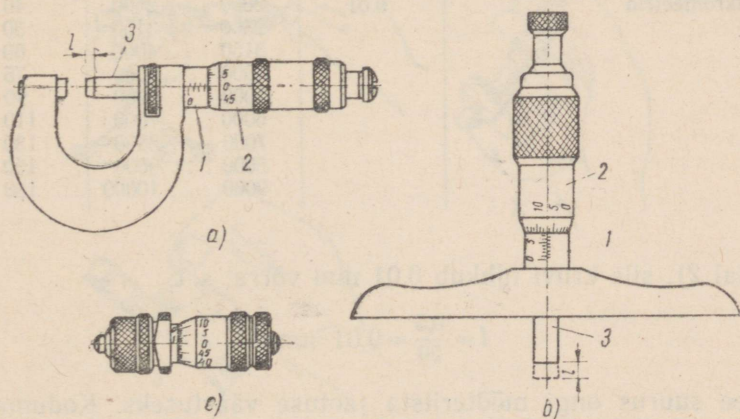
Nihkkõrgusmõõtjad on mõõtepeade ühendamiseks varustatud täiendavate peennihutussõlmedega. Spetsiaalne hoidja, mis asetseb täiendavas külgepandavas sõlmes, kindlustab mõõtepeade nii paralleelse kui ka perpendikulaarse asendi horisontaaltasapinna suhtes. Nihkkõrgusmõõtja ja nihksügavusmõõtjaga mõõtmisel tuleb jälgida nende õiget asetust. Joonistel 26, 27 ja 28 on toodud näiteid mõõteriistade õigest ja ebaõigest asetusest.

Mikromeetrilised mõõteriistad. Seda liiki mõõteriistade hulka kuuluvad mikromeetrid (joon. 30, *a*), sügavusmikromeetrid (joon. 30, *b*) ja sisemikromeetrid (joon. 30, *c*). Nendel mõõteriistadel muundub mikromeeterkruvi pöörlemisliikumine krurvipaaris kruvi teljesihiliseks kulgevaks liikumiseks. Tavaliselt on lugemisseadmel kaks skaalat (joon. 30, *a*, *b*): kahe kriipsureaga pikiskaala vardal *l* ja 50 jaotusega ringskaala trumlil 2.

Pikiskaala kummagi rea jaotuste intervall on 1 mm, kuid kuna need read on teineteise suhtes 0,5 mm nihutatud, siis kogu skaala jaotuste intervall on 0,5 mm. Trumli 2 pööramisel nihkub mikromeeterkruvi 3 piki telge pikkuse *l* võrra, mis on võrdeline keerme sammuga *S* ja pöörete arvuga *n*, s. t.

$$l = Sn.$$

Kuna mikromeetritel on keerme samm 0,5 mm, siis kruvi ühel pöördel $l = 0,5$ mm. Kui pöörata kruvi $\frac{1}{50}$ pööret (üks jaotus ring-



Joon. 30. Mikromeetrilised mõõteriistad:

a — mikromeeter; *b* — sügavusmikromeeter; *c* — sisemikromeeter

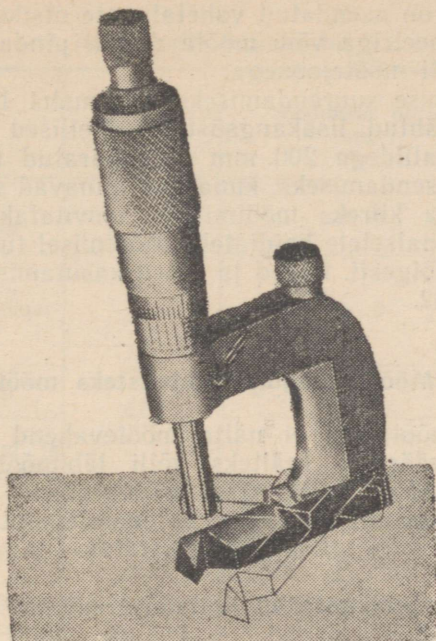
Mikromeetriliste mõõteriistade iseloomustus

Mõõteriista nimetus	Jaotuse väärtus mm	Mõõtmise piirid mm	Lubatud viga $\pm \mu\text{m}$
Mikromeetrid (torude, lehtede ja pehmete materjalide mõõtmiseks ning mikromeeterpeade jaoks)	0,01	0 . . . 25	4
Universaalsed mikromeetrid vahetatavate otsikutega	0,002	0 . . . 25	3
Sügavusmikromeetrid	0,01	0 . . . 100	5
Mikromeetrid välismõõtmisteks (25 mm intervallidega)	0,01	0 . . . 100	4
		125 . . . 200	5
		225 . . . 300	6
		400 . . . 500	8
		600	10
Sisemikromeetrid	0,01	50 . . . 125	6
		125 . . . 200	8
		200 . . . 325	10
		325 . . . 500	12
		500 . . . 800	15
		800 . . . 1250	20
		1250 . . . 1600	25
		1600 . . . 2000	30
		2000 . . . 2500	40
		2500 . . . 3150	50
		3150 . . . 4000	60
		4000 . . . 5000	75
		5000 . . . 6000	90
6000 . . . 7000	110		
7000 . . . 8000	130		
8000 . . . 9000	150		
9000 . . . 10000	180		

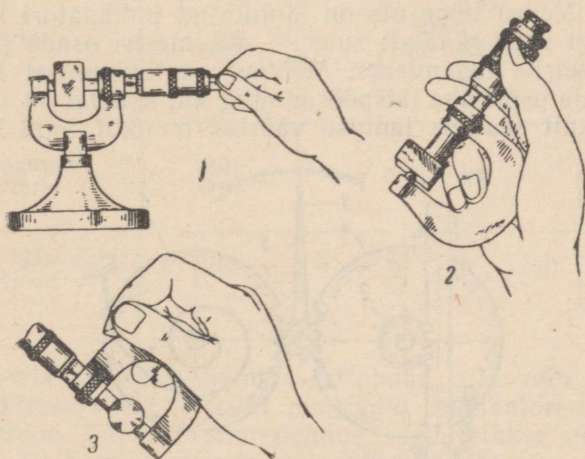
skaalal 2), siis kruvi nihkub 0,01 mm võrra, s. t.

$$l = \frac{0,5}{50} = 0,01 \text{ mm.}$$

See suurus ongi mõõteriista jaotuse väärtuseks. Kodumaiste mikromeetriliste mõõteriistade iseloomustus on toodud tabelis 15. On ette nähtud kerge tüüpi mikromeetrite (sileda osa läbimõõt 6 mm), samuti universaalsemate mikromeetrite väljalaskmine,



Joon. 31. Uue konstruktsiooniga uni-
versaalne mikromeeter



Joon. 32. Mikromeetriga õige ja vale mõõtmine:
1 — õige mõõtmisvõte (mõõtevarb lähendatakse kääristi
kaudu); 2 — antud mõõtmisvõtet võib kasutada ainult kva-
lifitseeritud tööline, 3 — vale mõõtmisvõte (mikromeetrit ei
tohi kasutada harkkaliibrina)

millel jäik tugi on asendatud vahetatavate otsikutega (joon. 31). Säärase mikromeetriga võib mõõta detaili pindade vahelist kaugust, mis ei ühti mõõtejoonega.

Mõõtmistäpsuse suurendamiseks mõõtmel 1000 mm ja rohkem on ette nähtud lisakangüsteem. Sellised kangmikromeetrid mõõteintervallidega 200 mm on määratud tavaliste jäikade mikromeetrite asendamiseks, kuna nad annavad suurema täpsuse.

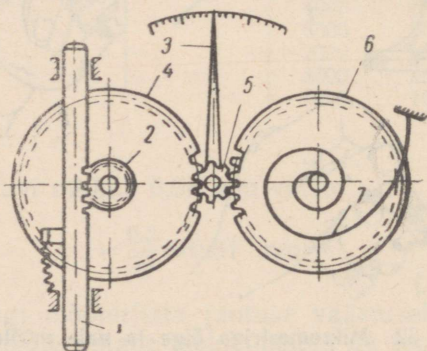
Mugavaks ja kiireks mõõtmiseks soovitatakse mikromeetrid kinnitada spetsiaalsetele hoidjatele. Mõõtmisel tuleb mikromeeterkruvi kasutada õigesti. Õiged ja valed kasutamise võtted on näidatud joonisel 32.

§ 25. Mõõtevahendid suhtelisteks mõõtmisteks

Suhtelisel mõõtmisel ei näita mõõtevahend mõõdetava suuruse täielikku väärtust (näiteks võlli läbimõõtu), vaid ainult hälvet seademoõdust, mille järgi mõõtevahend on seatud nulli. Suhtelistel mõõtmistel on tootmises enamlevinuteks mõõtevahenditeks hammasratas-, kang-hammasratas- ja vedru-mõõtepead (indikaatorid).

Hammasratasindikaatorite töötamise põhimõtteline skeem on antud joonisel 33.

Mõõtevarval 1 on keskosas hambad, mis hambuvad hammasrattaga 2. Mõõtevarva nihkumine antakse hammasrattalt 2 hammasrataste 4 ja 5 kaudu edasi osutile 3. Tühikäik on kõrvaldatud hammasratta 6 abil, mille külge on kinnitatud spiraalvedru 7 üks ots. Vedru teine ots on kinnitatud indikaatori korpusesse. Seadmel on kaks skaalat: suur — millimeetri osade ja väike — täismillimeetrite lugemiseks. Mõõtevarva nihkumisel 1 mm teeb suure skaala osuti ühe täispöörde ning kui skaalal on 100 jaotust, siis järelikult seadme jaotuse väärtus on 0,01 mm. Kui konst-



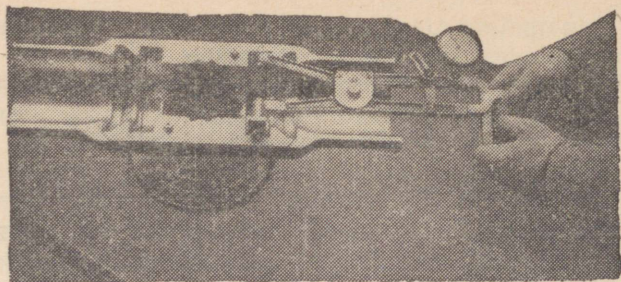
Joon. 33. Indikaatori hammasülekanne skeem

Indikaatorite iseloomustus

Nimetus	Jaotuse väärtus mm	Mõõtmise piirid mm	Lubatud viga $\pm \mu\text{m}$
Indikaatorid: läbimõõduga 42 mm	0,01	0 ... 2; 0 ... 3	12 ... 15
läbimõõduga 42 mm ja skaala perpendikulaarse asetusega		0 ... 2; 0 ... 3	12; 15
läbimõõduga 60 mm		0 ... 5; 0 ... 10	18; 22
läbimõõduga 58 mm ja koormusest vabastatud mehhanismiga		0 ... 5	18
läbimõõduga 75 mm		0 ... 5; 0 ... 10	18; 22
läbimõõduga 100 mm		0 ... 25; 0 ... 50	—
Siseindikaatorid (joon. 35)	0,01	Kuni 50 Üle 50 kuni 250 Üle 250 kuni 1000	15 20 25
Harkindikaatorid (joon. 36)	0,01	50 ... 100 200 300; 400 500 ... 600 600 ... 1000	10 15 20 25
Sügavusindikaatorid Paksusindikaatorid	0,01 0,01	0 ... 100	Indikaatori atestaadi järgi
Mitmesugust tüüpi seinaindikaatorid (joon. 37)	0,01	0 ... 2 ja 0 ... 10	Sama

ruksiooni viia täiendav hammasrattapaar, siis võib saavutada jaotuse väärtuse 0,002 ja 0,001 mm, kuid indikaatori täpsus sellest ei suurene. Täpsuse suurenemine saavutatakse ainult hammasratate ja kogu ülekande valmistamise täpsuse suurenemisega.

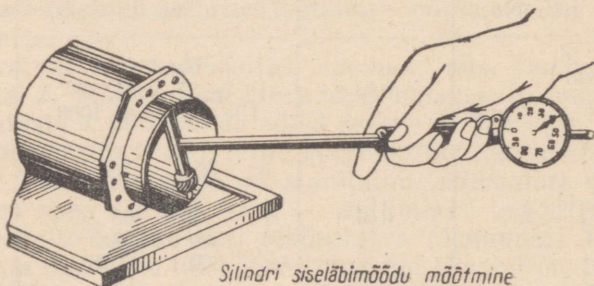
Hammasülekanedega indikaatorid valmistatakse universaalsete mõõtepeadena. Neid lastakse välja ka täiendavate seadmetega



Joon. 34. Spetsiaalne siseindikaator

spetsiaalseteks mõõtmisteks. Kodumaiste tehaste poolt toodetavate indikaatorite eritüübid ning nende iseloomustused on toodud tabelis 16.

Viimasel ajal on indikaatorite konstruktsioone kulumiskindluse, näidu stabiilsuse ja tööea suurendamise eesmärgil täiustatud.

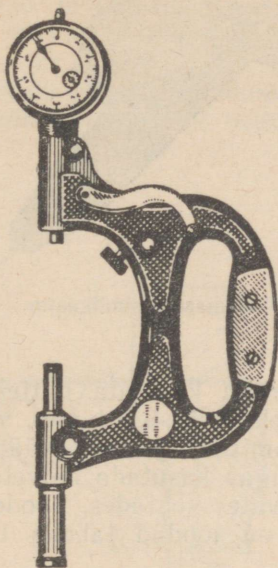


Silindri siseläbimõõdu mõõtmine

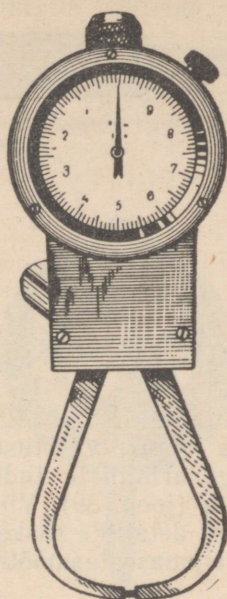
Joon. 35. Universaalne siseindikaator

Libiseva hammaslati kasutuselevõtmine lubas indikaatori mehhanismi vabastada telglöökidest ja 8...10 korda tõsta indikaatorite püsivust varvasihiliste löökide ja tõugetega töötamisel. Näitude stabiilsuse suurendamiseks on hammasrataste telgede tugevana hakatud kasutama laagrikive. Mehhanismi kaitseks tolmu ja niiskuse eest on parandatud hermeetilisust. Indikaatoreid väljastatakse mitmesuguste skaala asetustega ja varustatuna liigenditega mõõtmiseks raskesti ligipääsetavates kohtades.

Aukude läbimõõtude mõõtmiseks sellistes raskeltligipääsetavates kohtades, nagu on näidatud joonisel 34, kasutatakse spetsiaalse liigendhargiga indikaatorpäid.



Joon. 36. Harkindikaator

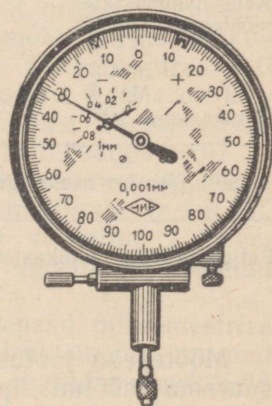


Joon. 37. Seinapaksuse indikaator

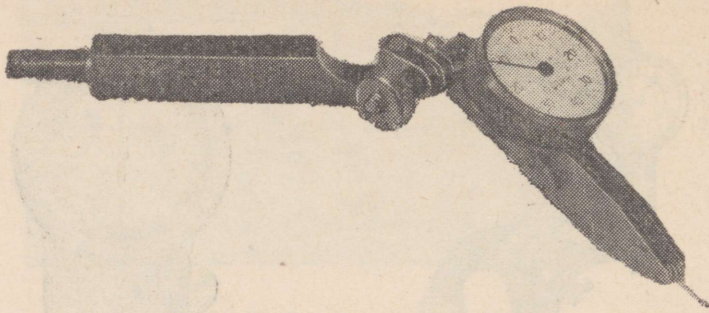
§ 26. Mikromeetrise ja suurema täpsusega mõõtevahendid

Masinate ja aparatuuride täiustumisega suurenevad detailide mõõtmete ja kuju täpsuse nõuded. Täpsetel mõõtmistel ja detaili kujuhävete määramisel tuntakse tootmises üha sagedamini vajadust mõõtevahendite järele, millega saab mõõta mikromeetrise ja suurema täpsusega. Kodumaine tööriistatööstus laseb välja mitut liiki mõõtevahendeid jaotuse väärtusega 2 μm , 1 μm ja vähem: kang-hammasratasmõõtepäid, vedru-mõõtepäid, kang- ja harkmikromeetreid, mikromeetrise täpsusega mõõtepeadega sisemõõtjaid.

Kang-hammasratasmõõtepead (joon. 38). Kang-hammasratasülekanne koosneb tavalisest hammasülekandest ja lisakangsüsteemist. See süsteem võimaldab saada osuti ühte täispööret mõõtevarva nihkumisel ainult 0,1 mm. Järelikult sellisel mehhanismil võib jaotuse väärtuse suhteliselt kergesti viia kuni



Joon. 38. Kang-hammasratasmõõlepea



Joon. 39. Väikesegabariidiline kang-hammasratasindikaator

0,001 mm-ni. Seda töötamis põhimõtet ei kasutata mitte ainult seadme jaotuse väärtuse vähendamiseks kuni 0,001 mm, vaid ka väikesegabariidiliste indikaatorite saamiseks jaotuse väärtusega 0,01 mm (joon. 39). Viimaseid on mugav kasutada hälvete määramiseks detailide raskelt ligipääsetavates kohtades. Toodetavate kang-hammasratasmõõtepeade liigid on toodud tabelis 17.

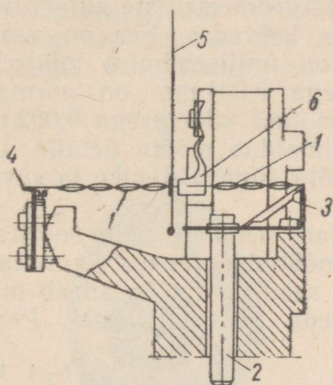
Tabel 17

Kang-hammasratasmõõtepeade iseloomustus

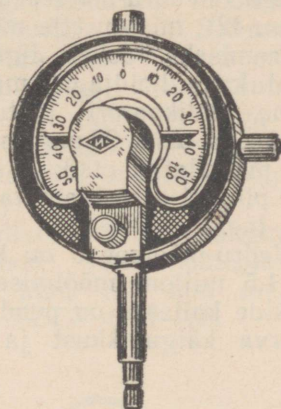
Nimetus ja tüüp	Jaotuse väärtus mm	Mõõtmise piirid ± mm	Näidu viga
Mõõtepead, МКМ	0,001	0,050	0,5 . . . 1 jaotuse väärtust
Kang-hammasratas- mõõlepead ИГРЗ	0,002	0,100	
2ГРЗ	0,001	0,050	
ММ-3	0,01	0,25	
ММ-4	0,001	0,030	
Otsskaalaga ИРТ	0,01	0,04	
Skaala ülemise asetusega ИРВ	0,002 0,01	0,08 0,04	—
Paljupöördeline indikaator ИМ	0,001	0,1	—

Mõõtepead jaotuse väärtusega 0,001 mm kindlustavad palju suurema mõõtmistäpsuse (vastavate mõõtmistingimuste silmaspidamisel), võrreldes indikaatoritega, kuid nende kasutamine on piiratud, sest konstruktiivse keerukuse ja tehnoloogilise tööma-

hukuse tõttu on nad indikaatoritest mitu korda kallimad. Pealegi kaotavad mõõtepead tsehhitingimustes oma täpsuse tunduvalt kiiremini kui indikaatorid jaotuse väärtusega 0,01 mm ning ka töötada on nendega raskem. Kang-hammasratasmõõtepead ei ole perspektiivsed ning kodumaine tööstus on nende asemel hakanud tootma uut tüüpi vedru-mõõtepeasid.



Joon. 40. Vedru-mõõtepea skeem



Joon. 41. Väikesegabarri-diline vedru-mõõtepea

Vedru-mõõtepead. Need mõõtepead põhinevad vedru-ülekanedel (joon. 40). Peade tundlikuks elemendiks on pronkslint *1*, mis on keeratud spiraalvedruks. Vedru üks ots on seotud mõõtevarvaga vedrukolmnurga *3* abil, teine ots on aga joodetud pronksnurgikule *4*, mis on kinnitatud pea korpuse toe külge. Lint valmistatakse spetsiaalsest elastsest pronksist ning selle paksus on 5...10 μm ja laius 70...150 μm . Kui mõõtevarb *2* nihkub üles või alla, siis vedrukolmnurga jäik varb tõmbab spiraallinti *1* ning viimane, keerates end lahti, pöörab osutit *5*, mis on kinnitatud lindi *1* keskele. Osuti *5* kujutab endast klaasjuustoru välisläbimõõduga 0,06...0,07 mm ja siseläbimõõduga 0,01...0,02 mm. Osuti ülemisse otsa on kleebitud metallpaberist miniatuurne indeks, alumisse otsa aga šellaki tilgast vastukaal. Et vähendada osuti rahunemise aega, läbib vedrulint *1* tõukesummutit *6*, mis kujutab endast spetsiaalse vedelikuga täidetud alumiiniumtoru.

Nagu tabelist 18 nähtub, on vedru-mõõtepead mikromeetrise ja suurema täpsusega mõõteseadmed. Konstruksioonilt on nad võrdlemisi lihtsad. Nimetatud eelised loovad avarad perspektiivid nende kasutamiseks mitmetes kontrollrakistes, aparaatides, poolautomaatides ja automaatides.

Vedru-mõõtepead jaotatakse ühenduslähimõõtude järgi kahte liiki: normaalsed pead standardse ühendusmõõtmega 28 mm ja väiksegabariidilised pead ühendusmõõtmega 8 mm (joon. 41). Väiksegabariidilisi päid lastakse välja tavaliste indikaatorite asendamiseks mitmesugustes rakistes ja nad on varustatud ümberseatavate tolerantsiväljade indeksitega ning sisseehitatud arretiiriga. Täpne seadistamine mõõtmele saadakse skaala pööramisega. Vedru-mõõtepea eriliigiks on kang-vedruindikaator (joon. 42), mis on ette nähtud esemete geomeetriliste kujuhälvete määramiseks raskelt ligipääsetavates kohtades. See on varustatud kahe hoidjaga, millest ühes on nulliseadmise mikroülekanne. Indikaatoril jaotuse väärtusega 0,001 mm on normaalpikkusega otsik 32 mm, indikaatoril jaotuse väärtusega 0,002 mm aga pikendatud otsik 71 mm, mis võimaldab mõõta detaile ilma neid pingist eemaldamata, samuti mõõta sügavaid auke ja süveneid jne.

Vedru-mõõtepead on kulumiskindlad, nendega võib sooritada üle 1,5 miljoni mõõtmise, ilma et mõõtmise täpsus kannataks. Löökide kaitseks on pead varustatud seadisega, mis piirab mõõtevarva käigupikkust ja kinnitab teda transportimisel. Peade

Tabel 18

Vedru-mõõtepeade iseloomustus

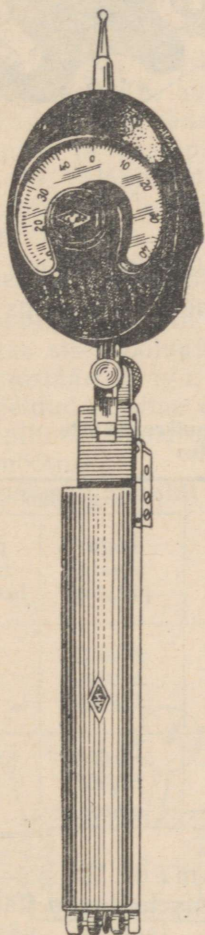
Nimetus	Jaotuse väärtus mm	Mõõtmise piirid ±mm	Lubatud viga ±µm
Vedru-mõõtepead ИГП (mikrokaatorid)	0,0001	0,003	0,1
	0,0002	0,006	0,2
	0,0005	0,015	0,3
	0,001	0,030	0,5
	0,002	0,060	1
	0,005	0,150	2,5
	0,01	0,20	—
Vedru-mõõtepea, väiksegabariidiline (mikaator)	0,001	0,050	0,5
Kang-vedruindikaator ИРП (minikaator)	0,001	0,040	0,5
	0,002	0,080	1
Optilised vedru-mõõtepead П (optikaatorid) (joon. 43)	0,0001	0,012	Pool jaotuse väärtust
	0,0002	0,025	
	0,0005	0,050	
	0,001	0,030	
	0,002	0,060	
	0,005	0,150	

Märkus: Sulgudes toodud mõõtepeade nimetused on levinud välismaal.

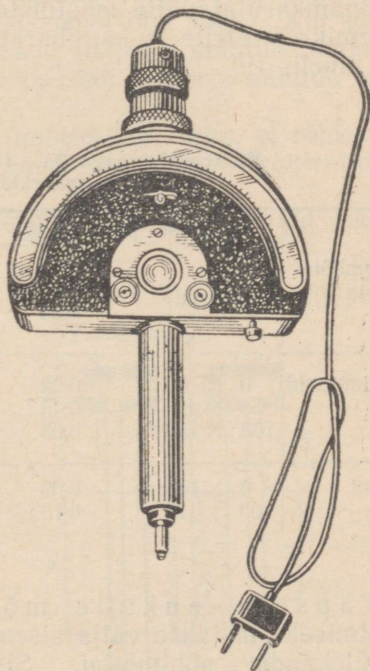
ekspluatatsioonis soovitatakse vältida tugevaid raputusi, lööke mõõtevarvale, akna pühkimist kuiva riide või vatiga (klaas võib elektriseeruda ja tõmmata kerge osuti enda külge), isoleerida mehhanism täiendavalt (määrida vahaga liitekohad peas), kui ta asetseb jahutusvedeliku lähedal.

Kangmikromeetrid ja kanghargid. ГОСТ 4381—61 järgi toodetakse kangmikromeetreid mõõtepiiridega 0 kuni 1000 mm, sealjuures jaotuse väärtusega 0,002 mm mõõtmetele kuni 50 mm (joon. 44), 0,005 mm mõõtmetele 50...500 mm ja 0,01 mm mõõtmetele 300...1000 mm. Kangmikromeetrid mõõtepiiridega 0...25 mm on määratud pikkuste absoluutsuuruse mõõtmiseks, mõõtepiiridega üle 25 mm aga suhteliseks mõõtmiseks (seatakse mõõtu mõõtplaatide abil).

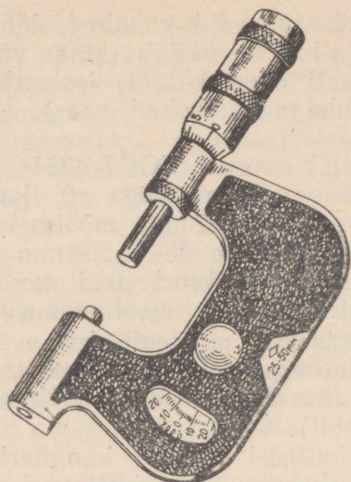
Tehnilised nõuded kangharkidele (joon. 45) mõõtepiirkonnaga 0 kuni 150 mm määrab kindlaks ГОСТ 4731—53.



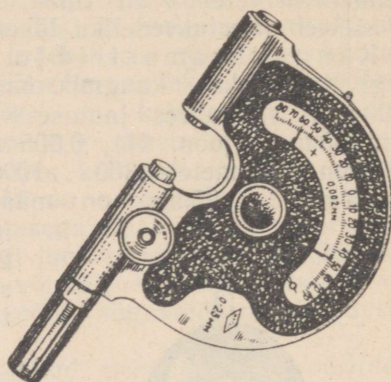
Joon. 42. Kangvedruindikaator



Joon. 43. Optiline vedru-mõõtepea



Joon. 44. Kangmikromeeter



Joon. 45. Kanghark

Enamkasutatavaile mõõtmetele (0 ... 150 mm) valmistatavate kangmikromeetrite ja kangharkide tehniline iseloomustus on toodud tabelis 19.

Tabel 19

Mõõtepiirkonnaga 0 ... 150 mm kangmikromeetrite ja kangharkide iseloomustus

Kangmõõteriista liik	Mõõtmise piirid mm		Jaotuse väärtus mm	Viga mm	
	üldised	skaala järgi		kogu skaala piirides	piirides ± 10 jaotust nullist
Mikromeetrid	0 ... 50	0,02	0,002	$\pm 0,003$	—
	50 ... 100	0,05	0,005	$\pm 0,004$	—
	100 ... 150	0,05	0,005	$\pm 0,005$	—
Hargid	0 ... 100	0,08	0,002	$\pm 0,002$	$\pm 0,001$
	100 ... 150	0,15	0,005	$\pm 0,005$	$\pm 0,0025$

Täpsete aukude mõõteseadmed. Täpsete aukude mõõtmiseks lastakse välja sisemõõtjaid, mis töötavad kanghammasülekanne põhimõttel. Sisemõõtjad jaotuse väärtusega 0,001 mm on ette nähtud 3...18 mm ja jaotuse väärtusega 0,002 mm 18...50 mm läbimõõduga aukude mõõtmiseks, kusjuu-

res mõõtmisviga ei ületa vastavalt $\pm 0,002$ ja $0,005$ mm. 18 kuni 50 mm sisemõõtjatega võib mõõta aukusid sügavusega kuni 140 mm. Nullasendisse seadmine toimub atesteeritud rõngaste või mõõtplaatide järgi.

Täpseid aukusid piirides 5...195 mm võib mõõta universaalmikroskoobil УИМ-21 spetsiaalse seadme ИЗО-1 abil. Mõõtmisviga ei ületa $\pm \left(1,5 + \frac{L}{100}\right)$ μm , kus L — mõõdetav mõõde mm.

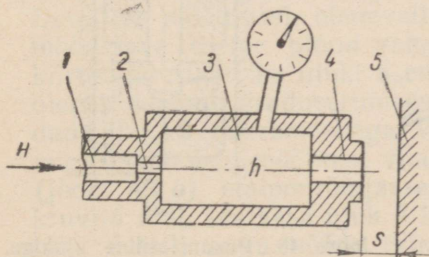
Pneumaatilised seadmed. Tehastes kasutatakse kahte tüüpi seadmeid: rõhu vedelikregulaatoriga ja ujukiga. Pneumaatiliste mõõteseadmete töötamispõhimõte on järgmine (joon. 46).

Kui püsiva rõhuga H suruõhk juhtida torust 1 ava 2 kaudu kambris 3, siis õhurõhk h kambris 3 sõltub väljavooluava 4 ristlõikepinnast. Kui ava 2 on konstantse läbimõõduga, siis õhurõhk h kambris on seda suurem, mida väiksem on väljavooluava ristlõikepind ja vastupidi.

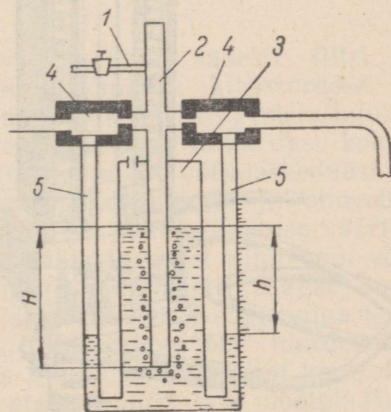
Kui ava 2 läbimõõt on konstantne ning ava 4 ette asetada pind 5, siis rõhk kambris on pind 5 suurusel pilu s suurenemisel rõhk h väheneb, vähenemisel aga suureneb. Kui pilu on võrdne nulliga, s. t. kui kambril väljavooluava on suletud, siis rõhk kambris 3 on H (siseneva õhu rõhk). Kui pilu s järsku suurendada, siis väljavooluava ristlõige muutub tunduvalt suuremaks sissevooluava 2 omast ja rõhk kambris muutub võrdseks atmosfääri rõhuga.

Vaadeldud seadme ehituse põhimõttest on näha, et rõhk h on seotud pilu s suurusega, mis omakorda on kontrollitava detaili mõõtmest.

Manomeetri skaalat ei gradueerita rõhkühikutes, vaid pikkus-



Joon. 46. Pneumaatilise mõõteseadme töötamispõhimõte

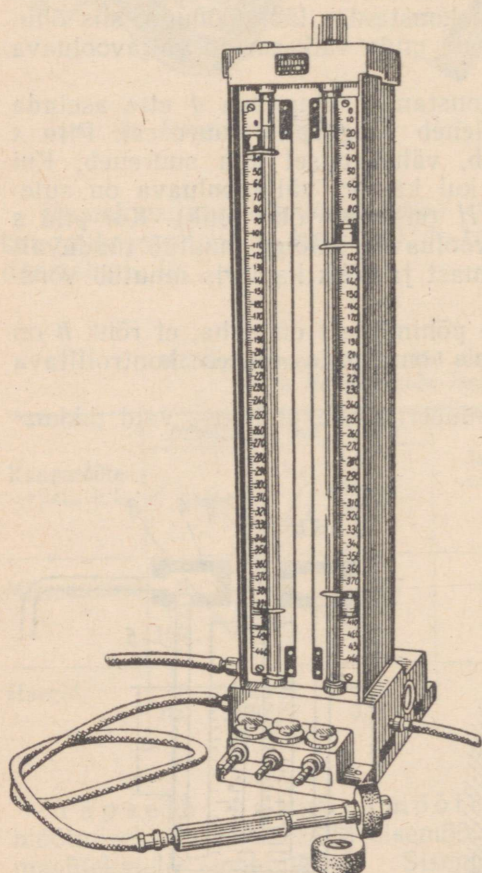


Joon. 47. Rõhu vedelikregulaatoriga pneumaatiline mõõtesead

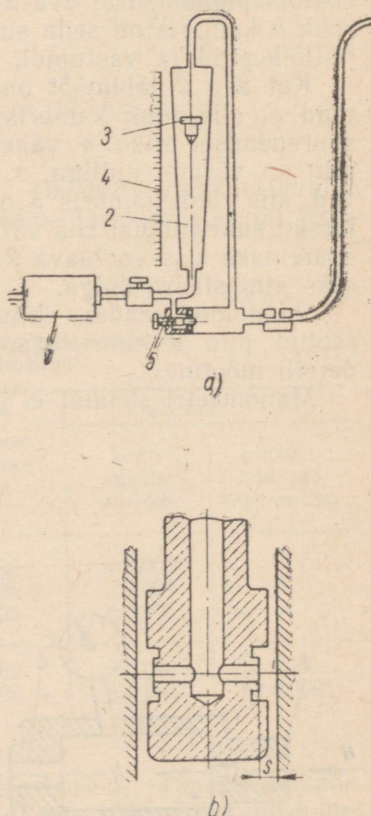
ühikutes, näiteks mikromeetrites. Säärane gradueerimine võimaldab otseselt lugeda kontrollitavate detailide mõõtmete hälbeid näidisdetaili mõõtmest või aparadi häälestamiseks kasutatud seademoõdust.

Rõhu vedelikregulaatoriga pneumaatilised mõõteseadmed (joon. 47). Õhk siseneb õhumagistraalset toru 1 kaudu torusse 2, mille ots ulatub anumasse 3 olevasse vette sügavuseni H . Torus 2 suruõhk paisub ning tõrjub sellest vee välja, mille tagajärjel rõhu suuruseks jääb vedelikusamba rõhk H . Kuna siseneva õhu rõhk torus 2 on vedelikusamba rõhust H suurem, siis õhu ülejääk väljub läbi vee mullidena.

Kambris 4 asetsevad sissevoolu- ja väljavooluavad järjestikku. Sissevooluava konstantse ristlõike puhul rõhk h kambris muutub



Joon. 48. Pneumaatiline pikkusmõõtja
ДПНД-500



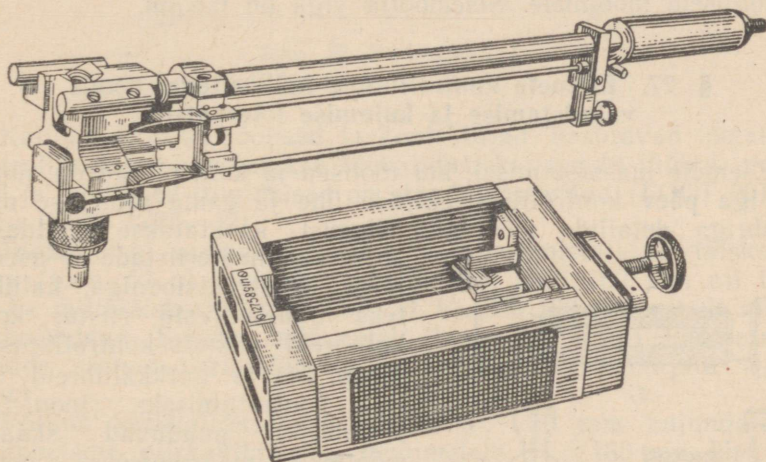
Joon. 49. Pneumaatiline ukjiga seade

a – töötamis põhimõte; b – spetsiaalne kork

olenevalt mõõdetava eseme pinna ja väljavooluava vahelise pilu muutusest. Vedelikusamba kõrguse muutus torus 5 näitab kontrollitava detaili mõõtme hälvet näidisdetaili mõõtmest, mille järgi seade on häälestatud.

Seadmel tüüp ДПНД-500 on kaks skaalat, mis võimaldavad kontrollida üheaegselt kahe augu mõõtmeid (joon. 48).

Pneumaatilised ujukseadmed (joon. 49, a). Seadmete töö põhineb õhuvoolu kiiruse muutusel koonilises klaastorus 2.



Joone 50. Pneumaatiline universaalne sisemõõtja

Tehase õhumagistraalset tulev õhk läbib sadesti, filtri ja rõhustabilisaatori 1 ning siseneb koonilisse klaastorusse 2. Seadme häälestamisel püütakse saavutada, et kerge metallujuk 3 (kaal alla 1 g) püsiks hõljuvas olekus skaala 4 nullkriipsu kohal. Detailide mõõtmisel, olenevalt pilu muutusest väljalaskedüüsi ja mõõdetava eseme pinna vahel, muutuvad õhukulu ja õhuvoolu kiirus, järelikult ka ujuki asend skaala 4 suhtes. Jaotuse väärtus on seadme gradueerimisest ja häälestamisest ning võib võrrelda 1...2 mikromeetriga või isegi mikromeetri osaga. Enne augu läbimõõdu mõõtmist viiakse spetsiaalkonstruktsiooniga kork (joon. 49, b) etaloonrõngasse ja, reguleerides õhu juurdevoolu kruvi 5 abil, seatakse ujuk 3 torus 2 nullasendisse. Kui kontrollitava detaili augu mõõde erineb etaloonrõnga (või mõõtplaatide ploki) omast, siis õhukulu muutub ja ujuk näitab hälvet etaloonrõnga augu mõõtmest.

Pöörates korki kontrollitavas augus 90°, 180° ja 270°, võib määrata ovaalsust. Mõõtes aku erinevatel kõrgustel, saame määrata koonilisust, tünnilisust ja sadulsust.

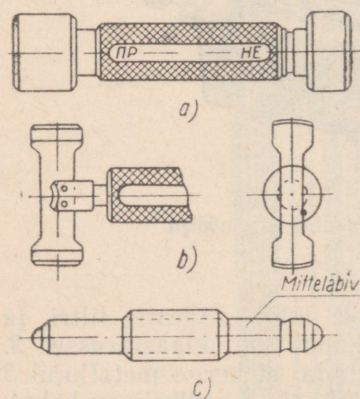
Pneumaatilised seadmed on tavaliselt asendamatud sügavate ja umbaukude, samuti väikese läbimõõduga aukude kontrollimisel.

Läbimõõduga 75...175 mm aukude täpseks mõõtmiseks kasutatakse universaalset sisemõõtjat tüüp НП (joon. 50), mis välis- takse spetsiaalsete korkide vajaduse. Sisemõõtja lülitatakse pneumaatilisse seadmesse ДПНД-500 (vt. joon. 48), mille juurde kuuluv lisaabinõu võimaldab häälestamist mõõtplatide järgi igasugusele mõõtmele. Sisemõõtja viga on 0,5 µm.

§ 27. Esemete kontrollimine kaliibritega, nende valmistamise ja kulumise tolerantsid

Esemete masstootmisel, kui töölised ja kontrollijad on sunnitud iga päev kontrollima paljude ühe ja sama nimetuse ning numbriga detailide mõõtmete õigsust, kasutatakse laialdaselt universaal mõõteriistade asemel

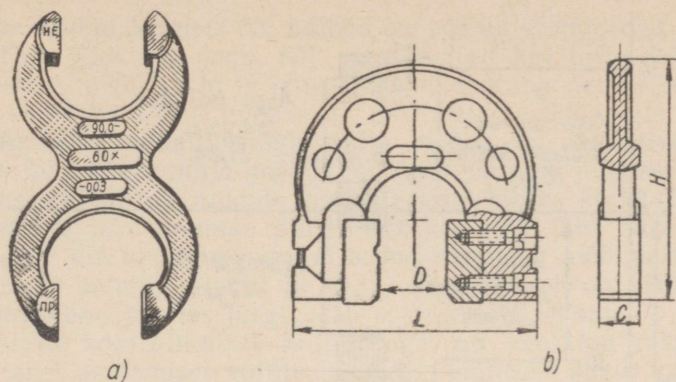
jäiga konstruktsiooniga, kaliibri- teks nimetatavaid riistu: korkkaliibreid aukude kontrollimiseks (joon. 51) ja harkkaliibreid võl- lide kontrollimiseks (joon. 52). Kaliibritel puuduvad skaalad mõõtmete määramiseks, nende abil saab ainult kindlaks teha, kas valmistatud detaili mõõde on lubatavates piirides või mitte. Selleks valmistatakse kaliibrid kontrollitava detaili piirmõõtme- tega: kaliibri ühel poolel on detaili suurim mõõde, teisel vähim. Vas- tavalt sellele nimetatakse kaliibri ühte poolt läbivaks (ПП)¹, teist aga mitteläbivaks (HE)². Ese-



Joon. 51. Korkkaliibrid

mete kontrollimise protsess seisneb esemete lihtsas sorteerimises kahe piirkaliibriga kolme gruppi: kõlblikud detailid, mille mõõt- med on lubatavates piirides (ПП läbib, HE ei läbi); parandatav praak, kui võlli mõõde on lubatavast suurem, augu mõõde aga lubatavast väiksem (ПП ei läbi); parandamatu praak, kui võlli mõõde on lubatavast väiksem, augul aga suurem (läbib HE).

¹ ПП — lühend venekeelsest sõnast «Проходный», s. t. läbiv
HE — „ „ „ „ «Непроходный», s. t. mitteläbiv



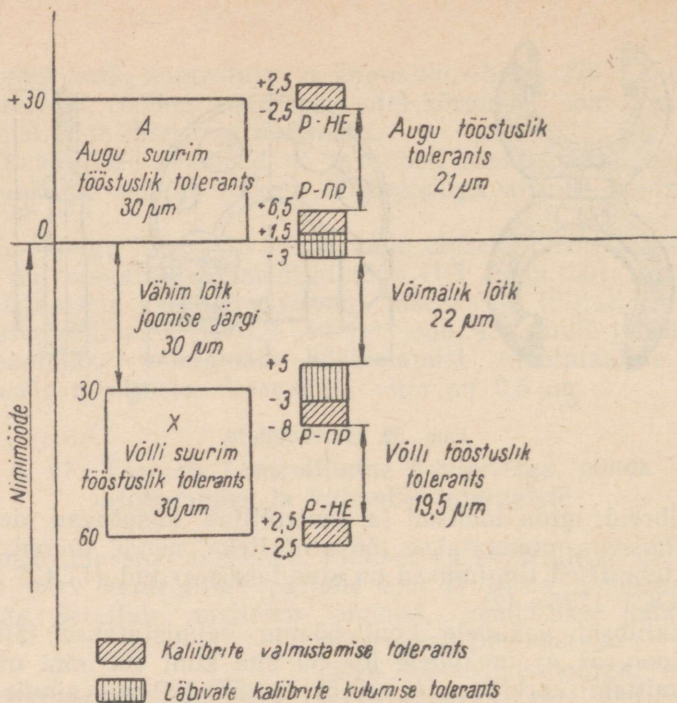
Joon. 52. Harkkaliibr

Kaliibrid, mida töölised ja kontrollijad kasutavad detailide kontrollimiseks, nimetatakse töökaliibriteks; nende tüübid, mõõtmed ja tehnilised tingimused on standardiseeritud (ГОСТ 2015—53 ja ГОСТ 1775—42).

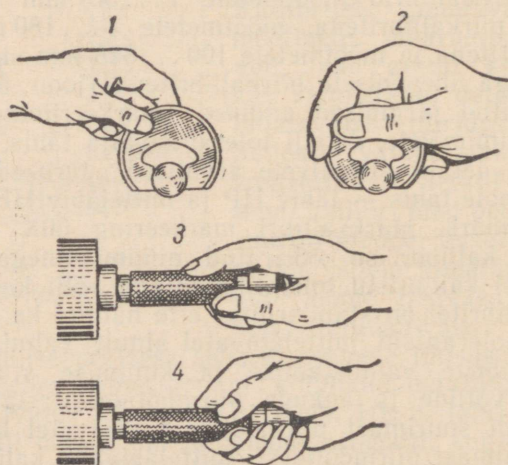
Töökaliibrid aukudele kuni 50 mm valmistatakse täiskorkidena (joon. 51, a), aukudele üle 50 mm kuni 100 mm nii täiskui ka mittetäiskorkidena (joon. 51, b), üle 100 mm ainult mittetäiskorkidena. Suurtel mõõtmel (kuni 1000 mm) kasutatakse korkide asemel varbkaliibrid ja sfäärilisi sisemõõtjaid (joon. 51, c).

Võllide harkkaliibrid mõõtmetele 1...50 mm kujundatakse kahepoolsete piirkaliibritena, mõõtmetele 1...180 mm ühepoolsete piirkaliibritena ja mõõtmetele 100...325 mm sissepandavate mõõtepindeadega ühepoolsete piirkaliibritena (joon. 52, b). Kaliibrile on märgitud järgmised andmed (markeerimine): kontrollitava detaili nimimõõde, detaili tolerantsivälja tähis, s. t. istud ja täpsusklassid, detaili piirhälvete arvulised suurused millimeetrites, kaliibri poole tähis — läbiv ПП ja mitteläbiv HE, valmistajatehase kaubamärk. Harkkaliibri markeering 60X (joon. 52, a) tähendab, et kaliiber on määratud nimimõõtmega 60 mm ja 2. täpsusklassi käigu-istu tolerantsiväljaga võlli kontrollimiseks. Läbivatel kaliibritel on standardites ette nähtud ka valmistamise ja kulumise tolerantsid, mitteläbivatel ainult valmistamise tolerantsid. Kaliibrite valmistamise ja kulumise standardhälbeid arvestatakse võllide ja aukude piirmõõtmest: läbivatel harkkaliibritel võlli suurimast piirmõõtmest, läbivatel korkkaliibritel aga augu vähimast piirmõõtmest; mitteläbivatel kaliibritel vastupidi, s. t. võlli vähimast piirmõõtmest ja augu suurimast piirmõõtmest.

Tolerantsiväljade asetus detailil ja töökaliibritel liite 60 $\frac{A}{X}$



Joon. 53. Tolerantsiväljade asetus detailil ja kalibril



Joon. 54. Kaliibrite õige ja vale kasutamine
 1 – harkkaliibri õige kasutamine; 2 – pole lubatud harkkaliibrit jõuga peale suruda; 3 – korkkaliibri õige kasutamine; 4 – pole lubatud korkkaliibrit jõuga auku suruda

jaoks on toodud joonisel 53; hälbed on võetud standardist (lisa I ja 2). Graafikul (vt. joon. 53) on näidatud kaliibrite mõõtmete mõju detaili mõõtmetele ja istu iseloomule. Kuna detaile loetakse kõlblikeks töökaliibrite lubatavate mõõtmete piirides, siis võllide kontrollimisel harkkaliibritega, mille mõõde on kulumise piiril, lastakse läbi võlle, mille mõõde on $5\mu\text{m}$ suurem joonisel antud suurimast mõõtmest. Aukude kontrollimisel läbi va korkkaliibriga, mille mõõde on kulumise piiril, lastakse aga läbi auke, mille mõõde on $3\mu\text{m}$ väiksem joonisel antud vähimast mõõtmest.

Sääraste detailide (võlli ja augu) ühendamisel on vähim lõtk $0,022\text{ mm}$, kuna joonise järgi peab see olema $0,03\text{ mm}$.

Detailide kontrollimisel kaliibritega on keelatud rakendada jõudu hargi asetamisel võllile ja korgi viimisel auku, vaid see peab toimuma kaliibri oma raskuse mõjul. Samuti on keelatud kontrollida pöörlevat detaili pingis, kuna see põhjustab kaliibri kiiret kulumist, ja kontrollida võlli hargiga, mis kukkus põrandale (kaliiber võis deformeeruda ning selle mõõtmed muutuda). Kaliibri õige ja ebaõige kasutamise näiteid on toodud joonisel 54.

§ 28. Suurte mõõtmete kontrollimise meetodid ja vahendid

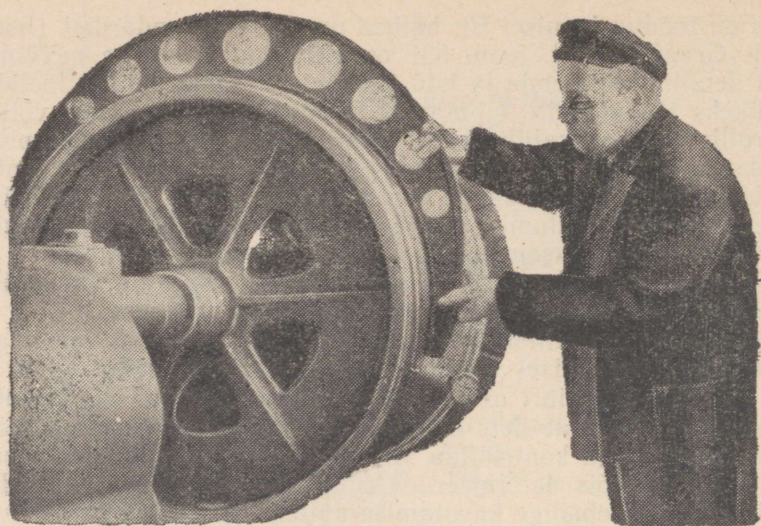
Detailide kontrollimiseks mõõtmatega üle 500 mm lasevad kodumaised tehased välja piiratud hulga mõõtevahendeid (tabel 20). Peamine raskus seda tüüpi mõõtevahendite loomisel seisneb selles, et detailide mõõtmete suurenemisel tõuseb järsult viga nende mõõtmisel. Näiteks isegi suhteliselt väikese läbimõõduga võlli (800 mm) mõõtmisel harkindikaatoriga (joon. 55) tuleb hark asetada kohale kahe töölise poolt. Joonisel 56 on näidatud augu mõõtmine sisemikromeetriga.

Mõõtevahendite (nihkmõõteriistade ja sisemikromeetrite) näitude normeeritud vigade suurused on toodud tabelites 14 kuni 17.

Suurte mõõtmatega detailide kontrollimisel kasutatakse laialdaselt kaudseid mõõtmismeetodeid. Näiteks suurte mõõtmatega võlli läbimõõt määratakse kõõlu l ja segmendi kõrguse h mõõtmise teel (joon. 57). Teades neid suurusi, võib võlli läbimõõtu d arvutada valemi järgi

$$d = \frac{l^2}{4h} + h.$$

Üle 1000 mm võllide ja aukude läbimõõtude määramiseks kõõlu pikkuse ja segmendi kõrguse kaudu kasutatakse spetsiaalset seadet (joon. 58). Tugirullid 1 (joon. 58, *a*) asetsevad mõõtepeast 2 võrdsele kaugusel. Augu mõõtmisel tõstetakse rullid üles toeni, mõõtepea lastakse aga allapoole.



Joon. 55. Detaili mõõtmine pingis harkindikaatoriga

Seade asetatakse tasasele plaadile, arvutatakse mõõde h ja koostatakse mõõtplatidest plokid 3 mõõtepa seadmiseks nulli. Võllide mõõtmisel (joon. 58, *b*) arvutatakse mõõde h valemiga

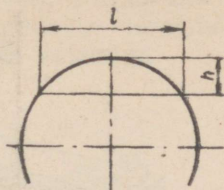
$$h = \frac{1}{2} [D + d - \sqrt{(D + d)^2 - 4l^2}],$$

aukude mõõtmisel (joon. 58, *c*) aga valemiga



Joon. 56. Augu mõõtmine sisemikromeetriga

Joon. 57. Võlli läbimõõdu kaudne määramine kõõlu ja segmendi kõrguse mõõtmise teel



$$h = \frac{1}{2} [D - d - \sqrt{(D - d)^2 - 4l^2}]$$

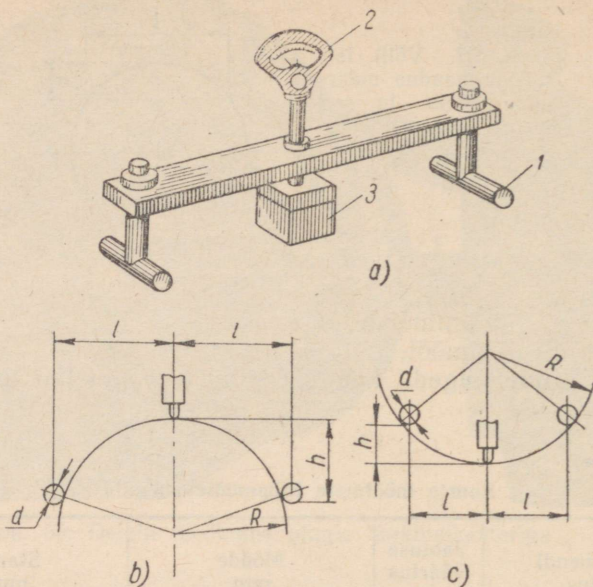
kus D — detaili nimimõõde,
 d — rulli läbimõõt,
 l — rullide telgede kaugused mõõtepea otsiku teljest.

Tabel 20

Suurte mõõtmete tüüpimõõtevahendid

Mõõtevahendi nimetus	Jaotuse väärtus mm	Mõõde mm	Standardi number
Nihkkaliiber	0,1	2000 2000 ... 4000	ГОСТ 166-63 ja tehase TY (tellimise järgi)
Nihkkõrgusmõõtja	0,1	500 ... 1000 Üle 1000 ... 3000	ГОСТ 164-52 ja tehase TY (tellimise järgi)
Mikromeetrid	0,01	300 ... 600 (üle 100) Üle 600 ... 2000	ГОСТ 6507-60 ja tehase TY (tellimise järgi)
Kangmikromeetrid	0,005	300 ... 500 (üle 25)	ГОСТ 4381-61
	0,01	500 ... 1000 (üle 100)	
Harkindikaatorid	0,01	500 ... 1000 (üle 100)	ГОСТ 5701-51
Sisemikromeetrid	0,01	Kuni 1250 1250 ... 10 000 ¹	ГОСТ 10-58
Siseindikaatorid	0,01	250 ... 1000	ГОСТ 868-57

¹ Sisemõõtjaid mõõtmetele üle 1250 mm valmistatakse mikromeeterpeaga ja indikaatoriga.

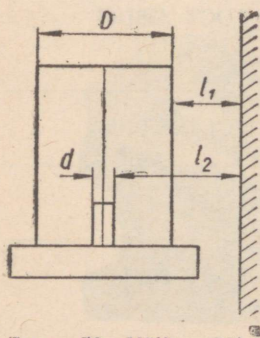


Joon. 58. Spetsiaalseade (a) suurelähimõõduliste võllide (b) ja aukude (c) mõõtmiseks

Asetanud seadme võllile või auku, loetakse osuti hälve h ja arvutatakse võlli või augu nimimõõtme hälve ΔD :

$$\Delta D = - \left(\frac{l^2}{h^2} - 1 \right) \Delta h.$$

Märk «miinus» pannakse sulgude ette seepärast, et segmendi kõrguse h suurenemisel läbimõõt D väheneb. Seda meetodit kasutatakse suurte läbimõõtu-dega aukude ja võllide mõõtmisel.



Joon. 59. Võlli mõõtmine pingis kaudsel meetodil

Suurte detailide mõõtmeid kontrollitakse sageli täiendavatest baasidest, ilma detaili pingist maha võtmata. Sellisteks baasideks võivad olla pingi sängi tasapind, plaanseibi silindriline pind või otspind, torn jne. Võlli läbimõõdu D (joon. 59) võib määrata võlli pingist maha võtmata, mõõtes kauguse l_1 pingi sängist kuni võlli pinnani, kauguse l_2 sängist kuni torni pinnani ja torni läbimõõdu d .

Võlli läbimõõt D arvutatakse valemiga

$$D = 2(l_2 - l_1 + 0,5d).$$

Suhteliselt lihtne on kuni 6000 mm võllide mõõtmise kaudne meetod übermõõdu l järgi, mis saadakse terasmõõtelindi abil. Sel juhul võlli läbimõõt määratakse valemiga

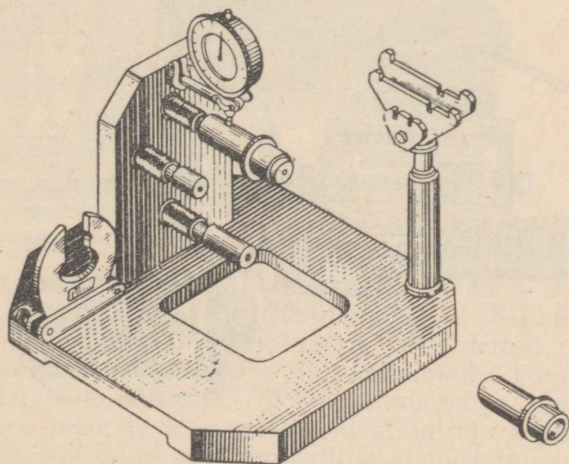
$$d = \frac{l}{\pi}.$$

§ 29. Esemete vastuvõtukontrolli mehhaniseerimine ja automatiseerimine

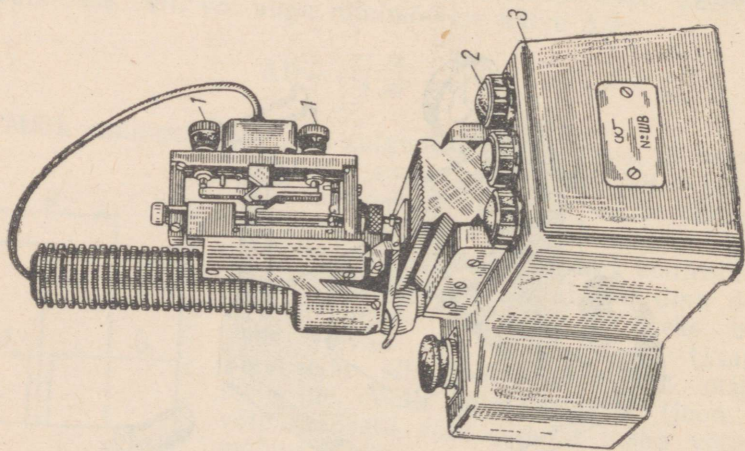
Tootmises on suurt tähelepanu osutatud mõõtmisprotsessi mehhaniseerimisele ja automatiseerimisele. Esemeid kontrollitakse nii kõige lihtsamate mõõteriistade ja -rakistega kui ka keerukate kontrollautomaatidega.

Näiteks kui ühepoolne harkkaliiber kinnitada sambale, siis kontrollija töotlikkus suureneb 2...2,5 korda, võrreldes tööliga, kes kontrollib detaili kahepoolse harkkaliibriga. Kui nõutakse detaili mitme mõõtme (näiteks läbimõõdu ja pikkuse) kontrollimist, siis on otstarbekas kõik kontrollimisvahendid (hark- ja korkkaliibrid, šabloonid, indikaatorid) kinnitada kindlas järjekorras sambaga plaadile (joon. 60). Detaile kontrollitakse samas järjekorras nagu ilma rakisetagi. Näiteks algul kontrollitakse harkkaliibriga puksi läbimõõte, siis korkkaliibriga aukude läbimõõte, edasi indikaatoriga puksi seinapaksuse hälvet, pöörates teda tornil, siis šabloonidega ääraste paksust ja puksi pikkust.

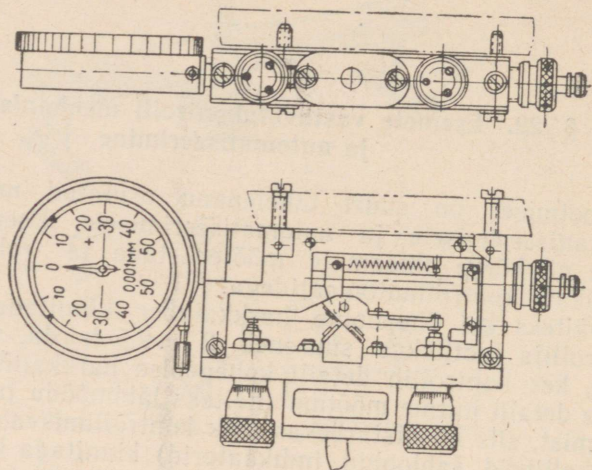
Detailide kontrollimisel indikaatoritega rakistes peavad töö-



Joon. 60. Tüüp mõõtevahenditest koostatud kontrollrakis

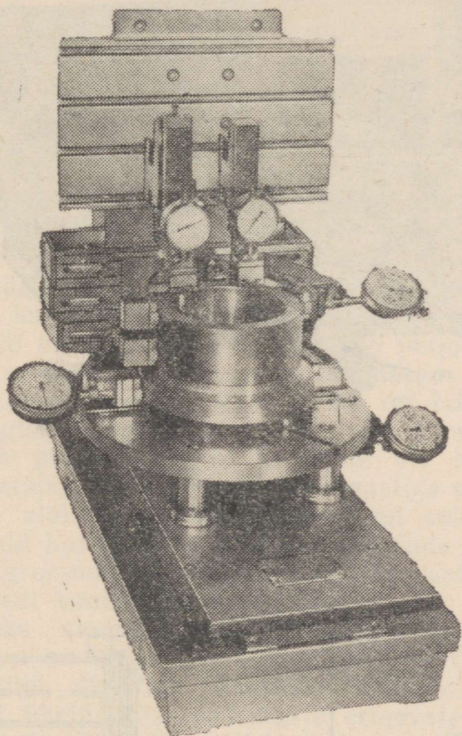


Joon. 61. Elektrokontaktseade tüüp ТФ15.12



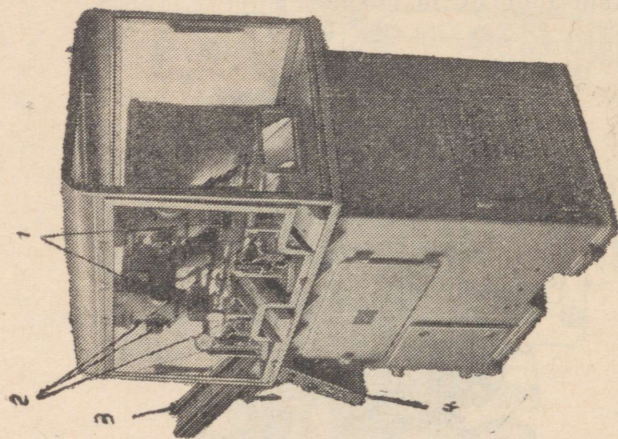
Joon. 62. Elektrokontakt-andur mõõtepeaga

lised ja kontrollijad tähelepanelikult jälgima mõõteseadme osuteid. Kui aga mitmemõõtmelised rakised on varustatud mitme indikaatoriga, siis kontroll osutub väsitavaks ja vigade võimalus suureneb. Käesoleval ajal asendatakse indikaatorid mitmesuguste elektrokontakt-andurite ja pneumaatiliste seadmetega.

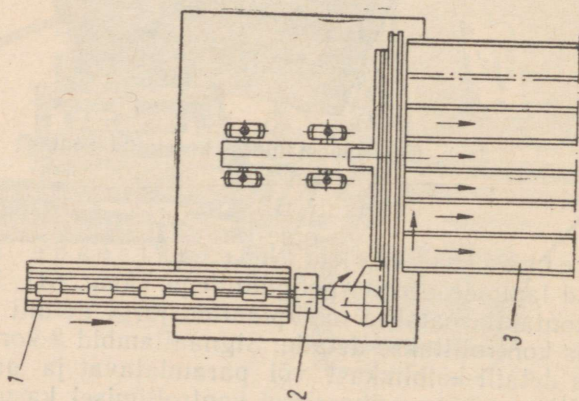


Joon. 63. Tüüpdetailidest koostatud kontrollrakis

Universaalne elektrokontaktseade TΦ15-12 on varustatud lampide asemel pooljuhtidega (joon. 61). Kaks anduri 1 elektrikontakti seatakse mõõtplaatide järgi detaili piirmõõtmetele ja siis kontrollitakse detaile. Signaallambid 2 korpuses 3 näitavad kas detaili kõlblikkust või parandatavat ja parandamatut praaki. Mitme mõõtme üheaegsel kontrollimisel kasutatakse mitmekontaktilisi või mitut kahekontaktilist andurit ja vastavat arvu signaallampe valgusfocoris. Elektrokontakt-andurisse võib sisse ehitada skaalaga mõõtepea (joon. 62), mis määrab väljapraagitud detailide hälbed.



Joon. 65. Kuullaagrite kontrollimisauto-
maat



Joon. 64. Kolvisõrmede kontrolli-
mise ja sorteerimise universaalse
automaadi skeem

Tüüpsõlmede, -detailide ja -mõõteseadmete komplektid. Meie tehased vajavad universaalkomplektideks tüüpdetailide, -sõlmi, -sambaid, -mõõtepäid jne., et kiiresti koostada ja pärast kasutamist lahti võtta mitmesuguseid kontrollrakiseid. Joonisel 63 on näidatud tüüpdetailidest ja -sõlmedest koostatud kontrollrakis suurte äärikutega pukside mõõtmete ja kujuhälvete kontrollimiseks.

Tüüpsõlmede komplektidest (prismad, plaadid, tsentripukid, sambad, elektrokontakt-andurid, valgusfoorid ja kinnitusdetailid) koostatakse mitmesuguste astmeliste võllide kontrollimiseks mitmemõõtmelisi rakiseid.

Komplektides kasutatakse ka uut tüüpi magnetilise alusega sambaid kinnitamiseks magnetilistele pindadele ja imevaid sambaid kinnitamiseks mittemagnetilistele pindadele. Magnetilisi sambaid valmistatakse ka üksikult. Magnet on ehitatud samba korpusesse. Sisselülitamisel võtab ta asendi, mille puhul jõujooned sulguvad läbi aluse. Sellises asendis samm seisab või ripub tugevalt, kuna külgetõmbejõud alusele on 14...17 kG (168 N). Magneti ümberlülitamisel sulguvad jõujooned läbi korpuse, mistõttu sammast aluse külge ei tõmmata.

Kontrollautomaadid. NSV Liidul on laialdased kogemused mitmesuguste parameetrite järgi (mõõtmete, kõvaduse, kaalu, keeruliste profiilide nagu keermete või hammasrataste hammaste jt.) detailide kontrollimise automaatide projekteerimise ja valmistamise alal. Kontrollautomaadid on suhteliselt kallid ja keerulised, neid kasutatakse põhiliselt detailide sorteerimiseks mõõtmete järgi gruppidesse valikmontaažil ja vastutusrikkamate detailide kvaliteedi kontrolliks masstootmisel.

Progressiivseks suunaks valmistamise vastuvõtukontrolli automatiseerimisel on tüüpsõlmedest universaalsete automaatide loomine ühte tüüpi detailide kontrollimiseks. Nii kasutatakse mitmemõõtmelisi ühetüübilisi automaate erinevate tüüp mõõtmega detailide kontrollimiseks, näiteks automaati BB-8008 15...60 mm läbimõõduga kolvisõrmede kontrollimiseks, automaati BB-8009 mitmesuguste mootorite 15...60 mm läbimõõduga kolvide kontrollimiseks, automaati BB-8010 80...320 mm läbimõõduga ja 1...7 mm mooduliga otse- ja kaldhammastega hammasrataste kontrollimiseks, automaati BB-8011 5...30 mm välisläbimõõduga, mitte alla 3 mm siseläbimõõduga ja 5...100 mm pikkusega pukside kontrollimiseks, automaati BB-8020 mitmesuguste tsentrifugaalpumpade tiiviktüüpi detailide kontrollimiseks jne. Sääraseid automaate kasutatakse ka automaatliinides.

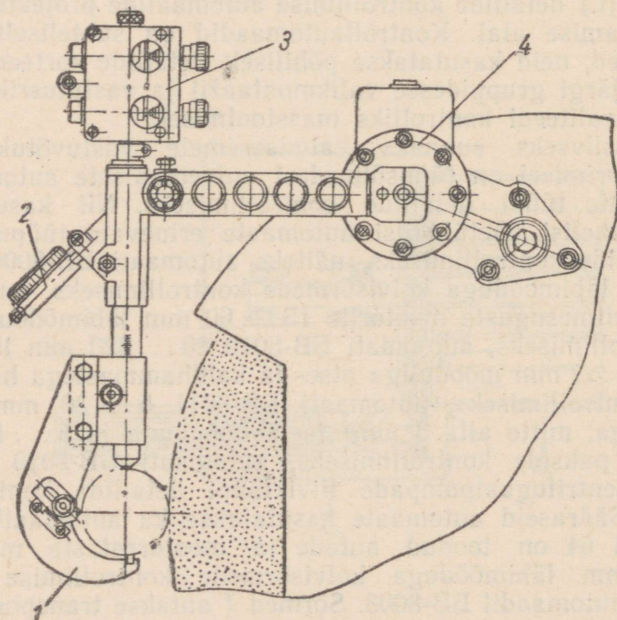
Joonisel 64 on toodud autode ja mootorrataste mootorite 15...60 mm läbimõõduga kolvisõrmede kontrollimise skeem universaalautomaadil BB-8008. Sõrmed 1 antakse transportööriga mõõtmispositsioonile 2, kus pneumaatilised andurid kontrollivad neid kolmes löikes ja selgitavad välja silindrilisuse hälbed (ovaal-

sus, koonilisus, sadulsus). Samaaegselt sorteeritakse sõrmed mõõtmete järgi seitsmesse gruppi diapsooniga kuni $2,5 \mu\text{m}$, misjärel nad suunduvad vibratsioonrennide 3 kaudu vastuvõtjasse.

Mitmemõõtmelisi kontrollautomaate valmistatakse nii üksikute detailide kui ka sõlmede ja agregaatide erinevate parameetrite kontrollimiseks. Automaati CK-9 (joon. 65) kasutatakse 35...85 mm siseläbimõõduga, 80...150 mm välisläbimõõduga ja 18...31 mm kõrguste koostatud kuullaagrite külg- ja radiaalviskumise kontrollimiseks. Laagrite viskumise kontrollimine mõõtmispositsioonil 1 toimub nelja elektrokontakt-anduriga, magasinide 3 täitmine laagritega aga käsitsi. Laagrite kõlblikkust või praaki näitavad valgusfoori lambid 4. Kolvisõrmede kontrollautomaadi tootlikkus on kuni 700 tk. tunnis, laagrite kontrollautomaadil 600 tk. tunnis.

§ 30. Aktiivse kontrolli vahendid

Kontrollides juba töödeldud detaile, eraldavad kontrollautomaadid ja -poolautomaadid defektsed detailid kõlblikest või sorteerivad valmisdetailid mõõtmete järgi gruppidesse. Selleks et



Joon. 66. Mõõteseadete ümarlihvimispingile

vältida praaki ja kergendada tööliste ja kontrollijate tööd, on tehased huvitatud detailide automaatselt kontrollimisest töötlemise protsessis. Automaatselt kontrollimise viisi, mille puhul mõõteseadmed on seotud pinkide tööorganitega, nimetatakse aktiivseks. Kodumaiste tehaste poolt toodetavad aktiivse kontrolli mõõteseadmed on kasutatavad mitmesugust tüüpi metallilõikepinkidel. Ümarlihvimispingi mõõteseadme (joon. 66) koosneb pööratavast hargist 1, mõõtepeast 2, elektrokontakt-andurist 3, mis annab impulsse elektronreleele, ja amortisaatorist 4.

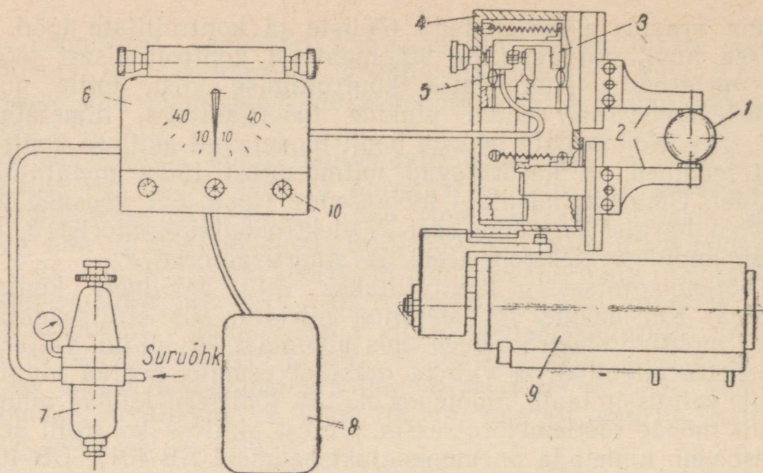
Töötlemisprotsessis kontrollitakse võlli mõõtmeid kontakt-hargiga. Kui mõõde on tolerantsi piirides, siis elektrokontakt-andur mõjutab elektronreleed, mis automaatselt lülitab välja lihvimisketta ettenihke ja viib ta detailist eemale, peatab pingi ja annab valgussignaali. Mõõtepea näitab töölistele, kuidas muutub detaili mõõde töötlemisprotsessis. Uutest aktiivse kontrolli seadmetest võib nimetada pneumokontaktseadmeid BB-4013, BB-4014, BB-4015, BB-4016 ja BB-4018 (välis- ja sisemõõtmete kontrollimiseks detailide lihvimisel). Seadmed BB-4013 ja BB-4016 on ette nähtud kuullaagri siserõnga välissoone mõõtmete kontrollimiseks.

Lihvitava rõnga mõõtme vähenemine (joon. 67) kutsub esile mõõtehargi 4 mõõtepingade 2 ja hoova 3 asendi muutuse. Hoova 3 nihkumine suurendab või vähendab lõtku hoova tasapinna ja pneumaatilise seadme toru 5 düüsi vahel ning muudab sellega õhu rõhku kambris. Seadmel on osutinäitaja ja elektrokontakt-andur 6.

Tehase suruõhumagistraalset tulev õhk puhastatakse õhufiltris tolmust ja niiskusest ning rõhustabilisaatoris 7 muudetakse ta rõhk rangelt konstantseks. Detaili mõõtme muutust näitab osuti pneumoelektrokontakt-anduri skaalal 6. Kui nüüd detaili mõõde saavutab ettenähtud väärtuse, lülitub elektrikontakt sisse ning pneumoelektrokontakt-andur 6 annab elektribloki 8 abil pingi organitele käskluse lihvimisrežiimilt viimistlemisrežiimile ümberlülitumiseks ja lihvimisketta ning mõõtehargi eemaldamiseks. Mõõtehargi lähendamise ja eemaldamine toimub hüdraulilise seadmega 9. Pneumoelektrokontakt-andur 6 on peale osutiga skaala (jaotuse väärtus 1 μm) varustatud veel valgussignaalseadmega lambi 10 näol.

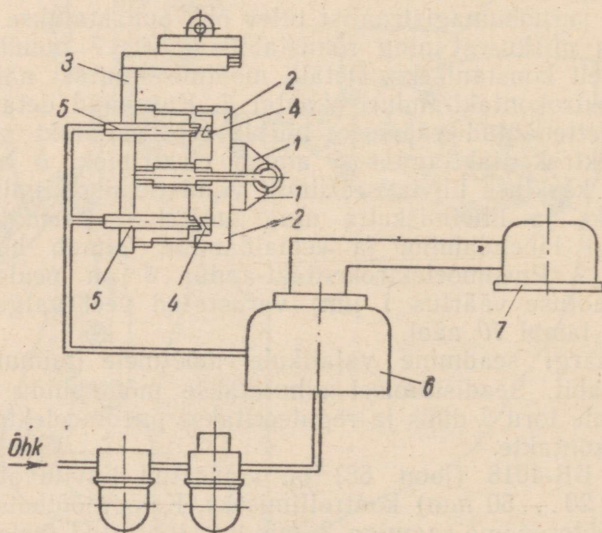
Mõõtehargi seadmine vajalikule mõõtmele toimub näidisdetailide abil. Seadistamisel nihutatakse mõõtepingu 2, asetatakse kohale toru 5 düüs ja reguleeritakse pneumoelektrokontakt-anduri 6 kontakte.

Seade BB-4018 (joon. 68) on määratud lihvitavate aukude (läbimõõt 20...50 mm) kontrollimiseks. Kaks mõõteotsikut 1 on seotud mõõteseadme raamiga 2, mis on kinnitatud toele 3. Lihvimisel augu läbimõõt suureneb ja kutsub esile raami 2 nihkumise ning õhupilu muutumise pindade 4 ja düüside 5 vahel. Õhupilu



Joon. 67. Pneumokontaktseade välisläbimõõdu mõõtmiseks

muutusele reageerib pneumoelektrokontakt-andur 6. Töödeldava augu nõutud mõõtmete saavutamisel annab elektronrelee 7 pingi täiteorganitele käsu ettenihke muutmiseks (jämetöötlemiselt viimistlemisele), lihvimisketta ja mõõteseadme eemaldamiseks või



Joon. 68. Aukude mõõtmisseade lihvimisel

ketta teritamiseks. Pneumoelektrokontakt-anduril on ka skaala visuaalseks mõõtmiseks.

Aktiivse kontrolli vahendite hulka kuuluvad mitmesugused automaatliinide kontroll-seadistusautomaadid. Nii annavad kontroll-seadistusautomaadid BB-8007 ja BB-8007ПK elektrimootorite rootorite töötlemise automaatliinidel rootori mõõtmistulemuse alusel käsklusi löikeriistade automaatseks järeleseedistamiseks, liini peatamiseks, kui rootori läbimõõt osutub lubatavast suuremaks või väiksemaks, puldile ja valgussignaalseadmele, kui rootoril on mittelubatav mõõde.

Käesoleval ajal soovitatakse detailide töötlemisel automaatidel ja nende mõõtmisel töötlemisprotsessis universaalmõõtevahenditega (välja arvatud kaliibrid) kasutada tööstuslikke tolerantsse.

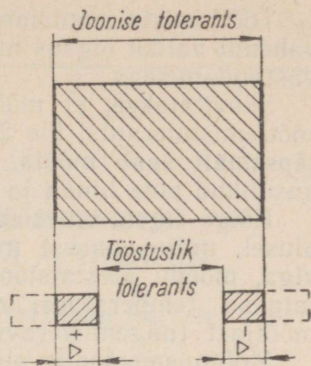
Tööstuslik tolerants on standardsest joonise tolerantsist mõõtmisvea võrra väiksem. Tööstuslik ja standardne tolerants, samuti ka mõõtmisviga on näidatud joonisel 69.

Tööstuslikke tolerantsse kasutatakse mõõtme väljumise vältimiseks joonisel ettenähtud tolerantsivälja piiridest, mis mõõtmisel võib jääda märkamatuks. Kandes tehnoloogilistele kaartidele standardse tolerantsi asemel tööstuslikke tolerantsid, garanteeritakse küll nõutava täpsuse ja iseloomuga liite saamine, kuid töötlemisel tekib lisaraskusi.

§ 31. Mõõtevahendite ja kontrollimismeetodite valiku tingimused

Esemete mõõtevahendite ja kontrollimismeetodite valikul arvestatakse metrooloogiliste, eksploatatsiooniliste ja ökonomiliste näitajatega. Metrooloogiliste näitajate hulka kuuluvad: mõõtevahendi lubatav viga, skaala jaotuse väärtus, tundlikkuse lävi, mõõtmise piirid jne. Eksploatatsiooniliste ja ökonomiliste näitajate hulka kuuluvad: mõõtevahendite maksumus ja usaldatus, töö kestus remondini, seadistamiseks ja mõõtmiseks kuluv aeg, kaal, gabariidid ja töökoormus.

Otsustavaks teguriks on mõõtevahendi lubatav viga, mis otseselt mõjutab mõõtmisel saadava tegeliku mõõtme väärtust. Iga konstruktor, tehnoloog, meister, kontrollija ja tööline peab aru saama, et pole võimalik õigesti valmistada detaili ja koostada masina sõlme ilma vajaliku täpsuse tagamiseta mõõtmisel.



Joon. 69. Standardse ja tööstusliku tolerantsi skeem

Töötlemistolerantsidega esemete mõõtmisel määratakse mõõtevahendi valiku õigsus mõõtmisvea ja detaili töötlemistolerantside vastandamisega.

Soovitatakse, et mõõteriista lubatav viga ei ületaks detaili töötlemistolerantsi üle 20%. Mida väiksem on see protsent, seda täpsemalt saab mõõta, kuigi väga täpsed mõõtevahendid pole kasulikud oma hinna ja mõõtmise töömahukuse poolest.

Kõige õigem on mõõtevahendite valik mõõtmismeetodi piirvea alusel, mille suurust mõjutavad järgmised vead: mõõtevahendi viga, mõõdu atestatsiooniviga, mille järgi mõõtevahend seadistatakse, temperatuuri mõju, subjektiivsed vead, mis sõltuvad mõõtjast (nägemisteravus, käetundlikkus, kogemused jne.).

Mõõtmismeetodite piirvigade normeeritud väärtused, mis kehtestati reale tootmises kasutatavatele mõõtevahenditele 1948. a., on kehtivad ka käesoleval ajal (lisa 3)¹. Uutele mõõtevahendite tüüpidele pole mõõtmismeetodite piirvead normeeritud.

Mõõtmisviga loetakse lubatavaks, kui ta ei ületa kaliibriga mõõtmise viga. See oletus põhineb lubatavale väljumisele detailide piirmõõtmest, kui viimaseid kontrollitakse töökaliibriga. Näiteks kui standardiga on ette nähtud harkkaliibri kulumishälbeks võlli suurimast piirmõõtmest +5 μm (vt. joon. 53), siis järelikult võib kontrollimisel lugeda kõlblikkudeks võllid, mille mõõtmed on suurimast piirmõõtmest 5 μm suuremad.

¹ Контроль средств измерений в машиностроении. Сб. инструкций Комитета по делам мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, 1948.

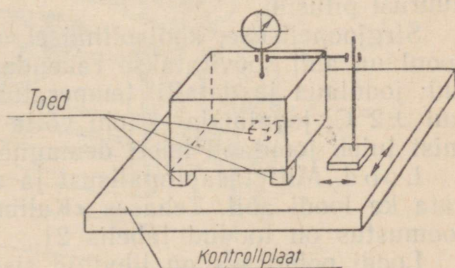
PINDADE KUJU JA ASENDI HÄLVETE KONTROLLIMISMEETODID JA -VAHENDID

§ 32. Tasapinnalisuse ja sirgjoonelisuse hälvete kontroll

Mittetasapinnalisuse ja mittesirgjoonelisuse määramise kõige lihtsamateks vahenditeks on kontrollplaat ja statiivile kinnitatud mõõtepea (joon. 70). Kontrollitav detail asetatakse kolmele reguleeritava või mittereguleeritava kõrgusega toele nii, et tema pinna kolm punkti asetseksid võrdsetel kaugustel kontrollplaadi tasapinnast. Nihutades statiivi kontrollplaadil eri suundades, näitab mõõtepea kumeruse või nõgususe suurust ja asukohta. Mittesirgjoonelisus määratakse mõõtepea skaala suurima ja vähima näidu vahena. Mittetasapinnalisust ja mittesirgjoonelisust võib määrata ka suhtelise meetodiga — värvilaikude (-täppide) tiheduse järgi, kasutades kontrolljoonlauda (-plaati). Selleks libistatakse sinise värvikihiga kaetud laia lekaaljoonlauda või kontrollplaati mööda kontrollitavat pinda. Kontrollitava pinna väljaulatuvad osad värvuvad ja värvilaikude asetuse järgi määratakse pinna mittetasapinnalisus.

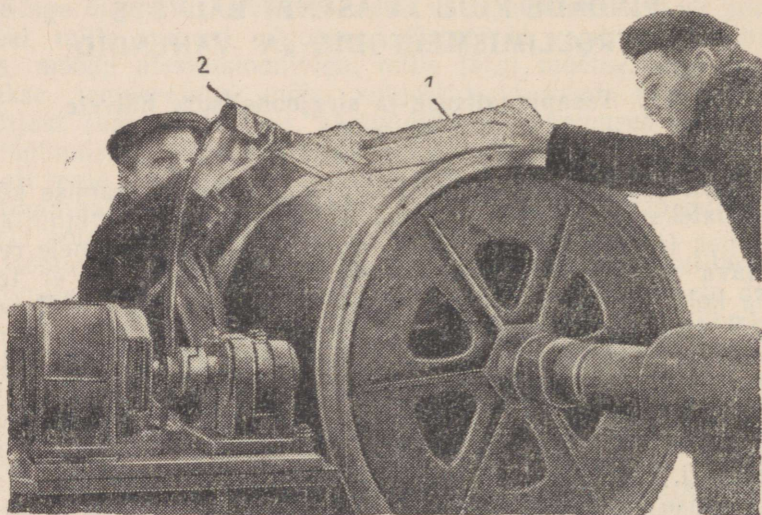
Mitmesuguste mõõteriistade, samuti pikkusmõõtplaatide väikeste soveldatud pindade mittetasapinnalisust võib täpsemalt kontrollida interferentsmeetodiga, kus tasapinnahälbeid võrreldakse valguse lainepikkusega. Selleks asetatakse kontrollitavale pinnale klaasplaat. Kui tasapinnahälbeid ei ole, siis vaateväljal on näha sirged interferentsjooned. Kui esineb kumerusi ja nõgususi, siis interferentsjooned kõverduvad. See meetod on kasutatav juhul, kui tasapinnalisuse hälve ei ületa $2\ \mu\text{m}$.

Sirgjoonelisuse kontroll valguspiluga. Tasapinna mittesirgjoonelisus pikkusel 100...1200 mm ja suurte mõõtmetega silindrite ning koonuste moodustajate mittesirgjoonelisus määratakse kontrolljoonlaudade abil valguspilu



Joon. 70. Mittetasapinnalisuse ja mittesirgjoonelisuse määramise skeem

meetodil (joon. 71). Selleks võetakse kontrolljoonlaud 1, hoides seda soojusisolatsioon-alusest (käepidemest), ning asetatakse servaga silindri või koonuse moodustajale. Joonlaua taha pannakse pikk luminescentslamp 2. Et silindri moodustaja ühtiks joonlaua servaga, pööratakse viimast ja jälgitakse valguspilu. Joonlaua serva ühtimisel moodustajaga on valguspilu joonlaua



Joon. 71. Detaili moodustaja sirgjoonelisuse kontrollimine kontrolljoonlauaga

keskosas suurim ja otstes väiksem. Joonlaua serva asetamisega moodustajale harjutakse ruttu. Valguspilu suurus määratakse võrdlemise teel etaloonpiluga või mikroskoobi abil. Kui pilu kõrgus ületab $10 \mu\text{m}$, siis määratakse ta suurus mõõtepaberi vahelepanemisega. Pärast mõneagset töötamist etaloonidega võivad töölised ja kontrollijad hinnata isegi silma järgi $1 \dots 2 \mu\text{m}$ suurusi pilusid.

Sirgjoonelisuse kontrollimisel valguspilu meetodil kontrolljoonlaua abil soovitatakse rakendada järgmisi ettevaatusabinõusid: joonlaua ja detaili temperatuurid ei tohi erineda rohkem kui $\pm 2^\circ\text{C}$; joonlauda ei tohi võtta kätte metalloosast; enne mõõtmist tuleb joonlaud hästi demagnetiseerida.

Lood. Mittetasapinnalisust ja mittesirgjoonelisust võib määrata ka loodi abil. Tehases «Kalibr» valmistatavate loodide iseloomustus on toodud tabelis 21.

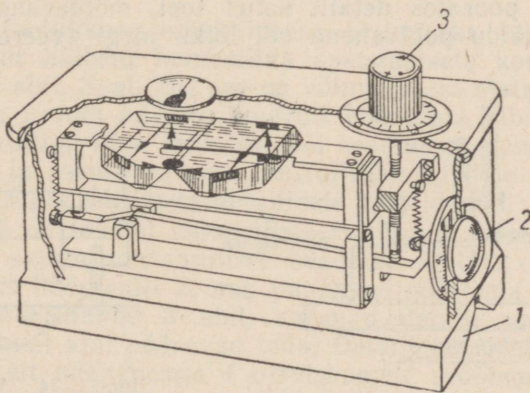
Loodi põhiosaks on lihvitud sisepinnaga ampull, mis on täidetud eetriga või etüülpiiritusega. Ampullide tüübid ja nende täiteained on standardiseeritud. Ampulli täitmisel jäetakse

Tüüploodide iseloomustus

Loodi tüüp	Jaotuse väärtus mm (1 meetril)	Tööosa pikkus mm
Lattlood (ГОСТ 9392-60)	0,02 ... 0,2 0,06 ... 0,2	200 100
Raamlood (ГОСТ 9392-60)	0,02 ... 0,2 0,06 ... 0,2	200 100
Mikromeeterlood	0,1	—
Optiline lood	0,01	—
Hüdrostaatiline lood	0,01	—

temasse väike õhumull, mis, võttes alati kõige ülemise asendi, on liikuvaks näitajaks skaalal. Loodi kallutamisel nurga α võrra nihkub mull kaare pikkuse l võrra. Kalde suurusele 0,01 mm 1 m pikkuse kohta vastab nurk 2". Ampulli skaala jaotuse väärtuseks nimetatakse loodi kallet, mis vastab mulli nihkumisele skaalal ühe jaotuse võrra (millimeetrites 1 m pikkusel).

Optiline lood (joon. 72) on ette nähtud horisontaalsete tasaste või silindriliste pindade kallete määramiseks või kontrollitavate horisontaalsete pindade sirgjoonelisuse hälvete määramiseks. Prismaatiline soon 1 on loodi paigaldamiseks silindrilisele pinnale. Loodil on 2 skaalat: jämeskaala 2 ja peenskaala 3 (graduateeritud nooniuskettana) koos mikromeeterkruviga, mille peale on kantud skaala jaotuse väärtus ning märgid pluss (+) ja miinus (-). Nooniusketta pööramise suund on näidatud noo-



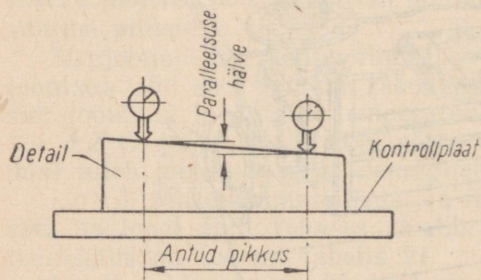
Joon. 72. Optiline lood

lega. Mullide ääred on optiliselt kohakuti ja nad paistavad läbi luubi kahe poolkaarena. Kui lood asetseb rangelt horisontaalses asendis, siis ääred ühtivad. Loodi kalde puhul 2" nihkub mull 0,8 mm, mis määratakse kindlaks nooniusketta pööramisega ühe jaotuse võrra.

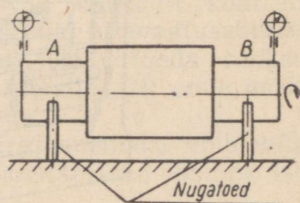
§ 33. Silindrilisuse ja pindade asendi hälvete kontroll

Mittesilindrilisus (ovaalsus, nurgelisus, koonilisus, sadulsus, tünnilisus) ja pindade ning telgede asendihälbed mõjutavad oluliselt mehhanismi ja masina töö kvaliteeti. Eriti täpsete väikeste tolerantsidega detailide nimetatud defektide väljaselgitamiseks soovitatakse kasutada täpseid vedru-mõõtepäid, millel jaotuse väärtus on kas mikromeeter või vähem (vt. joon. 41, 42). Väikese täpsusega detailide kontrollimisel (2a ja ebatäpsemad) kasutatakse laialdaselt indikaatoreid jaotuse väärtusega 0,01 mm.

Ovaalsus määratakse läbimõõtude suurima erinevusega, mis saadakse mõõtes kolmes üksteisest 120° võrra erinevas sihis. Nurgelisus tehakse kindlaks, pöörates detaili prismal. Mõõtepea näidud arvutatakse ümber, arvestades prisma nurka ja detaili tahkude arvu. Näiteks detailide kontrollimisel prismal, mille nurk on 90°, on viiekandilisel nurgelisusel selle suurus ligikaudu võrdne mõõtevahendi suurima ja vähima näidu poole vahega. Mõnikord kasutatakse nurgelisuse määramiseks rõngast, mis on valmistatud võlli suurima läbimõõdu järgi, ja sambale kinnitatud mõõtepead. Koonilisus määratakse ristlõike suurima ja vähima läbimõõdu vahena, mõõdetuna detaili kahest otsast. Tünnilisus ja sadulsus määratakse suurima ja vähima läbimõõdu poolvahena, mõõdetuna kolmes kohas — otstes ja keskel. Kõverus määratakse, pöörates detaili kahel toel, mõõtevahendi suurima ja vähima näidu poolvahena või lõtku järgi (veeretades detaili plaadil).



Joon. 73. Tasapindade mitteparalleelsuse kontroll



Joon. 74. Võlli telgede mitteühtivuse kontrollimine

Tasapindade mitteparalleelsus määratakse mõõtmete erinevusega antud pikkusel, asetades detailid baaspinnaga kontrollplaadile (joon. 73). Telgede mitteparalleelsus määratakse telgedevaheliste kauguste erinevusega antud pikkusel. Telgede mitteparalleelsuse ja kõveruse määramisel seatakse detail üles nii, et baaspinna telg oleks paralleelne kontrollplaadi pinnaga. Aukude telgede mitteparalleelsuse ja kõveruse määramiseks on detaili asetamiseks plaadile vajalikud abiseadmed — tornid ja statiiviga mõõtepead.

Otsviskumine määratakse mõõtepea suurima ja vähima näidu vahena, pöörates detaili prismaal ja fikseerides teda telgsihis.

Radiaalviskumine määratakse samuti mõõteseadme suurima ja vähima näidu vahena detaili täispöörde vältel prismaal või tsentrite vahel. Radiaalviskumisega tehakse kindlaks ka telgede mitteühtivus (ekstsentrisus), mis on võrdne radiaalviskumise poole suurusega (joon. 74).

Kahe ja enama erineva läbimõõduga võlli telgede mitteühtivuse võib kindlaks teha ka viskumise kontrolli kaudu, pöörates võlli telgedel täispöörde ulatuses. Telgede mitteühtivuse suurus on võrdne poole viskumisega.

Võlli telgede mitteparalleelsuse erinevate läbimõõtude kohal võib määrata, paigutades võlli kontrollplaadile või prismadele ja mõõtes viskumise antud pikkusel.

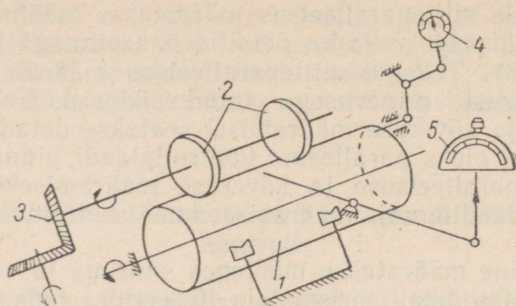
Lõikuvate telgede mitteühtivus määratakse vastavate tornide moodustajate kõrguse mõõtmisega baaspinnast antud löikepunktis. Mõõtepea näitude vahe, võttes arvesse kasutatavate tornide läbimõõte, ongi telgede mittelõikuvuse suuruseks.

§ 34. Pindade kuju ja asendi hälvete kontrolli mehhaniseerimine

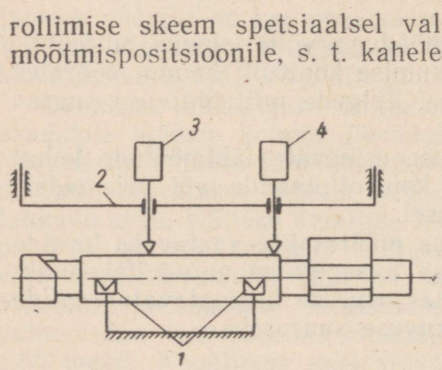
Kontrolli tootlikkuse objektiivsuse tõstmiseks tuleb pindade kuju ja asendi hälbeid kontrollida spetsiaalsete kontrollrakiste või -seadmete abil. Seal, kus see on võimalik, on otstarbekas pindade kuju- ja asendi hälvete kontroll koondada läbimõõtude ja pikkuste kontrolliga ühte rakisesse või seadmesse. Universaalseid pindade kuju ja asendi hälvete kontrollrakiseid pole aga mitmesuguse kuju ja gabariitidega detailidele veel loodud.

Joonisel 75 on toodud silindriliste rullitüüpi detailide hälvete kontrollimise skeem mehaanilisel seadmel. Detail on asetatud prismale. Kaks hõõrdrulli 2, mis pannakse pöörlema elektrimootoriga hammasülekanne 3 abil, suruvad detaili vastu prisma pindu ning samal ajal pööravad teda. Detaili pöörlemisel mõõdetakse üheaegselt mõõtepeaga 4 otsviskumist, mõõtepeaga 5 aga ovaalsust ja nurgelisust.

Joonisel 76 on näidatud kütusepumba kolvi koonilisuse kont-



Joon. 75. Kontrollrakis silindriliste detailide hälvete määramiseks



Joon. 76. Koonilisuse kontrollimise skeem valgusfooraparaadil

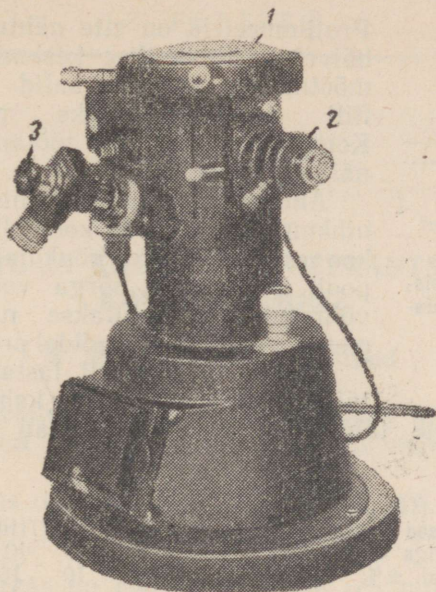
rollimise skeem spetsiaalsel valgusfoorseadmel. Asetanud kolvi mõõtmispositsioonile, s. t. kahele prismale 1, lähendatakse pinna moodustajale traavers 2, millega on seotud kaks elektrokontakt-andurit 3 ja 4. Kui kolvi koonilisus on lubatavast suurem, siis ühe anduri kontakt sulgub ja valgusfooris süttib punane lamp. See signaal säilib kuni teise detaili kontrollimise momendini, kuna seadme elektronskeemil on impulsside registreerimise seadis. Detailide etteandmine mõõtmise kohta ja eemaldamine toimub mehaaniliselt, hoova vajutamiselega, mis detaili saavutamiseks surub mikrolülitile ning lülitab elektriskeemi välja.

Kui antud seadme traaversil ühendada mitte kaks, vaid kolm elektrokontakt-andurit, siis võib seadmega kontrollida üheaegselt tünnilisust ja sadulsust.

Masstootmisel kasutatakse detailide kjuhävete kontrollimiseks kontrollautomaate (vt. joon. 64).

§ 35. Pinnakareduse kontroll

Kõige levinum viis pinna kvaliteedi hindamisel on pinna visuaalne võrdlemine töötaloonide või näidisdetailide pinnaga. Et silmad seejuures liigest pingutusest ei väsiks, soovitatakse kasutada lampi.



Joon. 77. Interferomeeter МИИ-4

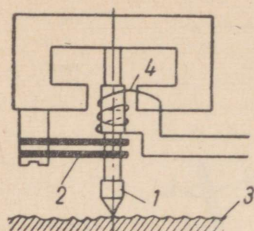
Pinnakareduse tööetaloonid on standardiseeritud ja neid lastakse välja erineva karedusega komplektidena 3. kuni 14. siledusklassi piires. Erinev karedus saadakse treimise, freesimise, hõõveldamise, lihvimise, sisetreimise, hõõritsemise, kammlõikamise, poleerimise ja soveldamisega.

Pinnakareduse hindamiseks kriteeriumide R_a ja R_z alusel mikromeetrites kasutatakse mitmesuguseid mõõteseadmeid: kaksikmikroskoobe, interferentsmikroskoobe ja kontakt-kompimis-seadmeid.

Interferentsmikroskoobid töötavad valguse interferentsi põhimõttel. Tööetaloonide atesteerimiseks ja vastutusrikaste pindadega detailide pinnakonaruste fotografeerimiseks kasutatakse edukalt Linniku¹ interferomeetrit МИИ-4. Sellel seadmel (joon. 77) võib mõõta 10. kuni 14. siledusklassi (kõige siledam) pindasid. Mõõdetav detail asetatakse aluslauale 1, mida võib nihutada ristsihtides. Valgusallikaks on lamp 2. Okulaari 3 vaateväljal on üheaegselt näha uuritava pinna karedus ja pinnakonaruste tõttu kõverdunud interferentsjooned.

Profilomeetriteks ja profilograafideks nimetatavate kombineeritud seadmete tüübid ja põhiparameetrid on toodud GOST 9504-60.

¹ V. P. Linnik — nõukogude füüsik, rea optiliste mõõteseadmete looja.



Joon. 78. Kompimis-seadmete töötamis-põhimõte

Profilomeetrid on ette nähtud pinna profiili hälvete aritmeetilise keskmise R_a vahetuks mõõtmiseks, profilograafid aga pinna profiili üleskirjutamiseks profilogrammna. Kompimisaparatuuride töötamis-põhimõte on näidatud joonisel 78.

Anduri 2 nõela teemantotsik 1 võngub nihkumisel mööda kontrollitava pinna 3 konarusi. Nõela võnkumine indutseerib pooli 4 mähises nõrga voolu, mis pärast võimendamist juhitakse näitavasse seadmesse või profilograafidel profilogrammidele.

Standardi kohaselt lastakse välja kolme tüüpi profilomeetreid ja kahte tüüpi profilograafe. Seadmete tähised ja lubatavad vead protsentides on järgmised:

Profilomeetrite (П) ja profilograafide

(ПГ) tähistused

Ülekandesuhte viga kuni $\pm\%$

Näidu viga kuni $\pm\%$

П7	П10	П16	ПГ5	ПГ16
7	10	16	5	10
10	16	25	—	—

Ülekandesuhte all mõeldakse seadme osuti nihkumise ja nõela antava joonnihkumise suhet, väljendatuna vastavates pinnakareduse parameetrites.

Profilomeetrit ja profilograafi on võimalik ühendada ka üheks seadmeks, võttes eraldi arvesse kõiki profilomeetrite ja profilograafide esitatavaid nõudeid. Säärast tüüpi seadmetest on ennast hästi õigustanud seade «Калибр-ВЭИ». Sellel profilomeetril-profilograafil on plokk-konstruktsioon ja ta on määratud mitmesugustest materjalidest (terasest, malmist, värvilistest metallidest ja sulamitest, plastmassidest jne.) detailide mitmesuguste pindade (tasaste, silindriliste, kooniliste) kareduse kontrollimiseks. Selle seadmega võib kontrollida ka mitmesuguste pinnakatete karedust ja suure sammuga lainelisust. Mõõtmistulemus kirjutatakse elektrotermilisel meetodil üles metalliseeritud paberile 5. kuni 14. siledusklassi piirides näiduveaga $\pm 10\%$. Mõõdetavate aukude vähim läbimõõt võib olla 8 mm, sügavus 14...125 mm. Näit loetakse skaalalt siis, kui osuti on automaatselt peatunud pärast mõõtetrassi läbimist. Seadmes ette nähtud osuti automaatne peatamine vähendab subjektiivset viga näitude lugemisel.

NURKADE JA KOONUSTE TOLERANTSID NING KONTROLLIMINE

§ 36. Nurkade tolerantsid

Uhtsuse saavutamiseks on nurgamõõtmete tolerantsid (ГОСТ 8908-58) ja kolm rida normaalnurki (nimiväärtusi) standardiseeritud.

Esimeses reas on nurgad: 0° , 5° , 15° , 30° , 45° , 60° , 90° ja 120° .

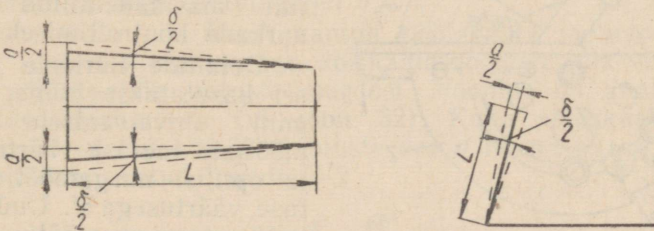
Teises reas on kõik esimese rea nurgad ja veel $30'$, 1° , 2° , 3° , 8° , 10° , 20° ja 75° .

Kolmandas reas on esimese ja teise rea nurgad ja täiendavalt veel nurgad $15'$, $45'$, $1^\circ 30'$, $2^\circ 30'$, 4° , 6° , 7° , 9° , 12° , 18° , 22° , 25° jne.

Tootmises kasutatavate nurkade tüüpimõõtmete vähendamiseks nurkade valikul soovitatakse esmajärjekorras võtta neid esimesest kui kõige eelistatavamast reast. Kui esimese rea nurkade väärtused ei vasta konstruktori nõuetele, siis võetakse nurgad teisest reast ja ainult tingimata vajalikel juhtudel kolmandast reast.

Nurgamõõtmete tolerantsidele on kehtestatud 10 täpsusastet (1., 2., 3. jne. tolerantside suurenemise järjekorras). Igas täpsusastmes on ette nähtud nurgaväärtuste piirhälbed märkidega \pm .

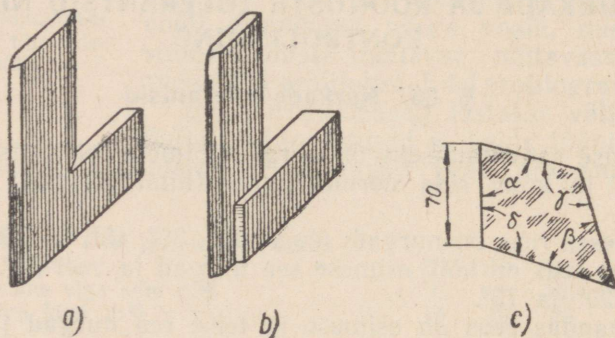
Nurga väiksema külje või koonuse moodustaja pikkuse L inertsvallide piirväärtustele on täpsusastmetes ette nähtud veel joonmõõtme hälbed (mikromeetrites). Nurga tolerantsi nurgaühikutes tähistatakse δ , pikkusühikutes aga a (joon. 79).



Joon. 79. Nurkade tolerantside skeem

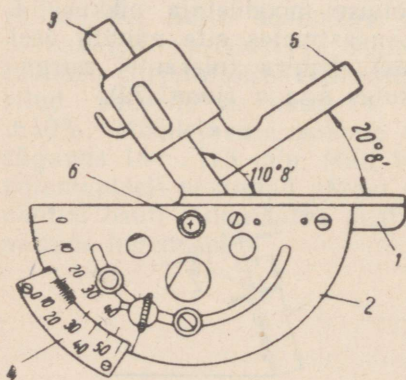
§ 37. Nurkade kontrollimismeetodid ja -vahendid

Nurki kontrollitakse nurgikutega, nurgaplaatidega, kaliibri-tega, transportiiridega, nurgamõõtjatega, mehaaniliste ja optiliste jagamispeadega, goniomeetritega ja siinuslaudadega. Nurgikud, kaliibrid ja nurgaplaadid on jäigad mõõtevahendid, neil on nurkade kindlad väärtused. Nurgikuid jaotatakse terviklikeks



Joon. 80. Jäikade mõõtevahendite liigid:
a — tervknurgik; b — koostatud nurgik, c — nurgaplaat

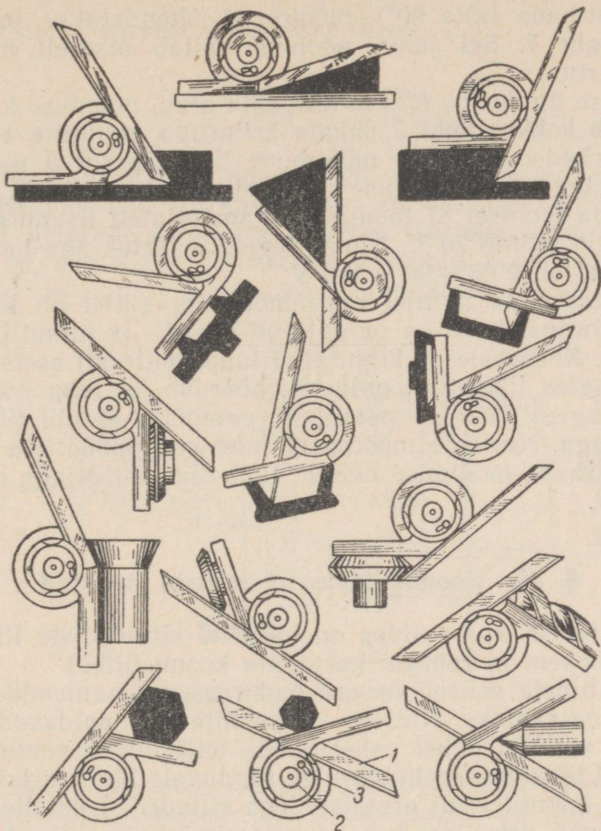
(joon. 80, a) ja koostatavateks (joon. 80, b). Nurgaplaate (joon. 80, c) lastakse välja komplektidena sellise arvestusega, et kolmest kuni viiest plaadist oleks võimalik koostada plokkke piiirides $10 \dots 90^\circ$. Nurgaplaate valmistatakse paksusega 5 mm ning nurkade täpsusega $\pm 10''$ (1. klass) ja $30''$ (2. klass). Neil on kas üks või neli töönurka $\alpha, \beta, \gamma, \delta$.



Joon. 81. Nooniusega nurgamõõtja

Nurgamõõtusid kasutatakse põhiliselt mitmesuguste nurgamõõtevahendite kontrollimiseks ja gradueerimiseks ning nurgakaliibrite kontrollimiseks, kuid neid võib kasutada ka vahetult masinadetailide täpsete nurkade kontrollimiseks.

Detailide nurkade mõõtmisel kasutatakse kõige sagedamini universaalseid nurgamõõtjaid jaotuse väärtusega $2'$ ja optilisi nurgamõõtjaid jaotuse väärtusega $5'$. Uudiseks on indikaatornurgamõõtja jaotuse väärtusega $5'$.



Joon. 82. Nurgamõõtja kasutamise näiteid

Nooniusega nurgamõõtja (joon. 81) koosneb kolmest põhiosast: jäigalt kinnitatud joonlauast 1 poolringikujulise limbiga 2, jäigalt kinnitatud joonlauast 3 sektoriga 4 ja lisanurgikust 5, mida kasutatakse alla 90° teravnurkade mõõtmiseks. Joonlaud 3 on pööratav limbiga seotud teljel 6.

Limbile 2 on piki kaart kantud põhiskaala jaotuse väärtusega 1° , sektori 4 kaarele aga abiskaala-noonius, mis võimaldab lugeda põhiskaalalt jaotuste murdosi. Noonius on analoogiline nihkkaliibri nooniusena (vt. joon. 32). Kuna põhiskaala intervalliks a on võetud $1^\circ = 60'$, jaotuste arv n nooniusel on aga 30, siis nooniuselt võetud lugem $i = 2'$

$$i = \frac{a}{n} = \frac{60'}{30}.$$

Teravnurkade (alla 90°) mõõtmisel ühendatakse joonlauda 3 külge nurgik 5. Sel juhul noonius näitab otseselt mõõdetava nurga väärtust.

Nooniuse nullkriips näitab kraadide arvu, noonise kriips aga, mis langeb kokku limbi 2 skaala kriipsuga, minutite arvu.

Nürinurkade (üle 90°) mõõtmisel lisanurgikut 5 pole tarvis, kuid sel juhul tuleb noonise näitudele lisada veel 90° . Kui mõttes eraldada joonisel 81 toodud nurgamõõtjatelt lisanurgik 5, siis nurgamõõtja näitab $20^\circ 8'$. Nurga tegelik väärtus aga joonlaudade 1 ja 3 vahel on $20^\circ 8' + 90^\circ = 110^\circ 8'$.

Kasutatakse ka optilisi nurgamõõtjaid, millel on kaks joonlauda ja korpus, kuhu on paigutatud kraadi- ja minutijaotustega klaasketas. Korpusele on kinnitatud luup, mille all asetseb skaala osuti. Pöörates liikuvat joonlauda, pöörduv ka luup koos skaala osutiga. Lugem võetakse pärast nurgamõõtja asendi fikseerimist survehoovaga. Nurkade mõõtmisel tuleb nurgamõõtjaid kasutada õigesti. Nurkade mõõtmise näiteid limb-nurgamõõtjaga on toodud joonisel 82.

§ 38. Koonusliidete tolerantsid ja istud

Masinate ja aparaatides on hakatud silindriliste liidete asemel üha rohkem ja rohkem kasutama koonusliiteid.

Koonusliidete eelised teevad nad reas mehhanismides ja sõlmedes hinnatavateks. Näiteks koonusliited võimaldavad reguleerida lõtku võlli ja puksi vahel nende teljesihilise suhtelise nihutuse teel. Liikumatuses liidetes on tunduvalt lihtsam koostada ja lahti võtta koonilisi kui pressistudega silindrilisi detaile. Koonusliited tagavad detailide hea tsentreerimise ja liite hermeetilisuse.

Koonuste põhiparameetrid ja nende standardiseerimine. Koonusliidetes võetakse mõõtmete hälvete hindamisel nimimõõtmeteks otsristlõigete läbimõõdud D ja d kokkupuutepikkusel L .

Mõõdet D nimetatakse liite suureks läbimõõduks, mõõdet d väikseks läbimõõduks.

Väliskoonuse (võlli) suurt läbimõõtu tähistatakse D_B , sisekoonusel (augul) D_A . Väiksed läbimõõdud tähistatakse vastavalt väliskoonusel d_B ja sisekoonusel d_A .

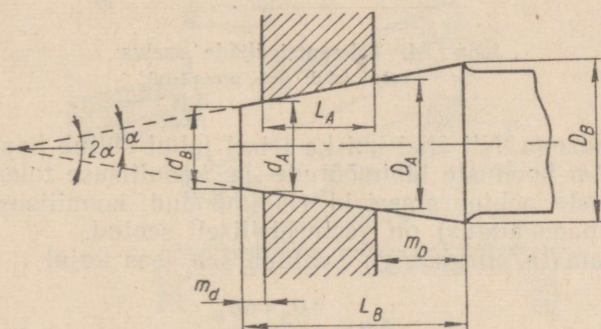
Koonuse moodustaja ja telje vahelist nurka α nimetatakse kaldenurgaks, nurka β aga, mis võrdub 2α , koonuse nurgaks. Koonilisel võllil vahe $D_B - d_B$ ja koonuse pikkuse L_B suhet, mis võrdub $2 \operatorname{tg} \alpha$, nimetatakse koonilisuseks K :

$$K = \frac{D_B - d_B}{L_B} = 2 \operatorname{tg} \alpha.$$

Samal kujul antakse puksi koonilisus

$$K = \frac{D_A - d_A}{L_A} = 2 \operatorname{tg} \alpha.$$

Detailide kooniliste pindade istu saamiseks on vaja teada koonuse läbimõõtude või kaldenurga ja koonuse pikkuse L tolerantse. Et detailide kooniliste pindade töötlemise tehnoloogia ja kontroll on suhteliselt keerukas, siis pole kooniliste detailide tolerantid ja istud senini veel standardiseeritud. Kooniliste



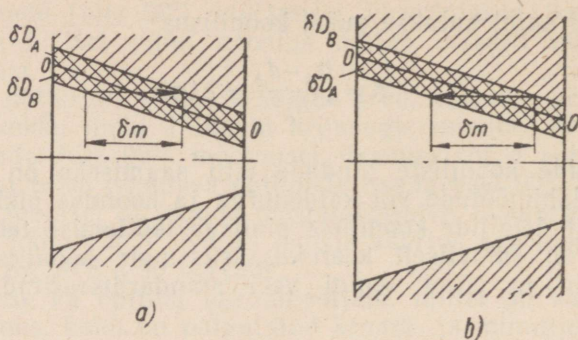
Joon. 83. Koonusliide.

detailide lõike- ja mõõteriistade tüüpmeetmete vähendamiseks ja tootmise lihtsustamiseks on standardiseeritud ainult soovitatavad koonilisuse väärtused (nn. normaalkoonilisused) ning tööriistakoonuste tehnilised nõuded ja tolerantid (ГОСТ 8593-57, ГОСТ 2847-45, ГОСТ 2848-45).

Kooniliste detailide tolerantside valik ja istude saamine. Koonusliites kontrollitakse istu iseloomu liite baaskauguse m muutuse järgi, mis kutsutakse esile ühe detaili telgnihutusega teise suhtes. Baaskauguseks m nimetatakse väliskoonuse ja sisekoonuse baaside vahelist kaugust (vt. joon. 83). Olenevalt eseme konstruktsioonist, detailide töötingimustest ja kontrollimise mugavusest võib konstruktor võtta nimimõõtmeks, järelikult ka baasiks kas koonuste suured (D_A , D_B) või väiksed läbimõõdud (d_A , d_B).

Koonusliidete istud võivad olla liikuvad, s. t. lõtkuga, mida saab reguleerida; tihedad — hermeetilisuse garanteerimiseks; pinguga — liikumatu liite saamiseks.

Vaba istu puhul võetakse väliskoonuse nimimõõtmehälve miinusmärgiga, sisekoonusel aga plussmärgiga (joon. 84). Pressistu puhul on väliskoonuse nimimõõtmehälve plussiga, sisekoo-



Joon. 84. Tolerantsiväljade asetus:
a – vabal istul; *b* – press-istul

nusel miinusega. Nii ühel kui ka teisel juhul sõltub baaskauguste tolerants δm koonuste läbimõõtude ja koonilisuse tolerantsidest, sest koonuste põhiparameetrid (läbimõõdud, koonilisus, koonuse pikkus ja baaskaugus) on geomeetriselt seotud.

Arvestamata nurga vigu avaldub see seos kujul

$$\delta m = \frac{\delta D_A + \delta D_B}{K},$$

kus δD_A – sisekoonuse suure läbimõõdu tolerants,
 δD_B – väliskoonuse suure läbimõõdu tolerants,
 K – koonilisus $2 \operatorname{tg} \alpha$,
 δm – baaskauguste tolerants.

Kui D_A on võrdne D_B , siis

$$\delta m = \frac{2\delta D_A}{K}.$$

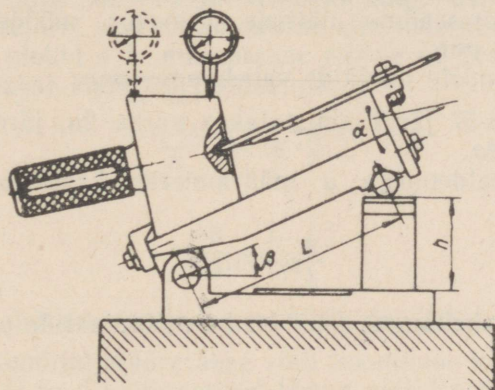
Võttes arvesse koonusliite parameetrite vahelist lihtsat geomeetriselt seost ja baaskauguse muutumise lihtsat kontrolli, antakse praktikas sageli baaskauguse tolerants δm .

§ 39. Välis- ja sisekoonuste mõõtmismeetodid ning -vahendid

Koonuse nurka võib mõõta otseselt nurgamõõtjaga või teiste mõõtevahenditega. Täpsemateks ja enamkasutatavamateks on tootmises kaudsed mõõtmismeetodid, kus ei mõõdetata otseselt nurki, vaid nendega geomeetriselt seotud koonusdetailide joonmõõtmeid.

Määratud nende joonmõõtmete väärtused, leitakse arvutuse teel nurkade suurused.

Mõõtmine siinuslauaga (joon. 85). Tööriistatööstuse poolt toodetavate siinuslaudade konstruktsioonid ja nendele esitatavad nõuded on standardiseeritud (ГОСТ 4046-61). Siinuslaud jaotatakse kolme tüüpi: I tüüp — ilma tugiplaadiga, II tüüp — tugiplaadiga, III tüüp — kahe tugiplaadi ja kahepoolse kaldega.



Joon. 85. Koonilisuse mõõtmine siinuslauaga

Siinuslaual on kaks omavahel paralleelset rulli. Üks rullidest moodustab telje, mille abil laud on kinnitatud tugiplaadile. Kui rulli alla asetada pikkusmõõtplatidest plokk, siis laua kaldenurk on β .

Laua kalde võib määrata valemiga

$$h = L \sin \beta,$$

kus h — mõõtplatidest ploki kõrgus,
 L — rullide telgedevaheline kaugus,
 β — laua kaldenurk.

Nurkade mõõtmiseks asetatakse detail lauale, orienteerides ta nii, et mõõdetav nurk asetseks tasapinnas, mis on risli siinuslaua rullidega (selleks kasutatakse laua külgpindu). Asetanud detaili lauale, pannakse rulli alla mõõtplatidest plokk. Ploki kõrgus määratakse ülaltoodud valemist, kus β on mõõdetava nurga nimiväärtus.

Mõõtepea näitude vahe mõõdetaval pikkusel (joonisel 85 on see pikkus võrdne indikaatori kahe asendi vahelise kaugusega) näitab mõõdetava nurga hälvet nimiväärtusest.

Nurga tegeliku väärtuse võib määrata, valides plaatide plokki, mille puhul mõõtepea näit jääb samaks kogu mõõdetava pikkuse ulatuses. Nurga tegeliku väärtuse siinus määratakse toodud valemi abil, misjärel siinuse järgi leitakse nurk. Samuti võib määrata ka tegeliku nurga hälbe $\delta\beta$:

$$\operatorname{tg} \delta\beta = \frac{\Delta}{m},$$

kus $\delta\beta$ — kontrollitava detaili nurga hälve,

Δ — mõõteseadme näitude erinevus mõõdetaval pikkusel mm,

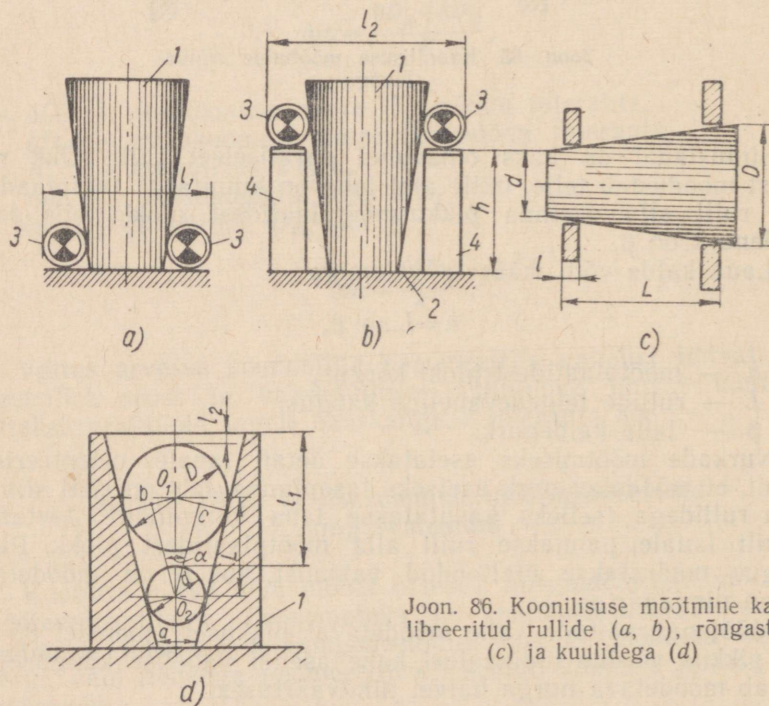
m — äärmiste punktide vahekaugus mm.

ГОСТ 8593-57 järgi tähistatakse nurka 2α , järelikult toodud valemis $\beta = 2\alpha$.

Koonuse kaldenurga α määramiseks kasutatakse arvutusvalemit

$$\frac{h}{L} = \sin \beta.$$

Rullide 2 vahekaugus L on teada, mõõtplaatide plokki kõrgus h



Joon. 86. Koonilisuse mõõtmine kalibreeritud rullide (a, b), rõngaste (c) ja kuulidega (d)

on samuti teada. Määratud $\sin \beta$, leitakse trigonomeetriliste funktsioonide tabelitest otsitavad nurgad β ja α . Et koonuse nurk määratakse kaudse meetodiga, siinuse kaudu ($\sin \beta$), siis nimetatakse mõõtuseadet siinuslauaks.

Väliskoonuste mõõtmine rullide abil. Nurga kaudseks mõõtmiseks nimetatud meetodil (joon. 86, *a* ja *b*) on vaja plaati 2, kaht ühesuguse läbimõõduga rulli 3 (võib kasutada rull-laagrite rulle), mõõtplaate 4 ja mikromeetrit jaotuse väärtusega 0,002 mm.

Alguses mõõdetakse vastu koonuse külgi asetatud rullidelt 3 mõõde l_1 . Seejärel asetatakse rullide alla mõõtplaatide võrdsete kõrgustega h plokid 4 ja määratakse mõõde l_2 . Teades mõõtmeid h , l_1 ja l_2 leitakse koonilisus valemiga

$$\frac{l_2 - l_1}{h} = 2 \operatorname{tg} \frac{\beta}{2}.$$

Sel juhul

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{l_2 - l_1}{2h}$$

ning nurk $\frac{\beta}{2}$ leitakse trigonomeetriliste funktsioonide tabelitest.

Samal põhimõttel määratakse võlli koonilisus kahe teadaoleva läbimõõduga D ja d kalibreeritud rõnga abil (joon. 86, *c*). Peale rõngaste asetamist koonusvõllile mõõdetakse kaugus L ja rõnga paksus l .

$$\operatorname{tg} \frac{\beta}{2} = \frac{D - d}{2(L - l)}.$$

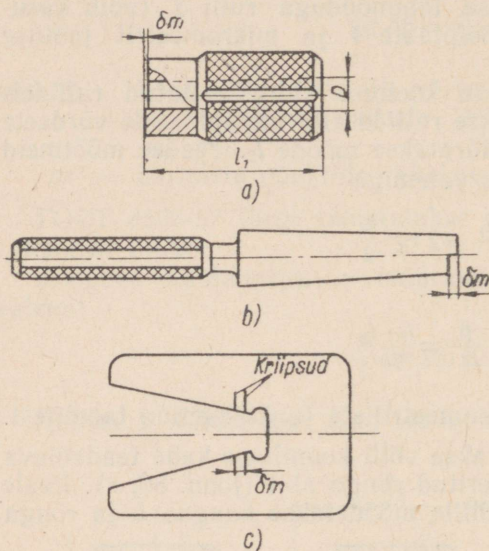
Sisekoonuste mõõtmine. Puksi sisekoonuse nurk määratakse samuti kaudsel meetodil, kuid kahe erineva läbimõõduga kera ja sügavusmõõtja abil (joon. 86, *d*). Puks 1 paigutatakse kontrollplaadile 2, asetatakse temasse väiksema läbimõõduga d kuul ja mõõdetakse sügavusmõõtjaga (nihk-, mikromeeter- või indikaatorsügavusmõõtjaga) mõõde l_1 . Seejärel asetatakse puksi suurema läbimõõduga D kuul ja mõõdetakse l_2 . Kirjeldatud mõõtmismeetodi rakendamisel määratakse puksi koonilisus valemiga

$$2 \sin \frac{\beta}{2} = \frac{2(D - d)}{2(l_1 - l_2) - (D - d)}.$$

Edasi leitakse nurga β väärtus trigonomeetriliste funktsioonide tabelist.

Koonuste kontrollkaliibrid. Koonusliidete vahetatavuse garanteerimiseks on laialdaselt levinud koonusvõllide ja -pukside kvaliteedi kontrollimine kaliibritega. See kontroll põhi-

neb baaskauguse hälbe kontrollimisel kaliibri teljesihilise nihtamise teel kontrollitava detaili suhtes. Kuna tolerantsid on standardiseeritud ainult tööriistakoonustel (ГОСТ 2847—45 ja ГОСТ 2848—45), siis on neile ette nähtud ka standardsed koonuskaliibrid (ГОСТ 2849—45). Tööriistakoonuste kontrollkaliibrite konstruktsioon on levinud ka masinate ja aparaatide detailide koonuste kontrollimisel. Väliskoonuste kontrollkaliibriteks on puksid (joon. 87, a) või hargid (joon. 87, c), sisekoonustel aga korgid (joon. 87, b). Kaliibrite ühte otsa tehakse aste, mille kaugus kaliibri otsast on võrdne baaskauguse tolerantsiga δm .



Joon. 87. Koonuste kaliibrid:
 a — puks; b — kork; c — harkkaliiber

kriipsu, millede vahekaugus on võrdne baaskauguse tolerantsiga δm . Puksi koonus on tehtud õigesti, kui ta suurema läbimõõduga D ots jääb korkkaliibrile kantud kriipsude vahele.

Koonuskaliibreid kontrollitakse paarikaupa, näiteks pukse nendega ühemõõtmeliste korkidega. Mõnikord valmistatakse kontrollkaliibrid suurendatud täpsusega, mispuhul koonilisust kontrollitakse universaalsete mõõtevahenditega.

Praktikas kasutatakse sise- ja väliskoonuste koonilisuse ning ovaalsuse kontrolli kompleksmeetodit värvi abil. Näiteks korkkaliibrile kantakse värvikiht, pööratakse siis seda kaliibrit kontrollitavas koonuses ja vaadeldakse värvijälgede jagunemist detaili pinnal. Kuid see meetod ei näita hälvete suurusi, vaid määrab ainult kindlaks eseme koonilise osa kvaliteedi (värvijälgede järgi). Selle kontrollimismeetodi kindlus oleneb kontrollija kvalifikatsioonist ja kogemustest ning kaliibrile kantud värvikihi ühtlusest.

rite konstruktsioon on levinud ka masinate ja aparaatide detailide koonuste kontrollimisel. Väliskoonuste kontrollkaliibriteks on puksid (joon. 87, a) või hargid (joon. 87, c), sisekoonustel aga korgid (joon. 87, b). Kaliibrite ühte otsa tehakse aste, mille kaugus kaliibri otsast on võrdne baaskauguse tolerantsiga δm . Kooniliste võllide ja pukside kontrollimisel selliste kaliibritega peab nendel ots jääma kaliibri astme tasapindade vahele. Kui see tingimus pole täidetud, siis detaili koonus pole õigesti tehtud. Kui baaskaugust arvestatakse koonuse suurest läbimõõdust (D), siis kantakse korkkaliibritele kaks

KEERMESLIIDETE VAHETATAVUS

§ 40. Silindrilise kinnistuskeerme tolerantsid

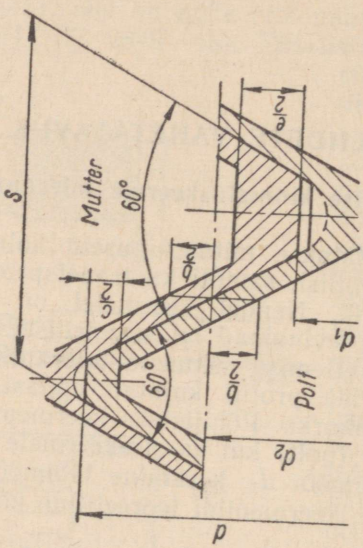
Masinaehituses kasutatakse mitmesuguseid kolmnurkse profiiliga silindrilisi ja koonilisi, samuti ka trapetsprofiiliga ja eriotstarbelisi keermesliiteid. Nendel keermetel on rida ühiseid tunnuseid, et aga kõige levinumad on silindrilised kinnistuskeermesliited (joon. 88), siis vaatlemegi viimaste tolerantsse ja kontrollimist. Silindrilise keermesliite profiil kujutab endast tipunurgaga $\alpha=60^\circ$ võrdkülgset kolmnurka. Põhilisteks keermesliiteparameetriteks, mis on ühised nii välis- (pold) kui ka sisekeermesliitele (mutter), on: välisläbimõõt d , siseläbimõõt d_1 , keskmine läbimõõt d_2 , keermesliite samm S , profiili nurk α , keermesliite teoreetiline kõrgus H , keermesliite töö kõrgus h .

Keskmise läbimõõdu all mõeldakse keermesliite ühistelgse silindri läbimõõtu, mille moodustaja jaotatakse keermesliiteprofiiliga võrdseteks lõikudeks. Seejuures keermesliite paksus moodustajal on võrdne soone laiusega. Keermesliite samm on kahe kõrvutiseisva keermesliite paralleelsete külgede vahekaugus mõõdetuna piki keermesliite telge.

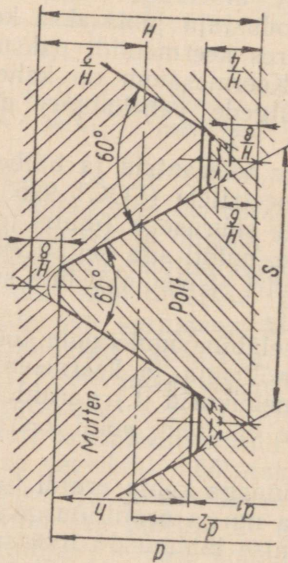
Silindrilise kinnistuskeermesliite tolerantsid ja hälbed on kehtestatud järgmistele keermesliiteparameetritele (ГОСТ 9253—59): poldi ja mutri keskmise läbimõõdu suuruse b (mutri tolerantsiväli on nimimõõdu suhtes positiivne, poldil aga negatiivne), poldi välisläbimõõdu suuruse c ja mutri siseläbimõõdu suuruse e (joon. 88, b) näol.

Mutri välis- ja poldi siseläbimõõdule pole tolerantsse kehtestatud. Keermesliite valmistamise tehnoloogia ja keermesliite valmistamise tööriistad (keermespuurid, keermesliitekurid jt.) garanteerivad, et mutri keermesliite välisläbimõõt ei tule väiksem, poldi keermesliite siseläbimõõt aga suurem teoreetilisest.

Keermesliite sammu ja profiilinurga kohta eraldi tolerantsse kehtestatud ei ole, kuid sammu ja nurga profiilinurga võimalikud hälbed kompenseeritakse keskmise läbimõõdu tolerantsiga. Praktika näitab, et kui poldil või mutril on sammu või profiilinurga hälbed, saab neid siiski ühendada, vähendades poldi keskmist läbimõõtu või suurendades mutri keskmist läbimõõtu. Seepärast keskmise läbimõõdu tolerants b , mis on ette nähtud 60° profiili-



b)



Meeterkeerne profiil
ГОСТ 9150-59 järgi

a)

$H=0,86603 \cdot S$
 $h=0,54125 \cdot S$

Joon. 88. Silindriline keere:

a — poldi ja mutri keerneprofiil; b — tolerantsiväljade asetuse skeem

nurgaga standardsetele kinnituskeermetele, on kolme liidetava summa

$$b = b_{d_2} + 1,732\delta S + 0,36S\delta \frac{\alpha}{2},$$

kus b_{d_2} — keskmise läbimõõdu tolerants (on võrdne tabelitolerantsiga b , kui poldi või mutri keermetamisel samm ja nurk osutuvad ideaalseteks, s. t. on ilma hälveteta);

$1,732\delta S$ — sammuaugust vea kompensatsiooni suurus keskmisele läbimõõdule keskmise läbimõõdu tolerantsi arvel, kus δS on sammuaugu viga;

$0,36S\delta \frac{\alpha}{2}$ — profiili poolnurga vea kompensatsiooni suurus keskmisele läbimõõdule keskmise läbimõõdu tolerantsi arvel, kus $\delta \frac{\alpha}{2}$ on profiili poolnurga hälve minutites. Kompensatsiooni suurus saadakse mikromeetrites. Sel juhul $\delta \frac{\alpha}{2}$ arvutatakse mõlema poolnurga hälbe absoluutväärtuste (minutites) keskmise aritmeetilisena

$$\delta \frac{\alpha}{2} = \frac{\left(\delta \frac{\alpha}{2}\right)_{par} + \left(\delta \frac{\alpha}{2}\right)_{vas}}{2}.$$

Tolerantside arvutustes võetakse täieliku nurga α asemel poolnurk $\frac{\alpha}{2}$, kuna ühele küljele viltu oleval keermel võib nurk olla küll 60° , kuid nurga üks pool on sellest hoolimata 25° , teine aga 35° . Säärase keermega kruvi ei lase end keerata mutrisse.

Suure sammuga kinnituskeermetele on kehtestatud kolm täpsusklassi 1, 2 ja 3, väikese sammuga keermetele aga neli täpsusklassi 1, 2, 2a ja 3. Täpsusklassid määratakse keskmise läbimõõdu tolerantsiga b . Üksikute keermesliidete täpsusklassi valikul arvestatakse keermesotstarvet, s. t. töötingimusi ja tehnoloogilisi valmistamisvõimalusi. Tehnoloogilistest seisukohtadest lähtudes lubatakse sageli keerata mutreid erinevate täpsusklassidega poltidele.

Keermete tähistamine. Suure sammuga meeterkeermeid tähistatakse tähega M, välisläbimõõduga ja täpsusklassiga, näiteks M64 кл.2. Väikeste sammudega keermetel antakse täiendavalt ka samm, näiteks M64×2 — кл.3. Montaažijoonistel, kui sissekeerataval poldil ja pealekeerataval mutril on tolerantsid erinevates täpsusklassides, tähistatakse neid murruna: lugejas näidatakse mutri, nimetajas poldi täpsusklass. Näiteks M64×3 — кл.³/₂.

§ 41. Sammu ja profiilinurga hälbe kompensatsiooni arvutamine

Mass- ja seeriatootmises kontrollitakse keeret põhiliselt kaliibriga, seepärast sammude ja profiilinurga hälvet pole vaja eraldi määrata. Keerme korg- ja rõngaskaliibrid on kontrollitavate detailide prototüüpideks ning nende järgi vastuvõetud sise- ja väliskeermed lasevad end teineteisele keerata, omades täielikku vahetatavust.

Üksikmasinate valmistamisel või suurte mõõtmetega keermeliidete puhul ei ole keermekaliibrите valmistamine majanduslikult otstarbekas, esimesel juhul nende vähesel kasutamisel, teisel juhul nende suure raskuse tõttu. Nimetatud juhtudel kontrollitakse keermeid nende peamise parameetri (keskmise läbimõõdu) järgi universaalsete mõõtevahenditega. Seejuures keerme vahetatavuse (pealekeeratavuse) kindlustamiseks on vaja kompenseerida sammude ja profiilinurga hälbed, andes keskmisele läbimõõdule lõtku. Mutri sammude ja keermeprofiili hälbeid kompenseeritakse tavaliselt mutri keermes keskmise läbimõõdu suurendamisega, poldil aga poldi keskmise läbimõõdu vähendamise. Mutri ja poldi sammude ja keermeprofiili hälbeid võib kompenseerida ka ainult kas poldi keskmise läbimõõdu vähendamise või mutri keskmise läbimõõdu suurendamisega, s.t. ühe detaili sobitamise teisesse.

Keermetatud detailidel eristatakse keskmist läbimõõtu d_2 ja redutseeritud keskmist läbimõõtu D . Viimane arvestab vajalikke kompensatsioone keskmise läbimõõdu järgi, kui keermel on sammude või profiilihälbed. Poldi ja mutri redutseeritud läbimõõdud D_p ja D_m arvutatakse järgmiselt:

$$D_p = d_2 + 1,732\delta S + 0,36S\delta \frac{\alpha}{2};$$

$$D_m = d_2 - 1,732\delta S - 0,36S\delta \frac{\alpha}{2},$$

kus d_2 — poldi ja mutri faktiline (mõõdetud) keskmine läbimõõt.

Näiteid

1. Jäljendimeetodiga tehti kindlaks, et katsedetaili sisekeermel M120×4 on järgmised parameetrid: $d_2=118,5$ mm, $S=4,01$ mm, keermeprofiili parem poolnurk $31^\circ 10'$, vasak poolnurk $29^\circ 30'$. Järelikult sammude hälve $\delta S=4,01-4,00=0,01$ mm või $10 \mu\text{m}$, keermeprofiili parema poole hälve $31^\circ 10'-30^\circ = 1^\circ 10'$ või $70'$ ning vasaku poole hälve $30^\circ-29^\circ 30'=30'$. Sel juhul

$$\delta \frac{\alpha}{2} = \frac{70' + 30'}{2} = 50'.$$

Tarvis on arvutada väliskeerme (poldi) keskmine läbimõõt, mis tagab poldi keeramise mutrisse keskmise läbimõõdu lõtku puhul $0,03$ mm. Kui sisekeermel ei oleks sammude ega profiili hälbeid, siis väliskeerme keskmine läbimõõt peab olema väiksem sisekeerme keskmisest läbimõõdust ainult $30 \mu\text{m}$

suuruse lõtku võrra. Arvestades aga ka sisekerme sammu hälvet $\delta S = 10 \mu\text{m}$ ja profiili poolnurga viga $\delta \frac{\alpha}{2} = 50'$, tuleb vähendada väliskeerme keskmist läbimõõtu lõtku võrra ning lisada sammu ja profiili poolnurga hälbe kompensatsiooni suurus. Keskmise läbimõõdu üldine vähenemine mikromeetrites tuleb

$$\text{lõtk} + 1,732\delta S + 0,36S\delta \frac{\alpha}{2} = 30 + 1,732 \cdot 10 + 0,36 \cdot 4 \cdot 50 = 119 \mu\text{m}.$$

2. Määrata keermega M12×2—кп. 2. poldi sammu teoreetiliselt suurim võimalik hälve. ГОСТ 9253-59 järgi leiame, et $b = 150 \mu\text{m}$. Kuna keskmise läbimõõdu tolerants b kujutab endast kolme liidetava summat

$$b = b_{d_2} + 1,732\delta S + 0,36S\delta \frac{\alpha}{2},$$

siis on ilmne, et sammu suurim võimalik hälve tekib sel juhul, kui keskmise läbimõõdu d_2 tolerantsi b_{d_2} ei kasutata, s. t. kui $b_{d_2} = 0$ (poldi keskmisel läbimõõdul d_2 on vähim piirväärtus) ja ka profiili poolnurkade hälbed on null, s. t. $\delta \frac{\alpha}{2} = 0$, järelikult ka $0,36S\delta \frac{\alpha}{2} = 0$.

Nendel tingimustel on teoreetiliselt võimalik, et keskmise läbimõõdu tabelitolerants läheb ainult sammu hälbe kompenseerimiseks. Kolme liidetava vörrandist (vt. ülalpool), kui $b_{d_2} = 0$ ja $0,36S\delta \frac{\alpha}{2} = 0$, leiame, et sammu suurim hälve on võimalik keskmise läbimõõdu kogu tolerantsi arvel

$$\delta S = \frac{150}{1,732} = 87 \mu\text{m} \text{ ehk } 0,087 \text{ mm}.$$

Säärasel viisil võib arvutada ka profiilinurga suurima teoreetiliselt võimaliku hälbe. Kuid selliste juhtude tõenäosus on niivõrd väike, et nad esinevad ainult haruldaste eranditena.

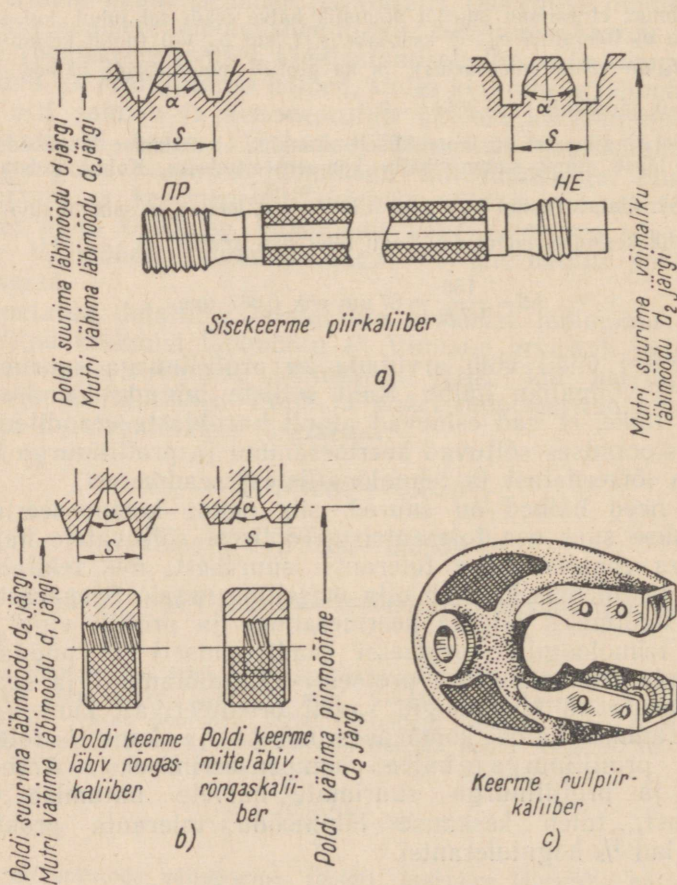
Masstootmises sõltuvad keermesammu ja profiilinurga hälbed reeglina lõikeriistast ja tehnoloogilistest seadmetest.

Kui need hälbed on suured, siis nende kompenseerimiseks kulutatakse suur osa tolerantsist. Töölises sõltuvatele hälvetele jääb aga ebapiisav osa tolerantsi suurusest, mis tekitab talle raskusi ja tulemuseks võib olla massiline praak. Seepärast tuleb ka masstootmises jälgida keermesammu ja profiili vigu (kontrollida tehnoloogilise protsessi seadistamisel) ja püüda neid vähendada. Tehnoloogilise protsessi väljatöötamisel ja seadistamisel kasutavad tehnoloogid sageli orienteerivalt kuni $\frac{1}{3}$ tolerantsi sammu hälbe kompenseerimiseks ja kuni $\frac{1}{3}$ tolerantsi keermes profiilinurga hälbe kompenseerimiseks. Arvestades sammu ja profiilinurga suurimate hälvete ühtumise vähest tõenäosust, tuleb keskmise läbimõõdu tolerants praktiliselt suurem kui $\frac{1}{3}$ kogutolerantsi.

§ 42. Keermete kontrollimine kaliibritega

Keermetatud detailide vahetatavus saavutatakse keeme kontrollimise kompleksmeetoditega (keermekaliibritega). Keeme korkkaliibrid mutrite kontrollimiseks ja keeme rõngaskaliibrid poltide kontrollimiseks on kontrollitavate detailide prototüüpideks. Nende alusel vastu võetud keermetatud detailid on täielikult vahetatavad. Keermekaliibrite liigid ja nende valmistamise tolerantsid on kindlaks määratud standarditega ГOCT 1623—61 (keermetele läbimõõduga 1...600 mm) ja ГOCT 3199—60 (keermetele läbimõõduga alla 1 mm).

Keermekaliibrid jaotatakse kahte gruppi: töökaliibrid — keeme mõõtmete kontrollimiseks valmistamisprotsessis; vastu-



Joon. 89. Keeme töökaliibrid:

a — korkkaliiber; *b* — rõngaskaliiber; *c* — harkkaliiber

võtukaliibrid — keermete kontrollimiseks tellija esindajate või tehaste kontrollosakondade poolt esemete lõppvastuvõtmisel; vastuvõtukaliibrid — eksploatatsioonis olnud ja osalt kulunud (normidega kehtestatud piirides) töökaliibrid.

Mutrite (sisekeermete) kaliibrid. Mutrite kontrollimise töö- ja vastuvõtukaliibriteks on keermete korkkaliibrid (joon. 89, a): läbiv ПП ja mitteläbiv HE. Korkkaliibri ПП sissekeeratavus mutrisse näitab, et keskmine redutseeritud läbimõõt ei ole normidega kehtestatud vähimast piirmõõtmest väiksem (arvestab mutri sammu ja profiili poolnurga hälbeid). Samaaegselt määratakse kontrollimisel kindlaks, et mutri välisläbimõõt ei ole väiksem poldi välisläbimõõdust.

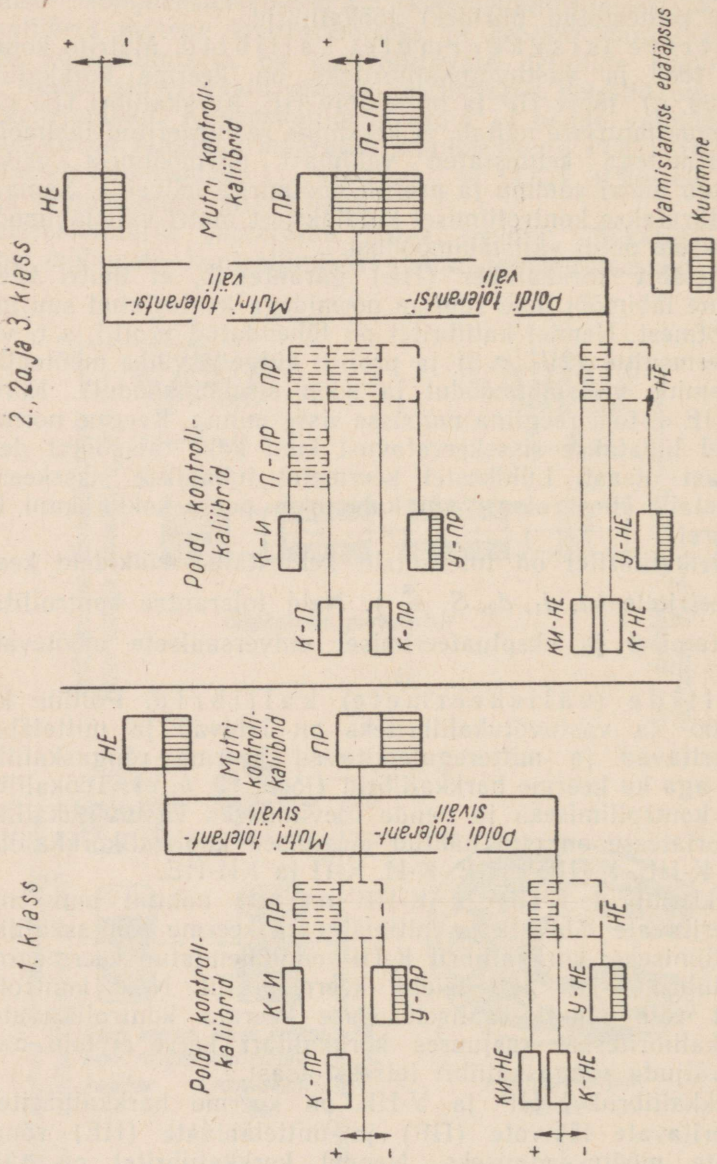
Mitteläbiv korkkaliiber (HE) garanteerib, et mutri keermete keskmine läbimõõt pole suurem normidega kehtestatud suurimast piirmõõtmest. Nendel kaliibritel on lühendatud profiil, s. t. väike arv keermeniite ($2\frac{1}{2} \dots 3$) ja profiili külgede väike mõõtepikkus (nürinemine välisläbimõõdul ja soon siseläbimõõdul). Korkkaliiber HE ei tohi reeglina mutrisse sisse minna. Keermete normaalpikkusel lubatakse sissekeeratavust kuni kaks täispööret detaili mõlemast otsast. Lühikestel keermetel lubatakse sissekeeratavust detaili ühest otsast või kahe otsa peale kokku kuni kaks täispööret.

Mutrikaliibritel on tolerantsid kehtestatud kõikidele keermete parameetritele ($d, d_1, d_2, S, \frac{a}{2}$). Neid tolerantsi kontrollitakse valmistamisel ja eksploateerimisel universaalsete mõõtevahenditega.

Poltide (väliskeermete) kaliibrid. Poltide kontrolli töö- ja vastuvõtukaliibriteks on läbivad ja mitteläbivad reguleeritavad ja mittereguleeritavad keermete rõngaskaliibrid, samuti aga ka keermete harkkaliibrid (joon. 89, b, c). Töökaliibrite eneste kontrollimiseks ja nende üleviimiseks vastuvõtukaliibrite kategooriatesse on ette nähtud järgmised kontroll-korkkaliibrid: K-ПП, K-HE, У-ПП, У-HE, K-И, K-П ja КИ-HE.

Korkkaliibrid K-ПП ja K-HE on ette nähtud uute mittereguleeritavate läbivate ja mitteläbivate keermete rõngaskaliibrite kontrollimiseks; korkkaliibril K-ПП on lühendatud keermeprofiil, korkkaliibril K-HE aga täielik keermeprofiil. Neid kontrollkaliibreid võib ainult osaliselt sisse keerata kontrollitavatesse rõngaskaliibritesse, kusjuures korkkaliibri keere ei tohi ühelgi juhul väljuda rõngaskaliibri teisest otsast.

Korkkaliibrid У-ПП ja У-HE on keermete harkkaliibrite ja reguleeritavate läbivate (ПП) ja mitteläbivate (HE) rõngaskaliibrite mõõtuseadmiseks. Nendel korkkaliibritel on täielik keermeprofiil. Korkkaliiber K-П on osaliselt kulunud rõngastöökaliibrite üleviimiseks vastuvõtukaliibrite kategooriasse ning reguleeritavate rõngas- ja harkkaliibrite seadmiseks vastuvõtu-



Joon. 90. Poldi, mutri ja kõikide kaliibrite keskmise läbimõõdu tolerantsiväljade asetuse skeem

kaliibrite mõõtmetele. Sellisel korkkaliibril on lühendatud profiil. Korkkaliiber K-II on läbivate töö- ja vastuvõtu-rõngaskaliibrite ning -harkkaliibrite täieliku kulumise kontrollimiseks ja omab lühendatud profiili. Korkkaliiber KИ-HE on ette nähtud mitte-läbivate rõngaskaliibrite ja harkkaliibrite täieliku kulumise välja-selgitamiseks ja omab täielikku keermeprofiili.

Poldi, mutri ja keeme M24-кл.2 kõigi kaliibrite keskmise läbimõõdu tolerantsiväljade asetuse skeem on toodud joonisel 90. Skeemil on läbiva ПП ja mitteläbiva HE töökaliibri (rõngas-või harkkaliiber) tolerantsiväljad näidatud punktiiriga, kuna need on standardiga ette nähtud mitte kaliibrite otseseks kontrollimiseks, vaid nende järgi kork-kontrollkaliibrite tolerantsi-väljade koordineerimiseks.

Skeemilt on näha, et iga töö- ja kontrollkaliibri nimimõõt-meks on poldi ja mutri vastav piirmõõde ja kaliibri hälbed antakse sellest mõõtmest. Iga kontrollitava piirmõõtmega jaoks on ette nähtud oma kaliiber või kontrollkaliiber.

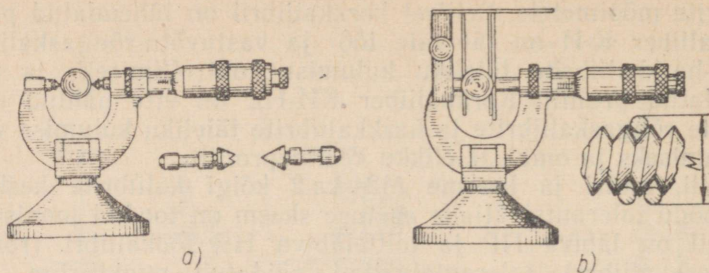
§ 43. Välis- ja sisekeeme elementide kontrollimisvahendid

Väliskeeme kontroll. Keeme elementide kontrollimiseks on kodumaise tööstuse poolt väljalastavate mõõtevahendite nomenklatuur senini piiratud: vahetatavate otsikutega keermemikromeetrid kinnituskeermete kontrollimiseks läbimõõtudele 0...350 mm intervalliga 25 mm; traadid ja rullid keeme keskmise läbimõõdu määramiseks; lugemisseadmega keermehargid 10...30 mm-se läbimõõduga väliskeermete kontrollimiseks; sammumõõtjad ja indikaatorseadmed 0,4...6 mm-se sammuga väliskeermete ja spetsiaalsete geoloogilistel uurimistel kasutatavate, nafta- ja kaevandustorude ning puurvõllide detailide keermete kontrollimiseks.

Kõige levinumaks, kuid suhteliselt ebatäpsemaks keeme keskmise läbimõõdu mõõtmise viisiks on keermemikromeetritega mõõtmine, väga täpseks viisiks aga kolme traadi meetod (joon. 91, *a* ja *b*). Keeme ühele küljele asetatakse sel juhul üks kalibreeritud traat, teisele küljele kaks traati. Siis mõõdetakse tasaste mõõtepindeadega mikromeetriga või täpsema mõõtevahendiga, näiteks kangmikromeetri või optimeetriga mõõde M . See mõõtmismeetod on kaudne. Teades mõõdet M ja kalibreeritud traatide läbimõõtu d , võib arvutada meeterkeeme keskmise läbimõõdu valemiga

$$d_2 = M - 3d + 0,866S.$$

Tootmises sääraste arvutustega ei tegelda, kuna nad on tehtud juba varem ja tulemused on esitatud spetsiaalsetes tabelites.



Joon. 91. Väliskeerme keskmise läbimõõdu mõõtmine:
a – keermemikromeetriga; *b* – kolme traadi meetodil tasaste otsikutega
 mikromeetri abil

Kui on teada mõõde M ja keermise samm S , siis võib tabelist kergesti leida keskmise läbimõõdu d_2 .

Kõige levinumaks väliskeerme läbimõõdu, sammu ja profiili poolnurga mõõtmise meetodiks on mõõtmine tööriista- ja universaalmikroskoopidel.

Tööriistamikroskoobe lastakse välja kolme tüüpi: väike mudel ИТ, täiustatud väike mudel ММИ ja suur mudel БМИ, mis on täiendavalt varustatud projektsiooni- ja fotoabinõudega.

Need mikroskoobid kuuluvad optilis-mehaaniliste mõõtesead-

Tabel 22

Tööriistamikroskoobi vead keermete kontrollimisel

Kontrollitav element	ИТ	ММИ	БМИ
	Mõõtmise piirvead \pm mm		
Keermise sise- ja välisläbimõõt		0,0005	0,005
Keskmine läbimõõt		0,005	0,005
Keermesamm	0,0025 0,0035	0,004 ... 0,005	0,003 ... 0,004
Profiili poolnurk: kui S on väiksem kui 0,5 mm	$\left(3 + \frac{7}{S}\right)'$	$\left(3 + \frac{7}{S}\right)'$	$\left(3 + \frac{7}{S}\right)'$
kui S on suurem kui 0,5 mm	$\left(3 + \frac{4}{S}\right)'$	$\left(3 + \frac{4}{S}\right)'$	$\left(3 + \frac{7}{S}\right)'$

mete gruppi. Nendega võib mõõta laboratooriumides ja tsehhides mitte ainult keermeid, vaid ka detaile, lõike- ja mõõteriistade ning keeruka profiiliga šabloonide joonmõõtmeid täisnurksetes koordinaatides. Mikroskoopidel ИТ ja ММИ on mõõtmise piirid pikisihis 75 mm, ristsihis 25 mm; suurel mikroskoobil БМИ pikisihis 150 mm, ristsihis 50 mm. Mikroskoopide võrdlev iseloomustus väliskeerme elementide mõõtmise piirvigate alusel on toodud tabelis 22.

Tööriistamikroskoop (joon. 92) koosneb järgmistest põhiosadest: alus 1, laud 2, toru 3, vahetatav okulaarpea 4, samm 5, tsentritega raam 6, valgustusseade 7.

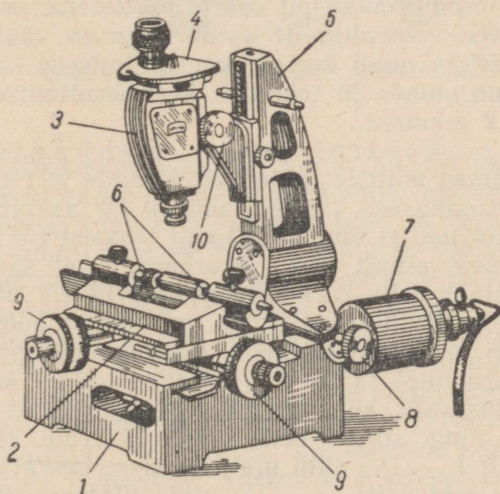
Sammast 5 võib kallutada vertikaalasendist mõlemale poole kuni 10°-se nurga võrra kahe kruvi 8 abil (teine kruvi pole joonisel näha, kuna asetseb teisel pool). Kaldenurga suurus loetakse kruvide 8 puksidel olevalt skaalalt. Skaala jaotuse väärtus on 1°.

Lauda 2 võib mikromeeterkruvide 9 abil (jaotuse väärtus 0,005 mm) nihutada piki- ja ristsihis kuni 25 mm.

Pikisihis võib laua nihutust suurendada kuni 50 mm, lükates lauda käega ja kasutades laua asendi määramiseks mõõtplate.

Silindrilised detailid asetatakse raami 6 tsentrite vahele. Tasapinnaliste detailide mõõtmisel raam 6 eemaldatakse ja detailid asetatakse otseselt lauale 2. Ilma tsentriaukudeta silindriliste detailide ülesseadmiseks pannakse raami asemele prisma. Detailid kinnitatakse lauale surveklambritega. Toru 3, mille täpne seadmine toimub kruvi 10 pööramisega, nihutatakse sambal 5 käsitsi.

Sisekeermete kontrollimine. Sisekerme läbimõõdu, sammu ja profiili poolnurga mõõtmise kõige tuntumaks viisiks on



Joon. 92. Tööriistamikroskoop

jäljendimeetod. Sisekeermelt võetakse umbes $\frac{1}{3}$ täisringi ulatuses kergeltsulava sulami või massi abil keermeprofiili jäljend ning mõõdetakse siis mikroskoobil keermee kõik parameetrid (peale keskmise läbimõõdu). See meetod on väga töömahukas, keerukas ja võrdlemisi ebatäpne. Käesoleval ajal kasutatakse sisekeermee parameetrite mõõtmiseks spetsiaalset keermemikroskoopi ИЗК-59. See mikroskoop on määratud 0,25...2 mm sammude ning 18...98 mm keskmise läbimõõduga sisekeermete kontrollimiseks. Ta töötab valgusvoo lõike, s. t. optilisel meetodil. Mikroskoopi ИЗК-59 toodetakse universaalsete mikroskoopide УИМ-21 ja УИМ-22 rakisena ning ta koosneb kolmest põhiosast: mõõtepeast, mis kinnitatakse objektiivile asemel universaalse mikroskoobi torusse; okulaarpeast, mis kinnitatakse kolmenukilise survepadruni abil kriips-okulaarpea asemele mikroskoobi toru okulaarpeassa.

Mikroskoobi ИЗК-59 mõõtepea ülemises osas on objektiiv, alumises osas aga mõõtetoru, piludega korpus ja valgustussüsteem. Mõõtmisvead olenevad universaalmikroskoobi tüübist, millega mikroskoop ИЗК-59 ühendatakse. Minimaalsed mõõtmisvead saadakse universaalmikroskoobiga УИМ-21 mõõtmisel. Nad ei ületa sammu mõõtmisel $\pm 0,002$ mm, profiili poolnurga mõõtmisel $\pm 10'$ ja keskmise läbimõõdu mõõtmisel $\pm 0,003$ mm.

§ 44. Keermete kontrollimise mehhaniseerimine ja automatiseerimine

Keermetatud detailide, nagu mutrite, poltide, tikkpoltide jt. valmistamine toimub tavaliselt suurte partiidena, seepärast nende kvaliteedi käsitsi kontrollimine kaliibritega on väga töömahukas ja väsitav. Näiteks poldi keermee kontrollimiseks keermee rõngaskaliibriga kulub umbes 30 sekundit, keermee ülemiseks kulub aga ainult 1 kuni 2 sekundit.

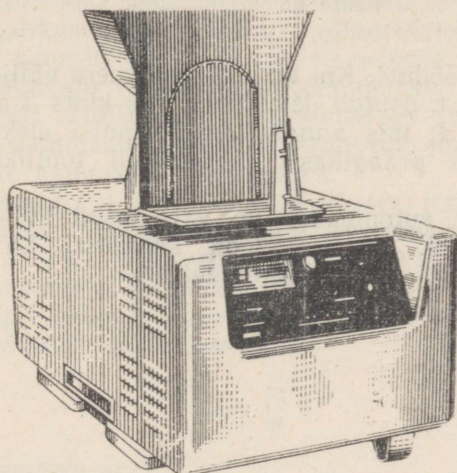
Keermete kontrollimise mehhaniseerimine. Esimesed seadmed mutrite ja poltide, kruvide ja tikkpoltide kontrollimise kiirendamiseks ilmusid umbes 30 aastat tagasi, kuid laialdast levikut neil ei olnud. Üksikud tehased ise konstrueerisid ja kasutasid neid ainult oma otstarbeks. Ühel säärastest seadmetest kinnitati mutrite kork-keermekaliibrid või poltide ja tikkpoltide rõngaskaliibrid spindli otsa, mis pandi pöörlema mehhaaniliselt mootori ja rihmülekanega. Käepidemega anti pöörlemine ühes (sissekeramine) ja teises (väljakeeramine) suunas.

Teistes täiustatud konstruktsioonides kinnitati spindli otsa kummipadjad ning suruti selle vastu keermee rõngaskaliibrid neisse eelnevalt $1 \dots 1\frac{1}{2}$ niidi ulatuses sisse keeratud poldiga või mutrid neisse eelnevalt $1 \dots 1\frac{1}{2}$ niidi ulatuses sisse keeratud korkkaliibriga. Viimastel aastatel on tehastesse ilmunud sead-

med, mis töötavad mehaanilisel, pneumaatilisel ja elektrilisel põhimõttel.

Suur nõudmine keermekaliibritega kontrollimise mehhaniseerimise vahendite järele sundis looma kahte liiki tüüpseadmeid: käsi- ja statsionaarseadmeid. Esimesed on kerged, painduva voolikuga pneumaatilised seadmed, teised töötavad aga elektrimootoriga.

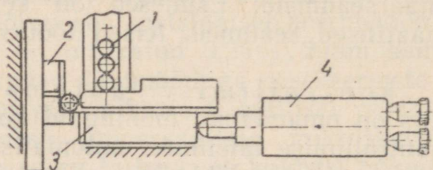
Keermete kontrollimise automatiseerimine. Kodumaine tööstus on omandanud mõningaid kogemusi keermetatud detailide kontrollimise täielikuks automatiseerimiseks. Joonisel 93 on toodud 5... 10 mm läbimõõduga mutrite kontrollimise



Joon. 93. Mutrite keermete kontrollimise automaat

automaat tootlikkusega 1200 tk. tunnis. Mutrid puistatakse punkrisse ja antakse edasi mõõtmispositsioonile automaatselt. Keerme pealekeeratavuse kvaliteedi, keerme telje ja otsa mitteperpendikulaarsuse, samuti keerme telje nihkumise kontrollimine toimub kombineeritud korkkaliibri ja kolmekontaktilise elektrilise anduriga. Kombineeritud kaliiber koosneb läbivast siledast korgist mutri siseläbimõõdu kontrollimiseks ja sellele järgnevalt keerme korgist. Automaadi reversseeriv mehhanism pannakse tööle elektrimootoriga rihmülekande kaudu. Seda tüüpi automaati demonstreeriti edukalt Rahvamajanduse Saavutuste Näitusel ja 1958. a. NSV Liidu näitusel New Yorgis. Väliskeerme kontrollimise automaadid ilmusid tunduvalt varem kui sisekerme kontrollimise automaadid. Poltide ja kruvide kontrollimise automaadi skeem on näidatud joonisel 94.

Keermetatud detailid 1 antakse ükshaaval pilutüüpi punkrist mõõtmispositsioonile ja rullitakse kahe tasase klotsi 2 ja 3 vahele. Klots 2 nihkub pikisihis, klots 3 aga ristsihis olenevalt keerme



Joon. 94. Poltide ja kruvide kontrollimise automaadi skeem

keskmisest läbimõõdust. Kui kontrollitav keere väljub kehtestatud piirmõõtmetest, s. t. osutub defektseks, siis klots 3 mõjub elektrokontakt-andurile 4, mis annab edasi impulsi elektronreleele ja detail heidetakse praagikasti. Automaadi tootlikkus on 1500 detaili tunnis.

Mõlemat liiki automaadid on varustatud kõlblike detailide automaatluugejatega. Tööstuses on kasutusel ka keermetatud detailide teist tüüpi kontrollautomaate.

HAMMASRATASTE VAHETATAVUS NING KONTROLLIMISVAHENDID

§ 45. Hammasrataste liigid ja lähtekontuur

Hammasülekaned jaotatakse hammasrataste kuju ja nende telgede vastastikuse asendi järgi silindrilisteks (paralleelsete telgedega) ja koonilisteks (lõikuvate telgedega), kruvi- ja hüpooid-ratastega (lõikuvate telgedega) ülekanneteks. Tiguülekanne on hammasülekande eriliik. Kõige levinumad on silindrilised rattad, mis olenevalt hammaste asetusest jagunevad sirg-, kald-, nool- ja kõverjooneliste hammastega ratasteks.

Hamba küljprofiil kujundatakse kõvera järgi, mida nimetatakse evolvendiks. Hambumise põhielementideks on (joon. 95): alusringjoon 2 (D_0), jaotusringjoon (algringjoon) 3 (D), ring-samm t , alussamm t_0 ja kahe ratta tsentrite O_1 ja O_2 vaheline kaugus L . Alg-(jaotus-) ringjoon D läbib hambumispoolust P ja ta läbimõõt määratakse valemiga

$$D = \frac{tz}{\pi},$$

kus z — hammaste arv.

Kuna jaotusringjoone läbimõõdu määramise valemis esineb arv π , siis et mitte saada D (või t) väärtust ligikaudsena, on võetud kasutusele mooduli m mõiste:

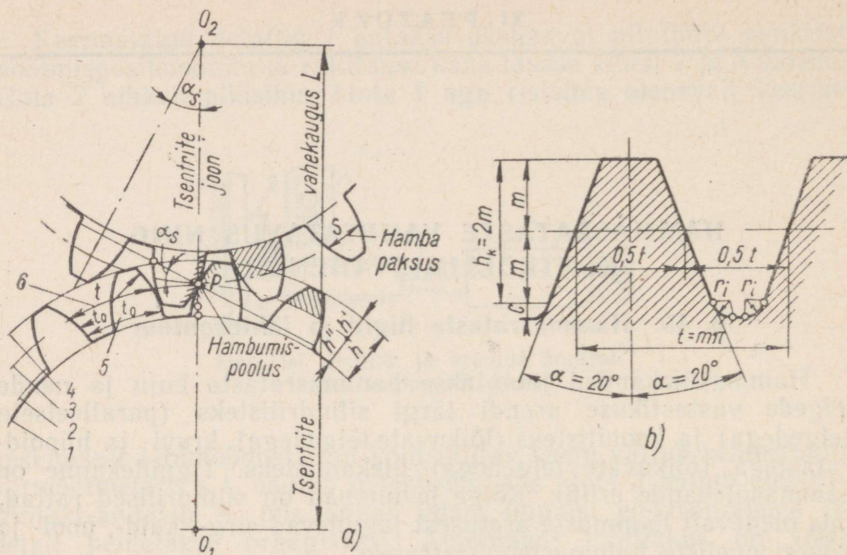
$$m = \frac{t}{\pi} \text{ ehk } m = \frac{D}{z}.$$

Moodulid antakse millimeetrites ning nende väärtused on standardiseeritud, mis lihtsustab jaotusringjoone läbimõõdu määramist:

$$D = mz.$$

Hambumispoolus P (joon. 95, a) on hammasrataste teineteisel libisemata veerevate algringjoonte kokkupuutepunkt.

Hammasrataste kõikide liikide (peale tigu- ja hüpooidrataste) lähtekontuuri põhiparameetrid on standardiseeritud (ГОСТ 3058—54).



Joon. 95. Hambumise põhielemendid (a) ja hammasrataste lähtekontuur (b):
 1 — jalgaderingjoon; 2 — alusringjoon D_0 ; 3 — jaotusringjoon D ; 4 — peaderingjoon;
 5 — alussamm t_0 ; 6 — ringsamm t

Hammasrataste lähtekontuuriks tuleb lugeda silindrilistel ratastel hammaslati hammaste kontuuri, koonilistel ratastel taldrikratta (koonuse tipunurk 180°) hammaste kontuuri. Hammasrataste toorikute suhtes nimiasendis olevad hammaslatt ja taldrikratas, millede hambad on kujundatud lähtekontuuri hambavahe järgi, määravad rullumismeetodil lõigatavate hammaste kuju ja nimimõõtmed.

Lähtekontuuri põhiparameetrid ja nende tähised on toodud joonisel 95, b:

- α — profiilnurk 20° ;
- h_k — hambumise sügavus, mis võrdub $2m$. Profiil on hambumise sügavuses sirgjooneline;
- $0,5t$ — hamba paksus keskjoonel, mis on võrdne hambavahe laiussega $0,5t$;
- c — radiaallõtk (silinderratastel $c=0,25m$, koonusratastel $c=0,20m$);
- r_i — lähtekontuuri ümardusraadius hamba jala juures (silinderratastel $r_i=0,40m$, koonusratastel $r_i=0,20m$).

Otstarbe järgi jaotatakse hammasülekanded jõu-, kiirus-, luge- mis- ja üldotstarbelisteks ülekanneteks. Jõuülekanded on määratud suuremate jõudude ülekandmiseks masina ühelt võllilt tei-

sele. Kiirusülekandeid võib iseloomustada hammasrataste suure pöörlemiskiirusega. Lugemisülekandeid kasutatakse mitmesuguste masinate jaotusmehhanismides ja jälgimissüsteemides ning arvutusmasinates.

Üldotstarbelised ülekanded on kõige levinumad hammasülekanded masinates, aparaatides ja mitmesugustes mehhanismides, kui rattad pöörlevad suhteliselt väikeste kiirustega või annavad üle väikseid koormusi.

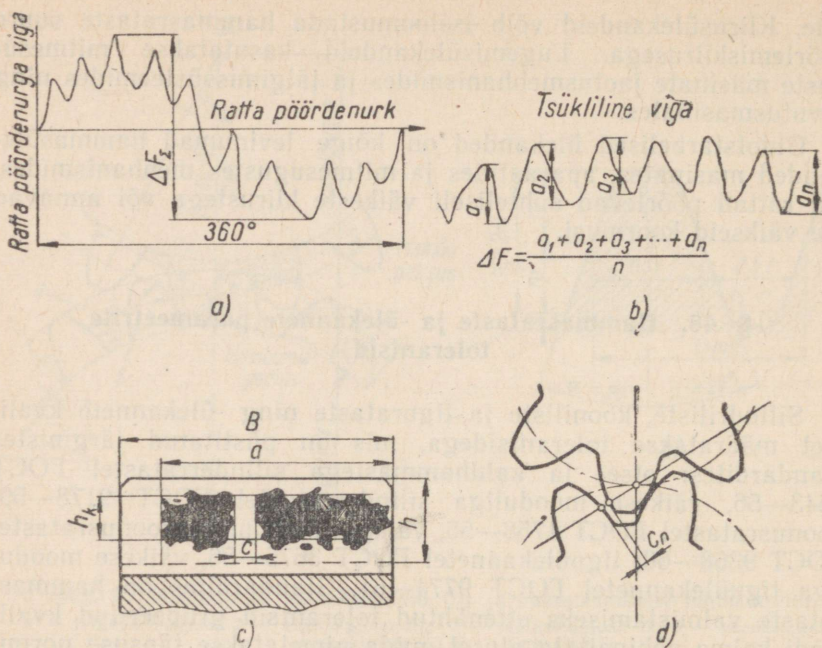
§ 46. Hammasrataste ja -ülekannete parameetrite tolerantsid

Silindriliste, kooniliste ja tigurataste ning -ülekannete kvaliteet määratakse tolerantsidega, mis on püstitatud järgmistes standardites: otse- ja kaldhammastega silinderratastel GOCT 1643—56, väikese mooduliga silinderratastel GOCT 9178—59; koonusratastel GOCT 1758—56, väikese mooduliga koonusratastel GOCT 9368—60; tiguülekannetel GOCT 3675—56, väikese mooduliga tiguülekannetel GOCT 9774—61. Standardites on hammasrataste valmistamiseks ettenähtud tolerantsid grupeeritud kvaliteedi kolme põhinäitaja alusel, mida nimetatakse täpsuse normideks (kinemaatilise täpsuse normid, hambumise sujuvuse normid ja hammaste kontakti normid). Hammasülekannetele, s. t. kahe hamba hambumisele on kehtestatud veel külglõtku normid. Seega kahe ratta hambumise kvaliteet määratakse täpsuse nelja normiga.

Täpsuse normide definitsioonid ja tähised on silinder-, koonus- ja tiguratastel ning -ülekannetel ühesugused. Kuna masinates ja aparaatides kasutatakse kõige enam silindrilisi ülekandeid, siis vaatleme nende tolerantsi, definitsioone ja tähiseid nii välis- kui ka sisehambumise kohta.

Täpsuse esimese kolme normi kohta on ette nähtud täpsusastmed — üldse 12 täpsusastet: 1., 2., 3., 4., 5., 6., 7., 8., 9., 10., 11. ja 12. Ajutiselt pole 1., 2. ja 12. täpsusastmele tolerantside ning hälvete suurusi veel kehtestatud. Standardis, mis kehtis kuni 1960. a., oli kehtestatud ainult neli täpsusklassi: 1., 2., 3. ja 4. Uutes standardites vastab ainult üks ja nimelt seitsmes täpsusaste tolerantside suuruste järgi ligikaudu vana standardi 2. täpsusklassile, teised täpsusastmed ei vasta tolerantside suuruste järgi mitte ühelegi vana standardi täpsusklassile.

Kinemaatilise täpsuse ja ratta käigusujuvuse normid. Kinemaatilist täpsust iseloomustatakse hammasratta kinemaatilise vea suurusega ΔF_x ja tolerantsiga δF (joon. 96, a). ΔF_x on ratta pöördenurga suurim viga hambu-



Joon. 96. Hammasratta täpsusnormid:

a — kinemaatiline viga; b — tsükliline viga; c — kontaktjalg; d — hambumise küglõtk

misel sama profiiliga täpse (mõõte-, etaloon-) rattaga kontrollitava ratta ühe täispöörde ulatusel.

Silinderrataste kinemaatilise vea kontrollimiseks on laialdaselt levinud seade BB-608 koos vahe- ja mõõte- (etaloon-) ratas- tega (joon. 97). Kontrollitav ratas 1 ja mõõteratas 2 asetatakse kahele kontsentriliselt paigutatud spindlile ning viiakse hambumisse vaherattaga 3. Vaheratta 3 pöörämisel kutsub kontrollitava ratta viga esile ratas- te 1 ja 2 spindlite suhtelise liikumise, mis võetakse vastu induktiivanduriga ja registreeritakse dia- grammina (joon. 96, a) üleskirjutusseadmes. Pöördenurka mõõ- misviga ei ületa 4".

Käigusujuvust iseloomustatakse nn. tsüklilise veaga, mida tähistatakse ΔF ja mis on ratta iga pöörde järel perioodiliselt korduv kinemaatilise vea komponent. Tsükliline viga selgitatakse välja analoogiliselt kinemaatilise veaga sama profiili omava mõõterattaga kontrollimise teel seadmel BB-608 ja määratakse kinemaatilise vea keskmise võnkeulatuse suurusena ratta ühe täispöörde vältel (joon. 96, b).

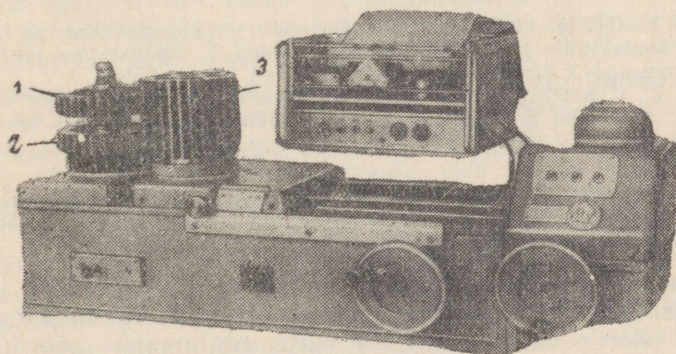
$$\Delta F = \frac{a_1 + a_2 + \dots + a_n}{n},$$

kus ΔF — tsükliline viga;

$a_1, a_2 \dots a_n$ — kinemaatilise vea võnkeulatuse suurused, mis ole-
nevad sammude erinevustest ja töötlemisel tekki-
nud hambaprofiili konarustest;

n — võngete arv.

Hammaste kontakti ja külglõtku normid. Hammaste kontakt määratakse kontaktjäljega (joon. 96, c), s. t. hamba külgsinna osaga, millele teise ratta hammas (mille pro-
fiilile on kantud värvikiht) jätab koostatud ülekande pöörämisel



Joon. 97. Seade kinemaatiliste ja tsükliliste vigade kont-
rollimiseks

kerge pidurduse all kokkupuuteiälgi. Kontaktjälje tolerants on ette nähtud protsentides jälje pikkuse $a-c$ ja kõrguse h_k suhte-
tega vastavalt hamba pikkusesse B ja kõrgusesse h , väljendatuna
 $\frac{a-c}{B}$ 100% ja $\frac{h_k}{h}$ 100%.

Külglõtku suuruse määramiseks (joon. 96, d) on standardites külglõtku normide põhjal ette nähtud neli liiki täpsusastmetest (täpsusnormidest) olenematuid ülekandeid. Külglõtku normid määravad ülekannetes vähima garanteeritava külglõtku ning neid tähistatakse liikuvate istude tähistega: C, Д, X ja III. Üle-
kande liigi C puhul on vähim garanteeritud lõtk null, Д annab vähendatud, X — normaalse ja III — suurendatud lõtku.

§ 47. Hammasrataste täpsusastmete valik ja tolerantside tähistamine joonistel

Hammasrataste täpsusastmete valikul võetakse arvesse ülekande otstarvet, eksploatatsioonitingimusi ja põhinõudeid, mida esitatakse kinemaatilisele täpsusele, käigusujuvusele ja müratusele, vibratsiooni puudumisele, eale jne. Põhilisteks näitajateks täpsusastmete valikul on pöörlemiskiirus ja ülekantav võimsus. Hammasrataste kinemaatilise ja tsüklilise vea ning kontaktjälje tolerantsid võib määrata kas ühes ja samas täpsusastmes või ka erinevates. Erinevate täpsusastmetega normide kombineerimisel ei tohi käigusujuvuse norm olla kinemaatilisest täpsusastmest täpsem üle kahe või ebatäpsem üle ühe astme. Hammasrataste kontakti normid ei või olla ebatäpsemad käigusujuvuse astmest.

Joonistel tähistatakse hammasrataste tolerantse järgmiselt.

Näide 1. CT7-X ГОСТ 1643-56 tähendab, et kinemaatilise ja tsüklilise vea ning kontaktjälje tolerantsid on ette nähtud 7. täpsusastme järgi, külglõtku normid aga X järgi, s. t. on garanteeritud normaallõtk.

Näide 2. CT8-9-9-III ГОСТ 1643-56 tähendab, et kinemaatilise vea tolerants δF_x on võetud 8. täpsusastme järgi, tsüklilise vea tolerants δF ja kontaktjälje tolerants on võetud 9. täpsusastme kohaselt, külglõtk on aga suurendatud.

Näide 3. CT7-PX ГОСТ 9368-60 (väikse mooduliga koonusülekanne) tähendab, et kõigis kolmes täpsuse normis on tolerantsid võetud 7. täpsusastmes, ülekanne on reguleeritav, külglõtku tolerants X järgi.

Kõige kõrgem kinemaatilise vea täpsusaste võetakse jaotusmehhanismide ülekannete ja arvutusmasinate hammasratastel, kus ühe pöörde vältel lubatakse ratta minimaalset pöördenurga viga.

Suure kiirusega ja müratult töötavatel hammasülekannetel võetakse kõrgem täpsusaste, mille puhul tsüklilise vea suurus on minimaalne. See garanteerib rataste müratu töö ja parema käigusujuvuse (vibratsioonideta).

Raskeltkoormatud aeglasekäigulistel ülekannetel kehtestatakse hammaste tööpindade vahelise kontaktjälje suurusele kõrgendatud täpsusega tolerants. Mida suurem on kontaktjalg (vt. joon. 96, c), seda ühtlasemalt jaotatakse koormus hammaste pindadele ja seda väiksem on kulumine.

Külglõtku C järgi kasutatakse põhiliselt arvutusmasinate, arvemasinate, jaotus-, sünkroon- ja teiste täpsete kinemaatiliste seostega mehhanismide hammasülekannetes. Külglõtk III järgi on ette nähtud ülekannetes, mis töötavad kõrgetel temperatuuridel, näiteks turbiinide ja mootorite hammasülekannetes. Suur algkülglõtk välistab masinate töötamisel kuumenenud hammaste kinnikiilumise võimaluse. Külglõtku põhisuuruseks on lõtk X järgi, mis näeb ette normaalset garanteeritavat lõtku. See kom-

penseerib külglõtku vähenemist kinnistes ülekannetes, mida põhjustab ülekande korpuse ja rataste kuumenemine 25°C võrra erinevatele temperatuuridele võrdsete joonpaisumistegurite puhul.

§ 48. Kompleksnäitajaid asendavate näitajate kompleksid

Kinemaatiline ja tsükliline viga ning kontaktjälje suurus on ratta kvaliteedi kompleksed näitajad. Kompleksnäitajate tolerantsid, mis on võetud antud hammasülekande eksploatatsiooni-nõuetele vastava täpsusastme kohaselt, iseloomustavad täielikult hammasratta kvaliteeti. Kuid tehniline kontroll on nende tolerantside puhul suhteliselt keerukas. Kinemaatilise ja tsüklilise vea ning kontaktjälje suuruste määramiseks nõutakse suhteliselt keerukaid etaloonrataste (mööterataste) komplektiga mõõteseadmeid. Hammasrataste kvaliteedi tehnilise kontrolli lihtsustamiseks on standardites peale kompleksnäitajate ette nähtud veel kõigis kolmes täpsusnormis tolerantsid reale hammasratta teistele parameetritele. Toome mõningad näited (joon. 98).

Väikese täpsusastmega ratastel (8 ja vähem täpsemad) võib kinemaatilise vea tolerantsi asendada hammasvöö radiaalviskumise e_0 tolerantsiga. Hammasvöö radiaalviskumiseks e_0 (joon. 98, a) nimetatakse ratta hammaste (või nende vahede) konstantse kõõlu ja pöörlemistelje vahelise kauguse suurimat muutumist. Täpsematel ratastel võib kinemaatilise vea tolerantsi δF_{Σ} asendada ringsammu koguneva vea δl_{Σ} tolerantsiga. Ringsammu kogunevaks veaks δl_{Σ} nimetatakse kahe meelevaldse samanimelise profiili vastastikuse asendi suurimat viga ratta ühel ringjoonel (joon. 98, b). Viga määratakse ratta telje ristlõikes ringjoonel, mis läbib hamba kõrguse keskohta ja mille tsentriks on ratta pöörlemistelg.

Täpsetel ratastel võib kinemaatilise vea tolerantsi asendada teiste hambumisparameetrite kahe tolerantsi kompleksiga. Kõige sagedamini kasutatakse selleks hammasvöö radiaalviskumise e_0 tolerantsi (joon. 98, a) ja üldnormaali pikkuse muutumise tolerantsi, mida tähistatakse $\delta_0 L$.

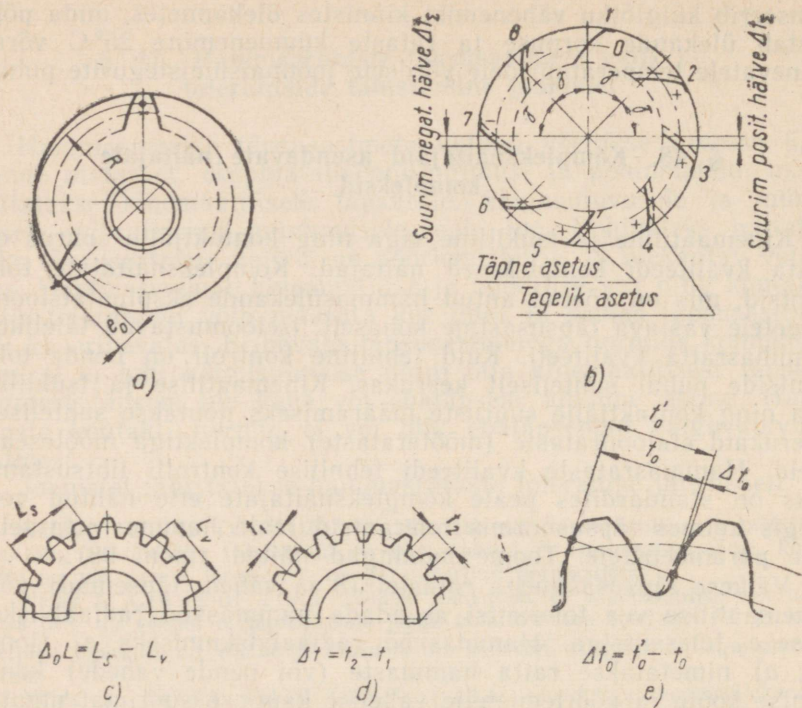
Üldnormaali pikkuse muutumine (joon. 98, c) määratakse üldnormaali suurima L_s ja vähima L_v pikkuste vahega ühel ja samal rattal. Üldnormaali nimipikkus L määratakse valemiga

$$L = m[1,476 (2n - 1) + z \cdot 0,014],$$

kus m — ratta moodul;

z — hammaste arv;

n — hammaste arv, mis peab asetsema mööteriista möötepindade vahel (joon. 98, c).



Joon. 98. Mõned kompleksnäitajaid asendavad normid ja normide kompleksid:

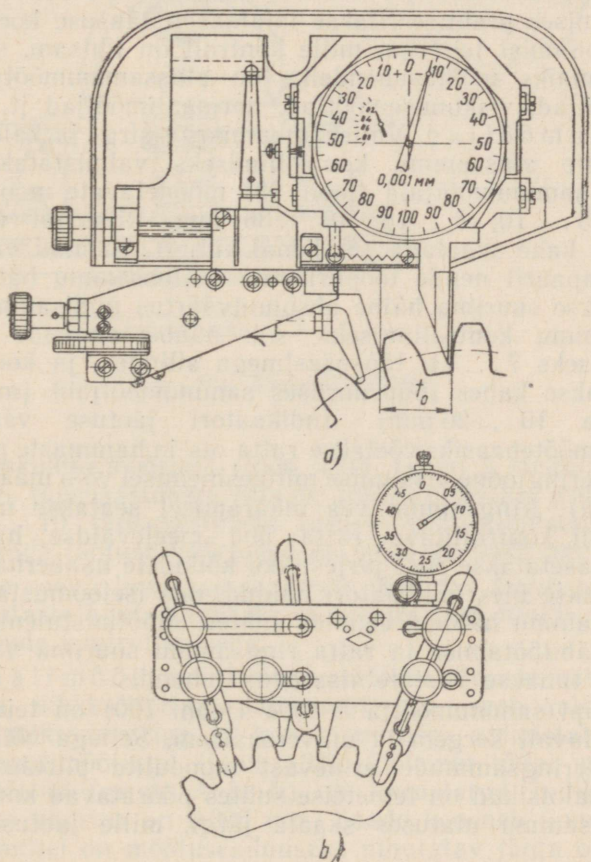
a — hammasvõõ radiaalviskumine; b — ringsammu kogunev viga; c — üldnormaali pikkuse muutus; d — ringsammude erinevus; e — alussammu piirhälve

Rataste käigusjuvuse normi, mida iseloomustatakse komplekselt tsüklilise veaga ΔF ja tolerantsiga δF , võib madala täpsusastmega (9 ja madalam) töödeldud ratastel anda ringsammude erinevuse tolerantsiga. Seda tähistatakse δt (joon. 98, d). Ringsammude erinevuseks nimetatakse kahe meelevaldse ringsammu vahet samal ratta ringjoonel ning see määratakse ratta telje ristlõikes ringjoonel, mis läbib hamba kõrguse keskkoha ja mille tsentriks on ratta pöörlemistelg. Ratastel, mis töödeldakse 9. ja kõrgemates täpsusastmetes, asendatakse tsüklilise vea tolerants δF ringsammu erinevuse tolerantsiga δt (joon. 98, d) ja täiendavalt veel alussammu piirhälvete (joon. 98, e) — ülemise $\Delta_a t_0$ ja alumise $\Delta_a t_0$ — väärtusega. Alussammu hälbeks nimetatakse hammasratta hammaste kahe naaberprofiili puutujate vahelise kauguse tegeliku ja nimiväärtuse erinevust. Alussamm määratakse hammaste ristlõikes alusringjoone puutuja sihis.

Kuna kompleksnäitajate asendamiseks on ette nähtud ka palju teisi rataste kvaliteedinäitajaid, siis ei kasuta konstruktorid hammasrataste joonistel mitte standardseid, vaid ametkondlikke normeale. Ametkondlikud normaalid (auto-, lennuki-, pingiehitus-tööstuses jm.) on koostatud hammasrataste tolerantside standardite alusel. Nendes näidatakse konkreetselt, milliseid teisi näitajaid ja tolerantse võib kompleksnäitajate asemel kasutada.

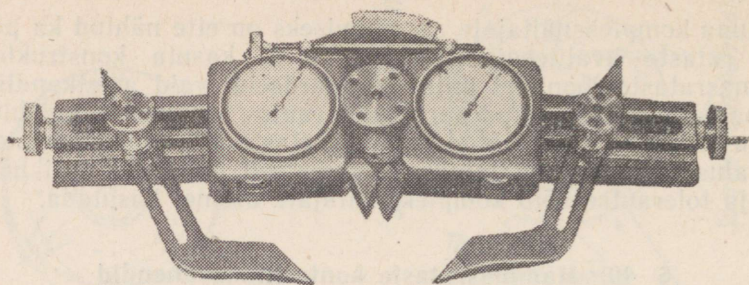
§ 49. Hammasrataste kontrollimisvahendid

Vastavalt standardite (ГОСТ 5368—58 ja ГОСТ 9459—60) nõuetele toodab kodumaine tööstus hammasrataste kontrollimiseks mitmesuguseid mõõteseadmeid. Kinemaatilise ja tsüklilise



Joon. 99. Sammumõõtjad:

a — alussammumõõtja; b — ringsammumõõtja



Joon. 100. Uuetüübiline sammumõõtja

vea väljaselgitamiseks toodetakse seadmeid BB-608 (joon. 97). Kuna tootmises praktiseeritakse laialdaselt täpsuse kompleksnäitajate asendamist teistega, mille kontroll on lihtsam, siis enamkasutatavamaiks mõõtevahendeiks on alussammumõõtjad, ringsammumõõtjad, viskumismõõtjad, normaalimõõtjad jt.

Sammumõõtjad. Välisambumisega sirg- ja kaldhammas- tega rataste alussammu kontrollimiseks valmistatakse kolme suurusega sammumõõtjaid (joon. 99) mõõdetavate moodulite pii- ridega 1,75...10; 8...16; 16...36 mm. Riist on varustatud lugemiseks kahe skaalaga (mõlemal küljel). Sammu mõõdetakse igal hambapaaril nende tööpiirkonnas. Alussammu hälbe suu- ruses võetakse suurima hälbe absoluutväärtus nimisammust.

Ringsammu kontrollimiseks, s.t. naabersammude erinevuse kontrollimiseks 7...11. täpsusastmega silinder- ja koonusratas- tel, toodetakse kahes tüüpsuuruses sammumõõtjaid (moodulitele 3...15 ja 10...26 mm). Indikaatori jaotuse väärtus on 0,005 mm, mõõtebaasiks võetakse ratta ots ja hammaste peadering- joon (peaderingjoone viskumise mitteesinemisel võib määrata ring- sammu vea). Ringsammu vea määramisel seatakse mõõteriista skaala nulli kontrollitava ratta ühe meelevaldse hambapaari järgi. Siis asetatakse riist järjestikku kõikidele naaberhammastele ja kirjutatakse üles indikaatori näidud, mis iseloomustavad järg- neva ringsammu hälbeid eelmise suhtes. Mõõtmistulemuse mate- maatilise läbitöötamise ja ratta ringsammu suurima vea määra- mise kord tuuakse riistale lisatavas juhendis.

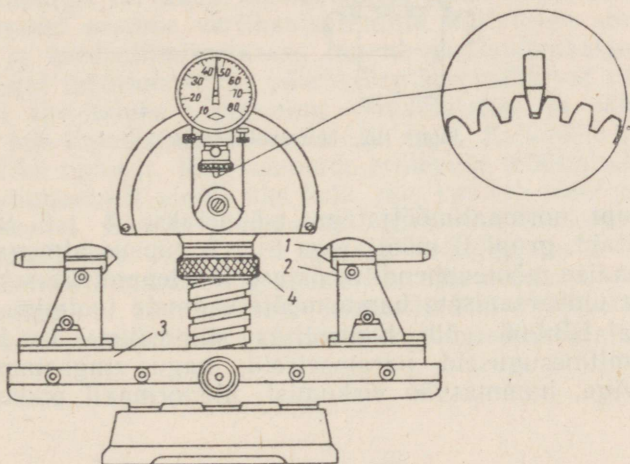
Uut tüüpi sammumõõtja B-5004 (joon. 100) on teistega võr- reldes tunduvalt kergem ja universaalsem. Sellega võib kontrol- lida naaberringsammude erinevust moodulite piirides 2...10. Tangentsiaalotsikud on teineteise suhtes pööratavad kontrollitava ratta nurksammu ulatuses skaala järgi, mille jaotuse väärtus on 2'.

Nuga-tüüpi mõõteotsikute vastastikusel pööramisel puutuvad nad hambaprofiilidega kokku ratta konstantsel ringjoonel, mis

välisab vea otsikute ebatäpsest sattumisest sama raadiusega ringjoonele.

Ujuvad mõõteotsikud on seotud sisseehitatud 0,001 mm jaotuse väärtusega kang-hammasmõõtepea otsikuga, mille järgi loetakse mõõtetulemused. Korraga töötab üks mõõtepea.

Viskumismõõtjad. Moodulitega 0,3...2 mm ja läbimõõduga kuni 150 mm silindriliste ja kooniliste rataste hammastöö radiaalviskumise kontrollimiseks valmistatakse kaht gruppi

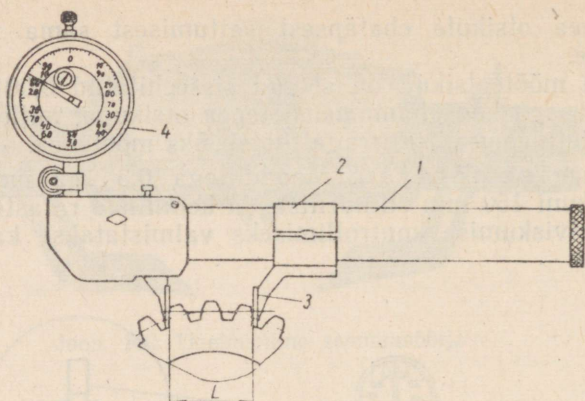


Joon. 101. Viskumismõõtja

(A ja B) viskumismõõtjaid (joon. 101). Grupi A riistad on määratud 4...6. täpsusastmega rataste kontrollimiseks, grupi B riistad aga 7...10. täpsusastmega rataste kontrollimiseks. Mõõtepeade skaalade jaotuse väärtused on 0,001 ja 0,002 mm.

Tarbijate soovil lisatakse seadmele täiendav tsentripukk (kolmas) tigurataste kontrollimiseks ja atesteeritud näidis viskumismõõtja näitude kontrollimiseks.

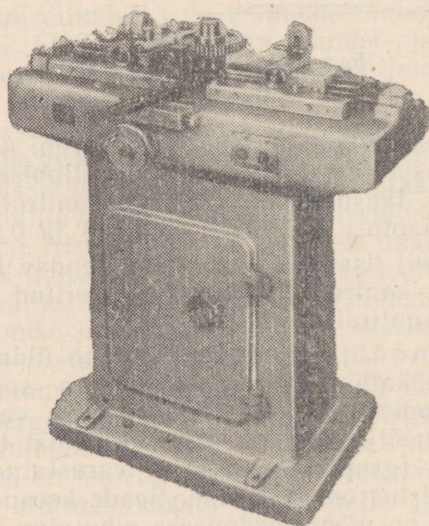
Normaalimõõtjad. Hammasrataste üldnormaali pikkust võib mõõta nihkkaliibriga, täpsemalt aga spetsiaalotsikutega varustatud mikromeetriga ja kahes suuruses valmistatava indikaator-normaalimõõtjaga (joon. 102). Mõlemat tüüpi indikaator-normaalimõõtjad (grupp A ja B) on varustatud indikaatoriga, mille jaotuse väärtus on 0,005 mm. Seade koosneb ümmargusest varvast 1, millel on mõõtmiseks nihutatav jäiga otsikuga 3 varustatud lõhestatud puks 2. Liikuva otsiku nihutus mõõtmisel antakse edasi nurkkangi kaudu indikaatorile 4.



Joon. 102. Normaalmõõtja

A grupi normaalmõõtjatega mõõdetakse 3...5. täpsusastmega rattaid, grupi Б mõõtjatega 6...9. täpsusastmega rattaid.

Kodumaise mõõtevahenditööstuse tähelepanuväärseks saavutuseks on universaalsete hambamõõteseadmete tootmine. Näiteks seadmega БВ-966 võib kontrollida silindriliste ja kooniliste rataste mitmesuguseid parameetreid, nagu ringsammu, ring-sammu viga, hammasvöö viskumist, üldnormaali pikkust, alus-



Joon. 103. Mehhaniseeritud sammumõõtja

sammu jt. Kontrollitavate rataste suurim läbimõõt on 160 mm, telgedevaheline kaugus 5...95 mm, mikroskoobi jaotuse väärtus 1".

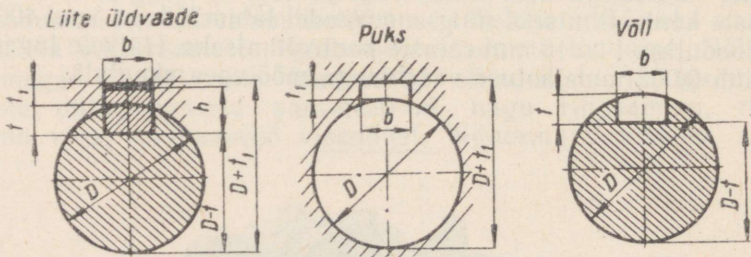
Vastavalt uute standarditega hammasratastele esitatavatele nõuetele rakendatakse üha laialdasemalt rataste kontrollimisprotsessi mehhaniseerimist ja automatiseerimist. Tööstuses kasutatakse edukalt mehhaniseeritud hambamõõtjaid, kontroll-poolautomaate ja isegi automaate.

Mehaaniline sammumõõtja (joon. 103) on määratud ringsammu ühtluse ja ringsammu koguneva vea kontrollimiseks. Sammumõõtjal on kaks mõõteotsikut. Peale kontrollitava ratta paigaldamist seadme vertikaalsplindlile lülitatakse sisse elektrimootor ja kontrollimisprotsess toimub poolautomaatse tsüklina. Pärast igat mõõtmistsüklit pööratakse kontrollitavat ratast automaatselt ühe hamba võrra ning eemaldatakse ja lähendatakse kelgud, mis kannavad mõõtesõlme ja tuge. Kelkudele antakse 30 kaksikkäiku minutis. Ringsammude erinevuse mõõtmisel eemaldatakse automaatselt ainult üks kelk, mis kannab mõõteotsikuid ja lugemisseadet. Seadet toodetakse kahes modifikatsioonis: väike mudel mooduliga 0,5...1,25 mm ja läbimõõduga 5...120 mm rataste kontrollimiseks ning suur mudel läbimõõduga kuni 400 mm ja mooduliga 1...10 mm rataste kontrollimiseks. Hälvete lugemine toimub 0,001 mm jaotuse väärtusega mõõtepea skaalalt.

LIIST- JA HAMMASVÖLL-LIIDETE VAHETATAVUS JA KVALITEEDI KONTROLL

§ 50. Liistliidete tolerantsid ja istud

Masinate kasutatakse laialdaselt mitmesuguste detailide, võllide ja aukude liikumatuid kiil- ja liistliideteid. Need liidet võimaldavad ühelt võllilt teisele üle kanda pöördemomenti, kusjuures sõlme koostamine on suhteliselt kerge. Masinate konstruktsioonis kasutatakse kõige laialdasemalt prismaatilisi liiste (joon. 104), millede tolerantsid ja istud on standardiseeritud (ГОСТ



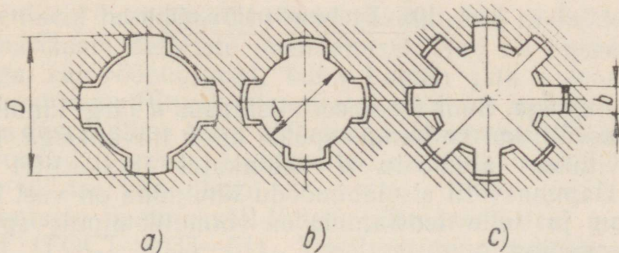
Joon. 104. Prismaatilised liistud

7227—58). Ist antakse liistule tema laiuses b võllisüsteemis. Liistu hõlbed nii võlli kui ka augu soontes on põhiliselt ühesugused, istu iseloom määratakse aga soonte piirmõõtmete muutmise. Liistude laius b tolerants võetakse kas B_3 või X_3 järgi. Augu soone laius töödeldakse kas tolerantsiga A_3 või spetsiaalse istu ПШ₁ (посадка шпонок=liistude ist) tolerantsiga. Võlli soone laius tolerantsid on samuti tähistusega ПШ. Liistu ja võlli soone ist on ülemineku tüüpi, augu soone ist aga libisevat või liikuvat tüüpi.

Liistude ja soonte teiste parameetrite tolerantsid on vähem täpsetes täpsusklassides: liistu kõrgus h — B_4 järgi, võlli ja augu soone sügavus t ja t_1 — A_5 järgi, soone pikkus — B_7 järgi.

§ 51. Rööpkülgsede hammasvõlliidete tolerantsid ja istud

Mehhanismides, mida iseloomustab ühelt võllilt teisele ülekantav suur võimsus, on liistliited ebakindlad. Seepärast kasutatakse ühelt võllilt teisele suurte pöördemomentide ülekandmiseks hammasvõlliideteid, mis on tugevamad ning tagavad võlli ja augu parema tsentreerimise. Masinaehituses kasutatakse mitut liiki hammasvõlliideteid: rööpkülgsed (joon. 105), evolventseid (joon. 106), kolmnurkseid ja trapetsilisi.



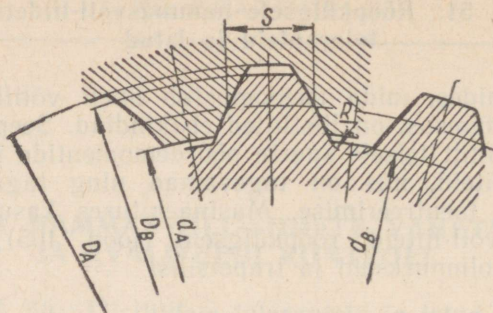
Joon. 105. Rööpkülgsed hammasvõlliidete
a — tsentreerimine D järgi; *b* — tsentreerimine d järgi; *c* —
 tsentreerimine b järgi

Kõige levinumad on rööpkülgsed hambad, kuid vastutusrikkades liidetes, näiteks lennukimehhanismides, eelistatakse evolventseid hambaid.

Rööpkülgsed hammasliited. Rööpkülgsede hammasliidete põhiparameetrid, tolerantsid ja istud on standardiseeritud (ГОСТ 1139—58). Rööpkülgsede hammaste kolmest parameetrist (D , d , b) on 2 kokkupuutes, kusjuures neist ainult ühel on täpne ist, mille järgi toimub liite tsentreerimine. Näiteks kui istu põhiparameetriks on võetud läbimõõt D (joon. 105, *a*), siis d ja b (joon. 105, *b*, *c*) tolerantsid võetakse vähemtäpsemates klassides. Ühe või teise tsentreerimisviisi valik oleneb nõutavast tsentreerimistäpsusest, detailide töötingimustest ja tehnoloogilistest tingimustest.

Kõige ökonomsem ja järelikult ka kõige levinum on tsentreerimine välisläbimõõdu D järgi (joon. 105, *a*), kuna hammasvõlli läbimõõdu D suur täpsus on kergelt tagatav lihvimisega, hammaspuksi auk saadakse aga kammlõikamise või kalibreerimise meetodil.

Tsentreerimist siseläbimõõdu d järgi kasutatakse neil juhtudel, kui nõutakse detailide suurt tsentreerimistäpsust või kui hammaspuksi ei saa materjali suure kõvaduse tõttu lõplikult töödelda



Joon. 106. Evolventhammasvõlliide

kammlõikamisega. Suur tsentreerimistäpsus d järgi kindlustatakse nii hammasvõlli kui ka hammaspuksi augu lihvimisega. Hammaspuks lihvitakse läbimõõtu d keerukatel ja kallitel siselihvipinkidel. Hammasvõlli siseläbimõõdu lihvimine on veel keerukam operatsioon ja selle teostamine on võimalik ainult spetsiaalsel soonelihvimisingil.

Tsentreerimist külgpinna b (joon. 105, c) järgi kasutatakse harva, põhiliselt märkimuutval koormusel, s. t. kui töötingimuste kohaselt hammasliide pöörleb nii ühes kui ka teises suunas. Säärestes töötingimustes ei lubata hammaste külgedel suuri lõtke.

Augu ja võlli läbimõõtude D ja d tolerantsid (hälbed) võetakse tolerantside põhisüsteemist 2., 2a. või 3. täpsusklassi järgi augusüsteemis. Hammaste teistele mõõtmetele on tolerantsid ette nähtud eristandardis (ГОСТ 1139—58). D või d järgi tsentreerimisel on võlli hamba paksuse hälvete tähistamiseks täht S koos istu tähisega, näiteks $S\Pi$, SC , SX jt. Augu soone laiust tähistatakse tähega U koos indeksiga, mis näitab täpsusastet.

Toome rööpkülgsete hammasliidete tolerantside tähistamise näiteid montaaži- ja tööjoonistel.

Näide 1. Montaažijoonistel tähistus $d8 \times 42 \times 48 \frac{A}{X} \cdot \frac{U_1}{S_1 X}$ näitab, et tsentreerimine toimub siseläbimõõdu d järgi; hammaste arv on 8; siseläbimõõt 42 mm; välisläbimõõt 48 mm; augu siseläbimõõdu täpsus (tolerants) A järgi, võlli siseläbimõõdu täpsus X järgi (käigu-ist), augu soone laiuse täpsus U_1 järgi; võlli hammaste paksus $S_1 X$ järgi (käigu-ist).

Samas korras dešifreeritakse hammasvõlli tähised tsentreerimisel D järgi

$$D6 \times 23 \times 26 \frac{A}{C} \cdot \frac{U_3}{S_2 C}$$

ja b järgi

$$b20 \times 92 \times 102 \frac{U_3}{S, n}$$

Näide 2.

Tööjoonisel hammasauguga detaili tähistus $D6 \times 23 \times 26A \cdot U_3$ näitab, et tsentreerimiseks on valitud D ; hammaste arv on 6; vähim läbimõõt 23 mm; suurim läbimõõt 26 mm; D tolerantsid 2. täpsusklassi A järgi, soone laiusel aga U_3 järgi. Tsentreerimisel d ja b järgi tähistatakse järgmiselt: $d8 \times 42 \times 48A \cdot U_1$ ja $b20 \times 92 \times 102 U_3$.

Hammavõllide joonistel: $D6 \times 23 \times 26C S_2C$ või $d8 \times 42 \times 48X S_1X$ või $b20 \times 92 \times 102 S_1\Pi$.

§ 52. Evolventsed hammasvõlliited

Evolventseid hammasvõlliiteid kasutatakse raskeltkoormatud ja vastutusrikaste detailide ühendamisel. Nad on suurema võrdtugevusega kui rööpkülgsed, kuna hamba jala paksus on pea paksusest suurem. Pinge-kontsentratsioonid on hamba jalas suurema ümardusraadiuse tõttu väiksemad. Evolventsed hammasvõlliited annavad parema tsentreerimise, kuna augud seaduvad koormuse all ise võlli järgi.

Evolventsete hammasvõlliitude põhiparameetrid on standardiseeritud (ГОСТ 6033—51). Tsentreerimine toimub enamuses hammaste evolventprofiili järgi, s. t. S järgi.

Soone laiuse tolerantsid tähistatakse tähega S koos täpsusklassi indeksiga, hamba paksus tähistatakse aga kahe tähega: tähega S koos klassi indeksi ja täiendavalt istu tähisega, näiteks S_3H ; SX jt.

Liite tsentreerimisel S järgi valitakse teistele parameetritele (võllil D ja augul d) tavaliselt vähemtäpsed tolerantsid 3., 3a. ja 4. täpsusklassist. Sel juhul võlli siseläbimõõdu d_B ja augu suurima läbimõõdu D_A tolerantsid (vt. joon. 106) ei kehtestata, kuid näidatakse ainult nende nimiväärtused (nagu keermesliidritel).

Evolvent-hammasliite tähistamine montaaži- ja tööjoonistel toimub järgmiselt: $\Theta B 50 \times 2,5 \times 18 \frac{A}{\Pi} \frac{S_{3a}}{S_{3a}X}$, mis näitab, et evolventliite (ΘB) suurim läbimõõt on 50 mm; moodul 2,5 mm; hammaste arv 18; tsentreerimine D järgi istuga $\frac{A}{\Pi}$ ja evolventprofiili ist $\frac{S_{3a}}{S_{3a}X}$.

Tööjoonistel tähistus $\Theta B 50 \times 2,5 \times 18A S_{3a}$ näitab, et D järgi tsentreeritav hammasauk töödeldakse 2. täpsusklassi põhiaugu (A) täpsusega, soonte laius aga S_{3a} järgi.

Tähistus $\Theta B 50 \times 2,5 \times 18 \Pi S_{3a}X$ näitab, et hammasvõlli läbimõõdu D tolerants on 2. täpsusklassi tihe-istu (Π) ja hamba paksuse täpsus $S_{3a}X$ käigu-istu järgi.

S järgi tsentreerimisel toimub tähistamine montaažijoonisel

järgmiselt:

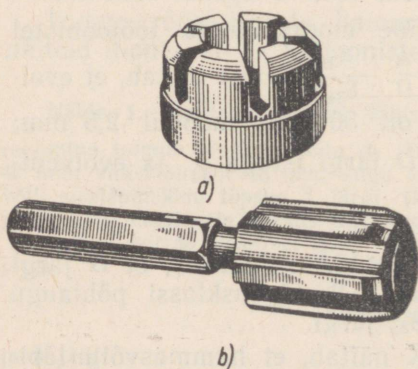
$$\text{ЭВ } 50 \times 2,5 \times 18 \frac{S_{3a}}{S_{3aX}}$$

Võlli tööjoonisel tähistatakse seda ЭВ 50×2,5×18 S_{3a}X, hammasaugu tööjoonisel aga ЭВ 50×2,5×18 S_{3a}.

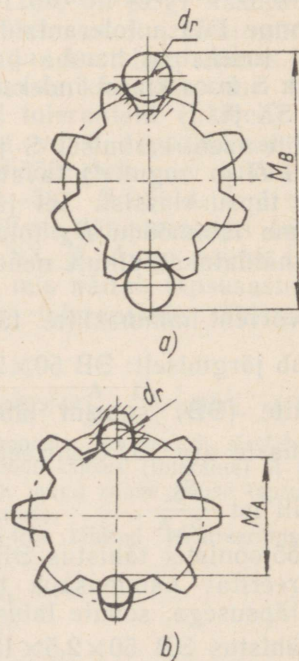
§ 53. Hammasvõll-liidete kontrollkaliibrid

Rööpkülgsete hammasliidete kontroll. Hammasvõlli välisläbimõõdu ja augu siseläbimõõdu õigsuse kontrollimiseks, samuti hammaste paksuse ja soonte laiuse kontrollimiseks kasutatakse samu läbivaid (ИП) ja mitteläbivaid (HE) hark- ja korkpiirkaliibreid nagu siledatel detailidel. Piirkaliibrite tolerantsid antakse siledate kaliibrite tolerantside standardite alusel: hälbeid loetakse D , d , b ja S piirmõõtmetest (ГОСТ 1139—58).

Hammasvõllide ja -aukude vahetatavuse kindlustamiseks kontrollitakse neid täiendavalt hammasvõll-liidete komplekskaliibritega, hammasvõlli — rõngaskaliibriga, auku — korkkaliibriga (joon. 107). Hammasvõll-liidete komplekskaliibrite elementide tolerantsid on standardiseeritud ja nähakse ette kahte täpsusastet (ГОСТ 7951—59).



Joon. 107. Hammaskaliibrid:
a — rõngaskaliiber; b — korkkaliiber



Joon. 108. Evolventsise (a) ja -välissoonte (b) kontrollimine rullide abil

Evolvent-hammasliidete kontroll. Võlli kõikide hammaste paksuste ja augu soonte laiuste summaarsete hälvete kontrollimiseks kasutatakse läbivaid kompleks-hammaskaliibreid — rõngas- ja korkkaliibreid. Summaarsed hälbed saadakse tegelike hammaste paksuste ja soonte laiuste hälvete ja hammaste profiili ja asetuse vigade liitumisel. Võlli üksikute hammaste paksust ja augu üksikute soonte laiust kontrollitakse kaudsel meetodil — rullide abil (joon. 108).

Möötnud mõõtme M_B või M_A , võrreldakse seda tabeli väärtusega liite nimimõõtmel ja määratakse hamba paksuse või soone laiuse faktilised hälbed.

Evolvent-hammasvõllide ja -aukude kaliibrite tolerantsid välisläbimõöduga kuni 150 mm on standardiseeritud (ГОСТ 6528—53).

Standardi järgi peab kompleks-rõngaskaliiber sobima korkkaliibrile У-ПП. Ainult võlli välisläbimõõdu või augu siseläbimõõdu kontrollimiseks kasutatakse hark- ja kork-piirkaliibreid. Hark- ja korkkaliibrite valmistamise ja kulumise tolerantsid võetakse samad, mis siledate võllide ja aukude kaliibritel. Piirkaliibreid (läbivad ПП, mitteläbivad HE) võib ka kasutada hammaste paksuse ja soonte laiuse kontrollimiseks rullidega kontrollimise asemel.

LISAD

LISA I

Võllide tolerantside eeliväljade hälbed *

Võllide tole- rantsiväljade tähistused	Hälvete tähistused ja märgid	Nimiläbimõõdud mm												
		1...3	üle 3 kuni 6	üle 6 kuni 10	üle 10 kuni 18	üle 18 kuni 30	üle 30 kuni 50	üle 50 kuni 80	üle 80 kuni 120	üle 120 kuni 180	üle 180 kuni 260	üle 260 kuni 360	üle 360 kuni 500	
		Piirhälbed µm												
$B_1=C_1$	ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a—	4	5	6	8	9	11	13	15	18	20	22	25	
$B=C$	ü	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a—	6	8	10	12	14	17	20	23	27	30	35	40	
Πρ	ü+	18	23	28	34	42	52	65						
	a+	12	15	18	22	28	35	45						
Γ	ü+	13	16	20	24	30	35	40	45	52	60	70	80	
	a+	6	8	10	12	15	18	20	23	25	30	35	40	
H	ü+	7	9	12	14	17	20	23	26	30	35	40	45	
	a+	1	1	2	2	2	3	3	3	4	4	4	5	
Π	ü+	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
	a—	3	4	5	6	7	8	10	12	14	16	18	20	
Д	ü—	3	4	5	6	8	10	12	15	18	22	26	30	
	a—	9	12	15	18	22	27	32	38	45	52	60	70	
X	ü—	8	10	13	16	20	25	30	40	50	60	70	80	
	a—	18	22	27	33	40	50	60	75	90	105	125	140	
Л	ü—	12	17	23	30	40	50	65	80	100	120	140	170	
	a—	25	35	45	55	70	85	105	125	155	180	210	245	
$B_{2a}=C_{2a}$	ü—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a—	9	12	15	18	21	25	30	35	40	47	54	62	
$B_3=C_3$	ü—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a—	20	25	30	35	45	50	60	70	80	90	100	120	
X_3	ü—	7	11	15	20	25	32	40	50	60	75	90	105	
	a—	32	44	55	70	85	100	120	140	165	195	225	255	
III ₃	ü—	17	25	35	45	60	75	95	120	150	180	210	250	
	a—	50	65	85	105	130	160	195	235	285	330	380	440	
$B_4=C_4$	ü—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a—	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	
X_4	ü—	30	40	50	60	70	80	100	120	130	150	170	190	
	a—	90	120	150	180	210	250	300	350	400	450	500	570	
$B_5=C_5$	ü—	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	a—	120	160	200	240	280	340	400	460	530	600	680	760	
X_5	ü—	60	80	100	120	140	170	200	230	260	300	340	380	
	a—	180	240	300	360	420	500	600	700	800	900	1000	1100	

* Peale Πρ_{2a} ja Γρ_{12a}, kuna nendel on nimiläbimõõdudel teised intervallid.

Aukude tolerantside eelisväljade hälbed

Aukude tolerantsiväljade tähistused	Hälvete tähistused ja märgid	Nimiläbimõõdud mm											
		1...3	üle 3 kuni 6	üle 6 kuni 10	üle 10 kuni 18	üle 18 kuni 30	üle 30 kuni 50	üle 50 kuni 80	üle 80 kuni 120	üle 120 kuni 180	üle 180 kuni 260	üle 260 kuni 360	üle 360 kuni 500
		Piirhälbed µm											
H ₁	ü+ a—	1 5	1 7	1 8	1 10	2 12	2 14	2 16	3 19	3 22	3 25	4 28	5 32
Π ₁	ü+ a—	4 2	5 3	6 4	7 5	8 6	9 7	10 8	12 9	14 10	16 11	18 13	20 15
Γ	ü— a—	2 13	3 16	4 20	5 24	6 30	7 35	8 40	10 45	12 52	15 60	18 70	20 80
H	ü+ a—	3 7	4 9	4 12	5 14	6 17	7 20	8 23	9 26	10 30	11 35	12 40	15 45
Π	ü+ a—	7 3	9 4	11 5	13 6	16 7	18 8	20 10	23 12	27 14	30 16	35 18	40 20
A=C	ü+ a	10 0	13 0	16 0	19 0	23 0	27 0	30 0	35 0	40 0	45 0	50 0	60 0
X	ü+ a+	22 8	27 10	33 13	40 16	50 20	60 25	70 30	90 40	105 50	120 60	140 70	160 80
A ₃ =C ₃	ü+ a	20 0	25 0	30 0	35 0	45 0	50 0	60 0	70 0	80 0	90 0	100 0	120 0
A _{2a} =C _{2a}	ü+ a	14 0	18 0	22 0	27 0	33 0	39 0	46 0	54 0	63 0	73 0	84 0	95 0
X ₃	ü+ a+	32 7	44 11	55 15	70 20	85 25	100 32	120 40	140 50	165 60	195 75	225 90	255 105
A ₃ =C ₃	ü+ a	40 0	48 0	58 0	70 0	84 0	100 0	120 0	140 0	160 0	185 0	215 0	250 0
A ₄ =C ₄	ü+ a	60 0	80 0	100 0	120 0	140 0	170 0	200 0	230 0	260 0	300 0	340 0	380 0

Võllide töö-harkkaliibrite tolerantsid

Nimiläbimõõt mm	Läbivad		Mittelläbivad		Läbimineva poole kulumine		
	Hälbed μm				Püürhälve	Vähim ga- ranteeri- tud	Keskmine töenäoline
	ü	a	ü	a			

Kõikidele 1. täpsusklassi võllidele, peale X_1

Üle	1 kuni	3	0	-1,5	+0,5	-1	+1	1	1,8
"	3 "	6	0	-2	+1	-1	+1	1	2
"	6 "	10	0	-2	+1	-1	+1	1	2
"	10 "	18	-0,5	-2,5	+1	-1	+1,5	2	3
"	18 "	30	-0,5	-2,5	+1	-1	+2	2,5	3,5
"	30 "	50	-0,5	-3,5	+1,5	-1,5	+2	2,5	4
"	50 "	80	-0,5	-3,5	+1,5	-1,5	+2	2,5	4
"	80 "	120	-0,5	-4,5	+2	-2	+3	3,5	5,5
"	120 "	180	-0,5	-5,5	+2,5	-2,5	+3	3,5	6

Võllidele X_1 ja täpsusklassidele 2 ja 2a, peale
võllide X, II, III, TX, Пp2_{2a} ja X_{2a}

Üle	1 kuni	3	-1	-3	+1	-1	+1,5	2,5	3,5
"	3 "	6	-1	-4	+1,5	-1,5	+2	3	4,5
"	6 "	10	-0,5	-3,5	+1,5	-1,5	+2,5	3	4,5
"	10 "	18	-1	-4	+1,5	-1,5	+2,5	3	4,5
"	18 "	30	-1	-5	+2	-2	+3	4	6
"	30 "	50	-1,5	-5,5	+2	-2	+3	4,5	6,5
"	50 "	80	-1,5	-6,5	+2,5	-2,5	+3	4,5	7
"	80 "	120	-2	-8	+3	-3	+4	6	9
"	120 "	180	-2	-9	+3,5	-3,5	+5	7	10,5
"	180 "	260	-2	-11	+4,5	-4,5	+6	8	12,5
"	260 "	360	-2	-13	+5,5	-5,5	+8	10	15,5
"	360 "	500	-2	-15	+6,5	-6,5	+10	12	18,5

Võllidele X ja II

Üle	1 kuni	3	0	-2	+1	-1	+3,5	3	4
"	3 "	6	-0,5	-3,5	+1,5	-1,5	+3	4	5,5
"	6 "	10	-1	-4	+1,5	-1,5	+3	4	5,5
"	10 "	18	-1,5	-4,5	+1,5	-1,5	+4	5,5	7
"	18 "	30	-2	-6	+2	-2	+4	6	8
"	30 "	50	-2,5	-6,5	+2	-2	+5	7,5	9,5
"	50 "	80	-3	-8	+2,5	-2,5	+5	8	10,5
"	80 "	120	-3,5	-9,5	+3	-3	+6	9,5	12,5
"	120 "	180	-3,5	-10,5	+3,5	-3,5	+7,5	11	14,5
"	180 "	260	-4	-13	+4,5	-4,5	+8	12	16,5
"	260 "	360	-4	-15	+5,5	-5,5	+10	14	19,5
"	360 "	500	-4	-17	+6,5	-6,5	+12	16	22,5

Võllidele III, TX, Пp2_{2a}, X_{2a}, B₃=C₃

Üle	1 kuni	3	0	-4	+2	-2	+3	3	5
"	3 "	6	-1	-5	+2	-2	+3	4	6
"	6 "	10	-1	-5	+2	-2	+3	4	6

Nimiläbimõõt mm	Läbivad		Mitteläbivad		Läbimineva poole kulumine		
	Hälbed μm				Pürrhälve	Vähim ga- ranteeri- tud	Keskmise töenäoline
	ü	a	ü	a			
Ole 10 kuni 18	-1,5	-6,5	+2,5	-2,5	+4	5,5	8
" 18 " 30	-2	-8	+3	-3	+4	6	9
" 30 " 50	-2,5	-9,5	+3,5	-3,5	+5	7,5	11
" 50 " 80	-3	-11	+4	-4	+5	8	12
" 80 " 120	-3,5	-12,5	+4,5	-4,5	+6	9,5	14
" 120 " 180	-3,5	-14,5	+5,5	-5,5	+7,5	11	16,5
" 180 " 260	-4	-17	+6,5	-6,5	+8	12	18,5
" 260 " 360	-4	-19	+7,5	-7,5	+10	14	21,5
" 360 " 500	-4	-22	+9	-9	+12	16	25

3. täpsusklassi völlidele $B_3=C_3$

Ole 1 kuni 3	0	-4	+2	-2	+3	3	5
" 3 " 6	-1	-5	+2	-2	+3	4	6
" 6 " 10	-1	-5	+2	-2	+3	4	6
" 10 " 18	-1,5	-6,5	+2,5	-2,5	+4	5,5	8
" 18 " 30	-2	-8	+3	-3	+4	6	9
" 30 " 50	-2,5	-9,5	+3,5	-3,5	+5	7,5	11
" 50 " 80	-3	-11	+4	-4	+5	8	12
" 80 " 120	-3,5	-12,5	+4,5	-4,5	+6	9,5	14
" 120 " 180	-3,5	-14,5	+5,5	-5,5	+7,5	11	16,5
" 180 " 260	-4	-17	+6,5	-6,5	+8	12	18,5
" 260 " 360	-4	-19	+7,5	-7,5	+10	14	21,5
" 360 " 500	-4	-22	+9	-9	+12	16	25

Aukude töö-korkkaliibrite tolerantsid

Nimiläbimõõt mm	Läbivad		Mitteläbivad		Läbimineva poole kulumine		
	Hälbed μm				Pürrhälve	Vähim ga- ranteeri- tud	Keskmise töenäoline
	ü	a	ü	a			

1. täpsusklassi aukudele, peale X_1

Ole 1 kuni 3	+1,5	+0	+1	-0,5	-1	1	1,8
" 3 " 6	+2,5	+0,5	+1	-1	-1	1,5	2,5
" 6 " 10	+2,5	+0,5	+1	-1	-1	1,5	2,5
" 10 " 18	+3	+1	+1	-1	-1,5	2,5	3,5
" 18 " 30	+3	+1	+1	-1	-1,5	2,5	3,5
" 30 " 50	+4	+1	+1,5	-1,5	-2	3	4,5
" 50 " 80	+4	+1	+1,5	-1,5	-2	3	4,5
" 80 " 120	+5	+1	+2	-2	-3	4	6
" 120 " 180	+6,5	+1,5	+2,5	-2,5	-3	4,5	7

Nimiläbimõõt mm	Läbivad		Mitteläbivad		Läbimineva poole kulumine		
	Hälbed μm				Piihälve	Vähim ga- ranteeri- tud	Keskmise toenäoline
	ü /	a	ü	a			

X₁ ja 2. täpsusklassi aukudele, peale X, JI, III

	1 kuni	3	+3	+1	+1	-1	-1,5	2,5	3,5
Üle	3	6	+4	+1	+1,5	-1,5	-2	3	4,5
"	6	10	+3,5	+0,5	+1,5	-1,5	-2,5	3	4,5
"	10	18	+4	+1	+1,5	-1,5	-2	3	4,5
"	18	30	+5	+1	+2	-2	-3	4	6
"	30	50	+5,5	+1,5	+2	-2	-3	4,5	6,5
"	50	80	+6,5	+1,5	+2,5	-2,5	-3	4,5	7
"	80	120	+8	+2	+3	-3	-4	6	9
"	120	180	+9	+2	+3,5	-3,5	-5	7	10,5
"	180	260	+11	+2	+4,5	-4,5	-6	8	12,5
"	260	360	+13	+2	+5,5	-5,5	-8	10	15,5
"	360	500	+15	+2	+6,5	-6,5	-10	12	18,5

Aukudele X

	1 kuni	3	+2	+0	+1	-1	-3	3	4
Üle	3	6	+3,5	+0,5	+1,5	-1,5	-3	4	5,5
"	6	10	+4	+1	+1,5	-1,5	-3,5	4	5,5
"	10	18	+4,5	+1,5	+1,5	-1,5	-4	5,5	7
"	18	30	+6	+2	+2	-2	-4	6	8
"	30	50	+6,5	+2,5	+2	-2	-5	7,5	9,5
"	50	80	+8	+3	+2,5	-2,5	-5	8	10,5
"	80	120	+9,5	+3,5	+3	-3	-6	9,5	12,5
"	120	180	+10,5	+3,5	+3,5	-3,5	-7,5	11	14,5
"	180	260	+13	+4	+4,5	-4,5	-8	12	16,5
"	260	360	+15	+4	+5,5	-5,5	-10	14	19,5
"	360	500	+17	+4	+6,5	-6,5	-12	16	22,5

2a täpsusklassi aukudele JI ja III ning A₃=C₃

	1 kuni	3	+4	+0	+2	-2	-3	3	5
Üle	3	6	+5	+1	+2	-2	-3	4	6
"	6	10	+5	+1	+2	-2	-3	4	6
"	10	18	+6,5	+1,5	+2,5	-2,5	-4	5,5	8
"	18	30	+8	+2	+3	-3	-4	6	9
"	30	50	+9,5	+2,5	+3,5	-3,5	-5	7,5	11
"	50	80	+11	+3	+4	-4	-5	8	12
"	80	120	+12,5	+3,5	+4,5	-4,5	-6	9,5	14
"	120	180	+14,5	+3,5	+5,5	-5,5	-7,5	11	16,5
"	180	260	+17	+4	+6,5	-6,5	-8	12	18,5
"	260	360	+19	+4	+7,5	-7,5	-10	14	21,5
"	360	500	+22	+4	+9	-9	-12	16	25

Pikkuse mõõtmise absoluutmeetodite piirvead (a)

Jrk. nr.	Mõõteriista nimetus	Mõõtmete intervallid mm							
		1 . . . 10	10 . . . 50	50 . . . 80	80 . . . 120	120 . . . 180	180 . . . 260	260 . . . 360	360 . . . 500
		Piirviga ± μm							
1	Nihkkaliibrid jaotuse väärtusega 0,1 mm a) välismõõtmistel b) sisemõõtmistel	150	150	160	170	190	200	210	230
2	Nihkkaliibrid jaotuse väärtusega 0,05 mm: a) välismõõtmistel b) sisemõõtmistel	80	80	90	100	100	100	110	110
3	Nihkkaliibrid jaotuse väärtusega 0,02 mm: a) välismõõtmistel b) sisemõõtmistel	40	40	45	45	45	50	60	70
4	Nihksügavusmõõtja jaotuse väärtusega 0,1	200	250	300	300	300	300	300	300
5	Nihksügavusmõõtja jaotuse väärtusega 0,05	100	100	150	150	150	150	150	150
6	Nihksügavusmõõtja jaotuse väärtusega 0,02	60	60	60	60	60	60	60	60
7	1. klassi mikromeetersügavusmõõtja	14	16	18	22	—	—	—	—
8	1. klassi mikromeeter	7	8	9	10	12	15	20	25
9	Kangmikromeeter	3	4	—	—	—	—	—	—
10	Universaalmikroskoop	1,5	2	2,5	2,5	3,0	3,5	—	—
11	Tööriistamikroskoop	5	5	—	—	—	—	—	—

Pikkuse mõõtmise suhteliste meetodite piirvead (b)

Jrk. nr.	Mõõteseadme nimetus	Mõõtplaatide liik	Mõõtmete intervallid mm							
			1 . . . 10	10 . . . 50	50 . . . 80	80 . . . 120	120 . . . 180	180 . . . 260	260 . . . 360	360 . . . 500
			Piirviga ± μm							
1	Passameeter jaotuse väärtusega 0,002	5	3	3	3,5	3,5	—	—	—	
2	Siseindikaator 1. klassi indikaatoriga	6	16	16	17	17	18	19	20	
3	1. klassi indikaator	6	15	15	15	15	15	16	16	
4	Indikaator jaotuse väärtusega 0,002	6	3	3	3,5	4	5	6	7	
5	Minimeeter jaotuse väärtusega 0,005	5	2	2,2	2,5	2,5	3,5	3,5	4	

Jrk. nr.	Mõoteseadme nimetus	Mõõtplaatide liik	Mõõtmete intervallid mm									
			10	50	80	120	180	260	360	500		
			1	10	50	80	120	180	260	360	500	
Piirviga ± μm												
6	Minimeeter jaotuse väärtusega 0,002	4	1	1,2	1,4	1,5	1,6	2,2	3	3,5		
		5	1,2	1,5	1,8	2,0	2,8	3,0	4	5		
7	Minimeeter jaotuse väärtusega 0,001	3	0,5	0,7	0,8	0,9	1	1,2	1,5	1,8		
		4	0,6	0,8	1	1,2	1,4	2	2,5	3		
		5	0,7	1	1,4	1,8	2,0	2,5	3,5	4,5		
8	Horisontaal- ja vertikaal-optimeeter, mõõtemasin välismõotmisteks	3	0,35	0,5	0,6	0,8	0,9	1,2	1,4	1,8		
		4	4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,8	2,5	3		
		5	0,7	1	1,3	1,6	1,8	2,5	3,5	4,5		

LISA 4

Pinnasileduse klassid ja pinnatöötlemise meetodid

Pinnasileduse klassid ГОСТ 2789—59 järgi	Terase ja malmi pinnatöötlemise meetodid
▽ 3	Jäme sisetreimine ja hõõveldamine; puurimine läbimõøduga üle 15 mm
▽ 4 ... ▽ 5	Jämetreimine, hõõritsemine, freesimine; keermelõikamine
▽ 4 ... ▽ 7	Treimine, hõõveldamine, elektrisädemega töötlemine
▽ 5 ... ▽ 6	Hambafreesimine ja hambahõõveldamine, keermelõikamine keermelõikuritega.
▽ 5 ... ▽ 7	Malmi sisetreimine, tasapindade freesimine ots- ja silinderfreesidega
▽ 5 ... ▽ 8	Sisetreimine
▽ 6 ... ▽ 9	Tasalihvimine
▽ 7 ... ▽ 9	Malmi ümarlihvimine, siselihvimine, abrasiivpulbriga puhastamine
▽ 7 ... ▽ 10	Terase ümarlihvimine
▽ 8 ... ▽ 10	Poleerimine, keermesullimine, kammlõikamine
▽ 10 ... ▽ 13	Tasaste ja silindriliste pindade soveldamine

KIRJANDUS

Апарин Г. А., Городецкий И. Е. Допуски и технические измерения. Машгиз, 1956.

Журавлев А. Н. Современное состояние взаимозаменяемости резьбовых и гладких соединений. ЦБТИ Мособлсовнархоза, 1961.

Зимин А. П., Игнатов А. В. Контролер-машиностроитель. Машгиз, 1961.

Коротков В. П., Тайц Б. А. Основы метрологии и точность механизмов приборов. Машгиз, 1961.

Марков Н. Н. Выбор измерительных средств для контроля цилиндрических зубчатых колес. Стандартгиз, 1960.

Синицын П. П. Основы взаимозаменяемости и технические измерения. Оборонгиз, 1959.

Тарасевич Ю. С., Явойш Э. И. Допуски, посадки и технические измерения. Машгиз, 1957.

Якушев А. И. Основы взаимозаменяемости и технические измерения. Машгиз, 1959.

SISUKORD

Eessõna	3
I peatükk. Vahetatavus masinaehituses	
§ 1. Vahetatavuse mõiste ja eelised	5
§ 2. Standardiseerimise ja normaliseerimise tähtsus vahetatavuse arengus	7
II peatükk. Mõõtmete ja kuju lubatavad hälbed	
§ 3. Mõõtmete ja istude definitsioonid	9
§ 4. Pindade kuju ja asendi lubatavad hälbed	12
§ 5. Pinnakareduse tolerantsid	17
III peatükk. Siledete silindriliste liidete tolerantside süsteemid	
§ 6. Tolerantside süsteemi struktuur	19
§ 7. Augusüsteem ja võllisüsteem	23
§ 8. Tolerantside eelisread ja -väljad	25
§ 9. Mõõtmete ja tolerantside märkimine joonistel	27
IV peatükk. Tõenäosusteooria kasutamisest vahetatavuses	
§ 10. Tõenäosusteooria mõiste	29
§ 11. Tõenäosusteooria põhiteoreemid	30
§ 12. Juhuslike suuruste jagunemiseadused ja nende kasutamine	31
§ 13. Mitmesuguste suuruste mõõtmistulemuste läbitöötamise viisid	36
V peatükk. Istude iseloom ja valiku tingimused	
§ 14. Põhi- ja kombineeritud istud	41
§ 15. Standardsete istude otstarve	42
§ 16. Istude valik	44
§ 17. Kuul- ja rull-laagrite tolerantsid ning istud	46
§ 18. Valikmontaaž liite täpsuse suurendamise viisina	48
VI peatükk. Tehnilise mõõtmise alused	
§ 19. Uus rahvusvaheline mõõtühikute süsteem	51
§ 20. Mõõtmismeetodid ja mõõtevahendite metrooloogilised näitajad	54
§ 21. Mõõtmisvead ja nende tekkimise põhjused	55
§ 22. Korduva mõõtmise tulemuse täpsus	57
§ 23. Mõõtude ühtsuse säilitamise põhimõte ja kontrollimis skeem	60

VII peatükk. Mõõtevahendid ja -meetodid

§ 24. Universaalsed mõõtevahendid	63
§ 25. Mõõtevahendid suhteliseks mõõtmiseks	70
§ 26. Mikromeetrise ja suurema täpsusega mõõtevahendid	73
§ 27. Esemete kontrollimine kaliibritega, nende valmistamise ja kulumise tolerantsid	82
§ 28. Suurte mõõtmete kontrollimise meetodid ja vahendid	85
§ 29. Esemete vastuvõtukontrolli mehhaniseerimine ja automatiseerimine	89
§ 30. Aktiivse kontrolli vahendid	94
§ 31. Mõõtevahendite ja kontrollimismeetodite valiku tingimused	97

VIII peatükk. Pindade kuju ja asendi hälvete kontrollimismeetodid ja -vahendid

§ 32. Tasapinnalisuse ja sirgjoonelisuse hälvete kontroll	99
§ 33. Silindrilisuse ja pindade asendi hälvete kontroll	102
§ 34. Pindade kuju ja asendi hälvete kontrolli mehhaniseerimine	103
§ 35. Pinnakareduse kontroll	104

IX peatükk. Nurkade ja koonuste tolerantsid ning kontrollimine

§ 36. Nurkade tolerantsid	107
§ 37. Nurkade kontrollimismeetodid ja -vahendid	108
§ 38. Koonusliidete tolerantsid ja istud	110
§ 39. Välis- ja sisekoonuste mõõtmismeetodid ning -vahendid	112

X peatükk. Keermesliidete vahetatavus

§ 40. Silindrilise kinnituskerme tolerantsid	117
§ 41. Sammu ja profiilinurga hälbe kompensatsiooni arvutamine	120
§ 42. Keermete kontrollimine kaliibritega	122
§ 43. Välis- ja sisekerme elementide kontrollimisvahendid	125
§ 44. Keermete kontrollimise mehhaniseerimine ja automatiseerimine	128

XI peatükk. Hammasrataste vahetatavus ning kontrollimisvahendid

§ 45. Hammasrataste liigid ja lähtekontuur	131
§ 46. Hammasrataste ja -ülekannete parameetrite tolerantsid	133
§ 47. Hammasrataste täpsusastmete valik ja tolerantside tähistamine joonistel	136
§ 48. Kompleksnäitajaid asendavate näitajate kompleksid	137
§ 49. Hammasrataste kontrollimisvahendid	139

XII peatükk. Liist- ja hammasvõll-liidete vahetatavus ja kvaliteedi kontroll

§ 50. Liistliidete tolerantsid ja istud	144
§ 51. Rööpkülgsede hammasvõll-liidete tolerantsid ja istud	145
§ 52. Evolventsed hammasvõll-liidete	147
§ 53. Hammasvõll-liidete kontrollkaliibrid	148
Lisad	150
Kirjandus	157

Журавлев Алексей Никитович
ДОПУСКИ И ТЕХНИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ

На эстонском языке

Оформление Х. Аппак

Издательство «Ээсти Раамат»
Таллин, Пярнуское шоссе, 10

Toimetaja A. Korba
Kunstiline toimetaja R. Tungla
Tehniline toimetaja Ü. Laul
Korrektor Ü. Rattur

Ladumisele antud 8. III 1965. Trükkimisele antud
31. V 1965. Paber 60×90, $\frac{1}{16}$. Trükipoognaid 10.
Arvestuspoognaid 9,56. Trükiarv 5000. Tellimise nr. 2069. Hans Heidemanni nimeline trükkoda, Tartu, Olikooli 17/19. I.

Hind 41 kop.



41 kop.

A
26771

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00815442 1