

*Eesti NSV Kõrgema ja Keske-erihariduse
Ministeerium
Teaduslik-metoodiline Kabinet*

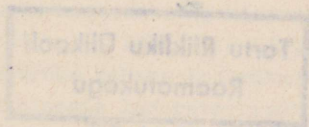
**METALLIDE
TEHNOLOOGIA
JA
KONSTRUKTSIOONI-
MATERJALID**

Tallinn 1970

Eesti NSV Kõrgema ja Kesk-erihariduse Ministeeriumi
Teaduslik-Metoodiline Kabinet

METALLIDE TEHNOLOGIA JA
KONSTRUKTSIOONIMATERJALID

Laboratoorse teo tööde juhend
kesk-eriõppeasutuste õpilastele



ARHIIVKOGU

Tallinn 1970

Originaali tiitel:

ТЕХНОЛОГИЯ МЕТАЛЛОВ И КОНСТРУКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ

Руководство по проведению лабораторных работ для
средних специальных учебных заведений

Изд. "Высшая школа", М., 1968.

Koostaja B.I.Grasse

Tõlkija H.Lauri

Toimetaja J.Veerits

Министерство высшего и среднего специального
образования ЭССР

Научно-методический кабинет

Таллин, ул. Валли 4

2
Tartu Riikliku Ülikooli
Raamatukogu

ARHIIVKOGU 6778

Trükkimisele antud 16.XII 1969. Paber 60x84/16
Trükipg.5,5. Tingpg.5,1.Tiraaž 1500.MB-11224.Tell.487
TPI rotaprint, Tallinn, Koskla 2/9
Hind 14 kop.

Laboratoorsestel ja praktilistel töödel on metallide tehnoloogia kursuse õppimisel väga suur tähtsus. Nende tähtsuse võimaldab õpilastel teoreetilist materjali paremini omandada, annab kogemusi katseseadmete ja mõõteriistadega töötamiseks. Katsete läbiviimisel tutvuvad õpilased ka eksperimentaaltööde kohta käivate aruannete koostamise meetodikaga.

Käesolevas brošüüris on antud juhendid metallide tehnoloogia programmis esinevate laboratoorsete ja praktiliste tööde tegemiseks.

Laboratoorsete tööde juhendid on koostatud ühtse plaani järgi. Iga juhend algab töö eesmärgi püstitamise ja ülesande andmisega, seejärel loetletakse tööks vajalikke seadmeid, mõõteriistu ja materjale.

Nähtuste füüsikalise sisu lahtimõtestamiseks on laboratoorsete tööde juhendites toodud ka selgitavaid pidepunkte teooriast ja esitatud tööde läbiviimise meetodika, mille järgi saavad õpilased teha kõik laboratoorsed tööd õigesti ja mõttekalt. Iga töö juhend lõpeb aruande koostamise juhistega.

Laboratoorsed tööd tuleb läbi viia kõrgel tasemel. Töö tegemiseks jagatakse õpperühm kaheks poolrühmaks. Sõltuvalt õppeasutuse metallide tehnoloogia laboratooriumi sisustuse täiuslikkusest võib laboratoorset tööd teha frontaal-, kompleks- või kombineeritud meetodil.

Frontaalmeetodi puhul jagatakse õpperühm brigaadideks (igas brigaadis 2...3 õpilast), kes pärast vastava teoreetilise materjali omandamist teevad ühte ja sama laboratoorset tööd. Kompleksmeetodi puhul teevad poolrühma kõik brigaadid erinevaid laboratoorseid töid, mis haaravad aine programmist rea teemasid või osasid. Brigaadid teevad seejuures järjestikku kõik programmis ettenähtud tööd. Kombineeritud meetodi puhul teevad osa

poolrühma õpilastest tööd frontaalselt, ülejäänud - komplekselt.

Igal nimetatud meetodil on oma eelised ja puudused. Igal juhul tuleb püüda selle poole, et laboratoorsed ja praktilised tööd täiendaks ja laiendaks õpilastel teoreetilistes tundides saadud teadmisi. Seepärast on otstarbekas teha laboratoorsed ja praktilised tööd kohe pärast vastava teoreetilise materjali omandamist.

Pärast laboratoorse töö aruande esitamist õpilase poolt vestleb õpetaja õpilasega töö tegemise meetodikast ja katse tulemustest ning arvestab töö.

Mikrostruktuure käsitlevate laboratoorsete tööde läbiviimisel soovitatakse valida sellised mikrolihvide komplektid, mille fotod on antud mikrostruktuuride albumis.

Sõltuvalt õpetatavast erialast võib käesolevates juhendites soovitatud metallide ja sulamite margid asendada teistega.

Laboratoorne töö nr. 1

METALLIDE KÕVADUSE MÄÄRAMINE BRINELLI JA ROCKWELLI MEEODIL

Töö eesmärk.

Omandada kogemusi kõvaduse määramiseks Brinelli pressil (TH) ja Rockwelli pressil (TK). Selgitada terase kõvaduse sõltuvust tema süsinikusisaldusest.

Ülesanne.

1. Õppida tundma Brinelli ja Rockwelli pressi ehitust ning tutvuda nende tööpõhimõtetega.

2. Määrata nimetatud presside abil lõõmutatud ja karastatud teraste kõvadus.

3. Karastamata proovikehade kõvadusarvude järgi konstrueerida graafik, mis iseloomustab terase kõvaduse sõltuvust tema süsinikusisaldusest. Katseks kasutada teraseid 10, 20, 30, 45, 78A, 710A, 712A.

4. Koostada laboratoorse töö aruanne.

Seadmed ja materjalid

Laboratoorseks tööks on vajalikud: a) Brinelli press (TH); b) Rockwelli press (TK); c) luup jälje mõõtmete määramiseks; d) kaks komplekti terastest 10, 20, 30, 45, 78A, 710A ja 712A valmistatud ning üheaegselt lõõmutatud proovikehi (mõõtmetega 50x50x80 mm); e) kolm komplekti terastest 30,45, 78A, 710A ja 712A valmistatud ning vees karastatud ja seejärel 200°C juures noolutatud proovikehi (mõõtmetega 50x50x80 mm).

Metoodilised juhendid

Metalli kõvadust määratakse pressidega TH (Brinelli press) ja TK (Rockwelli press) või Vickersi pressiga.

Nimetatud presside abil surutakse proovikehasse sujuvalt kuul, teemantkoonus või teemantpüramiid. Peale nimetatud meetodite kasutatakse veel Poldi meetodit, kus teraskuulike surutakse löögi mõjul proovikehasse ja Shore'i meetodit, mis põhineb metallotsiku tagasipõrke ärakasutamisel.

Kõige rohkem kasutatakse kõvaduse määramiseks Brinelli ja Rockwelli meetodit. Vickersi meetodit kasutatakse põhiliselt väikeste detailide (näiteks kella detailide), õhukeste lintide ja pinnakatete kõvaduse määramiseks.

Katse meetodi valik sõltub katsetatava detaili, metallitüki suurusest, tema kõvadusest, pressi tootlikkusest ja teistest teguritest.

Metallide kõvaduse määramine Brinelli meetodil

Kõvaduse määramine Brinelli meetodil seisneb järgmistes põhilistes operatsioonides.

1. Proovitava metalli katseks ettevalmistamine. Proovitava metallitüki (detaili) alus- ja pealispind peavad olema paralleelsed, tagist ja roostest puhastatud, tasased. Vajaduse korral puhastatakse neid pindu spetsiaalselt, lihvitakse, töödeldakse smirgelpaberiga või viiliga. Töötlemisel ei tohi proovitav metall kuumeneda üle 150°C. Proovitava metalli paksus ei tohi olla väiksem jälje kümnekordsest sügavusest.

2. Kuuli läbimõõdu D , koormuse P ja lõppkoormuse mõjumise aja t määramiseks võib kasutada tabelit 1 (ГОСТ 9012-59).

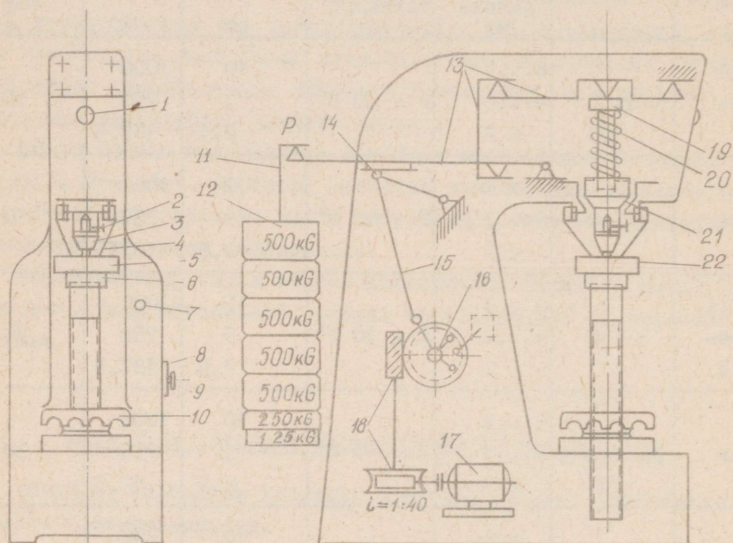
Kuuli läbimõõdu ja koormuse määramine

Materjal	Brinelli kõvadus-arv	Proovitava metalli paksus mm	Koormuse ja kuuli läbimõõdu vahekord	Kuuli läbimõõt D mm	Koormus P kG	Lõppkoormuse määramise aeg t s
Mustad metallid		6...3		10	3000	
	140...	4...2	$P = 30 D^2$	5	750	10
	150	< 2		2,5	187,5	
Sama		> 6		10	1000	
	< 140	6...3	$P = 10 D^2$	5	250	10
		< 2		2,5	62,5	
Värvilised metallid		6...3		10	3000	
	> 130	4...2	$P = 30 D^2$	5	750	30
		< 2		2,5	187,5	
Sama		9...3		10	1000	
	35 ...	6...3	$P = 10 D^2$	5	250	30
	130	< 3		2,5	62,5	
Sama		> 6		10	250	
	8...35	6...3	$P = 2,50 D^2$	5	62,5	60
		< 3		2,5	15,6	

3. Brinelli pressi katseks ettevalmistamine. Kuul, mille läbimõõt on valitud vastavalt tabelile 1, kinnitatakse hoidjasse 3 (joonis 1). Seejärel rakendatakse vastav koormus P. Selleks kasutatakse kaaluvihtisid 12, mille kaal kangisüsteemi 13 abil mitmekordistatakse.

Pressi töölauda 6 kuju sõltub proovitava metallitüki või detaili kujust. Tasapinnaliste metallitükkide ja detailide katsetamisel kasutatakse tasaast töölauda, silindrikujuliste puhul aga prismaatilisi alusplokke.

Ketta 8 pööramisega pressi sambal asetseva skaala suhtes re-
guleeritakse koormusaeg t. Ketas 8 fikseeritakse vajalikku asen-
disse kruvi 9 abil.



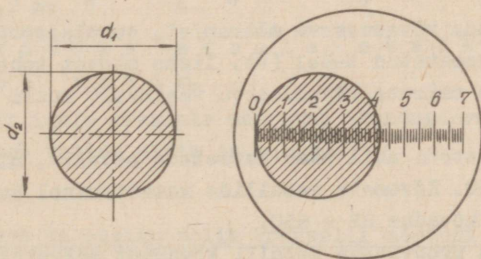
Joonis 1.

4. K a t s e k ä i k. Proovitav metall 5 asetatakse
pressi töölauale 6 selliselt, et katse ajal tekitatava kuuli jäl-
je tsentri kaugus proovikeha servast oleks vähemalt $2,5 d$ (d -
jälje läbimõõt), järgmise jälje tsentrist aga vähemalt $4 d$. Proo-
vitav metall viiakse kuuliga kokkupuutesse käsiratta 10 pöörami-
suga. Käsiratast pööratakse seni, kuni proovitav metall puudutab
piirajat 4 või viimase puudumisel - surub kokku vedru 20. Selle
tulemusena tekib spindli puksi 21 ja pressi koonuspesa vahele
lõtk, millega on välditud katse ajal puksi hõõrdumine vastu pres-
si vastavat pinda.

Lüliti 7 abil käivitatakse elektrimootor 17. Viimaselt antakse pöörlemine tigureduktori 18, väntvõlli 16 ja kepsu 15 kaudu rullikule 14, mis pöörduv alla, vabastades kangisüsteemi. Nüüd antakse vihtide raskusjõud kangisüsteemi 13 ja spindli 21 kaudu kuulile 22.

Pärast nõutavat koormamisega elektrimootori võlli pöörlemis-suund automaatselt reverseeritakse, rullik 14 tõuseb üles, viib kangisüsteemi algasendisse tagasi ja vabastab kuuli koormusest. Mootor lülitub automaatselt välja. Lõppkoormuse mõjumise ajal põleb signaallamp 1.

5. K õ v a d u s a r v u m ä ä r a m i n e. Käsiratast 10 vastupäeva pöörates laskub töölaud koos proovitava metalliga allapoole. Nüüd määratakse luubi abil proovitavale metallile tekitatud kuuli jälje läbimõõt. Täpsema tulemuse saamiseks tuleb jälje läbimõõtu mõõta kahes teineteisega risti olevas suunas. Saadakse jälje läbimõõdud d_1 ja d_2 (joonis 2). Arvutuslikuks läbimõõ-



Joonis 2.

duks võetakse keskmine läbimõõt d_k :

$$d_k = \frac{d_1 + d_2}{2} \text{ mm,}$$

kus d_1 on esimesel mõõtmisel saadud jälje läbimõõt mm;

d_2 - teisel mõõtmisel saadud jälje läbimõõt mm.

Mõõtetäpsus peab jälje läbimõõdu määramisel olema järgmine:

10- ja 5-mm läbimõõduga kuuli puhul vähemalt 0,05 mm;

2,5-mm " " " " 0,01 mm.

Jälgede läbimõõdud peavad jääma piiridesse $0,2 D < d < 0,6 D$.

Kui see tingimus pole täidetud, tuleb katset korrata teise läbimõõduga kuuliga.

Brinelli kõvadusarv määratakse järgmise valemiga

$$HB = \frac{2P}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \frac{kG}{mm^2},$$

kus d on kuuli jälje keskmine läbimõõt mm;

P - koormus kG;

D - kuuli läbimõõt mm.

Brinelli kõvadusarvule mõõtühikut tavaliselt juurde ei kirjutata.

Et kiirendada kõvadusarvu määramist, on ülaltoodud valemit aluseks võttes koostatud tabel (vt. lisas olevat tabelit). Selle tabeli abil saab määrata kõvadusarvu vastavalt kuuli jälje läbimõõdule.

Brinelli meetodi abil saab katsetada metalle, mille kõvadus ei ületa $HB = 450$. Kõvemate metallide katsetamisel kuul deformeerub, sest kuuli kõvadus $HB = 650$.

Ühe ja sama proovitava metalli kõvadust määratakse kaks korda. Korduval katsetamisel peab kuuli jälje tsenter asuma eelneva jälje tsentrist kaugusel, mis pole väiksem kui kahekordne kuuli läbimõõt.

Metallide kõvaduse määramine Rockwelli meetodil

Rockwelli meetodil metalli kõvaduse määramiseks surutakse proovitavasse metalli standardmõõtmega teemantkoonus või teras-

kuul. Kui metalli kõvadus HRC = 0...50, siis võib kasutada ka kõvasulamist valmistatud otsikut.

Rockwelli pressil on kolm skaalat: A, B ja C. Skaalalt A loetakse kõvadus siis, kui kasutatakse koormust P = 60 kG. Kui koormus on 100 kG, siis loetakse kõvadus skaalalt B, 150 kG puhul aga skaalalt C.

Kõvadus määratakse järgmiselt.

1. Proovitava metalli katseks ettevalmistamine. Katsetatav pind peab olema paralleelne aluspinnaga, temal ei või olla kriimustusi ega muid ebataasusi. Seepärast töödeldakse proovitava metalli neid pindu smirgelpaberiga või lihvitakse peeneteralise lihvkäiaga. Töötlemisel tuleb jälgida, et proovitav metall ei kuuneneks üle 150°C. Pressile asetatud proovitav metall ei tohi katse ajal nihkuda, kõikuda ega deformeeruda. Proovitava metalli minimaalne paksus sõltuvalt tema kõvadusest peab olema järgmine:

0,7...2 mm skaala B järgi katsetamisel;

0,7...1,5 mm " C " " ;

0,4...0,7 mm " A " " .

2. Kõvaduse skaala, otsiku ja koormuse valik.

Vastavalt igale skaalale määratud kõvadusarvude intervallile (tabel 2) tuleb valida otsik ja koormus.

Tabel 2

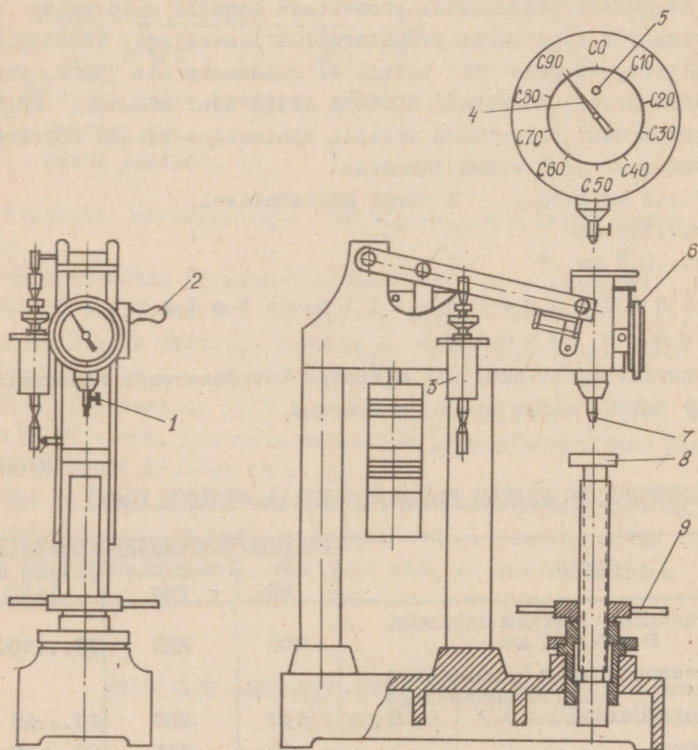
Koormuse ja otsiku valik Rockwelli meetodi puhul

Skaala	Otsik	Koormus P kG	Kõvadusarvu tähis-tus	Kõvadusarvu piirid skaalal
B	Teraskuul, mille läbimõõt D = 1,588 mm	100	HRB	25...100
C	Teemantkoonus tipunurgaga 120° ± 1,5°. Koonuse tipu ümardusraadius 0,2 ± 0,02 mm	150	HRC	20...67
A	Sama	60	HRA	70...85

Skaalat B kasutatakse pehmete metallide (karastamata terased, värvilised metallid ja nende sulamid) kõvaduse määramiseks; skaa-

lat C - karastatud teraste puhul ja skaalat A - kõvade pindkihtide (tsementiitud, tsüaanitud jt, pinnad), samuti kõvasulamite kõvaduse määramiseks.

3. Rockwelli pressi katseks ette valmistamine. Vastavalt sellele, millise skaala järgi toimub kõvaduse määramine, asetatakse pressi spindlisse otsik 7 (joonis 3) ning fikseeritakse esialgu kruvi 1 abil. Sõltuvalt proovitava metalli kujust valitakse ka vastava kujuga töölaud 8 ja asetatakse see pressi.



Joonis 3.

Et vältida võimalikku lõtku otsiku ääriku ja spindli otspinna vahel, asetatakse töölauale mingi proovikeha, mille kõvadus vastab valitud skaala kõvadusarvudele, ning koormatakse 2 ... 3 korda. Koormuse all keeratakse kruvi 1 lõplikult kinni.

4. K a t s e k ä i k. Pannud proovitava metalli töölauale 8, lähendatakse käsiratta 9 pööramisega ta otsikule 7. Jätkates sujuvalt käsiratta pööramist antakse otsikule eelkoormus 10 kg. Niemetatud koormus saab rakendatud momendil, mil pressi skaalal olev väike osuti on pöördunud punase täpini 5. Käsiratta abil tõstetakse töölauda koos proovitava metalliga seni, kuni suur osuti saavutab vertikaalasendi (lubatav kõrvalekaldumine ± 5 jaotust). Nüüd pööratakse indikaatori rõngast 6 ja seatakse skaala nullkriips C suure osutiga kohakuti (sõltumata kasutatavast mõtteskaalast). Seejärel rakendatakse otsikule lõppkoormus. Selleks tuleb käepidet 2 sujuvalt tahapoole (endast eemale) lükata. Nüüd pöörduv suur osuti 4 vastupäeva. Koormamisaega (3...6 sekundit) reguleerib õlipidur 3. Järgnevalt pööratakse käepidet 2 sujuvalt ettepoole (enda suunas) ning vabastatakse seega proovikeha lõppkoormusest (suur osuti pöörduv nüüd päripäeva). Arv, mille kohal suur osuti 4 peatub, näitabki Rockwelli kõvadusarvu (alati tuleb jälgida, et kõvadusarvu loetakse sellelt skaalalt, milline katse algul valiti).

Proovitava metalli vabastamiseks eelkoormusest pööratakse käsirattast 9 vastupäeva.

Katset korratakse veel kaks korda, Igale proovitavale metallile jääb seega kolm jälge. Kahe jälje vahekaugus peab olema vähemalt 3 mm.

Laboratoorse töö läbiviimise kord

1. Tutvuda metallide kõvaduse määramise üldaluste, seadmete ehituse ja nendel läbi viidavate katsete meetodikaga (ohutustehnika eeskirju, samuti kõvaduse määramise tehnikat erinevatel seadmetel tutvustab õpetaja või laborant).

2. Valida iga antud proovitava metalli kõvaduse määramiseks sobiv meetod ja viia läbi kõvaduse katsed vastavatel pressidel. Saadud katsetulemused kanda järgmistesse tabelitesse.

Metalli kõvaduse määramine Brinelli meetodil

Proovitava metalli number	Proovitava metalli materjal	Jälje number	Katse tingimused			Jälje läbimõõt			Brinelli kõvadus kg/mm ²	Märkus
			Koormus P kg	Kuuli läbimõõt D mm	Koormamisae t s	Esimesel mõõtmisel d ₁ mm	Teisel mõõtmisel d ₂ mm	Keskmine läbimõõt d _k mm		

Metalli kõvaduse määramine Rockwelli meetodil

Proovitava metalli number	Proovitava metalli materjal	Katse tingimused			Mõõtmistulemused			Keskmine kõvadus dusrav	Märkus
		Koormus P kg	Otsiku kuju	Skaala	Esimene	Teine	Kolmas		

3. Konstrueerida graafik, mis iseloomustab karastamata teraste 10, 30, 45, 78A, 710A, 712A) kõvaduse sõltuvust nende süsinikusisaldusest.

M ä r k u s. Kui aja puudusel pole võimalik määrata kõigi ülaltoodud teraste kõvadust, võib õpetaja soovitusel mõne terase kõvaduse võtta vastavatest käsiraamatutest.

4. Koostada töö aruanne. Aruandes näidata töö eesmärk ja ülesanne. Kirjeldada üksikasjalikult erinevate teraste kõvaduse määramist. Aruandele lisada koolis nõutava vormi kohased tabelid.

5. Kanda saadud kõvadusarvud järgmisse tabelisse.

Proovitava metalli iseloomustus			Seade, mille abil määrati kõvadus	Kõvadusarvud: HB, HRB, HRC, HRA
Terase mark	Süsinikusi..saldus %	Termiline töötlemine		
10	0,1	lõõmutatud		
30	0,3	lõõmutatud		
30	0,3	karastatud		
45	0,45	lõõmutatud		
45	0,45	karastatud		
J8A	0,8	lõõmutatud		
J8A	0,8	karastatud		
J10A	1,0	lõõmutatud		
J10A	1,0	karastatud		
J12A	1,2	lõõmutatud		
J12A	1,2	karastatud		

6. Konstrueerida graafik, mis iseloomustab lõõmutatud ja karastatud teraste kõvaduse sõltuvust nende süsinikusi..saldusest.

7. Teha järeldused erinevate kõvaduse määramise meetodite kasutamise võimalustest praktikas. Kirjeldada meetodite eeliseid ja puudusi.

Laboratoorne töö nr. 2

METALLIMIKROSKOOBIGA TUTVUMINE. MIKROSTRUKTUURIDE VAATLEMINE
METALLIMIKROSKOOBIGA JA STRUKTUURIDE JOONISTAMINE

Töö eesmärk.

Saada kogemusi tööks metallimikroskoobiga, mikrolihvide valmistamiseks ja metallide struktuuri uurimiseks.

Ülesanne.

1. Tutvuda metallmikroskoobi ehituse ja tööpõhimõttega.
2. Valmistada mikrolihv.
3. Vaadelda mikrolihvi mikroskoobi all, joonistada nähtud struktuuripilt nii enne kui ka pärast mikrolihvi söövitamist, kirjeldada märgatud struktuurielemente.
4. Koostada laboratoorse töö aruanne.

Seadmed ja materjalid.

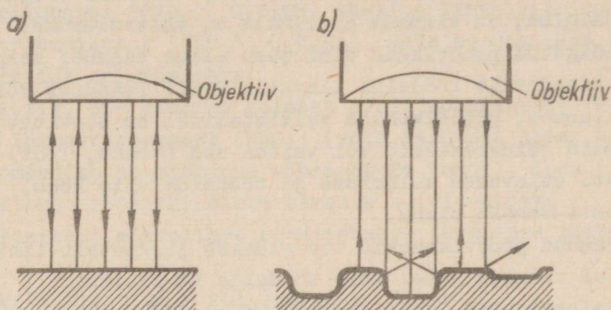
Laboratoorse töö läbiviimiseks peavad õpilasel olema: a) metallmikroskoop MPM-6, MPM-5 või MPM-7; b) proovitavad metallid (raud, vask, plii jt.); c) kruustangid ja viil; d) lihv-poleerpink; e) smirgelpaber (nr. 60...260), tükk vilti või kalevit; f) vees niisutatud kroomoksiid; g) pasta FOM ja reaktiivid; h) filterpaber, vatt ja piiritus; i) pintsetid.

Metoodilised juhendid

Mikroanalüüsi kasutatakse metallide siseehituse (struktuuri) uurimiseks. Metallmikroskoobiga nähtavat metalli struktuuri nimetatakse mikrostruktuuriks. Viimane kujutab endast mikrolihvi väikese pinnaosa kujutist, mille tekitavad lihvi pinnalt peegeldunud valguskiired. Kõige parema kujutise saab poleeritud pinnalt (joonis 4,a). Seepärast tulebki valmistada mikroanalüüsiks mikrolihv. Vaadeldes mikroskoobi all poleeritud kuid söövitamata lihvi, võib sellel märgata mittemetalsete lisandite olemasolu. Viimased esinevad lihvil mikroskoopiliste süvenditena, mis mikroskoobis vaadelduna näivad tumedate joonte või punktadena. Süvendid tekivad aga mikrolihvile sellepärast, et mittemetalised lisandid on tavaliselt väga haprad, murenevad poleerimisel ja eemaldatakse seetõttu mikrolihvilt.

Lihvi mikrostruktuur muutub hästi nähtavaks alles pärast söövitamist. Lihvi pinnale kantav reaktiiv toimib metalli struktuurielementidele (terad, faasid, struktuurikomponendid ja nende piirjooned) erinevalt. Ühed neist söövituvad rohkem, teised

vähem. Selle tulemusena peegelduvad ka valguskiired söövitatud struktuurielementidelt erinevalt. Enam söövitunud elemendid paistavad mikroskoobis tumedamana, vähem söövitunud - heledamatena (joonis 4,b).



Joonis 4. Kiirte peegeldumine: a - poleeritud lihvi pinnalt; b - söövitatud lihvi pinnalt

Vaadeldes söövitatud metalli pinda mikroskoobis, saab teha kindlaks faaside arvu, sulami struktuurikomponentide arvu, nende paiknevuse ja mõõtmed. Saab hinnata ka metalliterade suurust ja kuumtöötlemise kvaliteeti. On võimalik määrata mõnede elementide (näiteks süsiniku) ligikaudset kogust läbimutatud terastes jm.

Mikrolihvide valmistamine

Mikrolihv kujutab endast uuritavast metallist valmistatud väikest proovikeha, mille üks pindadest on mikroskoobi all uurimiseks vastavalt ette valmistatud.

Mikrolihvi valmistamine toimub järgmiselt:

Uuritavast metallist lõigatakse proovikeha, mille külgede pikkused on 10...15 mm. Karastamata detailidest lõigatakse proovikeha lõiketera või rauasae abil, karastatud detailidest aga õhukese lihvkäia abil (käia paksus 1...1,5 mm). Et metallis ei tekiks struktuurimuutusi, ei tohi viimasel juhul proovikeha kuumeneda üle 150°C. Pehmest metallist proovikeha väljalõikamisel peab jälgima, et viimane oluliselt ei deformeeruks.

Lõigatud proovikeha pind peab olema tasane, seepärast tuleb teda täiendavalt töödelda lihvkäia abil. Traadist või õhukesest metallilehest proovikehade valmistamisel on soovitatav kasutada vastavaid hoiderakiseid või valada nad (traat, leht) eelnevalt kergesti sulavasse sulamisse ja töödelda siis koos. Nii saab hõlpsasti tasase pinna.

Saadud proovikehasid töödeldakse järgnevalt lihv-poleerpingil. Kui viimast pole, võib töödelda ka käsitsi.

Smirgelpaber, mille teralisus on 160...180, kinnitatakse kettale. Töötlemise ajal tuleb suruda proovikeha parema käe kolme sõrme abil vastu pöörlevat ketast 20...50 kG jõuga. Lõplik lihvimine toimub smirgelpaberil, mille teralisus on 240...250.

Lihvimisele järgneb poleerimine. Poleerimisega eemaldatakse mikrolihvi pinnalt kõik konarused ja ta omandab peegelpinna. Algul kasutatakse poleerimiseks pastat. Õhuke pastakiht kantakse tihedast paberist valmistatud kettale. Viimane kinnitatakse poleerpingi ketta külge, millel töötlemine toimubki.

Lõplik poleerimine toimub poleerimissegus (krooskiidi vesilahus) niisutatud kalevi või vildi abil. Kui mikrolihvi on saanud peegelpinna ja kui mikroskoobi all vaatlemisel ei ole sellel märgata mingisuguseid kriimustusi ega ebataasusi, siis võib poleerimise lõpetada.

M ä r k u s e d. 1. Proovikeha tuleb lihv-poleerpingil töötlemise ajal lihvi tasapinnas perioodiliselt pöörata 90° võrra. Nii saab kergesti kõrvaldada eelneval töötlemisastmel pinnale jäänud kriimustusi.

2. Pehmetest värvilistest metallidest proovikehade töötlemisel võivad abrasiivosakesed ja peened metallilaastud mikrolihvi pinda tungida. Et seda vältida, tuleb smirgelpaberit enne töötlemisele asumist petrooleumis niisutada või parafiiniga katta. Viimast kasutatakse alumiiniumi töötlemisel.

Pärast poleerimist puhastatakse mikrolihv piirituses niisutatud vatiga ja kuivatatakse filterpaberiga.

Mikrolihvide pinna söövitamiseks kasutatakse mitmesuguseid reaktiive. Terastest ja malmidest mikrolihvide söövitamiseks kasutatakse järgmisi:

- a) lämmastikhappe (HNO_3) 5%-line lahus etanoolis;
- b) pikriinhappe [$(\text{NO}_2)_3 \text{C}_6\text{H}_2\text{OH}$] 4%-line lahus piirituses;
- c) naatriumpikraat [$(\text{NO}_2)_3 \text{C}_6\text{H}_2\text{Na}$]. Seda kasutatakse tsementiidi ja ferriidi eristamiseks;
- d) reaktiiv, mis koosneb kolmest osast soolhappest (HCl) ja ühest osast lämmastikhappest (HNO_3) (võib kasutada siis, kui valmistamise momendist on möödunud vähemalt 24 tundi). Seda reaktiivi kasutatakse roostekindlate teraste söövitamiseks.

Vasesulamitest mikrolihve söövitatakse järgmiste reaktiividega:

- a) vask(II)kloriidi (CuCl_2) 8%-line lahus;
- b) raud(III)kloriidi (FeCl_3) 3%-line lahus 10 %-lises soolhappes (HCl).

Babiitide ja magneesiumisulamite söövitamiseks:

- a) lämmastikhappe (HNO_3) 2...4 %-line lahus piirituses;
- b) reaktiiv, mille koostis on järgmine: 20 % äädikhapet (CH_3COOH), 60 % etaandiooli [$\text{C}_2\text{H}_4(\text{OH}_2)$], 1 % kontsentreeritud lämmastikhapet (HNO_3) ja 19 % vett. Seda reaktiivi kasutatakse ainult magneesiumisulamite söövitamiseks. 5...30 sekundit pärast reaktiivi kandmist mikrolihvile, puhastatakse viimane vatiga, pestakse kuumas vees ja kuivatatakse.

Alumiiniumisulamitele sobivad:

- a) fluorhape 0,5 %-line vesilahus;
 - b) reaktiiv: 1% HF, 2,5% HNO_3 , 1,5% HCl ja 95% vett.
- Söövitamine kestab seni, kuni mikrolihvi pind muutub kergelt matiks. Pind peab olema ühtlane, ilma igasuguste täppideta. Söövitada võib kaht moodi:

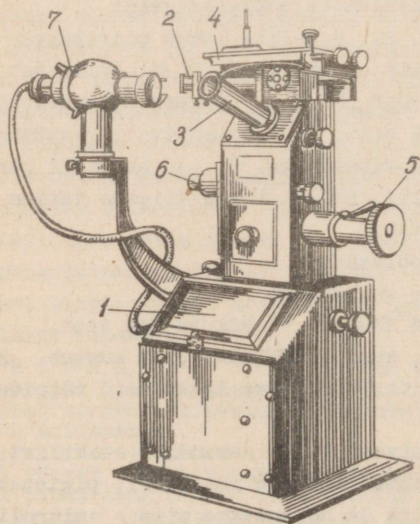
- 1) söövitatav pind asetatakse 3...8 sekundiks reaktiivi;
- 2) võetakse vatitükk, kastetakse see reaktiivi, pigistatakse sellest välja liigne vedelik ja hõõrutakse siis mikrolihvi pinda.

Pärast söövitamist pestakse mikrolihvi pind piirituses ja kuivatatakse filterpaberiga. Selliselt töödeldud pinna vaatlemisel mikroskoobis on struktuuri elemendid hästi näha. Kui mitte, siis tuleb söövitamist korrata.

Metallimikroskoobi ehitus ja käitsemine

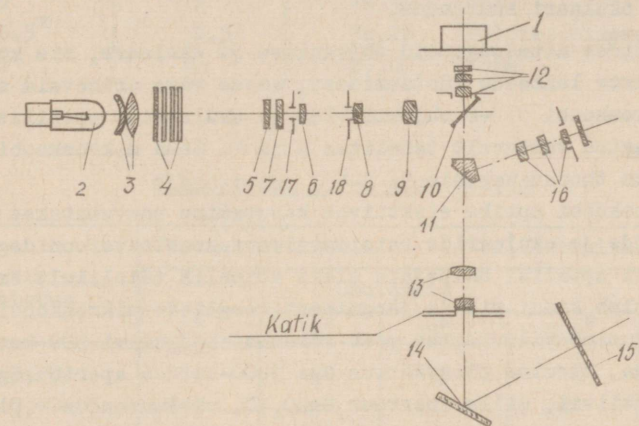
Metallimikroskoopi kasutatakse lihvide ja teiste läbipaistmatute kehade mikrostruktuuri vaatlemiseks ja pildistamiseks mitmesuguse suurendusega.

Mikroanalüüsiks kasutatakse nii vertikaalseid (M M-5, MIM-6) kui ka horisontaalseid (MIM-3, MIM-8 jt.) mikroskoobe. Üheks enamkasutatavamaks metallimikroskoobiks on MIM-6 (joonis 5). Visuaalsel vaatlemisel kindlustab nimetatud mikroskoop kuni 590-kordse suurenduse, fotografeerimisel aga kuni 1416-kordse.



Joonis 5. Metallimikroskoop MIM-6:
1) - fotokamber;
2 - illumiinatsioonitoru;
3 - visuaalatoru koos okulaariga;
4 - töölaud;
5 - mikrokrupi jäme-reguleerimiseks;
6 - mikrokrupi peen-reguleerimiseks;
7 - valgustusseade.

Valgusallikast 2 (joonis 6) väljuvad valguskiired, läbides kollektori 3, valgusfiltrid 4, poolmattplaadi 7, apertuuridiafragma 17, läätsed 6, 8 ja 9 ja väljadiafragma 18, peegelduvad plaadilt 10 ja suunatakse läbi objektiivi 12 lihvile 1. Lihvi pinnalt peegeldunud kiired läbivad uuesti objektiivi 12 ning suunatakse prisma 11 kaudu okulaari 16, seega ühtlasi vaatleja silma.



Joonis 6. Kiirte käik metallimikroskoobis M-6

Selleks, et kujutist fotoplaadile kanda, tuleb vastava kangi abil prisma 11 kõrvale pöörata ja avada sulgur. Nüüd läbivad lihvilt peegeldunud kiired fotookulaari 13, satuvad peeglile 14 ja viimaselt fotoaparaadi mattklaasile 15. Viimase asemele võib panna võtteks ettevalmistatud kasseti.

Töö kestel saab valguse intensiivsust reguleerida kuplil 7 (joonis 5) asetsevate vastavate kruvide ja kollektori 3 (joonis 6) abil. Pildi teravustamiseks tuleb objektiivi 12 lähendada või eemaldada lihvist 1. Seda tehakse esiteks jämereguleerimiskruvi 5 (joonis 5) ja seejärel peenreguleerimiskruvi 6 abil. Lihvi saat

edasi nihutada laua 4 küljes olevate kruvide abil kahes teineteisega risti asetsevas suunas. Nii saab struktuuripildi täiesti teravaks reguleerida.

Mikroskoobi suurenduse leiame järgmise valemiga

$$N_m = N_{obj} N_{ok},$$

kus N_{obj} on objektiivide suurendus;

N_{ok} - okulaari suurendus.

Kasutades mitmesuguseid objektiive ja okulaare, mis koosnevad optiliste läätsede süsteemidest, saame väga erinevaid suurendusi. Mikroskoobi M-6 objektiivide ja okulaaride optilised näitajad on antud vastavalt tabelites 3 ja 4. Sama mikroskoobi suurendused on toodud tabelis 5.

Mikroskoobi optika efektiivne kasutamine saavutatakse ainult objektiivide ja okulaaride ratsionaalsete kombinatsioonidega. Et mikroskoobi optilisi näitajaid oleks võimalik täielikult ära kasutada, tuleb kinni pidada järgmisest reeglist: mikroskoobi suurenduse alumine piirväärtus peab võrduma objektiivi 500-kordse apertuuriga, ülemine piirväärtus aga 1000-kordse apertuuriga. Näiteks objektiivil, mille apertuur on 0,40, on suurendus piirides 200...400.

Tabel 3

Mikroskoobi M-6 objektiivide optilised näitajad

Objektiiv tähistus	Objektiiv suurendus	Aper- tuur	Fookus- kaugus mm	Vabakau- gus mm	Objektiiv tüüp
9 x 0,20	9	0,20	18,2	8,7	Kuiv
21 x 0,40	21	0,20	8,4	1,9	Sama
40 x 0,65	40	0,65	4,6	0,66	"
95 x 1,25	95	1,25	1,96	0,11	Immersioon- objektiiv

Tabel 4

Mikroskoobi MIM-6 okulaaride optilised näitajad

Okulaari tähistus	Okulaari suurendus	Fookuskaugus mm	Okulaari kasutusala
7 ^x	7	36,17	Visuaalvaatlusteks
10 ^x	10	24,76	Sama
15 ^x	15	16,90	Sama
6,5 ^x	6,5	38,28	Pildistamiseks
10 ^x	10	25,00	Sama

Tabel 5

Mikroskoobi MIM-6 suurendused

Objektiiv tähistus	Visuaalvaatlusel		Pildistamisel		
	Okulaarid				
	7 ^x	10 ^x	15 ^x	6,5 ^x	10 ^x
9 x 0,20	63	90	135	86	134
21 x 0,40	147	210	315	201	313
40 x 0,65	280	400	600	383	596
95 x 1,25	665	950	-	909	1416

Laboratoorse töö läbiviimise kord

1. Pärast ülesande saamist tutvuda töö tegemise meetodiliste juhenditega.

2. Valmistada mikrolihv (lihvi valmistamist demonstreerib eelnevalt õpetaja või laborant).

3. Tutvuda metallimikroskoobi ehituse ja tööõhimoetega (töö algul tutvustab õpetaja või laborant õpilasi mikroskoobi ehituse ja tööõhimoetega).

4. Vaadelda mikroskoobis söövitatata mikrolihvi 100...150-kordse suurendusega ja joonistada nähtud struktuuripilt. Selgi-

tada mittemetalsete lisandite olemasolu, paiknevus ja iseloom.

5. Söövitada lihv. Vaadelda söövitatud lihvi sama suurendusega mikroskoobis, joonistada struktuuripilt.

6. Koostada laboratoorse töö aruanne. Selles näidata töö eesmärk ja ülesanne. Kirjeldada lihvi valmistamise tehnoloogiat, söövitamise tähtsust ja kasutatud reaktiive. Joonestada mikroskoobi põhimõtteskeem, näidates sellel kiirte käigu. Kirjeldada mikroskoobi optilist osa ja kiirte käiku. Järgnevalt toodud tabeli kujul anda ülevaade kasutatud metallimikroskoobist ja selle optikast (suurendustel 100...150 ja 700...800 korda).

Metallimikroskoobi tüüp	Vajalik suurendus	Kasutatud suurendus		
		Objektiivil	Okulaaril	Summaarne

Praktiline töö

RAUD-SÜSINIK OLEKUDIAGRAMMI ANALÜÜS

Ülesanne.

1. Joonestada Fe - Fe₃C olekudiagramm.
2. Konstrueerida antud sulamite jahtumiskõverad.
3. Esimese sulami jahtumiskõvera igale osale kirjutada faaside nimetused, teise sulami jahtumiskõvera igale osale märkida aga struktuurikomponentide nimetused.
4. Määrata antud temperatuuril esimese sulami iga struktuurikomponendi hulk (protsentides).

Praktilist tööd teevad õpilased individuaalülesannete järgi. Iga ülesanne sisaldab mitu erineva süsinikusisaldusega terase ja malmi marki. Ülesandes näidatakse ka sulamite temperatuurid. Mõningaid näiteid.

Ülesanne 1. Analüüsida järgmiste raua-süsinikusulamite struktuure:

- a) 4,3% C, temperatuuril 900°C;
- b) 0,1% C, temperatuuril 750°C.

Ülesanne 2. Analüüsida järgmiste raua-süsinikusulamite struktuure:

- a) 2,14% C, temperatuuril 900°C;
- b) 0,8% C, temperatuuril 0°C.

Ülesanne 3. Analüüsida järgmiste raua-süsinikusulamite struktuure:

- a) 5,5% C, temperatuuril 800°C;
 - b) 0,01% C, temperatuuril 200°C
- jne.

Metoodilised juhendid

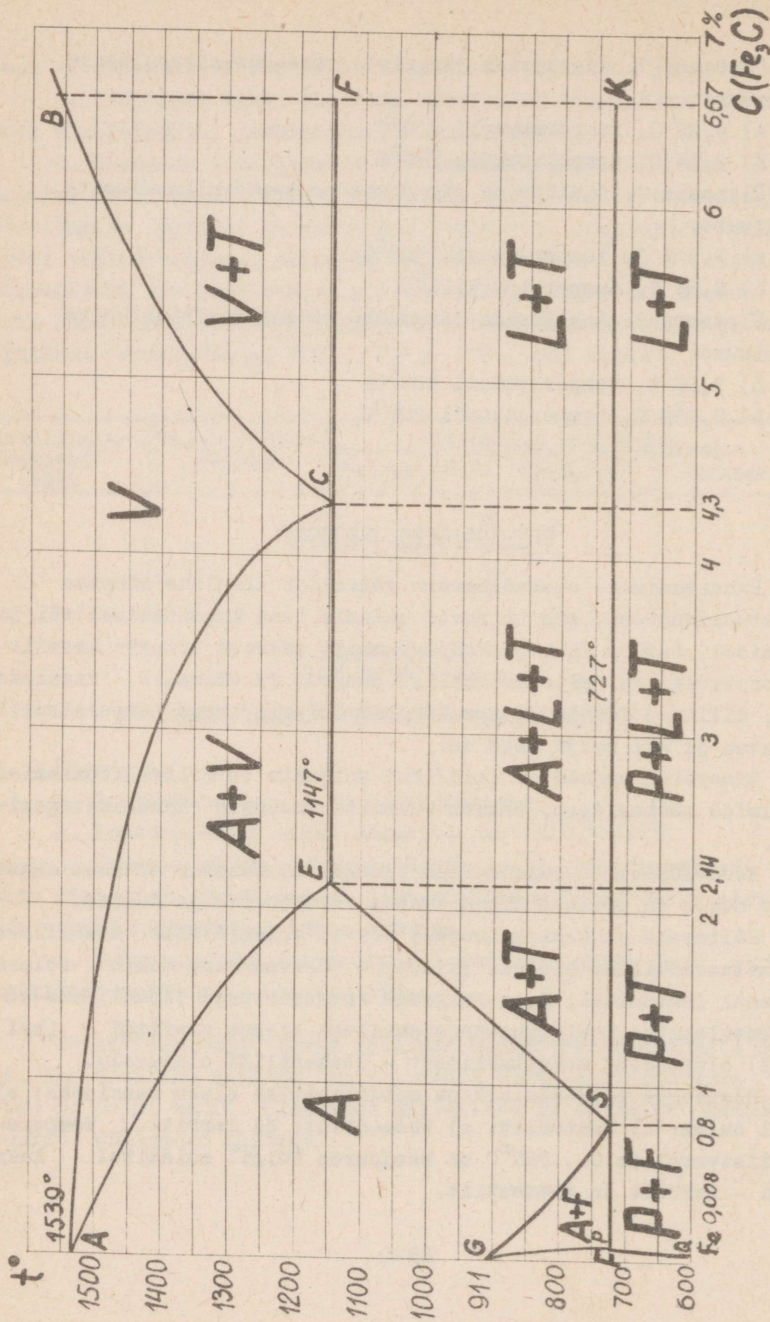
Raud-süsinik olekudiagramm võimaldab kindlaks määrata struktuurimuutusi, mis toimuvad sulamis tema kuumutamisel või jahutamisel. Samuti saab olekudiagrammilt määrata erineva keemilise koostisega sulamite kriitilisi punkte. On võimalik kindlaks teha, millised faasid ja struktuurid sulamis antud temperatuuril esinevad ja kui palju neid on.

Nimetatud andmed on vajalikud sulamite termilise töötlemise režiimide määramiseks, samuti sulamite omaduste kindlakstegemiseks.

Raud-süsinik olekudiagramm (joonis 7) koosneb mitmest osast. Igale osale on iseloomulikud teatud struktuurid ja faasid.

Sõltuvalt jahtumiskiirusest võivad sulamid olla stabiilses või metastabiilses olekus. Esimene - püsivam olek tekib sulami aeglasel jahtumisel. Siin kulgevad faasimuutused lõpuni. Raua-süsinikusulamites iseloomustab stabiilset olekut grafiidi (kui faasi) olemasolu, metastabiilset - tsementiidi olemasolu.

Süsteemis raud-süsinik on metastabiilse oleku faasideks: a) vedel sulam; b) austeniit; c) tsementiit; d) ferriit. Temperatuurintervallis 0...727°C on seejuures kõigil sulamitel kaks faasi - ferriit ja tsementiit.



Joonis 7. Raud-süsiniku olekudiagramm

Struktuurikomponendiks nimetatakse struktuurielementi, mis koosneb ühest või mitmest faasist. Struktuurikomponendid on: a) austeniit; b) tsementiit; c) ferriit; d) perliit; e) ledeburiit. Kaks viimast on kahefaasilised, ülejäänud - ühefaasilised.

Tahket olekut iseloomustavad struktuurikomponendid ja faasid asetsevad allpool solidusjoont AECF. Alades AESG ja QPG koosneb struktuur ühest komponendist, vastavalt austeniidist ja ferriidist. Mõlemad on eraldi faasid. Järelikult, nimetatud alades on sulamitel ühefaasiline struktuur.

Diagrammi teised osad, mida iseloomustavad tahkes olekus sulamid, on kahefaasilised. Näiteks alas KSECF on sulamitel kaks faasi: austeniit ja tsementiit, millised moodustavad erinevaid struktuure (austeniit ja sekundaarne tsementiit; austeniit, ledeburiit ja primaarne tsementiit). Iga koostisosa kujutab endast struktuurikomponenti.

Diagrammile on kirjutatud struktuurikomponentide nimetused, järelikult ka struktuurid, mis koosnevad kahest faasist.

Diagrammi jooned kujunevad kriitiliste punktide ühendamisel. Seega näitavad jooned faasimuutusi - sulami kristalliseerumist või sulamist. Kui kriitiline punkt asetseb kaldjoonel (näiteks joonel PG), siis koosneb sulam kahest faasist. Kui aga kriitiline punkt asetseb horisontaaljoonel (näiteks joonel PSK või ECF), siis on sulam kolmefaasiline.

Diagrammi kaldjooned näitavad faasimuutusi, mis toimuvad muutuval temperatuuril. Jahtumiskõveratel kujutatakse need piirkonnad kaldjoontega. Diagrammi horisontaaljooned iseloomustavad muutumatul temperatuuril toimuvaid faasimuutusi. Ka jahtumiskõveratel kujutatakse neid protsesse horisontaalsete sirglõikudega.

Raua-süsinikusulamite jahtumisel toimuvad muutumatul temperatuuril järgmised muundumised.

1. Joonele PSK vastaval temperatuuril - eutektoidi kujunemine. See toimub tahkes olekus. Austeniit, mille kontsentratsioon vastab punktile S ($C = 0,8$), kristalliseerub ümber kahe faasi - ferriidi (punkt P, $C = 0,02\%$) ja tsementiidi (punkt K, $C = 6,67\%$) ühtlaseks mehaaniliseks seguks. Seda nimetatakse per-

liidiks. Eutektoidse muundumise tagajärjel koosneb ledeburiit allpool 727°C (varem 723°C) perliidist ja tsementiidist.

2. Joonele ECF vastaval temperatuuril, s.o. 1147° (varem 1130°) tekib eutektikum. Vedelast sulamist, milles on 4,3% C, kristalliseerub välja eutektikum, mida nimetatakse ledeburiidiks (austeniit ja tsementiit).

Kui sulamis esineb kaks faasi või kaks struktuurikomponenti, siis võimaldab olekudiagramm määrata mõlema faasi või struktuurikomponendi kaalulist kogust. Selleks kasutatakse kangi reeglit (lõikude reeglit).

Näide 1. Malmis on 4% süsinikku. Määrata iga faasi kogus (protsentides) sulami kristalliseerumise alg- ja lõppmomendil, temperatuuril 727°C .

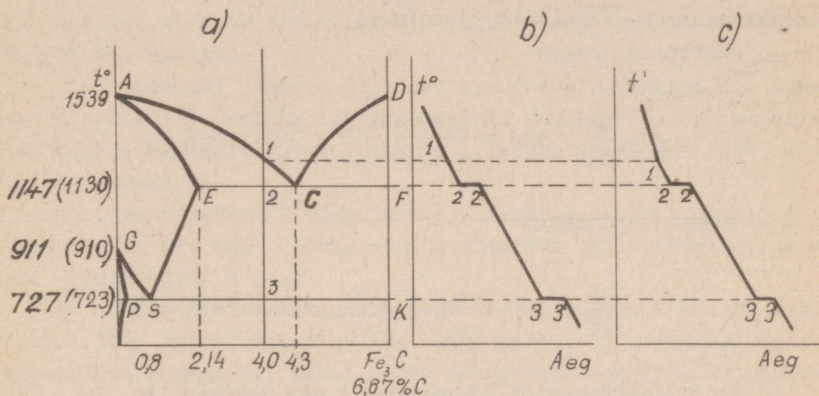
Lahendus. Antud temperatuuril sulamis esinevate faaside kogus määratakse olekudiagrammi abil, kasutades kangi reeglit.

1. Konstrueeritakse olekudiagramm või osa sellest, tõmmatakse sellele vertikaaljoon ja märgitakse sellele kriitilised punktid (joonis 8, a).

2. Olekudiagrammi kõrvale konstrueeritakse jahtumiskõver (joonis 8, b). Analüüsides jahtumiskõvera järgi sulami kristalliseerumisprotsessi, määratakse kindlaks antud temperatuuril esinevad faasid. 4% süsinikusisaldusega malmis esineb punktis 3 (kristalliseerumise algmoment temperatuuril 727°C) kaks faasi - austeniit ja tsementiit. Punktis 3' (kristalliseerumise lõppmoment temperatuuril 727°C) esinevad aga tsementiit ja ferriit.

3. Olekudiagrammi järgi määratakse sulamid, mis antud temperatuuril on ühefaasilised. Antud juhul on kristalliseerumise algmomendil selliseks sulamiks austeniit (C = 0,8%), mis temperatuuril 727°C koosneb ühest faasist, ja komponent - tsementiit (Fe_3C), mille süsinikusisaldus on 6,67%. Kristalliseerumise lõppmomendil esineb sulam, mille süsinikusisaldus on 0,02% ja mis koosneb täielikult ühest faasist (s.o. ferriit), ja komponent - tsementiit (Fe_3C).

4. Läbi punkti, mis vastab valitud temperatuurile, tõmmatakse horisontaalsirge kuni lõikumiseni kahe ühefaasilise sulami piirjoontega. Viimased asetsevad antud punktist paremal ja vasakul (käesoleval juhul lõigud SK ja PK).



Joonis 8. Jahtumiskõverate konstrueerimine: a) osa raud-süsinik olakudiagrammist: kuni punktini 1 esineb vedel sulam; vahemikus 1...2 vedel sulam ja austeniidi kristallid; 2...2' - vedelsulam, austeniidi ja tsementiidi kristallid; 2'...3 - austeniidi ja tsementiidi kristallid; punktis 3 - austeniidi ja tsementiidi kristallid; 3...3' - austeniidi, tsementiidi ja ferriidi kristallid; allpool punkti 3' - tsementiidi ja ferriidi kristallid; b) jahtumiskõver, tema kriitilised punktid ja struktuurikomponendid: punktis 2' - austeniit ja ledeburiit; 2'...3 - austeniit, ledeburiit ja sekundaarne tsementiit; 3...3' - austeniit, perliit, ledeburiit ja sekundaarne tsementiit; allpool punkti 3' - perliit, ledeburiit ja sekundaarne tsementiit

5. Arvutatakse iga faasi kogus (protsentides). Horisontaaljoone pikkus näitab tinglikult sulami üldkogust, s.t. mõlema faasi hulka. Antud temperatuuripunkt 3 jaotab horisontaalsirge kaheks lõiguks: vasak- ja parempoolseks. Viimased näitavad tinglikult faaside kogust. Vasakpoolne lõik näitab seejuures parempoolsel kangi otsal oleva faasi kogust ja vastupidi. Vaadeldaval

juhul (kristalliseerumise algmomendil) näitab horisontaalsirge SK tinglikult sulami kogu massi; lõik 3K - austeniidi (0,8 % C) kogust ja lõik 3S - tsementiidi kogust. Kristalliseerumise lõppmomendil kujutab sulami kogu massi sirglõik PK; lõik 3P näitab tsementiidi, lõik 3K - ferriidi kogust.

Järelikult saab kristalliseerumise algmomendil faaside kogused määrata järgmiselt (joonis 8).

Austeniidi kogus

$$A = \frac{3K}{SK} \cdot 100 = \frac{6,67 - 4,0}{6,67 - 0,8} \cdot 100 = 44\% \quad \begin{matrix} 2,67 \\ 5,87 \end{matrix} \quad 45,5\%$$

Tsementiidi kogus

$$T = \frac{3S}{SK} \cdot 100 = \frac{4,0 - 0,8}{6,67 - 0,8} \cdot 100 = 56\% \quad 54,5\%$$

Kristalliseerumise lõppmomendil aga järgmiselt.

Ferriidi kogus

$$F = \frac{3K}{PK} \cdot 100 = \frac{6,67 - 4,0}{6,67 - 0,02} \cdot 100 = 40\%$$

Tsementiidi kogus

$$T = \frac{3P}{PK} \cdot 100 = \frac{4,0 - 0,02}{6,67 - 0,02} \cdot 100 = 60\%$$

Toodud valemities on kasutatud joonisel 8 näidatud lõikude suhteid.

Näide 2. Määrata näites 1 käsitletud malmis (4% C) esinevate struktuurikomponentide kogus (protsentides) kristalliseerumise lõppmomendil, temperatuuril 1147°C.

Lahendus. Struktuurikomponentide sisaldus määratakse järgmiselt.

1. Analooiliselt näites 1 kirjeldatuga konstrueeritakse olekudiagramm (joonis 8,a), kantakse sellele antud sulamile vastav vertikaalsirge ja märgitakse sellel kriitilised punktid.

2. Paralleelselt olekudiagrammi konstrueerimisega konstrueeritakse ka jahtumiskõver (joonis 8,c). Analüüsidest kristalliseerumise protsessi, tehakse kindlaks sulamis antud temperatuuril esinevad struktuurikomponendid (punkt 2'). Nendeks on austeniit ja ledeburiit.

3. Diagrammil tehakse kindlaks nende süsinikusisaldus (asukoht diagrammil). Selgub, et austeniidis lahustub temperatuuril 1147°C maksimaalselt 2,14% (punkt E), ledeburiidis aga 4,3% süsinikku (punkt C).

4. Olekudiagrammil (joonis 8,a) tõmmatakse läbi punkti 2 horisontaalsirge kuni lõikumiseni austeniidi ja ledeburiidi joonteni - punktideni E ja C.

5. Määratakse struktuurikomponentide kogused. Diagrammil kujutab lõik EC tinglikult sulami kogu massi, s.t. austeniidi ja ledeburiidi summaarset massi. Lõik 2E kujutab tinglikult ledeburiidi kogust, lõik 2C - austeniidi kogust.

Seega, ledeburiiti on antud sulamis

$$L = \frac{2E}{EC} \cdot 100 = \frac{4,0 - 2,14}{4,3 - 2,14} \cdot 100 = 86\%;$$

austeniiti aga

$$A = \frac{2C}{EC} \cdot 100 = \frac{4,3 - 4,0}{4,3 - 2,14} \cdot 100 = 14\%.$$

SÜSINIKTERASTE JA MALMIDE MIKROSTRUKTUURI UURIMINE

SÜSINIKTERASED

Töö eesmärk.

Tutvuda tasakaaluolekus olevate süsinikteraste (lõõmutatud terased) struktuuridega ja nende omadustega.

Ülesanne.

1. Tutvuda süsinikteraste struktuuridega (ferriit, tsementiit, perliit).
2. Uurida proovikehade mikrostruktuuri ja määrata, millisesse klassi (alaeutektoidne, eutektoidne, üleutektoidne) antud teras kuulub.
3. Määrata alaeutektoidse terase ligikaudne süsinikusisaldus ja kriitilised punktid raud-süsinik olekudiagrammil.
4. Joonistada vaadeldud teraste struktuuripildid ja kirjutada neile juurde terases esinevate struktuuride nimetused.
5. Analüüsida uurimistulemusi ja koostada töö protokoll.

Seadmed ja materjalid.

Tööks on vajalikud: a) metallimikroskoop ~~KMM~~-6 või ~~KMM~~-7; b) mikrolihvide komplekt (ferriit, tsementiit, perliit); c) komplekt lõõmutatud süsinikteraste mikrolihve (alaeutektoidne, eutektoidne, üleutektoidne teras); d) album lõõmutatud süsinikteraste mikrostruktuuride fotodega.

Metoodilised juhendid

Tasakaaluolekuks loetakse sulami olekut siis kui faasilised muutused temas on lõpuni kulgenud. Raud-süsinikusulamite faaside ja struktuuride kindlaksmääramine tasakaalustatud olekus olevas sulamis toimub raud-süsinik olekudiagrammi abil (joonis 7).

Pärast täielikku lõõmutamist esinevad süsinikterasest järgmised struktuurid.

F e r r i i t. Ferriidiks nimetatakse süsiniku tahket lahust α -rauas. Ferriit tekib austeniidi ümberkristalliseerumisel, kui viimast jahutada allapoole GS joont (vt. joonis 7).

Ferriidi terade suurus sõltub oluliselt austeniidi jahtumiskiirusest. Mikroskoobis paistavad ferriidi terad heledatena, kusjuures kõigi terade heledus pole ühesugune. Ferriidis lahustub maksimaalselt 0,025 % süsinikku. Süsiniku lahustuvus ferriidis sõltub temperatuurist. Ferriit on plastiline struktuur, ta suhteline pikenedamine $\epsilon = 50\%$. Ferriidi kõvadus (HB = 60... 100) sõltub süsiniku ja teiste temas lahustunud elementide sisaldusest, samuti tera suurusest. Tera suurenemisel ferriidi kõvadus väheneb.

T s e m e n t i i t (Fe_3C) on süsiniku keemiline ühend rauaga (raudkarbiid). Mikroskoobi all näeme väga erineva geometrilise kujuga tsementiiti. Esineb lehelist (liblelist) ja teralist tsementiiti. Sageli ümbritseb ta peene võrguna teiste struktuuride (perliit, ferriit) terasid. Reaktiivid söövitavad tsementiiti vähem kui ferriiti. Seepärast jäävad tsementiiditerad ferriiditeradest mõningal määral kõrgemaks ja paistavad mikroskoobis heledamatena. Kui tekib raskusi tsementiidi ja ferriidi eraldamisel mikroskoobis, siis võib söövitada lihvi pikraatnaatriumiga. Viimane muudab tsementiidi tumedamaks.

Tsementiit on kõige kõvem struktuur (HB > 800). Plastilisus on tal aga praktiliselt võrdne nulliga. Seepärast tõuseb tsementiidi hulga suurenemisel ka terase kõvadus, plastilisus aga väheneb. Tsementiidi kogus sõltub aga terase süsinikusisaldusest ja suureneb koos süsinikuhulga suurenemisega.

P e r l i i t on tsementiidi ja ferriidi eutektoidne segu. Perliit tekib austeniidi lagunemisel aeglase jahutamise protsessis.

Mikrolihvi valmistamisel (lihvimisel) kuluvad tsementiidi lehekesed vähem kui ferriiditerad. Selle tulemusena paistavad nad perliidi üldmassist välja (on kõrgemad). Pealegi söövitub

ta ka vähem kui ferriit. Vaadeldes perliiti mikroskoobis kaldvalgustuse all, võib näha vaheldumisi tumedamaid ja heledamaid vöote.

Sõltuvalt tsementiiditerade kujust eristatakse kaht liiki perliiti:

a) libleline perliit, milles nii tsementiit kui ka ferriit on liblelised;

b) teraline perliit, milles ferriidis asetseval tsementiidil on teraline kaju.

Terade ja liblede piirjooned paistavad mikroskoobis tumedate joontena, mille põhjustajaks on üldmassist väljaulatuvate tsementiiditerade varjud.

Ferriidis sisalduvate tsementiidiosakeste kaju ja mõõtmed mõjutavad oluliselt terase omadusi. Nii on teraline perliit plastilisem, kuid väiksema kõvadusega kui libleline. Teralise perliidi kõvadus HB = 160...220, liblelisel aga HB = 200...250.

Kui tsementiidiosakesed on väga väiksed, siis paistab perliit optilises metallimikroskoobis tumedateralisena, milles pole näha tsementiidiliblesid ega -teri.

Täielikult lõõmutatud süsinikterase struktuur koosneb ülalnimetatud komponentidest ja vastab raud-süsinik olekudia grammile ($\text{Fe} - \text{Fe}_3\text{C}$). Lõõmutatud alaeutektoidsetel terastel, milles on kuni 0,8% C, on ferriit-perliitstruktuur. Mikroskoobis vaatlemisel näeme heledaid ferriiditeri ja tumedamaid perliiditeri. Terase süsinikusisalduse suurenemisel suureneb ka perliidi kogus, koos sellega suureneb ka alaeutektoidse terase kõvadus ja tõmbetugevus, plastilisus aga väheneb.

Lõõmutatud eutektoidsetel terastel (0,8% C) on täielikult perliitstruktuur (teraline või libleline). Eutektoidsete teraste kõvadus ja tõmbetugevus on suuremad kui alaeutektoidsetel, plastilisus aga väiksem.

Lõõmutatud üleutektoidsetel terastel (üle 0,8% C) on perliit-tsementiitstruktuur. Tsementiiti (sekundaarne) näeme mikroskoobis heledate, väikeste teradena või perliiditeri ümbritseva peene, heleda võrguna. See sõltub termilise töötlemise režiimist. Üleutektoidses terases sisalduva perliidi siseehitus ja omadused on analoogilised eutektoidsele terasele.

Süsinikusisalduse määramine

Lõõmutatud terase mikrostruktuuri järgi saab määrata terase ligikaudse süsinikusisalduse. Nagu ülalpool märgitud, koosneb lõõmutatud alaeutektoidse terase mikrostruktuur ferriidist ja perliidist, kusjuures ferriidi süsinikusisaldus ei ületa 0,006%. Kuna nimetatud süsinikusisaldus on tühine, võib seda mitte arvestada. Järelikult on lõõmutatud alaeutektoidse terase kogu süsinik perliidis. Et perliidil ja ferriidil on peaaegu võrdne erimaht, siis saab (teades, kui suure osa mikrolihvi pindalast võtab enda alla perliit) määrata terase süsinikusisalduse protsentides.

Kui perliit moodustab lõõmutatud terase kogu struktuuri, siis sisaldab teras 0,8% süsinikku.

Alaeutektoidsete, tasakaaluolekus teraste süsinikusisalduse saab määrata valemiga

$$C = \frac{S - 0,8}{100} \%$$

kus S on perliidi pindala lihvil (%-des vaatlusvälja üldpindalast).

Üleeutektoidsete teraste struktuur erineb sekundaarse tsementiidi sisalduse poolest. Tavaliselt on tsementiiditeradega kaetud pindala niivõrd väike, et silmaga on seda raske eraldada. Seepärast ei saagi ülalkirjeldatud meetodit üleeutektoidsete teraste süsinikusisalduse määramisel kasutada.

Laboratoorse töö läbiviimise kord

1. Kasutades mikrostruktuuride albumit, vaadelda tähelepanelikult fotodel esinevaid ferriidi, perliidi ja tsementiidi struktuure. Uurida mikroskoobis ülesandes antud lihve ja joonistada nähtud ferriidi, perliidi ja tsementiidi pildid.

2. Joonistada 3...4 mitmesugustest terastest valmistatud lihvi mikrostruktuurid ja määrata, millisesse klassi need tera-

sed kuuluvad (s.t. kas teras kuulub alaeutektoidsete, eutektoidsete või üleutektoidsete teraste hulka).

Mikrostruktuurid joonistada ringikujulisele pinnale, mille läbimõõt on 50 mm või ruudukujulisele pinnale, mille mõõtmed on 60x60 mm. Mikrostruktuuride joonisel ei tule täpselt kopeerida mikroskoobis nähtut struktuuripilti, vaid kujutada sellel ainult olulised, antud terasele iseloomulikud struktuurid.

Kõigi esinevate struktuuride nimetused kirjutatakse joonisele juurde.

Iga struktuuripildi alla märgitakse mikroskoobi suurendus. Alaeutektoidsete teraste vaatlemiseks valitakse 100...200-kordne suurendus, kõiki teisi vaadeldakse 400...600-kordse suurendusega.

3. Määrata alaeutektoidse terase süsinikusisaldus (protsentides).

4. Joonestada raud-süsinik olekudiagrammi teraste osa, s.t. kuni 2,14% C (varem 2% C). Kanda sellele uuritud terase, mille süsinikusisaldus määrati, vertikaaljoon, millele kanda kriitilised punktid.

5. Koostada laboratoorse töö aruanne. Selles näidata töö eesmärk ja ülesanne. Joonestada raud-süsinik olekudiagrammi teraste osa, kandes sellele uuritud terase kriitilised punktid ja struktuuride nimetused. Aruandes tulevad joonistada ka ferriidi, perliidi ja tsementiidi struktuurid, samuti vaadeldud 3...4 terase (alaeutektoidse, eutektoidse ja üleutektoidse) struktuurid.

Lisaks sellele tuleb protokollis struktuuripildi järgi määrata alaeutektoidse terase süsinikusisaldus ja analüüsida töö tulemusi (terase omaduste sõltuvust mikrostruktuurist ja mikrostruktuuri sõltuvust terase süsinikusisaldusest).

MALMID

Töö eesmärk.

Tutvuda valge-, hall- ja tempermalmide mikrostruktuuridega.

Ülesanne.

1. Tutvuda malmi struktuuridega (tsementiidi, perliidi, ledeburiidi, ferriidi ja mitmesugusel kujul esineva grafiidiga) ja nende omadustega.

2. Uurida alaeutkilise, eutekilise ja üleutekilise valgemalmi, samuti hallmalmi, ülitugeva malmi ja tempermalmi mikrostruktuuri.

3. Joonistada vaadeldud lihvide mikrostruktuurid ja näidata kõik neil esinevad struktuurikomponendid.

4. Analüüsida esinevaid struktuure, kirjeldada nende omadusi ja tekkimise tingimusi.

5. Koostada töö aruanne.

Seadmed ja materjalid.

Tööks on vajalikud: a) metallimikroskoop MIM-6 või -7;
b) mikrolihvide komplekt (alaeutekilise, eutekilise ja üleutekilise valgemalmi, samuti hallmalmi, ülitugeva malmi ja tempermalmi lihvid; c) malmi mikrostruktuuride album.

Metoodilised juhendid

Malm on raua, süsiniku ja mõnede teiste elementide sulam. Süsinikku on malmis üle 2,14%, ta esineb grafiidi või tsementiidina.

Malmi struktuur sõltub keemilisest koostisest ja jahtumise kiirusest. Mikroskoobis nähtava struktuuri järgi liigituvad valumalmid valge-, hall- ja ülitugevateks malmideks.

Valgemalm tekib sulamalmi kiirendatud jahutamisel. Tema murdepind on valkjasmatt. Peaaegu kogu süsinik esineb valgemalmis tsementiidina (Fe_3C), s.t. on keemiliselt seotud rauaga.

Sõltuvalt süsinikusisaldusest eristatakse kolme valgemalmi liiki: alaeutekiline (kuni 4,3% C), eutekiline (4,3% C) ja üleutekiline (üle 4,3% C) malm.

Alaeutekilistes malmides esineb kolm erinevat struktuuri: perliit, ledeburiit ja sekundaarne tsementiit. Perliit esineb

struktuuripildis tumedate teradena, ledeburiit - eraldi asetsevate laikudena. Igal sellisel laigul võib eristada valge tsementiidi taustal ühtlaselt jaotatud peeneid ümmargusi või väljavenitatud tumedaid perliiditerakesi.

Koos süsiniku hulga suurenemisega suureneb alaeutetilise malmi struktuuris ka ledeburiidi protsent. Samal ajal väheneb aga struktuuripildis perliidi ja sekundaarse tsementiidi protsent. Sekundaarne tsementiit esineb struktuuripildis heledate teradena.

Eutetilise malmi struktuur koosneb ainult ledeburiidist. Viimane kujutab endast perliidi ja tsementiidi ühtlast mehaanilist segu.

Üleeutetilisel malmil on ledeburiit-tsementiitstruktuur. Siin esinevat tsementiiti nimetatakse primaarseks tsementiidiks, sest ta tekib otse sulamalmist selle tardumisel. Koos malmi süsinikusisalduse suurenemisega suureneb struktuuripildis ka primaarse tsementiidi hulk.

Valgemalmi struktuuri iseloomustab väga kõvade ja väikse plastilisusega komponentide - tsementiidi ja ledeburiidi olemasolu. Selle tulemusena ongi valgemalm väga kõva, väikese plastilisusega ja lõiketeradega raskesti töödeldav. Nimetatud põhjustel on masinaehituses valgemalmi kasutamine piiratud.

H a l l m a l m i l on hall murdepind. See on seletatav grafiidi esinemisega tema struktuuris. Hallmalmi struktuuri metallne põhimass võib olla ferriitne, ferriitne-perliitne või perliitne.

Ferriitse hallmalmi struktuuri kuulub ferriit (hele põhimass) ja libeleline grafiit (tumedad libled). Ferriitse-perliitse hallmalmi struktuuripildis näeme ferriiti (hele põhimass), perliiti (hall põhimass) ja libelist grafiiti (tumedad libled). Perliit- ses hallmalmis esineb perliit (hall põhimass) ja libeleline grafiit (tumedad libled).

Võrreldes hallmalmi metallse põhimassi tugevusega, on grafiidi tugevus tühine. Tugevuse seisukohalt võib grafiidipesasid vaadelda kui tühikuid. Mida ühtlasemalt on grafiit metallses põhimassis jaotatud, seda peenemad on grafiiditerad ja nende kuju läheb kera kujule. Kui aga grafiit on kerakujuline, lõhestab ta vä-

hem metalli ja selle tulemusena suureneb malmi tugevus. Grafiidisisaldus vähendab küll malmi mehaanilisi omadusi, kuid tõstab samal ajal kulumiskindlust ja vibratsioonikindlust.

Ü l i t u g e v a s m a l m i s näeme mikroskoobi all metalset põhimassi (perliit ja ferriit, tsementiit ja perliit või ferriit) ja kerakujulist (globulaarset) grafiiti. Ülitugeva malmi saamiseks lisatakse sulemalmile magneesiumi või tseeriumi. Malmi suure tugevuse kindlustab grafiiditerade kuju ja metalse põhimassi struktuur.

T e m p e r m a l m saadakse valgemalmi lõõmutamisel. Lõõmutamisel laguneb valgemalmis esinev tsementiit rauaks ja grafiidiks. Tekkinud grafiit on pesakujuline (tumedad osad struktuuripildis), mis kindlustabki malmile hea plastilisuse. Sõltuvalt metalse põhimassi struktuurist eristatakse perliitseid, perliitseid-ferriitseid ja ferriitseid tempermalme.

Laboratoorse töö läbiviimise kord

1. Kasutades mikrostruktuuride albumit, vaadelda hoolikalt piltidel esinevaid alaeutektilise, eutektilise ja üleutektilise valgemalmi struktuurikomponente. Uurides mikroskoobi all (300... 600-kordne suurendus) lihve, selgitada välja neil esinevad struktuurid ja joonistada nähtud struktuuripildid.

Struktuuripildid joonistada 50-mm läbimõõduga ringidesse või ruutudesse, mille mõõtmed on 60x60 mm. Iga struktuuripildi kõrvale kirjutada sellel esinevad struktuurid. Struktuuripildi alla kirjutatakse malmi nimetus ja mikroskoobi suurendus.

2. Uurida hallmalmi, ülitugeva malmi ja tempermalmi struktuure fotodelt.

3. Uurida punktis 2 näidatud malmide struktuure mikroskoobi all (400...600-kordne suurendus). Joonistada nähtud struktuuripildid ja määrata malmi liik. Kõik struktuuripildil esinevate erinevate struktuuride nimetused kirjutada struktuuripildi kõrvale.

4. Analüüsida vaadeldud struktuure, kirjeldada iga struktuuri kujunemise põhjusi. Selgitada iga struktuurikomponendi mõju malmi omadustele. Näidata, mille poolest erineb hallmalm terasest.

5. Koostada laboratoorse töö aruanne. Aruandes näidata töö eesmärk ja ülesanne. Joonestada raud-süsinik olekudiagrammi malmide osa ja näidata sellel valgemalmide struktuurid. Joonistada vaadeldud valgemalmide struktuuripildid, mille juurde kirjutada struktuuride nimetused, samuti malmi klasside nimetused.

Joonestada raud-süsinik olekudiagrammi malmide osa ja näidata sellel hallmalmi struktuurid. Joonistada vaadeldud struktuuripildid, mille juurde kirjutada struktuuride nimetused.

Analüüsida vaatluse tulemusi.

Laboratoorne töö nr. 4

KONSTRUKTSIOONI- JA TÖÖRIISTATERASTE MIKROSTRUKTUURI UURIMINE

Töö eesmärk.

Õppida tundma legeritud konstruktsiooni- ja tööriistateraste struktuuri ja omadusi.

Ülesanne.

1. Tutvuda austeniit-, ferriit- ja karbiidklassi legeritud teraste mikrostruktuuridega.
2. Uurida antud proovikehade mikrostruktuure ja määrata, millesse klassi iga proovikeha (teras) kuulub.
3. Joonistada vaadeldud struktuuripildid.
4. Uurida kiirlõiketerase P9 (P 18) mikrostruktuuri: a) valatud proovikehal; b) sepistatud ja lõõmutatud proovikehal; c) karastatud proovikehal; d) karastatud ja kolm korda noolutatud proovikehal.
5. Analüüsida kiirlõiketeraste omaduste muutumist sõltuvalt termilisest töötlemisest.
6. Koostada laboratoorse töö aruanne.

Seadmed ja materjalid.

Tööks on vajalikud: a) metallimikroskoop MUM-6 või MUM-7;

b) austeniit-, ferriit- ja karbiidklassi legeeritud konstruktsiooniteraste mikrolihvide komplekt; c) kiirlõiketeraste P9 (P18) mikrolihvide komplekt; d) uuritavate teraste mikrostruktuuride album.

Metoodilised juhendid

Legeeritud teraseks nimetatakse sellist terast, mis peale tavaliste lisandite sisaldab veel teisi, spetsiaalselt lisatud lisandeid, näiteks mangaani, niklit, kroomi, räni, volframi, vaske jt. Nimetatud elemendid parandavad terase mehaanilisi omadusi.

Legeeritud elementide lisamine mõjutab mitmeti kriitiliste punktide asukohta, austeniidi lagunemisprotsessi, martensiidi kujunemist ja karbiidide tekkimist terases.

Kroom, mangaan, molübdeen, volfram, titaan ja vanaadium moodustavad terases lihtkarbiide (Cr_4C ; VC; TiC jt.) või lihtkarbiide ($[FeCr]_7C_3$; Fe_2Mo_2C jt.), mida iseloomustab suur kõvadus. Samal ajal aga räni, koobalt, nikkel, vask ja alumiinium karbiide ei tekita, vaid esinevad tahkes lahuses (ferriidis või austeniidis).

Legeerivad elemendid muudavad terase kriitiliste punktide A_{C1} ja A_{C3} asukohta, kusjuures kroom, molübdeen ja vanaadium (Cr, Mo, V) tõstavad neid, nikkel ja mangaan (Ni, Mn) aga madaldavad.

Kõik terasele lisatud legeerivad elemendid, välja arvatud koobalt ja alumiinium, madaldavad perliittäppi. Järelikult takistavad nad jahtumisel suuremal või väiksemal määral austeniidi lagunemist ja madaldavad seega ühtlasi ka martensiidi tekkimise temperatuuri.

Lõõmutatud legeeritud terastel on olekudiagrammil näidatud struktuur. Normaliseeritud legeeritud terased jaotatakse aga 5 klassi: perliitne, martensiitne, austeniitne, ferriitne ja karbiidne teras.

Perliitklassi kuuluvad madalaltlegeeritud terased. Sõltuvalt süsinikusisaldusest on neil perliit-, ferriit-perliit-, tsementiit-perliit-, sorbiit- või troostiitstruktuur.

Legeeritud perliitklassi konstruktsiooniterastel (20 T , 40 T , 40 T T jt.) on süsinikkonstruktsiooniterastega võrreldes paremad mehaanilised omadused, mistõttu neid kasutatakse masinaehituses vastutusrikkamate detailide valmistamiseks.

Legeeritud perliitklassi tööriistateraseid (X, 9XC jt.) kasutatakse lõikeriistade ja stantside valmistamiseks.

M a r t e n s i i t k l a s s i kuuluvatel terastel on kõrgendatud legeerivate elementide sisaldus. Pärast normaliseerimist on neil terastel martensiitstruktuur. Sellised terased on suure kõvadusega, haprad, raskesti lõigatavad. Seepärast neid eriti palju ei kasutata (välja arvatud 18XHBA, 25XHBA).

A u s t e n i i t k l a s s i terased kuuluvad kõrgeltlegeeritud teraste hulka. Nad sisaldavad 12...30% legeerivaid elemente (Ni, Mn, Cr, Ti). Austeniitklassi terastel on erilised füüsikalise-keemilised omadused. Nad võivad olla rooste-, kuumus- ning happekindlad.

Legeerivad elemendid madaldavad kriitilist punkti A_{c3} seda võrd, et pärast normaliseerimist tekib austeniitstruktuur väikese karbiidide lisandiga.

F e r r i i t k l a s s i kuuluvad madala (0,2...0,4%) süsiniku- ja suure (kuni 30%) legeerivate elementide sisaldusega terased. Kroom, räni jt. legeerivad elemendid ahendavad δ -raua ala. Seepärast ei esine selles terases tahkes olekus muundumisi. Ferritterastel on ka legeeritud ferriit- või legeeritud ferriit-karbiidstruktuur. Järelikult esineb selles terases mistahes temperatuuril ainult α -raud.

K a r b i i d k l a s s i kuuluvad terased, milles on 0,7...2% süsinikku ja kuni 25% karbiide tekitavaid legeerivaid elemente (volfram, vanaadium, kroom, molübdeen). Selle klassi teraseid iseloomustabki suur karbiidide sisaldus.

Karbiidklassi teraseid X12M, P9, P18 kasutatakse raskel režiimil töötavate lõikeriistade ja stantside valmistamiseks. Kiirlõiketerastele P9 ja P18 tagatakse head lõikeomadused, punapüsivus ja kulumiskindlus keemilise koostise (tabel 6) ja termilise töötlemisega.

Tabel 6

Kiirloomiketeraste keemiline koostis

Terase mark	Keemiline koostis %							Teised lisan- did	Brinelli kõvadus HB
	Volfram W	Kroom Cr	Vanaadium V	Süsinik C	Man- gaan Mn	Räni Si			
P18	17,5...19,0	3,8...4,4	1,0...1,4	0,7...0,8	0,4	0,4	< 0,76	207...285	
P9	8,5...10,0	3,8...4,4	2,0...2,6	0,85...0,95	0,4	0,4	< 0,76	207...285	

Kiirlõiketeraste termilisel töötlemisel kuumutatakse neid temperatuurini 1280°C, jahutatakse õlis ja noolutatakse siis kolm korda temperatuuril 560°C (kõrge noolutus).

Valatud kiirlõiketerastel on ledeburiit-trostiit-sorbiit-struktuur. Ledeburiitses eutektikumis näeme mikroskoobi all hallil põhimassil austeniidi või tema lagunemisproduktide kristalle, trostiit paistab mikroskoobi all tumedate, sorbiit - heledate osakestena. Terade piirjoontel asetsev ledeburiitne eutektikum teeb terase rabadaks.

Selleks, et purustada terade ümber paiknevat ledeburiitset eutektikumi, valatud kiirlõiketerast valtsitakse või sepihõõrutatakse (lisaks sellele veel lõõmutatakse). Sepistatud või lõõmutatud kiirlõiketerase mikrostruktuur koosneb primaarsest karbiididest (suured ovaalsed heledad osakesed), sekundaarsest karbiididest (peened heledad osakesed) ja sorbiidist (põhimass). Kiirlõiketerase P18 mikrostruktuur erineb pärast sepihõõrutamist ja lõõmutamist terase P9 struktuurist primaarsest karbiidide hulga poolest. Terases P18 on neid suurema volframisalduse tõttu rohkem.

Karastatud kiirlõiketerase struktuur koosneb legeeritud nõeljust martensiidist, primaarsest karbiididest ja jääkausteniidist. Viimase maht moodustab üldmahust kuni 35%. Jääkausteniit pole terase struktuuris soovitatav. Mikrolihvi söövitamisel tulevad nähtavale põhiliselt algsete austeniidikristallide piirjooned, samal ajal aga põhistruktuur, martensiit, on väga halvasti nähtav. Seepärast paistab karastatud kiirlõiketerase struktuur väliselt koosnevat austeniidist ja karbiididest. Karastatud terase kõvadus HRC = 58...59.

Kiirlõiketeras saab parimad lõikeomadused pärast noolutamist. See seletub noolutamiseega kaasnevate struktuurimuutustega. Kiirlõiketerase lõikeomadused ületavad kõrgekvaliteetse süsinik-tööriistaterase 710 lõikeomadusi 5...10-kordselt.

Kiirlõiketerase ühekordsel noolutamisel ainult osa jääkausteniiti kristalliseerub ümber martensiidiks. Ka sisepinged kaovad ainult osaliselt. Kolmekordne kõrge noolutus kindlustab põhjalike struktuurimuutuste tõttu ka omaduste tunduva parane-

mise. Noolutamine toimub temperatuuril 500...580°C. Hoideaeg igal noolutamisel 1 tund. Pärast kolmekordset noolutust koosneb kiirlõiketeraste P18 ja P9 struktuur noolutatud legeeritud martensiidist ja karbiididest. Terasse kõvadus pärast kolmandat noolutust HRC = 65...63.

Kiirlõiketerastel lõpeb martensiidi tekkimine temperatuuril -80°C. Seepärast on võimalik jääkausteniiti martensiidiks muuta ka terast külмага töödeldes. Külмага töötlemine võimaldab lühendada termilise töötlemise kestust.

Terast töödeldakse külмага kohe pärast karastamist. Sellega välditakse austeniidi stabiliseerumist. Külмага töödeldud ja seejärel noolutatud kiirlõiketerase struktuur ja omadused on analoogilised kolmekordselt noolutatud terase struktuuriga ja omadustega.

Laboratoorse töö läbiviimise kord

1. Vaadelda mikrostruktuuride albumis esinevate fotode abil austeniit-, ferriit- ja karbiidklassi teraste mikrostruktuure.

2. Joonistada mikroskoobi all 200...600-kordse suurendusega vaadeldud 3...4 erinevast klassist terase mikrostruktuurid ja teha albumi abil kindlaks, millisesse klassi iga vaadeldud teras kuulub.

3. Vaadelda albumis esinevate mikrostruktuuride fotode abil kiirlõiketeraste P9 (P18) struktuure: a) valatud terasel, b) sepietatud ja lõõmutatud terasel, c) karastatud terasel ja d) karastatud ning kolm korda noolutatud terasel.

4. Uurida mikroskoobi all lihve, joonistada nende mikrostruktuurid ja kirjutada neile juurde struktuurikomponentide nimetused.

5. Analüüsida kiirlõiketerase omaduste muutumist tema termilisel töötlemisel.

6. Koostada laboratoorse töö aruanne. Selles näidata töö eesmärk ja ülesanne. Joonistada 3...4 antud terase mikrostruktuurid, määrata teraste klass. Mikrostruktuuridele kirjutada

juurde struktuurikomponentide nimetused. Joonistada erinevalt termiliselt töödeldud kiirlõiketeraste P9 (P18) struktuuripildid, näidates igaühel neist struktuurikomponentide nimetused. Analüüsida kiirlõiketerase omaduste muutumist sõltuvalt termilisest töötlemisest.

Laboratoorne töö nr. 5

SÜSINIKTERASE KARASTAMINE JA NOOLUTAMINE

Töö eesmärk.

Süsinikteraste termiliseks töötlemiseks vajalike kogemuste omandamine.

Ülesanne.

1. Määrata antud proovikehade (detailide) karastamise režiim. Karastada proovikehad.
 2. Määrata kõigi karastatud proovikehade kõvadus.
 3. Määrata noolutamise režiimid ja noolutada proovikehad madalalt, keskmiselt ja kõrgelt.
 4. Määrata proovikehade kõvadus pärast madalat, keskmist ja kõrget noolutamist.
 5. Analüüsida termilise töötlemise mõju süsinikteraste mehaanilistele omadustele.
 6. Koostada laboratoorse töö aruanne.
- M ä r k u s. Laboratoorset tööd teevad õpilased 2...3-liikmelistes brigaadides. Igale brigaadile antakse 4...5 ühest ja samast süsinikterase margist proovikeha või detaili. Termiliselt töödeldud proovikehad (detailid) säilitatakse ja kasutatakse järgmise laboratoorse töö (nr. 6) tegemisel.

Seadmed ja materjalid.

Tööks on vajalikud: a) termoelektriliste püromeetritega varustatud muhvelahi; b) sepapihid; c) vee- ja õlipaagid; d) Rockwelli press; e) süsinikkonstruktiooniterasest (40, 45, 50) proovikehad või detailid; f) süsinikterastest (Y9, Y10, Y12) proovikehad või detailid.

Terase karastamine

Teraste karastamise eesmärgiks on mehaaniliste omaduste: kõvaduse, tõmbetugevuse, elastsuse ja kulumiskindluse tõstmine.

Karastatakse lõike- ja mõõteriistu ning masinaosi, mis töötavad kulumisele või suurte koormuste all (lõiketerad, puurid, mukk- ja väntvõllid, klapid, adrahõlmad jt.).

Terase karastamine koosneb järgmistest operatsioonidest:

- a) detaili kuumutamine vajaliku temperatuurini;
- b) hoidmine antud temperatuuril selleks ette nähtud aja (hoideaaja) vältel;
- c) detaili jahutamine vajaliku kiirusega.

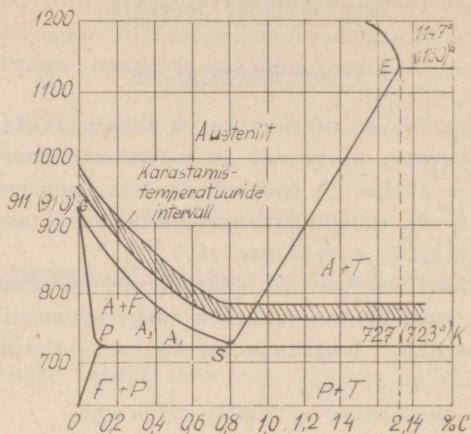
Nagu eespool õpitust teada, saab teras karastamisel martensitstruktuuri, mis tekib austeniidist selle järsul jahutamisel.

Karastamiseks tuleb detaili kuumutada sellisel temperatuuril, et toimuks algstruktuuride (näiteks ferriit-perliitstruktuur) ümberkristalliseerumine austeniidiks. Seepärast tuleb kuumutustemperatuuri määramisel lähtuda terase süsinikusisaldusest ja vastavalt sellele määrata olekudiagrammilt vajalik kuumutus-temperatuur (joonis 9). Alaeutektoidsetele terastele määratakse kuumutustemperatuur valemiga $A_{C3} + (30...50) ^\circ C$, eutektoidsetele aga $A_{C1} + (30...50) ^\circ C$.

Nimetatud temperatuurivahemikud on antud terastele ideaalsed. Sellisel temperatuuril kuumutatud detailide karastusefekt on maksimaalne. Teras saab suure kõvaduse ja tõmbetugevuse, süsiniku väljapõlemine detaili pinnalt ja detaili kõverdumine on minimaalne.

Kõrgemat ega madalamat karastustemperatuuri pole soovitatav valida.

Kuumutus- ja hoideaeg on vajalikud faasimuutuste kulgemiseks metallis. Faasimuutused algavad temperatuuril A_{C1} (ferriidi ja tsementiidi ümberkristalliseerumine austeniidiks). Kuumutus- ja hoideaaja vältel ühtlustub (aatomite difusiooni tõttu) süsiniku ja teiste elementide kontsentratsioon kujunevas austeniidi



Joonis 9. Terase karastamise optimaalne temperatuuriintervall

kristallvõres. Kui hoideaeg on ebapiisav, siis säilib osa ferriiti metalli struktuuris (ka pärast jahutamist). Selle tulemusena halveneb karastatud terase kvaliteet tunduvalt. Kuumutus- ja hoideaeg sõltuvad kuumutus temperatuurist, kuumutuskeskkonnast ja detaili kujust (tabel 7).

Detaili tuleb jahutada vajaliku kiirusega, et kindlustada ette nähtud karastusstruktuuri (martensiit, troostiit, sorbiit) ja mehaaniliste omaduste saamist.

Eriti tähtis on jahutuskeskkonna mõju järgmistes temperatuurintervallides: a) 600...400°C, kus austeniit on väikese stabiilsusega, võib kergesti laguneda ja selle tulemusena tekkida sorbiit või troostiit; b) 300...200°C, kus tekib martensiit ja suureneb metalli maht.

Temperatuurivahemikus 600...400°C peab terast jahutama suure kiirusega, vahemikus 300...200°C aga aeglaselt (tabel 8).

Tabel 7

Kuumutusaeg (minutites) terase termilisel
töötlemisel laboratooriumi elektriühjades

Kuumutustem- peratuur °C	Proovikeha (detaili) kuju		
	Ring	Ruut	Plaat (leht)
	Läbimõõdu 1 mm kohta	Paksuse 1 mm kohta	
600	2,0	3,0	4,0
700	1,5	2,2	3,0
800	1,0	1,5	2,0
900	0,8	1,2	1,6
1000	0,4	0,6	0,8

Tabel 8

Terase jahtumiskiirused mitmesugustes
karastamiskeskondades

Karastamiskeskond	Jahtumiskiirus tempera- tuuriintervallis, deg/s	
	650...550°C	300...200°C
1	2	3
Vesi 18°C juures	600	270
Vesi 28°C juures	500	270
Vesi 50°C juures	100	270
Vesi 74°C juures	30	200
Sööbenaatriumi (10%) lahus vees 18°C juures	1200	300
Keedusoola (10%) lahus vees 18°C juures	1100	300
Sooda (10%) lahus vees 18°C juures	800	270
Väävelhappe (10%) lahus vees 18°C juures	750	300
Destilleeritud vesi	250	200
Õliemulsioon vees	70	200

1	2	3
Mineraalne masinaõli	150	30
Transformaatoriõli	120	25
Tina (75%) ja kaadmiumi (25%) sulam	450	50
Liikumatu õhk	18	-

Tabelist 8 selgub, et vee jahutusvõime sõltuvalt tema temperatuurist muutub esimeses temperatuuriintervallis suuresti, teises aga praktiliselt ei muutu. Õli jahutusvõime on tunduvalt väiksem nii esimeses kui ka teises temperatuuriintervallis. Õli põhiline eelis on selles, et ta kindlustab väikese jahtumiskiiruse teises temperatuuriintervallis. Seega on õli sobivam ja hädaohutum pingete ja karastuspragude tekkimise seisukohalt lähtudes.

Arvestades ülaltoodut karastatakse keskmise süsinikusisaldusega konstruktsiooniteraseid (välja arvatud õhukesed lehed ja detailid) vees, süsinik-tööriistateraseid aga õlis või kahes keskkonnas - veest õlisse.

Terase noolutamine

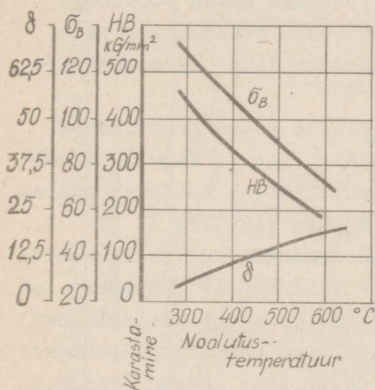
Karastatud terase haprus ja pingestatud olek takistavad tema praktilist kasutamist. Selleks, et vähendada karastatud terase haprust ja temas esinevaid sisepingeid, terast noolutatakse. Noolutamiseks kuumutatakse terast temperatuurini, mis ei ületa 727°C, hoitakse sellel temperatuuril ja jahutatakse aeglaselt ümbritseva keskkonna temperatuurini.

Noolutamise tulemusena muutub karastatud terase struktuur ja järelikult ka mehaanilised omadused: löögitugevus, elastsuspiir ja plastilisus suurenevad, sise- ja jääkpinged aga vähenevad, sõltuvalt noolustus temperatuurist väheneb ka terase kõvadus.

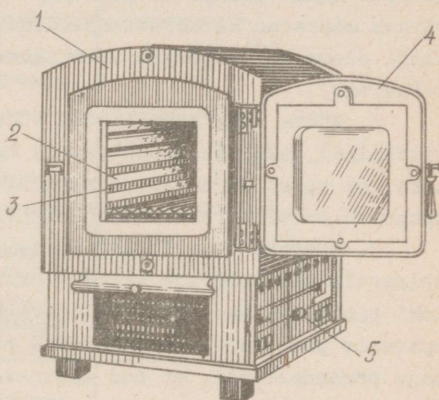
Olenevalt kuumutustemperatuurist eristatakse madalat, keskmist ja kõrget noolutamist.

Madalal noolutamisel kuumutatakse karastatud terast 150... 250°C. Noolutatud terasel säilib martensiitstruktuur, kuid tema ruumvõre on mõnevõrra muutunud. Selle tulemusena väheneb terase kõvadus ja sisepinged, plastilisus aga suureneb.

Keskmisel (250...450°C) ja kõrgel noolutamisel (450...600°C) terase martensitstruktuur kristalliseerub ümber vastavalt noolutatud troostiidiks või noolutatud sorbiidiks. Joonisel 10 toodud diagrammil on näidatud keskmise süsinikusisaldusega terase (0,45%) mehaaniliste omaduste sõltuvust noolustemperatuurist. Mida kõrgem noolustemperatuur, seda väiksem kõvadus ja suurem plastilisus ning sitkus terasel on. Seepärast nimetatakse karastamisel järgneva kõrge noolutamise p a r e n d a m i s e k s. Hoidaeg sõltub detaili kujust ja kuumutustemperatuurist (tabel 7).



Joonis 10. Noolustemperatuuri mõju terase mehaanilistele omadustele



Joonis 11. Elektri-muhvelahi

Süsinikteraseid võib noolutamisel jahutada suvalise kiirusega, sest noolustemperatuur on madalam faasiliste muutuste temperatuurist A_{C1} ja seega struktuurimuutusi (lähtestruktuuride tekkimist) terases ei toimu.

Laboratocriumides kuumutatakse detaile elektri-muhvelahjudes (joonis 11). Elektri-muhvelahi koosneb metallsest korpusest 1, milles asetseb muhvel 2. Viimasesse on monteeritud kuumutusspiraalid 3. Ahju töökamber suletakse uksega 4.

Ahju temperatuuri reguleeritakse reostaadi abil. Selleks on ahju küljel käepide 5. Temperatuuri mõõtmiseks kasutatakse termoelektrilisi püromeetreid. Termopaaride otsad suunatakse ahju läbi tagaseinas olevate avade.

Enne termilist töötlemist tuleb ahi ette kuumutada.

Laboratoorse töö läbiviimise kord

1. Määrata raud-süsinik olekudiagrammilt nelja ühest ja samast terasest proovikeha (detaili) karastustemperatuurid. Reguleerida kuumutusahju temperatuuri nii, et see oleks 10...20°C kõrgem määratud karastustemperatuurist (ahju temperatuur peab alati olema veidi kõrgem kuumutatavate detailide kuumustemperatuurist).

2. Mõõta kõik termiliseks töötlemiseks antud proovikehad (detailid), määrata kuumutus- ja hoideaeg, mis on vajalikud selleks, et teras karastuks martensiitstruktuurile. Hoideaeg määratakse sõltuvalt proovikeha (detaili) kujust tabelist 7.

3. Asetada proovikehad (detailid) kuumutusahju ja kuumutada eelnevalt määratud aja vältel. Ohutuse seisukohalt lähtudes ei tohi pihvidega ega ahju asetatavate proovikehadega (detailidega) spiraale puudutada. Kuumutatavad proovikehad (detailid) pannakse ahju põrandale nii, et nad asetsevad üksteisest teatud vahekaugusel. Proovikehade (detailide) ahjupanek ja sealt väljavõtmine peab toimuma kiiresti (et mitte ahju jahutada).

4. Võtta proovikehad (detailid) ahjust ja asetada kiiresti karastamisvedelikku. Karastamisvedelik valida tabelist 8.

Selleks, et vees ja õlis jahutamisel ei tekiks karastatava proovikeha (detaili) ümber aurusärki, tuleb karastatavat proovikeha (detaili) jahutamise ajal pidevalt liigutada. Aurusärk põhjustab kõvaduse vähenemist neis kohtades, kus ta tekkis.

5. Kuivatada proovikehade (detailide) otspinnad ja puhastada need siis smirgelpaberiga. Määrata Rockwelli pressil karastatud proovikehade (detailide) kõvadus (HRC), kandes tulemused allpool näidatud tabelisse.

Süsinikteraste termilise töötlemise lähteandmed
ja tulemused

Nr.	Terase mark	Proovikeha (detaili) läbimõõt või paksus mm	Karastustemperatuur °C	Kuumutusaeg karastamisel min	Karastamiskeskond	Kõvadus pärast karastamist HRC	Hoidaeg noolutamisel min	Madal noolutus		Keskmine noolutus		Kõrge noolutus	
								Noolustemperatuur °C	Kõvadus pärast noolutamist HRC	Noolustemperatuur °C	Kõvadus pärast noolutamist HRC	Noolustemperatuur °C	Kõvadus pärast noolutamist HRC

6. Noolutada kolm ülejäänud proovikeha (detaili), mis olid samuti mertensiitstruktuurile karastatud. Üks neist noolutada madalalt, teine keskmiselt ja kolmas - kõrgelt. Kuumutamise tehnoloogia on noolutamisel analoogiline karastamisel kasutatud kuumutamise tehnoloogiaga. Hoideaeg ahjus määratakse sõltuvalt proovikeha (detaili) mõõtmetest ja muumutustemperatuurist tabelist 7. Vajaliku temperatuurini kuumutatud proovikehad (detailid) jahutada õhus.

7. Puhastada smirgelpaberiga proovikehade (detailide) otspinnad ja määrata noolutatud terase kõvadus Rockwelli pressil (HRC). Saadud andmed kanda järgnevasse tabelisse.

8. Koostada laboratoorse töö aruanne. Selles näidata töö eesmärk ja ülesanne, kirjeldada süsinikterase karastamise ja noolutamise tehnoloogilist protsessi, analüüsida terase mehaaniliste omaduste sõltuvust termilisest töötlemisest, konstrueerida koordinaatteljestikus "noolustemperatuur - kõvadus" kõver, mis näitab terase kõvaduse sõltuvust noolustemperatuurist. Aruandele lisada kõik katseandmete tabelid.

Laboratoorne töö nr. 6

TERMILISELT JA TERMOKEEMILISELT TÖÖDEL DUD TERASTE MIKROSTRUKTUURI UURIMINE

Töö eesmärk.

Uurida termiliselt ja termokeemiliselt töödeldud teraste mikrostruktuure.

Ülesanne.

1. Valmistada termiliselt töödeldud süsinikteraste mikrolihvid (kasutada laboratoorses töös nr. 5 töödeldud teraseid).

2. Uurida järgmiste termiliselt töödeldud proovikehade mikrostruktuuri:

- a) karastatud ja madalalt noolutatud teras;
- b) karastatud ja keskmiselt noolutatud teras;
- c) karastatud ja kõrgelt legeeritud teras.

3. Uurida järgmiste termokeemiliselt töödeldud proovikehade mikrostruktuuri:

- a) tsementiiditud, karastatud ja noolutatud teras;
- b) nitriiditud teras.

4. Määrata proovikeha tsementiiditud kihi paksus (enne karastamist).

5. Koostada laboratoorse töö aruanne.

Seadmed ja materjalid.

Tööks on vajalikud: a) metallmikroskoop M M-6 või M M-7; b) neli termiliselt töödeldud terase mikrolihvi (eelmises töös kasutatud ja töödeldud proovikehad); c) termokeemiliselt töödeldud teraste mikrolihvid:

1) tsementiiditud, kuid termiliselt töötlemata (teras 20, 18X T);

2) tsementiiditud, karastatud ja madalalt noolutatud (teras 20, 18X T);

3) tsüaanitud, karastatud ja madalalt noolutatud (teras 20);

d) kruustangid ja viil; e) poleer-lihvpink ja smirgelpaber 60...260; f) vilt või kalev, mis on märjatud kroomoksiidi vesilahuses ja pasta; g) reaktiivid, filterpaber, vatt, piiritus ja pintsetid.

M ä r k u s. Laboratoorset tööd teevad õpilased väikestes brigaadides. Termokeemiliselt töödeldud teraste mikrostruktuuri uurimiseks antakse igale brigaadile mikrolihvide komplekt, milles sisalduvad terased erinevad üksteisest terase margi poolest.

Metoodilised juhendid

Termiline töötlemine

Sõltuvalt jahtumiskiirusest, kuumutustemperatuurist, kuumutuskeskkonnast ja muudest teguritest võib saada erineva struktuuriga karastatud terase.

Neil karastatava detaili osadel ja lõigetes, mis jahtuvad kriitilist jahtumiskiirust ületava kiirusega, on pärast karastamist martensiitstruktuur (vähese jääkausteniidi lisandiga).

M a r t e n s i i t on süsiniku üleküllastatud tahke lahus α -rauas. Martensiit tekib karastatavas terases siis, kui teda jahutada kiirusega 150...120°C sekundis. Martensiit on kõva (HRC = 62...66) ja habras. Struktuurilt on ta nõeljas. Nõelte mõõtmed sõltuvad karastustemperatuurist, järelkult austeniidi terade suuruselt ja hulgast. Mõnikord on martensiidilõelakesi väga raske metallimikroskoobis eraldada, nad on niivõrd väikesed. Nõelja struktuuriga martensiidil on parimad mehaanilised omadused.

A u s t e n i i t kui terase struktuurikomponent paistab mikroskoobis heledate laikudena või moodustab üldise heleda fooni. Ainult kõrge süsinikusisaldusega süsinikterastes ja mõnedes legeeritud terastes võib mikroskoobi all jääkausteniiti selgesti eraldada. Madala süsinikusisaldusega terastes on jääkausteniiti väga vähe (alla 1%), seepärast ka mikroskoobis halvasti avastatav.

Eristatakse karastatud ja noolutatud martensiite. Noolutatud martensiit esineb terases, mis pärast martensiitstruktuurile karastamist on madalalt noolutatud (temperatuuril 150...250°C). Madalalt noolutatud terase struktuur on mikroskoobis täiesti sarnane martensiitstruktuurile karastatud (kuid noolutamata) terase struktuuriga. Noolutatud martensiidi nõelad on samuti tumedad.

T r o o s t i i t on suure disperssusega tsementiidi- ja ferriidiosakeste mehaaniline segu. Troostiit tekib terase karastamisel austeniidi lagunemise tulemusena. Martensiitstruktuurile karastatud terase keskmisel noolutamisel (temperatuuril 250...450°C) osutub troostiit aga martensiidi laguproduktiks.

Keskmiselt noolutatud terasel on martensiit-troostiitstruktuur. Jääkausteniiti siin ei esine. Vastavalt noolustemperatuuri tõusule martensiidi kogus väheneb, troostiidi kogus

aga suureneb. Kui noolustemperatuur on $400...450^{\circ}\text{C}$, siis on terasel ainult troostiitne struktuur. Reaktiivid söövitavad troostiiti kiiremini kui martensiiti. Seepärast paistavad troostiidi alad metallimikroskoobis tumedate laikudena.

S o r b i i t on tsementiidi ja ferriidi mehaaniline segu, mille disperssus on väiksem kui troostiidil. Sorbiit tekib terase karastamisel austeniidist. Samuti tekib ka martensiitstruktuurile karastatud terase kõrgel noolutamisel (temperatuuril $450...600^{\circ}\text{C}$). Kõrgelt noolutatud terasel võib olla troostiit-sorbiitstruktuur või puhas sorbiitstruktuur. Noolustemperatuuri tõstmisel sorbiidi hulk terase struktuuris suureneb troostiidi hulga vähenemise arvel. Sorbiit paistab metallimikroskoobis (võrreldes troostiidiga) heledate laikudena.

Termokeemiline töötlemine

Termokeemilist töötlemist kasutatakse selleks, et muuta madala süsinikusisaldusega ($0,1...0,25\%$ C) teraste pindkiht karastatavaks. Rikastades terasdetaili pindkihti ühe või mitme keemilise elemendiga tõuseb pindkihi kõvadus, tugevus, kulumiskindlus, real juhtudel ka väsimustugevus ja korrosioonikindlus.

Pindkihi rikastamisele järgneva termilise töötlemisega (karastamine ja madal noolutamine) tagatakse detailile suur kõvadus ja kulumiskindlus. Samal ajal aga detaili südamik jääb pehmeks, plastiliseks ja vastupidavaks väände- ning paindekoormustele, sest südamiku keemiline koostis ei muutunud. Kõige enam on levinud järgmised termokeemilise töötlemise meetodid: tsementiitimine, tsüaanimine ja nitriidimine.

T s e m e n t i i t i m i n e. Tsementiiditud detailil (näiteks kolväsõrm, hammasratas) võib selgesti eraldada kaht osa: õhuke pindkiht ($0,1...0,25$ mm), mis on rikastatud süsinikuga ja südamik, mille keemiline koostis tsementiitimisel ei muutunud.

Kui detaili pärast tsementiitimist aeglaselt jahutada, siis saab tema struktuuri määrata olekudiagrammilt. Nimetatud juhul

sõltub detaili süsinikuga rikastatud pindkihi struktuur ainult kihi süsinikusisaldusest. Järelikult, kui pindkihi süsinikusisaldus on alla 0,8%, siis on sellel kihil perliit-ferriitstruktuur. Kui kihi süsinikusisaldus on 0,8%, siis perliitstruktuur ja kui süsinikku on rohkem kui 0,8%, siis perliit-tsementiitstruktuur. Tavaliselt on tsementiiditud kihi süsinikusisaldus 0,8...1,0%. Kuna pindkihi süsinikusisaldus pole ühtlane (väheneb südameku suunas), siis pole ühtlane ka pindkihi struktuur. Tsementiiditud kihi paksuse saame mikrolihviilt kindlaks määrata. Tinglikult loetakse tsementiiditud kihi paksuseks kaugust detaili pinnalt kuni struktuurini, milles perliit moodustab umbes 50% lihvi pinnast. Kaugus (kihi paksus) määratakse millimeetrites. Selleks on mikroskoobil spetsiaalne, jaotustega varustatud okulaar.

Tsementiitumisele järgneb karastamine ja madal noolutus. Tsementiiditud ja termiliselt töödeldud detaili pindkihis näeme mikroskoobis martensiit-tsementiitstruktuuri. Martensiit paistab tumeda nõelja struktuurina, tsementiit aga heledate lisanditena.

T s ü a a n i m i n e. Tsüaanimisel rikastatakse terasest detailide pindkihti üheaegselt nii süsiniku kui ka lämmastikuga. Tsüaanitud pindkihi paksus on 0,05...2 mm. Sõltuvalt temperatuurist eristatakse kõrgtemperatuurilist (800...930°C) ja madalatemperatuurilist (540...560°C) tsüaanimist. Kõrgtemperatuurilisel tsüaanimisel rikastub teras eeskätt süsinikuga, madalatemperatuurilisel - lämmastikuga. Kõrgel temperatuuril tsüaanitud, karastatud ja madalalt noolutatud terase pindkihil on tsementiiditud kihi analoogiline struktuur. Tsüaanitud pindkihil, mille struktuuris esineb ka lämmastikuga legeeritud martensiit, on suur kõvadus, kulumiskindlus ja hea korrosioonikindlus. Mõnikord esineb tsüaanitud detailide pinnal halva söövitatavuse tõttu riba, mis koosneb väga kõvadest ja habrastest ühenditest: Fe_2C ja Fe_3CN - karbonitriidid. Selline riba esineb lämmastiku suure kontsentratsiooni puhul.

N i t r i i d i m i n e. Nitriidimiseks nimetatakse detailide pindkihi rikastamist lämmastikuga. Parimaid tulemusi annab legeeritud teraste nitriidimine. Nitriiditud kihi mikrostruktuuris

võib näha õhukest (kuni 0,02 mm) valge värvusega pindkihti ja halli värvusega põhikihti (paksus kuni 0,1 mm), mis koosneb nitriididest ja karbonitriididest (AlN, MoN, FeN jt.).

Laboratoorse töö tegemisel tuleb silmas pidada termokeemilise töötlemise protsessi suurt ajakulu, samuti laboratoorsete seadmete keerukust ja suurust. Et tööks ettenähtud aja vältel ülesannet täita, soovitatakse uurida ainult kolme termokeemiliselt töödeldud detaili mikrostruktuuri ja omadusi.

Iga proovikeha või detaili struktuuri uurimisel vaadeldakse mikrolihvi kõigepealt palja silmaga. Nii tehakse kindlaks, kus asub termokeemiliselt töödeldud kiht ja kus töötlemata kiht (südamik). Seejärel vaadeldakse mõlema osa mikrostruktuuri metallmikroskoobis.

Paralleelselt mikrostruktuuri vaatlemisega joonistatakse ka struktuuripildid, kirjutades neile juurde kõigi esinevate struktuuride nimetused.

Tasakaalustamata olekus olevate struktuuride vaatlemisel peab mikroskoobil olema vähemalt 600-kordne suurendus. Tsementiiditud pindkihi sügavuse määramiseks kasutatakse okulaari 7^x (skaalaga) ja objektiivi 21 x 0,40. Kihi sügavus a leitakse järgmiselt:

$$a = kz,$$

kus k on okulaari skaala jaotuste arv, mis vastab kaugusele mikrolihvi külgpinnast kuni tsoonini, mille struktuuris on 50% perliiti ja 50% ferriiti (vahekord määratakse ligikaudselt, silma abil);

z - okulaari skaala jaotuse väärtus objektiivi 21 x 0,40 suurendusel.

Laboratoorse töö läbiviimise kord

1. Valmistada termiliselt töödeldud teraste mikrolihvid ja söövitada need.
2. Uurida ja joonistada kolme termokeemiliselt töödeldud terasdetaili (proovikeha) mikrostruktuurid.

3. Määrata tsementiiditud pindkihi paksus (enne karastamist).
4. Iseloomustada iga struktuuri mehaaniliste omaduste muutumist pärast termokeemilist töötlemist.
5. Koostada laboratoorse töö aruanne. Selles näidata töö eesmärk ja ülesanne, esitada terminiliselt töödeldud süsinikteraste struktuuripildid, mille juurde kirjutada esinevate struktuuride nimetused (martensiit, noolutatud martensiit, noolutatud troostiit, noolutatud sorbiit). Lisaks sellele tuleb aruandes esitada ka termokeemiliselt töödeldud (tsementiiditud, tsüaanitud, nitriiditud) teraste mikrostruktuurid, mille juurde on kirjutatud esinevate struktuuride nimetused.

Laboratoorse töö aruandes tuleb anda ka andmed tsementiiditud kihi sügavuse mõõtmisest ja analüüsida terase omaduste muutumist termokeemilisel töötlemisel.

Laboratoorne töö nr. 7

VÄRVILISTE METALLIDE JA SULAMITE MIKROSTRUKTUURI UURIMINE

Töö eesmärk.

Õppida tundma vase-, alumiiniumi-, magneesiumi- ja antifrikt-sioonsulamite mikrostruktuure.

Ülesanne.

1. Õppida tundma järgmiste sulamite mikrostruktuure: vasesulamid (pronksid ja messingid); alumiiniumisulamid (lõõmutatud dur-alumiinium, modifitseerimata silumiin, modifitseeritud silumiin), magneesiumisulamid (valatud sulam, karastatud sulam) ja antifrikt-sioonsulamid (tinababiit, pliiababiit).

2. Joonistada vaadeldud mikrostruktuurid, näidates struktuuripiltidel ära kõigi struktuurikomponentide nimetused ja nende omadused.

3. Joonestada uuritava sulami olekudiagramm ja näidata selle asukoht diagrammil.

4. Koostada töö aruanne.

Seadmed ja materjalid.

Tööks on vaja: a) metallmikroskoop M₁M-6 või M₁M-7; b) mikrolihvide komplekt, mis koosneb lõõmutatud duralumiiniumist A1, karastatud vanandatud duralumiiniumist A1, modifitseerimata silumiinist A2, modifitseeritud silumiinist A2, ühefaasilisest messingist A62, kahefaasilisest messingist C 59-1, ühefaasilisest tinapronksist Sp₀ 4-4-2,5; kahefaasilisest tinapronksist Sp₀ 6-6-3, valatud magneesiumisulamist M15, karastatud magneesiumisulamist M15 ja babiitidest B83 ning BH; c) uuritavate sulamite mikrostruktuuride album; d) lihvide söövitamiseks vajalikud reaktiivid; e) vatti ja piiritust.

Metoodilised juhendid

Kaasaja tehnikas on vase-, alumiiniumi-, magneesiumi-, tina- ja pliisulamitel väga tähtis koht.

Vasesulamid

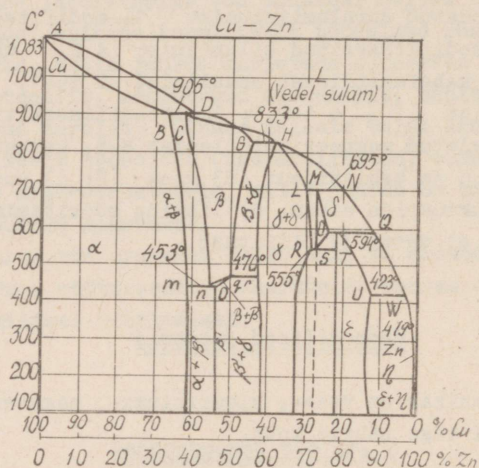
Vasel on suur korrosioonikindlus ja hea plastilisus ($t_s = 1083^\circ\text{C}$, $\sigma_B = 25\dots27 \text{ kg/mm}^2$; $\sigma = 40\dots50\%$; HB = 42). Tehnikas kasutatakse põhiliselt kaht liiki vasesulameid:

- vase ja tsingi sulamid - messingid ehk valgevased;
- vase ja tina või vase ja mõne teise elemendi (välja arvatud tsink) sulamid - pronksid.

M e s s i n g i d. Messingi struktuur ja omadused sõltuvad tema tsingisisaldusest. Tavalised messingid liigitatakse struktuuri järgi ühefaasilisteks α -messingid ja kahefaasilisteks $\alpha + \beta'$ -messingid.

Vastavalt vask-tsink olekudiagrammile (joonis 12) on messing ühefaasiline siis, kui tsingi kontsentratsioon sulamis on alla 39%. Kui tsingi kogus sulamis on 39...45%, siis on messing kahefaasiline ($\alpha + \beta'$). Kui aga tsingi hulk ulatub 45...50%, siis muutub messing taas ühefaasiliseks (β' faas).

α -faasil on hea plastilisus. Tsingi hulga suurenemisel kuni 33%-ni suureneb ka messingi plastilisus. Edasisel tsingi hulga suurenemisel messingi plastilisus väheneb.



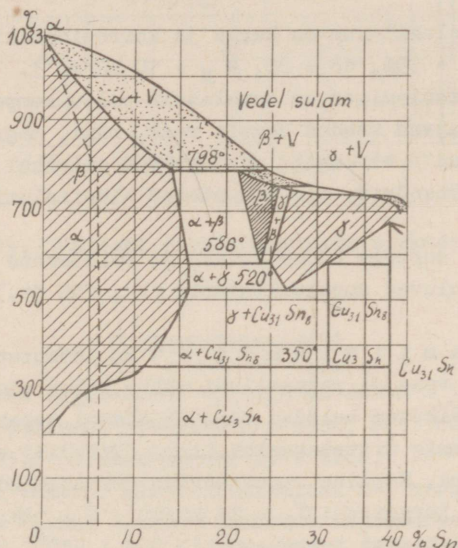
Joonis 12. Süsteemi vask-tsink olekudiagramm

β^1 -faas on habras ja kõva. Vastavalt selle faasi suurenemisele sulamis tõuseb ka messingi kõvadus, plastilisus aga järsult väheneb. Lõõmutatud messingi suurim tugevus ($\sigma_B = 42 \text{ kG/mm}^2$) esineb siis, kui tema tsingisisaldus on 45%. Sellepärast kasutataksegi praktikas põhiliselt neid messingeid, mille tsingisisaldus on alla 45%.

Selleks, et parandada messingi mehaanilisi omadusi, tõsta korrosioonikindlust, parandada lõigatavust jne., lisatakse messingile peale tsingi veel teisi elemente, näiteks alumiiniumi, pliid, rauda ja niklit. Selliseid messingeid nimetatakse erimesingiteks.

P r o n k s i d. Lisaks põhikomponendile - vasele, sisaldavad pronksid veel 2...3 elementi, nagu tina, alumiiniumi, räni, pliid jt. Vastavalt sellele jaotataksegi pronksid tina-, alumiinium-, räni-, plii- ja teisteks pronksideks.

Vastavalt olekudiagrammile (joonis 13) liigitatakse tina-pronksid ühefaasilisteks (survega töödeldavad pronksid), mille tinasisaldus on alla 6% ja kahefaasilisteks (valatud pronksid), milles on rohkem kui 6% tina.



Joonis 13. Süsteemi vask- tina olekudiagramm

Ühefaasilise tinapronksi $Bp_{01C} 4-4-2,5$ struktuuris näeme α -faasi (tina tahke lahus vases) alasid, milles tina kontsentratsioon on väike, vase kontsentratsioon aga suur. Need alad paistavad mikroskoobis tumedamatena, võrreldes nende aladega, kus tina on rohkem.

Kahefaasilise pronksi $Bp_{01C} 6-6-3$ struktuur koosneb ebahütlase tina kontsentratsiooniga α -lahusest (tina tahke lahus vases) ja eutektoidist ($\alpha + Cu_{31}Sn_8$). Erinevalt α -faasist on eutektoid väga kõva ja habras struktuurikomponent. Heleda eutek-

toidi fooni moodustabki faas $Cu_{31}Sn_8$, mille pinnal on näha -faasi tumedad täpid. Kui pronksis on üle 10% tina, suureneb eutektoidi hulk ja pronks muutub hapraks. Seepärast sisaldavad praktilikas kasutatavad pronksid tina alla 10%.

Alumiiniumisulamid

Tehniline alumiinium on kerge ja korrosioonikindel ($\gamma = 2,7 \text{ G/cm}^3$, $\delta = 35\%$, HB = 25, $\sigma_B = 10 \text{ kG/mm}^2$).

Alumiiniumisulamites on tavaliselt palju komponente. Peale alumiiniumi esinevad nendes sageli vask, räni, magneesium jt. elementid. Nimetatud elementid moodustavad omavahel või alumiiniumiga keemilisi ühendeid, mis lahustavad alumiiniumi kristallvõres.

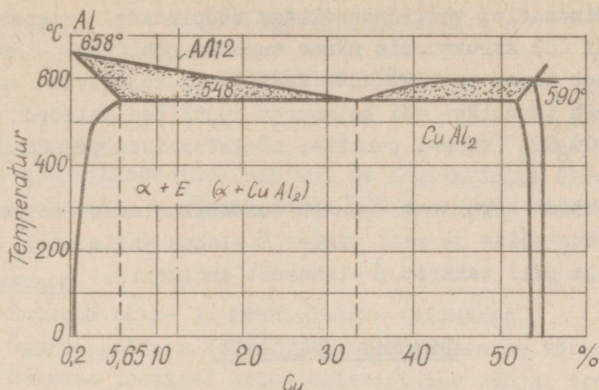
Tüüpiliste survega töödeldavate ja valatavate alumiiniumisulamite hulka kuuluvad duralumiiniumid (A1, A16 jt.) ning silumiinid (A12).

Duralumiiniumil A1 on loomulikult olekus järgmine struktuur: vase ja magneesiumi tahke lahus alumiiniumis (hele foon) ning väikesed heledad tugevdajafaasi terakesed ($CuAl_2$, $MgSi$). Alumiiniumis mittelahustuv ühend $(MnFe)Al_6$ esineb peente tumedate teradena. Sellise struktuuriga duralumiiniumi mehaanilised omadused on järgmised: $\sigma_B = 21 \text{ kG/mm}^2$; $\delta = 18\%$; HB = 45.

Pärast karastamist temperatuuril $505...510^\circ\text{C}$ ja loomulikku vanandamist on duralumiiniumi A1 struktuuris vähem tugevdajafaasi terasid. Mehaanilised omadused: $\sigma_B = 42 \text{ kG/mm}^2$; $\delta = 15\%$; HB = 100.

Silumiin (A12) on suure ränisisaldusega alumiiniumisulam. Ränisisaldus nimetatud sulamis on $10...13\%$. Modifitseerimata silumiini A12 struktuur koosneb räni tahkest lahusest alumiiniumis (α -lahus, hele alustoon) ja eutektikumist $\alpha + Si$ (tumedad alad). Räni esineb viimases jämedate nõeltena. Modifitseerimata silumiinil on halvad mehaanilised omadused.

Modifitseeritud silumiinil (A12) on peeneteraline struktuur, mis koosneb α -tahke lahuse primaarsetest dendriitidest (hele foon) ja peenest eutektikumist $\alpha + Si$ (tume foon).



Joonis 14. Süsteemi alumiinium-vask olekudiagramm

Magneesiumisulamid

Tüüpiliseks magneesiumisulamiks on sulam M.5. Mehaaniliste omaduste parandamiseks karastatakse seda, s.t. kuumutatakse temperatuurini 415°C ja jahutatakse siis õhus.

Muldvormi valatud magneesiumisulam M5 struktuur koosneb alumiiniumi ja tsingi tahkest lahusest magneesiumis (hele foon) ja tahke lahuse terade piirjoontel paiknevatest lisanditest Mg₄Al₃. Pärast karastamist koosneb nimetatud sulami struktuur ühefaasilistest teradest.

Antifriktsoonsulamid

Antifriktsoonsulamitest (laagrimetallidest) kasutatakse väga laialdaselt babiite.

Sõltuvalt sellest, milline element moodustab babiidi põhi-massi, eristatakse tina-, plii-, alumiinium- ja tsinkbabiite. Babiidid on kahe- ja enamafaasilised. Üks nimetatud faasidest on alati plastiline (põhi-mass), teised aga kõvad. Plastiline põ-

himass laseb endasse suruda kõvu metallosakesi, mis satuvad laagri tööpindadele, vältides sellega tööpindade vigastamist.

Babiidi E83 struktuuris näeme tumedat põhifooni - antimoni tahket lahust tinas ja kaht kõva faasi, mis kujutavad endist ühendeid SnSb (kuubiku- või kolmnurga-kujulised heledad kristallid) ja Cu_6Sn_5 (tähe-, punkti-, nõelataolised peened heledad kristallid).

Pliibabiidi struktuur koosneb eutektikumidest (antimoni tahke α -lahus pliiis ja plii tahke β -lahus antimonis), ühendist Cu_2Sn ja plii tahkest β -lahusest antimonis.

Lihvide söövitamine

Värviliste metallide lihvide söövitamiseks ei saa kasutada neid reaktiive, mida soovitatakse mustade metallide söövitamiseks. Vase- ja tinasulamite söövitamiseks kasutatakse raud(III)-kloriidi ja soolhappe vesilahust (10 g raud(III)kloriidi, 25 mg soolhapet ja 100 g vett). Alumiiniumisulamite söövitamiseks kasutatakse seebikivi vesilahust (1...10 g seebikivi, 90...99 g vett).

Laboratoorse töö läbiviimise kord

1. Vaadelda vase-, alumiiniumi-, tina-, plii- ja magneesiumisulamite mikrostruktuure albumis esinevatel fotodel.

2. Vaadelda metallimikroskoobis (100-kordse suurendusega) ülesandes antud sulamite mikrolihve, joonistada struktuuripildid ja kirjutada neile juurde esinevate struktuuride nimetused.

3. Määrata uuritavate sulamite asukoht olekudiagrammil.

4. Koostada laboratoorse töö aruanne. Aruandes näidata töö eesmärk ja ülesanne, kirjeldada vaadeldud mikrostruktuure, näidates ära struktuurikomponentide omadused. Joonestada sulamite olekudiagrammid ja näidata iga uuritava sulami koht olekudiagrammil. Analüüsida sulami omaduste muutumist sõltuvalt komponentide hulga muutumisest antud struktuuris.

TEHNILISED MÕÕTMISED

Töö eesmärk.

Tutvuda nihkmõõdiku (nihiku) ja kruvimõõdiku (kruviku) ehitusega ja omandada kogemusi nende käsitlemiseks detailide mõõtmisel.

Ülesanne.

1. Tutvuda nihk- ja kruvimõõdiku ehitusega.
2. Õppida selgeks mõõteriistade käsitlemise võtted.
3. Määrata joonisel antud tolerantside põhjal toote kõlblikkus.
4. Koostada laboratoorse töö aruanne.

Seadmed ja materjalid.

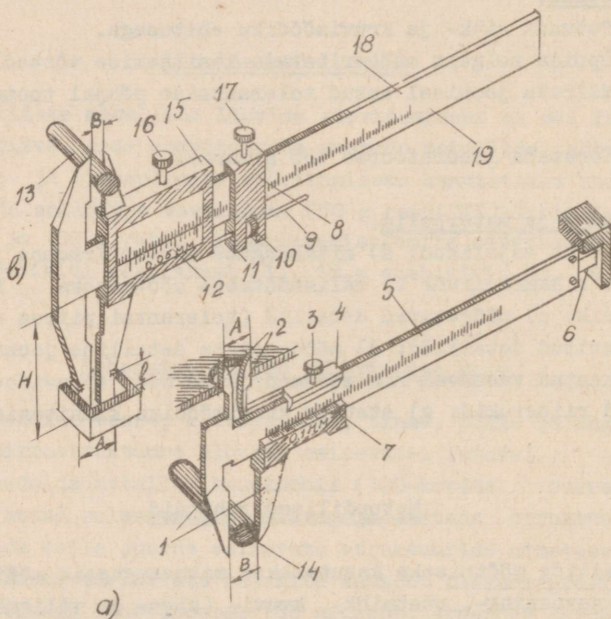
Töökäsitlusel on vajalikud: a) mitmesuguse mõõtepiirkonna ja mõõtetäpsusega nihkmõõdikud; b) välismõõtmete mõõtmiseks kasutatav kruvimõõdik; c) mõõdetavad detailid (tolerantsi piires töödeldud ja prakkeeritud detailid); d) mõõdetavate detailide joonised, millele on kantud vastavad nimimõõtmed ja hälbed; e) aviobensiin; f) pehmed riidetükid; g) statiiv kruvimõõdiku kinnitamiseks.

Metoodilised juhendid

Detailide mõõtmiseks kasutatakse mitmesuguseid mõõteriistu: nihk-, sügavusnihk-, püstnihk-, kruvi- (sise- ja välismõõtmete mõõtmiseks), kangkruvi-, mikromeetrilisi sügavusmõõdikuid, indikaatoreid, optimeetreid jn.

Nihkmõõdikuid kasutatakse nii sise- kui ka välismõõtmete mõõtmiseks, samuti sügavuse ja kõrguse mõõtmiseks ning detailide töödeldavate pindade paralleelsuse kontrollimiseks. Nihkmõõdik lugemi täpsusega 0,1 mm (joon. 15, a) koonneb mõõtjoonlauast 5, raamist 4, alumistest ja ülemistest mõõtehaaradest 1 ja

2. Raam liigub mõõtjoolaulal ja teda saab stoppkruvi 3 abil suvalises asendis fikseerida. Raami alumine serv on varustatud abiskaalaga - nooniusega 7, millelt loetakse millimeetri kümnendikosad. Raamiga on jäigalt ühendatud mõõtevarras 6 - sügavuste mõõtmiseks. Nihutades raami 4 mõõtjoolaulal 5 edasi-tagasi, liiguvad nii ülemised kui ka alumised mõõttehaarad samaaegselt võrdse pikkuse võrra edasi või tagasi, s.t. $A = B$. Sama pikkuse võrra nihkub edasi- või tagasisuunas ka mõõtevarras 6.



Joonis 15. Nihkmõõdik: A - sisemõõtmise mõõtmine; B - välimõõtmise mõõtmine; 1 - sisemõõtmise mõõtmiseks ette nähtud mõõtepinna pikkus; H - ava välimõõtmise mõõtmiseks

Nihkmõõdik lugemi täpsusega 0,05 mm (joon. 15,b) erineb vaa-
deldud nihkmõõdikust raami peenreguleerimisseadme olemasolu poe-

lest. Viimane koosneb liugurist 8 (koos stoppkruviga 17), mikromeetrilisest kruvist 9, 11 ning mikromeetrilisest mutrist 10. Mikromeetriline kruvi on jäigalt kinnitatud raami 15 külge ja läbib vabalt liuguris 8 olevad augud. Fikseerides stoppkruvi 17 abil liuguri 8 soovitavas asendis mõõtjoonlaual 18, saab mikromeetrilise mutri 10 pööramisega raami 15 mõõtjoonlaual 18 sujuvalt edasi nihutada ja sellega tagatakse noonius 12 skaala täpsem ülesseadmine nihkmõõdiku põhiskaala suhtes.

Kirjeldataud nihkmõõdiku noonius võimaldab lugeda lugemit täpsusega 0,05 mm (noonius iga kriipsuvahe väärtus on 0,05 mm).

Mõõtmisel loetakse täismillimeetrid mõõtevarjal asetsevalt skaalalt (noonius 0 nullkriipsust vasakule jääv mõõt täismillimeetrites). Kümwendik - või sajandikmillimeetrid loetakse aga nooniuselt. Selleks vaadatakse, mitmes noonius 0 kriips kõige paremini ühtib mõõtevarja skaala mis tahes kriipsuga ja korrutatakse see arv mõõtetäpsusega. Tulemusena saadaksegi mõõtte kümwendik- või sajandikmillimeetrid, mis lisatakse varem määratud mõõtmeele. Näide. Noonius 0 nullkriips asub nihkmõõdikul lugemit täpsusega 0,1 mm mõõteskaala 45. ja 46. jaotuse (millimeetri) vahel. Järelikult saame põhiskaalalt mõõtmeks 45 millimeetrit. Kõige paremini langeb põhiskaalaga kriipsuga ühte noonius 0 kriips. Seega tuleb lisada mõõtmeele veel $6 \times 0,1 = 0,6$ mm. Järelikult - detaili mõõde on 45,6 mm.

Kui näiteks nihkmõõdikult lugemit täpsusega 0,05 mm mõõdet lugedes kõige paremini ühtib noonius 0 kriips, siis tuleb varem täismillimeetrites määratud mõõtmeele lisada $3 \times 0,05 = 0,15$ mm.

Nihkmõõdikuga, mille lugemit täpsus on 0,05 mm, tuleb mõõta detaili järgmiselt:

a) vabastada raam 15 liuguri 8; selleks keerata lahti stoppkruvid 16 ja 17;

b) lükata mõõtehaarad sellisele kaugusele, et detail vabalt vahele mahuks;

c) asetada mõõdetav detail 13 (või 14) mõõtehaarade vahele. Detaili hoitakse vasakus käes, nihkmõõdikut paremas käes. Kui detaili on ebamugav käes hoida, siis asetatakse ta lauale või alusplaadile;

d) suruda detail vastu liikumatut mõõtehaara ja nihutada liikuv mõõtehaar detailini. Fikseerida stoppkruvi 17 abil liugur 8. Peenreguleerimiskruvi abil suruda liikuv mõõtehaar vastu detaili selliselt, et detail mõõtehaarade vahel ei loksuks, vaid ainult liuguda saab. Fikseerida raam 15 kruvi 16 abil;

e) eemaldada nihkmõõdik detaililt ja lugeda mõõde.

Mõõta tuleb kõik detaili tööjoonisel antud mõõtmised. Silindrikujuliste detailide ja aukude läbimõõdud mõõdetakse kahes lõikes ja kahes teineteisega ristiolevas suunas. Sisemõõtmete mõõtmiseks kasutada nihkmõõdiku selleks ette nähtud mõõtehaarasid.

Nihkmõõdikuga täpsusega 0,1 mm lugemi saab mõõta aukude, soonete ja paaside sügavust, samuti detailide kõrgust. Selleks tuleb nihkmõõdiku mõõtevarda otspind toetada detailile ja nihutada siis raami seni, kuni sügavmõõdiku varras toetub augu (soone) põhjale või vastu detaili äärikut. Siis fikseeritakse raami asukoht stoppkruvi 3 abil ja loetakse mõõde.

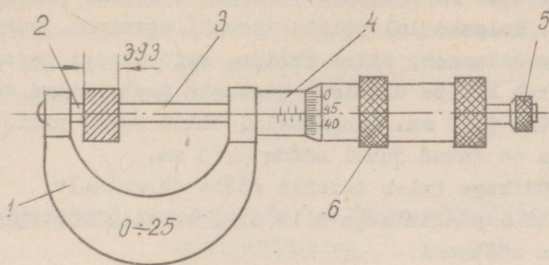
Enne mõõtmisi tuleb nihkmõõdik mõõtmiseks ette valmistada, s.t. puhastada aviobensiiniga ja kontrollida nullseisu. Kui nihkmõõdiku mõõtehaarad on kokku lükatud, siis ei tohi jääda nende vahele lõtku, põhiskaala ja noonluse nullkriipsud peavad aga ühtima. Raam koos noonlusega peab sujuvalt liuguma mööda mõõtevarrast.

Kruvimõõdikuid, mis on ette nähtud välismõõtmete mõõtmiseks, valmistatakse mõõtepiirkonnaga 0...25 mm; 25...50 mm; 50...75 mm jne. kuni 300 mm. Antud töös kasutatava kruvimõõdiku jaotuse väärtus on 0,01 mm.

Kruvimõõdik (joon. 16) koosneb hargist 1 ja mikromeetrilisest peast. Liikumatu mõõtepinna kand 2 kinnitatakse hargi vasakpoolse haru külge. Teiseks liikuvaks mõõtepinnaks on aga mikrokruvi 3 otspind. Hargi parempoolse haruga on jäigalt ühendatud puks 4, mille sees on mikromeetriline sisekeere.

Mikrokruvi 3 on koonuspuksi kaudu ühendatud trumliga 6. Sel-line ehitus lubab vajaduse korral reguleerida kruvimõõdiku nullseisu. Kruvimõõdiku parempoolses otsas on käristi 5. Käristi väldib kruvimõõdiku mõõtepinna, samuti detaili deformeerumist mõõtmisel. Ühtlasi tagab käristi kasutamine alati kindla surve mõõtepinna ja detaili vahel, seega ka vajaliku mõõtmistäpsuse.

Mikrokruvi fikseeritakse selleks ette nähtud kruvi või eks-
tsentriku abil.



Joonis 16. 0,01-mm lugemi täpsusega kruvimõõdik

Mikrokruvi 3 fikseeritakse neil juhtudel, kui kruvimõõdikut kasutatakse harkkaliibrina või kui mõõtmine toimub asendis, kus mõõtmise lugemise lugemine on raskendatud ning kruvimõõdiku nulliseadmisel. Mikrokruvi fikseerimiseks mingis kindlas asendis kasutatakse mutrit.

Näitude lugemiseks on kruvimõõdikul kaks skaalat. Üks neist - telgskaala - on kantud puksile 4 ja teine - ringskaala - trumlile 6.

Telgskaalal on kaks skaalat. Allpool pikijoont on millimeetriliste jaotustega skaala, millelt loetakse täismillimeetreid. Pikijoonest üleval pool on samuti millimeetriliste jaotustega skaala, kuid viimane on alumise suhtes nihutatud 0,50 mm võrra paremale. Seega on telgskaalalt võimalik lugeda mõõdet täpsusega 0,50 mm.

Kümnendik- ja sajandikmillimeetrid loetakse trumlile kantud ringskaalalt, mis on jaotatud 50 osaks. Et mikromeetrilise keerme samm on 0,50 mm, siis liigub trummel (ja seega ka mikrokruvi 3) ühe pöörde vältel edasi 0,50 mm. Seega vastab abiskaala 50 jaotusele mõõtepinna edasinihe 0,50 mm. Pöörates abiskaalat ühe jaotuse võrra, nihkub mõõtepinna (mikrokruvi 3) edasi $0,50 : 50 = 0,01$ mm võrra. Järelikult on abiskaala iga jaotuse väärtus 0,01 mm. See ongi kruvimõõdiku täpsus.

Mõõtmelugemine toimub järgmiselt.

Näide 1. Telgskaalal paistab trumli otspinna juures viimase-na viies kriips, allpool pikijoont. Seega saame telgskaalalt mõõtmelugemise 5,00 mm. Ringskaalal ühtib puksi pikijoonega kõige paremini 33 kriips - $33 \times 0,01 \text{ mm} = 0,33 \text{ mm}$. Seega on lõplik mõõde 5,33 mm.

Näide 2. Telgskaalal paistab trumli otspinna juures alumises jaotuste reas viimasena viies kriips, kuid veelgi paremal pool sellest paistab kriips ülemises jaotuste reas. Seega saame telgskaalalt mõõtmelugemise 5,50 mm. Ringskaalal ühtib puksi pikijoonega 33 kriips. Seega on antud juhul mõõde 5,83 mm.

Kruvimõõdikuga tuleb detaili mõõta järgmiselt:

a) trumli 6 pööramisega viia mikrokruvi 3 mõõtepinna peaaegu kontrollitava mõõtmepinnani;

b) asetada detail mõõtepinna vahel. Detaili hoitakse mõõtmise ajal vasakus käes, kruvimõõdikut - paremas. Kui on olemas vastav statiiv, siis kinnitatakse kruvimõõdik sellele;

c) kärsti pööramisega viia liikuv mõõtepinna detailini. Kui kärsti hammas on 3...4 klõpsu teinud, võib lugeda mõõtmelugemist.

Iga mõõdet tuleb mõõta vähemalt kolm korda. Mõõtmelugemist tuleb kõik detaili tööjoonisel antud mõõtmelugemised.

Enne mõõtmist tuleb kruvimõõdik selleks ette valmistada. Kõigepealt puhastatakse mõõteriist aviobensiiniga. Seejärel kontrollitakse nullseisu ja kruvimõõdiku osade tööd. Trummel peab pöörduma sujuvalt, mikrokruvil ei või olla lõtkusid. Kruvimõõdiku nullseisu kontrollimisel viiakse mõõtepinna käsitsi pööramisega vastakuti. Pärast kärsti 3...4 plõksatust jälgitakse nullkriipsude seis. Kruvimõõdikutel, mille mõõtmispiirkond on 25...50 mm ja enam, on tavaliselt kaasas kaliber, mida kasutatakse nullseisu kontrollimiseks.

Laboratoorse töö läbi viimise kord

1. Valmistada mõõteriistad (nihkmõõdik, kruvimõõdik) mõõtmiseks ette ja kontrollida nende korrasolekut.

2. Mõõta antud detail vastavalt näidatud korrale ja järjekorrale.

3. mõõtmistulemused kanda tagapool toodud tabelitesse.

4. Teha järeldus mõõdetud detaili kõlblikkusest.

5. Koostada töö aruanne (eraldi nihk- ja kruvimõõdikuga mõõtmise kohta). Aruandes näidata laboratoorse töö eesmärk ja ülesanne, joonestada detaili eskiis ja mõõtmiskeem. Teha järeldus detaili kõlblikkuse suhtes (mõõtmistulemuste alusel). Aruandele lisada mõõtmistulemuste tabelid.

Mõõtmistulemused detaili pikkuse mõõtmisel
kruvimõõdikuga

Nimimõõde ja tolerants	Tegelik mõõde	Järeldus detaili kõlblikkusest

Mõõtmistulemused detaili mõõtmisel nihkmõõdikuga

Jrk. nr.	Detaili nr.	Tahistus	Mõõtmised teljega risti asetsevates lõigetes mm.						Kuju täpsuse ja pindade omavahelise asendi häl- bed				Mitteparalleel- sus	
			1-1	2-2	3-3	Keskmisel mõõtmel			Ovaalsus	Koonilisus	Nõgus	Kumerus		
			Mõõtmise suund						Välksein mõõde	Suurim mõõde				
			I	I	I	II	II	II	I	II	I	II		

Mõõtmistulemused detaili välisläbimõõdu mõõtmisel kruvimõõdikuga

Kruvimõõdiku mõõtmispiirkond

Telgskaala jaotuse väärtus mm

Ringskaala jaotuse väärtus mm

Detaili nimimõde ja tolerants	Suund I-I			Suund II-II			Mõõtmistulemused		Ovaalsus	Koonilisus	Järeldus detaili kõiblikkusest
	Aritmeetiline keskmine			Aritmeetiline keskmine			Suund I-I	Suund II-II			
	Lõike number			Lõike number							
	1	2	3	1	2	3	Suund I-I	Suund II-II			

LISA

Brinelli kõvadusarvud HB (ГОСТ 9012-59)

Jälje läbimõõt d_{10} , $2d_5$ või $4d_{2,5}$	Brinelli kõvadusarv HB koormusel P (kG)		
	$30D^2$	$10D^2$	$2,5D^2$
1	2	3	4
2,89	448		
2,90	444		
2,91	441		
2,92	438		
2,93	435		
2,94	432		
2,95	429		
2,96	426	-	-
2,97	423	-	-
2,98	420	-	35,0
2,99	417	-	34,8
3,00	415	-	34,6
3,01	412	-	34,3
3,02	409	-	34,1
3,03	406	-	33,9
3,04	404	-	33,7
3,05	401	-	33,4
3,06	398	-	33,2
3,07	395	-	33,0
3,08	393	-	32,7
3,09	390	130	32,5
3,10	388	129	32,3
3,11	385	128	32,1
3,12	383	128	31,9
3,13	380	127	31,7

1	2	3	4
3,14	378	126	31,5
3,15	375	125	31,3
3,16	373	124	31,1
3,17	370	123	30,9
3,18	368	123	30,7
3,19	366	122	30,5
3,20	363	121	30,3
3,21	361	120	30,1
3,22	359	120	29,9
3,23	356	119	29,7
3,24	354	118	29,5
3,25	352	117	29,3
3,26	350	117	29,2
3,27	347	116	29,0
3,28	345	115	28,8
3,29	343	114	28,6
3,30	341	114	28,4
3,31	339	113	28,2
3,32	337	112	28,1
3,33	335	112	27,9
3,34	333	111	27,7
3,35	331	110	27,6
3,36	329	110	27,4
3,37	326	109	27,2
3,38	325	108	27,1
3,39	323	108	26,9
3,40	321	107	26,7
3,41	319	106	26,6
3,42	317	106	26,4
3,43	315	105	26,2
3,44	313	104	26,1
3,45	311	104	25,9

1	2	3	4
3,46	309	103	25,8
3,47	307	102	25,6
3,48	306	102	25,5
3,49	304	101	25,3
3,50	302	101	25,2
3,51	300	100	25,0
3,52	298	99,5	24,9
3,53	297	98,9	24,7
3,54	295	98,3	24,6
3,55	293	97,7	24,5
3,56	292	97,2	24,3
3,57	290	96,6	24,2
3,58	288	96,1	24,0
3,59	286	95,5	23,9
3,60	285	95,0	23,7
3,61	283	94,4	23,6
3,62	282	93,9	23,5
3,63	280	93,3	23,3
3,64	278	92,8	23,2
3,65	277	92,3	23,1
3,66	275	91,8	22,9
3,67	274	91,2	22,8
3,68	272	90,7	22,7
3,69	271	90,2	22,6
3,70	269	89,7	22,4
3,71	268	89,2	22,3
3,72	266	88,7	22,2
3,73	265	88,2	22,1
3,74	263	87,7	21,9
3,75	262	87,2	21,8
3,76	260	86,8	21,7
3,77	259	86,3	21,6

1	2	3	4
3,78	257	85,8	21,5
3,79	256	85,3	21,3
3,80	255	84,9	21,2
3,81	253	84,4	21,1
3,82	252	84,0	21,0
3,83	250	83,5	20,9
3,84	249	83,0	20,8
3,85	248	82,6	20,7
3,86	246	82,1	20,5
3,87	245	81,7	20,4
3,88	244	81,3	20,3
3,89	242	80,8	20,2
3,90	241	80,4	20,1
3,91	240	80,0	20,0
3,92	239	79,6	19,9
3,93	237	79,1	19,8
3,94	236	78,7	19,7
3,95	235	78,3	19,6
3,96	234	77,9	19,5
3,97	232	77,5	19,4
3,98	231	77,1	19,3
3,99	230	76,7	19,2
4,00	229	76,3	19,1
4,01	228	75,9	19,0
4,02	226	75,5	18,9
4,03	225	75,1	18,8
4,04	224	74,7	18,7
4,05	223	74,3	18,6
4,06	222	73,9	18,5
4,07	221	73,5	18,4
4,08	219	73,2	18,3
4,09	218	72,8	18,2

1	2	3	4
4,10	217	72,4	18,1
4,11	216	72,0	18,0
4,12	215	71,7	17,9
4,13	214	71,3	17,8
4,14	213	71,0	17,7
4,15	212	70,6	17,6
4,16	211	70,2	17,6
4,17	210	69,9	17,5
4,18	209	69,5	17,4
4,19	208	69,2	17,3
4,20	207	68,8	17,2
4,21	205	68,5	17,1
4,22	204	68,2	17,0
4,23	203	67,8	17,0
4,24	202	67,5	16,9
4,25	201	67,1	16,8
4,26	200	66,8	16,7
4,27	199	66,5	16,6
4,28	198	66,2	16,5
4,29	198	65,8	16,5
4,30	197	65,5	16,4
4,31	196	65,2	16,3
4,32	195	64,9	16,2
4,33	194	64,6	16,1
4,34	193	64,2	16,1
4,35	192	63,9	16,0
4,36	191	63,6	15,9
4,37	190	63,3	15,8
4,38	189	63,0	15,8
4,39	188	62,7	15,7
4,40	187	62,4	15,6

1	2	3	4
4,41	186	62,1	15,5
4,42	185	61,8	15,5
4,43	185	61,5	15,4
4,44	184	61,2	15,3
4,45	183	60,9	15,2
4,46	182	60,6	15,2
4,47	181	60,4	15,1
4,48	180	60,1	15,0
4,49	179	59,8	15,0
4,50	179	59,5	14,9
4,51	178	59,2	14,8
4,52	177	59,0	14,7
4,53	176	58,7	14,7
4,54	175	58,4	14,6
4,55	174	58,1	14,5
4,56	174	57,9	14,5
4,57	173	57,6	14,4
4,58	172	57,3	14,3
4,59	171	57,1	14,3
4,60	170	56,8	14,2
4,61	170	56,5	14,1
4,62	169	56,3	14,1
4,63	168	56,0	14,0
4,64	167	55,8	13,9
4,65	167	55,5	13,9
4,66	166	55,3	13,8
4,67	165	55,0	13,8
4,68	164	54,8	13,7
4,69	164	54,5	13,6
4,70	163	54,3	13,6
4,71	162	54,0	13,5
4,72	161	53,8	13,4

1	2	3	4
4,73	161	53,5	13,4
4,74	160	53,3	13,3
4,75	159	53,0	13,3
4,76	158	52,8	13,2
4,77	158	52,6	13,1
4,78	157	52,3	13,1
4,79	156	52,1	13,0
4,80	156	51,9	13,0
4,81	155	51,7	12,9
4,82	154	51,4	12,9
4,83	154	51,2	12,8
4,84	153	51,0	12,8
4,85	152	50,7	12,7
4,86	152	50,5	12,6
4,87	151	50,3	12,6
4,88	150	50,1	12,5
4,89	150	49,8	12,5
4,90	149	49,6	12,4
4,91	148	49,4	12,4
4,92	148	49,2	12,3
4,93	147	49,0	12,3
4,94	146	48,8	12,2
4,95	146	48,6	12,2
4,96	145	48,4	12,1
4,97	144	48,1	12,0
4,98	144	47,9	12,0
4,99	143	47,7	11,9
5,00	143	47,5	11,9
5,01	142	47,3	11,8
5,02	141	47,1	11,8
5,03	141	46,9	11,7
5,04	140	46,7	11,7
5,05	140	46,5	11,6

1	2	3	4
5,06	139	46,3	11,6
5,07	138	46,1	11,5
5,08	138	45,9	11,5
5,09	137	45,7	11,4
5,10	137	45,5	11,4
5,11	136	45,3	11,3
5,12	135	45,1	11,3
5,13	135	45,0	11,3
5,14	134	44,8	11,2
5,15	134	44,6	11,2
5,16	133	44,4	11,1
5,17	133	44,2	11,1
5,18	132	44,0	11,0
5,19	132	43,8	11,0
5,20	131	43,7	10,9
5,21	130	43,5	10,9
5,22	130	43,3	10,8
5,23	129	43,1	10,8
5,24	129	42,9	10,7
5,25	128	42,8	10,7
5,26	128	42,6	10,6
5,27	127	42,4	10,6
5,28	127	42,2	10,6
5,29	126	42,1	10,5
5,30	126	41,9	10,5
5,31	125	41,7	10,4
5,32	125	41,5	10,4
5,33	124	41,4	10,3
5,34	124	41,2	10,3
5,35	123	41,0	10,3
5,36	123	40,9	10,2
5,37	122	40,7	10,2
5,38	122	40,5	10,1

1	2	3	4
5,39	121	40,4	10,1
5,40	121	40,2	10,1
5,41	120	40,0	10,0
5,42	120	39,9	9,97
5,43	119	39,7	9,94
5,44	119	39,6	9,90
5,45	118	39,4	9,86
5,46	118	39,2	9,82
5,47	117	39,1	9,78
5,48	117	38,9	9,73
5,49	116	38,8	9,70
5,50	116	38,6	9,66
5,51	115	38,5	9,62
5,52	115	38,3	9,58
5,53	114	38,2	9,54
5,54	114	38,0	9,50
5,55	114	37,9	9,46
5,56	113	37,7	9,43
5,57	113	37,6	9,38
5,58	112	37,4	9,35
5,59	112	37,3	9,31
5,60	111	37,1	9,27
5,61	111	37,0	9,24
5,62	111	36,8	9,20
5,63	110	36,7	9,17
5,64	110	36,5	9,14
5,65	109	36,4	9,10
5,66	109	36,3	9,07
5,67	108	36,1	9,03
5,68	108	36,0	9,00
5,69	107	35,8	8,97
5,70	107	35,7	8,93

1	2	3	4
5,71	107	35,6	8,90
5,72	106	35,4	8,86
5,73	106	35,3	8,83
5,74	105	35,1	8,79
5,75	105	35,0	8,76
5,76	105	34,9	8,73
5,77	104	34,7	8,69
5,78	104	34,6	8,66
5,79	103	34,5	8,63
5,80	103	34,3	8,59
5,81	103	34,2	8,56
5,82	102	34,1	8,53
5,83	102	33,9	8,49
5,84	101	33,8	8,46
5,85	101	33,7	8,43
5,86	101	33,6	8,40
5,87	100	33,4	8,36
5,88	99,9	33,3	8,33
5,89	99,5	33,2	8,29
5,90	99,2	33,1	8,26
5,91	98,8	32,9	8,23
5,92	98,4	32,8	8,20
5,93	98,0	32,7	8,17
5,94	97,7	32,6	8,14
5,95	97,3	32,4	8,11
5,96	96,9	32,3	8,08
5,97	96,6	32,2	8,05
5,98	96,2	32,1	8,02
5,99	95,9	32,0	7,99
6,00	95,5	31,8	7,96

M ä r k u s e d. 1. Tähistused $2d_5$ ja $4d_{2,5}$ tähendavad seda, et 5-mm läbimõõduga kuuliga katsetamisel tuleb tabelist kõvadusarvul leidmisel jälje läbimõõd korrutada 2-ga; 2,5-mm läbimõõduga kuuliga katsetamisel aga 4-ga. Näiteks kui 5mm läbimõõduga kuuliga katsetamisel saadi jälje läbimõõd 1,65 mm ja koormus oli 740 kG, siis saame tabelist kõvadusarvu 3,30 mm läbimõõdu ($2 \times 1,65 = 3,30$) järgi, seega HB = 341.

2. Üldist täpset meetodit Brinelli kõvadusarvu teisendamiseks teisteks kõvadusarvudeks või tõmbetugevuseks pole olemas. Seepärast taolisi teisendusi reeglina ei tule teha.

KIRJANDUS

Веселовский Ю.П., Грассе Б.И. Лабораторный практикум по курсу "Технология металлов и конструкционные материалы". Машгиз, 1962.

Айзикович Б.Н. Лабораторные работы по курсу "Допуски, посадки и технические измерения". Росвузиздат, 1963.

Борисов В.И. Лабораторный практикум по металлосведению и термической обработке. "Высшая школа", 1962.

Самохоцкий А.Н., Кунявский М.Н. Лабораторные работы по металлосведению. Машгиз, 1959.

Руководство к лабораторным работам по металлосведению. Под ред. заслуженного деятеля науки и техники, проф., доктора технических наук И.И.Сидорина. "Высшая школа", 1967.

Самохоцкий А.Н., Кунявский М.Н. Металлосведение. "Металлургия", 1967.

S I S U K O R D

	lk.
Sissejuhatus	3
Laboratoorne töö nr. 1. Metallide kõvaduse määramine Brinelli ja Rockwelli meetodil	5
Laboratoorne töö nr. 2. Metallimikroskoobiga tutvumine. Mikrostruktuuride vaatlemine metallimikroskoobiga ja struktuuride joonistamine	15
Praktiline töö. Raud-süsinik olekudiagrammi analüüs. Jahtumiskõverate konstrueerimine	24
Laboratoorne töö nr. 3. Süsinikteraste ja malmide mikrostruktuuride uurimine	32
Laboratoorne töö nr. 4. Konstruksiooni- ja tööriistateraste mikrostruktuuri uurimine	40
Laboratoorne töö nr. 5. Süsinikterase karastamine ja noolutamine	46
Laboratoorne töö nr. 6. Termiliselt ja termokeemiliselt töödeldud teraste mikrostruktuuri uurimine	54
Laboratoorne töö nr. 7. Värviliste metallide ja sulamite mikrostruktuuri uurimine	60
Laboratoorne töö nr. 8. Tehnilised mõõtmised	67
Lisa	76
Kirjandus	86

Hind 14 kop.

ARH
A-3058

76 778

TÜ RAAMATUKOGU



1 0300 00495992 2