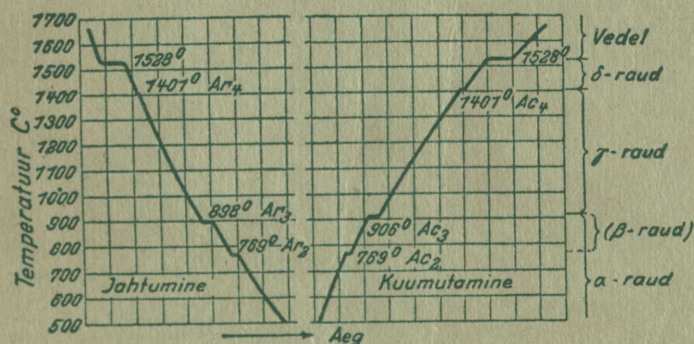


# Metallide

## TEHNOLOOGIA

DIPL. INS. E. OLVING





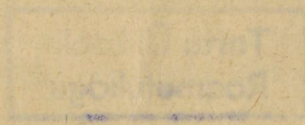
TEHNILISE KIRJASTUSE TOIMETISED



A-21573 II

DIPL. INS. E. OLVING

# METALLIDE TEHNOLOOGIA



1944

EESTI KIRJASTUS

TALLINN

TOIMETAJA: DIPL. INS. A. PÕDRUS.

2

Tartu Ülikooli  
Raamatukogu

216 264

Korrektuuri lugenud Bernhard Vahi.

AfV. Nr. 1/0125. Trükiarv: 5150 eksemplari. Paber:  
ETK Tallinna Paberivabrik; trükipaber 61:86 cm.  
Trükk ja brošuur: Trükikoda „Ühistrükk“, Tallinn.

Ilmunud jaanuaris 1944.

Rmk. 3.30.

# A. Raud.

## I. RAUATOOTMINE.

### Rauatootmine ürgajal ja muistses Eestis.

Raud etendab meie igapäevases elus väga tähtsat osa ning rauatööstuse algidud ulatuvad kaugele tagasi. Nii on tuntud juba vanade roomlaste ja araablaste kõrge relvatehnika, rääkimata hilisemaist rauatööstuse saavutustest.

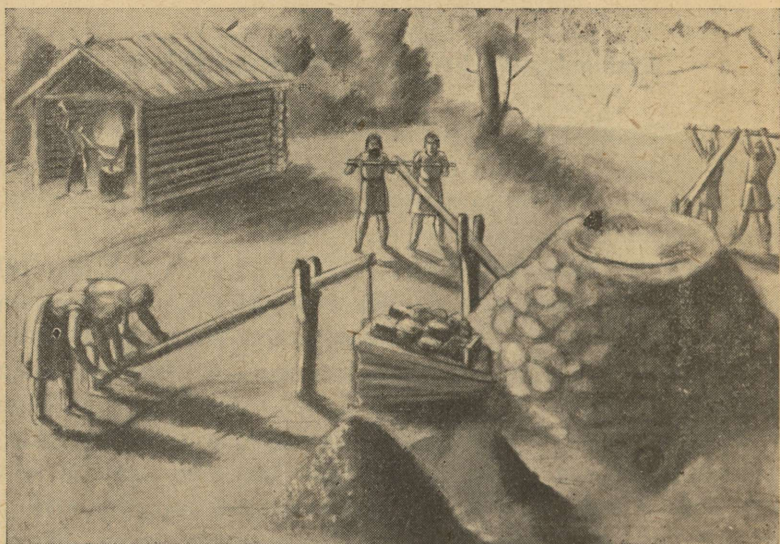
Ürgne rauatootmine edenes loomulikult seal, kus leidis küllaldaselt määralt rauamaaki ja metsa vajaliku puusöe valmistamiseks. Sulatamine toimus madalal savist või kividest laotud kaevusahjudes, kusjuures õhu juurdevooluks kasutati loomulikku õhutõmbust. Hiljem rakendati seks otstarbeks juba vähemaid käsitsi töötavaid lõõtsu. Lõpuproduktina saadi töötamisel paarikümne-sentimeetrise läbimõõduga taigasarnane ja rohkesti šlakki sisaldav rauapank. Mitmekordse soojendamise ja sepiamisega vabastati see enamvähem šlakist ning töötati siis juba ümber valmissaadusteks. Edasi lõõtsade ja sepahaamrite töölepanemiseks õpiti rakendama juba veejõudu, mille tagajärjel võis suurendada ka kaevusahju kõrgust.

Põhjaliku pöörde aga kutsus esile kõrgahju leiutamine, sest siin saavutati ahjus valitseva märksa kõrgema temperatuuri tõttu raud mitte enam taigasarnasena, vaid juba vedelal kujul.

Eesti ei ole teatavasti rauatööstuse maa, sest selleks puuduvad vajalik rauamaak ja kivisüsi. Mõni aasta tagasi Jõhvi ümbruses toimetatud puurimised tõestasid küll rauamaagi olemasolu ja eriteadlaste otsus selle kohta ei ole isegi halb, kuid rauda sisaldavad kihid asetsevad umbes 370 kuni 500 meetri sügavuses. On tarvis veel rida täiendavaid, vägagi kulukaid sügav-

puurimisi, mis peavad alles avastama, kas maaki on üldse olemas määral, mis tasuks sellekohast tööstust.

Sellega seoses on huvitav tähendada, et Tartu ülikooli arheoloogid sattusid a. 1936 Tallinna lähedal asetseva Iru linnuse kaevamistööl 100 m linnusest eemalolevas ürgses külas muistse „rauatööstuse“ jälile. Prof. H. Moora kirjutab selle



Joon. 1. Muistne eesti rauatööstus.

kohta: „Seniseist leidudest, mis üldiselt sarnased linnuse omadega, on erilise huviga siit saadud kamakad rauamaaki, mis toodud kuskilt lähedalt soost, ja raua sulatamisel tekkinud šlaki- ehk räbutükid. Need näitavad, et siin on muiste toimetatud rauasulatamist, mida seega on esmakordselt võidud tõestada meie muinasaja kohta. Nagu viimasel ajal Liivi alalt saadud leiud näitavad, toimus rauasulatamine kividest ja savist pooleldi maa sisse ehitatud ahjudes. Ahju laoti vahelduvais kihitides puusütt ja rauamaaki. Söed süüdati ahju põhjast ja tuld hoiti kogu aeg lõõtsadega tuult tõmmates. Suures kuumuses

sulas raud ja vajus ahju põhja, kust seda ahju küljel olevast avausest välja võeti ja alasil tagudes sissejäänud rübust puhastati ning suuremaiks kangideks kokku keevitati. Allavajuvale ahjusisule lisati ülalt järjest uusi söe- ja maagikihte peale. Rauasulatamine nõudis hulga tööjõudu ja toimus seepärast arvatavasti peamiselt põllutöö vaheajal.“

Kunstnik kujutab meile nimetatud „kõrgahju“ oma joonistusel. Näeme mehi kõvasti ametis tuuletõmbamisega ja rauasulatamisega. Ahju juures asetsevad hunnikus maak ja puusüsi. Veidi eemal asetsevas sepapajas sepistab sepp juba värsket rauda.

Loomulik, et säärase ahju toodang ei võinud olla kuigi suur ja seda piiras veelgi ümbruses leiduva ja toormaterjalina kasutatava sooraua vähene hulk, kuid väärtuslikku lisa relvade ja majatarvete valmistamisel tarvilikule rauale andis ta kahtlemata.

### **Rauatööstuse toorained.**

Rauatööstuse tähtsamaiks tooraineiks on maak, koks ja lisaained.

Rauda metallilisel kujul leidub maapinnas väga harva. Kõik tehniliselt kasutatav raud tuleb seepärast valmistada rauaühendeist, s. o. rauamaakidest.

Rauamaagi mõistega on seotud teatavad tingimused. Peale maagi küllaldase olemasolu ja rauasisalduse ei tohi koosseisus esineda ülemäära kahjulikke lisandeid, nagu näit. väävlit, mis teeks raua kõrgemate temperatuuride juures hapraks ja selle sepistamise võimatuks. Meilgi õhukese kihina esinevat püriiti, mis mõnel juhul võib sisaldada kuni 42% rauda ja 46% väävlit, ei saa seepärast nimetada rauamaagiks. Seevastu Ülem-Sileas kasutatakse näit. edukalt rauamaake, millede rauasisaldus on kõigest 22—23%.

Esmajoones kasutab rauatööstus toormaterjalina raua ja hapniku ühendeid ehk oksüüde, millede hulka tuleb lugeda järgmised:

1. *Magnetiit* (magnet-rauamaak,  $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) on väga tähtis rauamaak, mille rauasisaldus kõigub 60—70% vahel. Leidub määratu suurtes lademetes Põhja-Rootsis (Kirunavaras), samuti Norras, USA-s, Uurali mägedes ja Soomes.
2. *Hematiit* (punane rauamaak,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ). Leidub väga paljudes kohtades ja on samuti tähtis rauamaak. Rauasisaldus enamasti 40—60%. Suurima osa toodangust annavad USA ja Kanada Ülemjärve ümbrus; leidub aga ka Ukrainas (Krivoi Rog), Hispaanias (Bilbao), Põhja-Norras ja Rootsis (Gällivara).
3. Kõige sagedamini esinev rauamaak on vahelduva veesisaldusega raua-oksüüd, nn. *limoniit* (pruun rauamaak,  $2\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ ). Rauasisaldus tavaliselt 28—40%. Euroopas on suurimad lademed Saksamaal Lotringis ja Harzi eelmägedes, Venemaal Uurali mägedes ja USA-s mitmes osariigis. Eestis leidub Vagula järves järvemaagina (limoniit). Järvemaak aga on eriti sagedane just Soomes ja Rootsis.
4. *Sideriit* (rauapagu,  $\text{FeCO}_3$ ) on rauakarbonaat, mis oma sagedase mangaanisisalduse tõttu on väga hinnatav maak. Rauda sisaldab sideriit 35—40%. Leidub endises Austrias (Erzberg), Inglismaal, Ungaris ja mitmes kohas Põhja-Ameerikas.

Tähtsamad rauamaagid on seega: magnetiit, hematiit, limoniit ja sideriit. Praktiliselt magnetiidid, millede Fe-sisaldus tõuseb üle 60%, loetakse rikkalikeks; sama on maksev, kui hematiit sisaldab üle 50%, limoniit üle 45% ja sideriit üle 38% rauda. Tuleb tähendada, et maailma rauamaagi-tagavarad oma suuremas ulatuses on alles täpsemalt kindlaks tegemata. Teadupärast olevate rauamaakide koguhulka aga hinnatakse umbes 60 000 milj. tonnile.

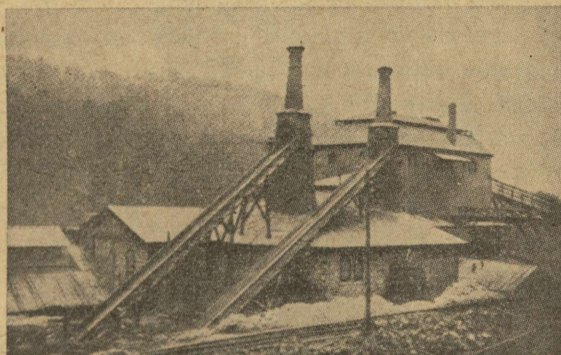
Kirjeldatud maake võib küll otse sel kujul sulatada, nagu neid saadakse kaevandusest, enamasti on aga kasulik enne kõrvaldada neist aherained, missugust toimingut nimetatakse rikastamiseks. Eraldamine võib toimuda erikaalude vahe

alusel märjal teel või magnetilise menetlusega märjalt või kuivalt.

Suuremate maagitükkide kõrval saadakse kaevandusest ka suuremal hulgal pulbrilist maaki. Et viimane teataval määral ummistab kõrgahju, takistades õhu läbivoolu, siis pressitakse pulbrit brikettideks või antakse talle paagutamise teel tükiline kuju. Paagutamiseks kasutatakse suuri, 30—70 m pikkusi aeglaselt pöörlevaid trummelahjusid, kus kuuma leegi mõjul pulber paakub ebakorrapärasteks tükkideks.

Kõrgahjus maagi muldsed või ränilise iseloomuga koosseisu osad ning põletusaine tuhk on väga raskesti sulavad või siis ei sula üldse.

Selle tagajärjel ahjuruum täitub väga kiiresti ja sulatamise käik katkeb, kui mitte vastavate lisanditega neid koosseisu osi ei muudeta kergesti sulavaks šlakiks.



Joon. 2. Puusöe-kõrgahi.

Et maagid siisaldavad enamasti rohkemal määral räni ja saviühendeid, kui see šlaki kerge sulavuse seisukohalt on soovitatav, siis lisatakse ahju lupjasisaldavaid aineid, milleks on enamasti lubjakivi ning harvem dolomiit (süsihapukaltsiumi ja -magneesiumi segu).

Kõrgahjus kasutatav kütteaine peab esmajoones vaba olema lisandeist, mis võiksid kahjulikult mõjutada toormalmi koosseisu. Edasi peab kütteainel olema võimalikult kõrgem kütteväärtus ning lõpuks suur mehaaniline tugevus, nii et ta kõrgahju täite raskuse all ei puruneks tolmuks. Varemail aegadel kasutati hea eduga puusütt, mis vähemamõõduliste kõrg-

ahjude puhul ülesseatud nõudeile vastab. Nüüdisajal metsade vähesuse tõttu võib see kõne alla tulla veel vaid üksikuis maa-des, nagu Rootsis ja Põhja-Ameerikas.

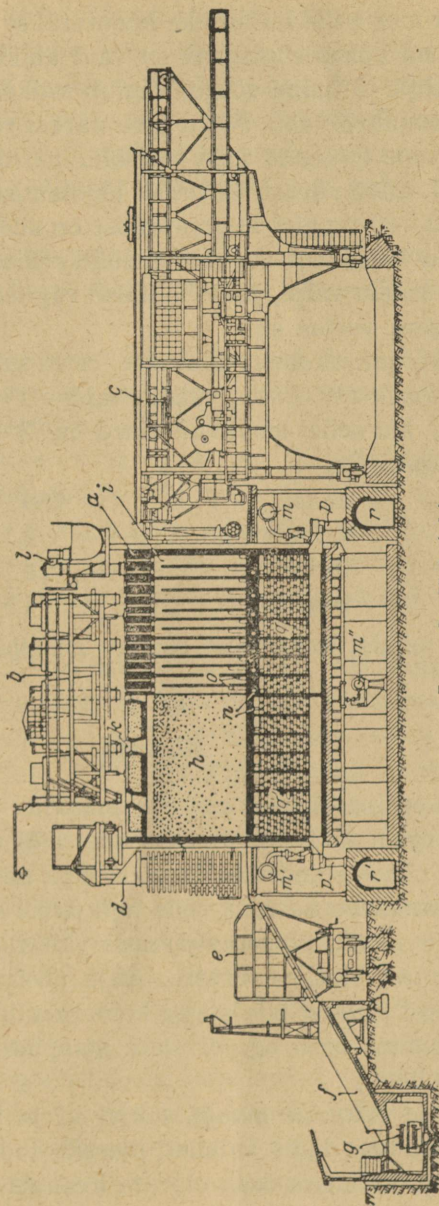
Kivisööliikidest kaugelt suurem osa ei kõlba toorel kujul kasutamiseks kõrgahjus. Teatavalt liikidel on nimelt omadus kuumenemisel tugevasti kerkida ning paisuda või siis kokku pakkida, mille tagajärjel tekib põlemisõhule raskesti läbis-tatav mass. Edasi annavad nad põlemisel rohkesti gaase ja aurusid, mis tunduvalt takistavad kõrgahju korralikku käiku. Kirjeldatud puudused välditakse, kui kivisöe asemel kasutada koksi.

Koksi saamiseks tuleb kivisütt ilma õhu juurdepääsuta kuu-mutada kinnises nõus, destillatsiooniga tagajärjel eraldub gaas ning süsi muutub pooriliseks, suure tugevusega koksiks. Vane-matüübilised selleks otstarbeks kasutatavad koksiahjud olid leekahjud, millede juures destillatsioonigaasid otseselt koksee-rimiskambri ümber juhiti ning samas ära põletati. Ahju heite-soojus kasutati aurukatelde kütmiseks. Ebamajandusliku töö-viisi tõttu on sääraseid koksiahjud kõrvale jäänud ning leiavad veel vaevalt kasutamist.

Uuemate koksiahjude juures saadakse koos koksiga ka rida üliväärtuslikke kõrvalsaadusi. Neid eraldatakse destillatsioonigaasidest enne viimaste põletamist ahjus, kuna heitegaaside soojust kasutatakse jällegi põlemisõhu ettesoojendamiseks. Eri-liiki nn. kompaund-koksiahjude juures toimub kokseerimis-kambri kütmine kõrgahjust või gaasigeneraatorist saadava madalamaväärtusliku küttegaasiga. Selle tagajärjel koksiahju kõrgeväärtuseline destillatsioonigaas jääb järele tervelt, küll aga tuleb see-eest nii põlemisõhk kui ka küttegaas enne ette soojendada.

Koksiahjusid ei seata üles üksikult, vaid tavaliselt gruppides kuni 30 ahju üksteise kõrval. Säärasel koksiahjude patareil on ühine korsten ja suitsukanal ning ikka kahe kokseerimiskambri vahel asetsevad kütteilõõrid. Põlemisõhu ettesoojendamine ~ 1000° peale toimub kambrite all asetsevais tulekindlate kivi-

dega täidetud soojussalvedes. Ette-soojendatult voolab õhk läbi eriliste pilude, nn. kütteseina, kuna kõrvalaineist vabastatud küttegaas juhatakse harutorustiku kaudu samuti kütteseina. Põletistes satuvad siin kokku õhk ja gaas ning viimane põleb ära, tekitades suurt kuumust. Põlemisgaasid langevad kütteseina teisel poolel kütelõõride kaudu alla, annavad neis peituvat soojuse ära soojussalve kivivõrestikule ning lähevad siis korstnasse. Umbes pooltunnise töötamise järel lülitakse ahi ümber ja küttegaasidele ning korstnagaasidele antakse eelmisest vastupidine suund. Joon. 3 kujutatud koksiahi on kom-



Joon. 3. Koksiahi.

a = koksiahi; b = täitevanker; c = masin kooksi väljasurumiseks ahjust; d = ukse tõsteseadis; e = vagun kooksi kustutamiseks; f = renn; g = transportlint; h = kokseerimiskamber; i = küttekanaalid; k = täitekanalid; l = tõrvaeraldaja; m = gaasi juurdevool; n = õhu- ja gaasitorustik; o = põletti; p, p' = õhu juurdevool või heitegaaside äravool; q, q' = soojussalved gaasi ja põlemisõhu jaoks; r, r' = heitegaaside kanal.

paundahi ning selle kütmiseks kasutatakse tavaliselt kõrgahju-gaasi, kuna kokseerimisgaas on vaid abikütteks.

Koksiahju täitmine söega toimub väikeste ahjupealsel sõit-vate täitevankrite abil. Nagu juba varem rõhutatud, peab kogu kokseerimine toimuma ilma välisõhu juurdepääsuta, mispärast täiteavad tuleb pärast täitetöö lõpetamist hoolsasti sulgeda. Pärast 12—20-tunnist kuumutamist on süsi koksiks muutunud. Kogu suur koksikook surutakse nüüd erilise masina abil avatud ahjuuste kaudu välja, pealt lahtisse vagunisse, kus ta kustuta-takse tugeva veejoo abil.

Healt kõrgahjukoksilt nõutakse, et ta tuhasisaldus ei ületaks 9%, veesisaldus 4% ning väävlisisaldus 1%. Üldiselt 1 tonnist kivisöest, kui selle lenduvad ained on 20% ja tuhk 5%, saa-dakse keskmiselt:

koksi .....	~	750	kg
ammoniaaki .....	~	2,5	kg
tõrva .....	~	25	kg
bensooli .....	~	4,5	kg

Ühest tonnist koksisöest saadav gaasihulk on ümmarguselt 300 m<sup>3</sup>.

### Kõrgahi.

Kõrgahju ülesandeks on rauamaakide taandamine. Täna-päeva kõrgahi kuulub kaevusahjude liiki ning põhimõtteliselt peaks tal olema silindriline kuju. Et aga maagid ahjus allapoole liikudes kuumenevad ning selle tagajärjel omandavad suurema mahu, siis nende rippuma-jäämise vältimiseks peab kõrgahju keskmine osa olema avaram. Ahju profiil koosneb seepärast nagu kahest suurest põhjadega kokkupuutuvast koonusest, kus-juures alumine neist aga ei ulatu maapinnani, vaid läheb enne silindriks üle.

Kõrgahju täitmine maagi, lubjakivi ja koksiga toimub läbi ülemise suudme, kuna sulanud massid, toormalm ja šlakk las-takse välja alumises osas olevate avauste kaudu.

Tuleb vahet teha ahju järgmise kolme tähtsama osa vahel:

1) Alumine, silindriline osa, mille sisemine läbimõõt on 3—6,5 m ning kõrgus 2—3,5 m. Umbes 1,5—2,5 m põhjapinnast ülespoole suubuvad silindrisse põlemisõhu juurdejuhtimise torud pihustite näol. Allpool õhupihustite pinda kogunevad vedel toormalm ja šlakk, pealpool seda pinda aga põleb ära koks ning sulab ahjutäide.

2) Keskmine, tüvikoonusekujuline osa, mille alumisel otsal on silindrilise osaga ühine läbimõõt, kuid ülespoole see laieneb tunduvalt.

3) Ülemine, tüvikoonusekujuline osa moodustab ahju kaevuse. Selle ülemine osa on täiteavaks ja viimase läbimõõt on umbes  $\frac{2}{3}$  koonuse alumisest läbimõödust.

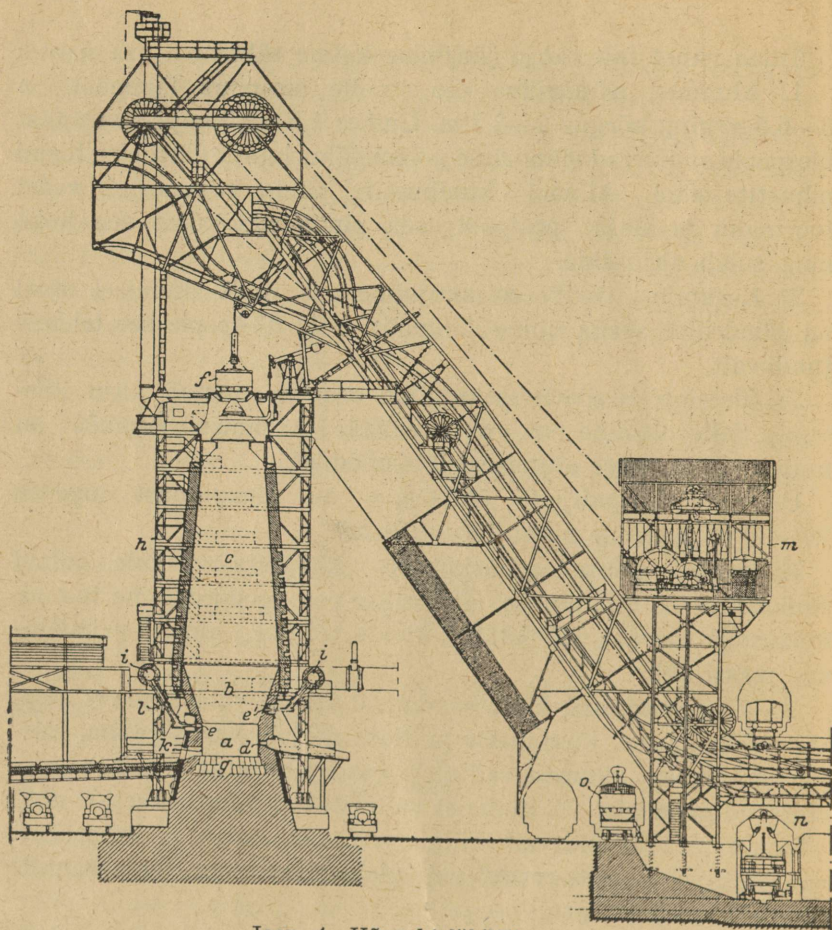
Uuemate kõrgahjude üldkõrgus on maapinnast lugedes 20—30 m ja nende maht 450—850 m<sup>3</sup>.

Kõrgahju seinte müürimiseks kasutatakse tulekindlaid šamottkive, kuna alumise, silindrilise osa vooderdamine toimub koksist ja tõrvast valmistatud kivide või neist aineist valmistatud massi abil.

Ka kõige paremad kivid suudaksid ikkagi vaid lühikest aega täitehõõrumisele, kuumusele ja šlaki mõjule vastu panna, mispärast rohkem kuumenevad ahju osad jahutatakse seinte sisse ehitatud pronksist või malmist valmistatud jahutuskastide abil. Viimaseid läbib pidevalt külma vee vool. Ahju alumine osa varustatakse veel tugevast terasplekist mantliga, mida samuti jahutatakse piserdatud veega.

Uuemad suured kõrgahjud ei ole enam suutelised kandma täiteplatvormi, õhutorusid ja teisi sääraseid raskeid osi, millede kaal võib tõusta üle 1000 tonni. Nende hoidmiseks ehitatakse eriline terrassõrestik (joon. 4) ühes vaheplatvormidega ja neid ühendavate treppidega.

Tuuletorustiku õhupihustid on kahekordse seinaga pronksist või vasest koonilised torud, mida samuti jahutatakse läbi-voolava vee abil. Tuulepihustite arv on rippuv kõrgahju läbimõödust ja ulatub enamasti kaheksast kuni kaheteistkümmeni.



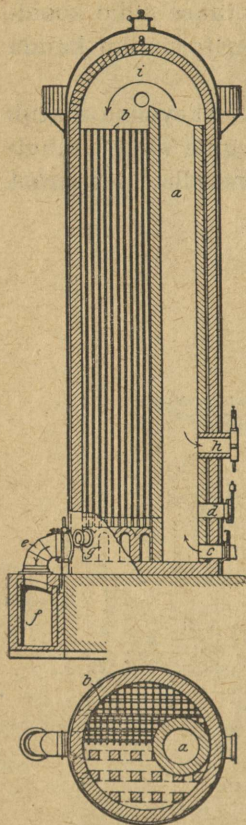
Joon 4. Kõrgahi läbilõikes.

a = alumine silindriline osa; b = keskm. tüvikoonusekujul. osa; c = ülem. tüvikoonusekujul. osa; d = avaus šlaki väljalaskmiseks; e, e' = tuulepihustid; f = täitepott; g = põhjakivi; h = hoidsõrestik; i = tuuletorustik; k = avaus toormalmi väljalaskmiseks; l = pihusti tuuletoru; m = tõstemasin; n = maagiladu; o = täitepott.

Suurte kõrgahjude juures ehitatakse peale tavaliste veel nn. hädapihustid, mida kasutatakse ahju töökäigus ilmnevate takistuste puhul.

Umbes möödunud sajandi keskpaigani jäeti kõrgahju täiteava alaliseks lahti. Et aga kõrgahju küttegaasid moodustavad





Joon. 6. Cowper-  
õhukuumutaja.

a = gaaside põlemisruum;  
b = kivivõrestik; c = gaaside sissevool; d = põlemisõhu sissevool; e, f = korstnasse; g = külma õhu sissevool; h = kuuma õhu väljavool; i = kuppel.

arvel peab see hulk olema  $\sim 40\%$  võrra suurem. Käesoleval juhul on päevane õhutarvitus seega:  $1000 \cdot 3000 + 0,4 \cdot 1000 \cdot 3000 = 4,2$  milj.  $m^3$  või ümmarguselt 5400 t õhku. Õhupumpamiseks rakendatakse suured kolvikompressorid ning nende käitamiseks gaasimootorid.

Põlemisõhu ettesoojendamine annab väga suurt küteteaine kokkuhoidu, mis pärast nüüd töötamine külma õhuga on täiesti kõrvale heidetud. Õhu ettesoojendamine toimub Cowper-õhukuumutajais. Viimased kujutavad plekist, kupliga lõppevat silindrit, mille läbimõõt on 6—8 m ja kõrgus 20—35 m. Joon. 6 kujutatud Cowper-õhukuumutaja sisaldab kuni kuplini ulatuva ümarmarguse põiklõikega põlemisruumi. Õhukuumutaja ülejäänud osa on täidetud hulga tulekindlate vormkividega, nn. kivivõrestikuga. Vormkivid moodustavad suure arvu ruudulise või kuuekanalilise põiklõikega püstkanaleid. Cowper'i üleskütmiseks juhitakse põlemisruumi puhastatud kõrgahjugaasi ja õhku. Gaas põleb siinsamas ära, kuna põlemisgaasid püstkanalite kaudu langevad alla, andes oma soojuse üle kivivõrestikule. Kui viimane on enesesse kogunud küllaldase soojustagavara, juhitakse küttegaas mõnda teise Cowper-

õhukuumutajasse ja põletatakse seal. Üleskõetud õhukuumutajasse juhitakse nüüd kõrgahju põlemisõhk, kuid gaasile vastupidises suunas. Õhk, voolates läbi hõõguva kivivõrestiku,

kuumeneb tugevasti ning Cowper'ist väljudes juhitakse kõrgahju. Ühe kõrgahju juurde kuulub kuni kolm säärast õhukuumutajat, neist üht köetakse, teine töötab õhu ettesoojendajana, kuna kolmas seisab mitmesuguste juhtumite jaoks varus. Sääraseis Cowper-õhukuumutajais võib tunnis 30 000—60 000 m<sup>3</sup> õhku 700—800° C peale ette soojendada.

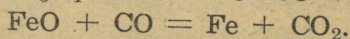
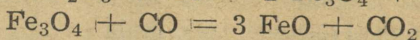
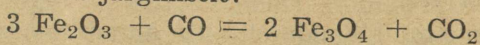
Kõrgahju täitmine toimub vaheldumisi täpselt kaalutud koksi ja maagikogustega. Täide liigub ahjus pidevalt allapoole ja teeb seejuures läbi keemilise muutuse. Koksi või tekkinud süsinikoksiüdi mõjul eraldub nimelt maakidelt hapnik ja ahju põhja jõudes on viimased muutunud juba toormalmiks ning šlakiks. Aeg, mida ahjutäide oma teekonnal läbi ahju vajab, kõigub 8 ja 20 tunni piirides.

Kui on toormalmi küllaldaselt ahju alumisse ossa kogunenud, avatakse põhjakivi peal asetsev, tulekindla saviga suletud väljalaske-avaus. Avamiseks kasutatakse tugevat raudkangi, erilist mehaanilist seadet või erijuhtumel isegi hapnikuga sulatamist. Väljalastav toormalm juhitakse kas liivast ja savist vormitud rennidesse või malmist vormidesse (kokillidesse), kus ta klompideks hangub. Pikad klompide ribad purustatakse kraanadele kinnitatud ja elektri abil töötavate vedruhaamrite poolt. Klompide koristamist ja laadimist toimetavad jällegi elektrilised tõstemagnetid. Pärast toormalmi ja seejärel šlaki väljavoolamist kõrgahjust suletakse väljavoolu-avaus savitropiga uuesti suruõhu, auru või elektri abil töötava masina poolt.

Kõrgahjus toimub rida mitmesuguseid metallurgilisi protsesse, milledest tähtsamaid püüame allpool lühidalt kirjeldada. Kõigepealt on kasulik jälgida üksikute ainete teekonda läbi ahju. Lühemat aega vajab põlemisõhk või sellest tekkinud gaasid, ja nimelt 5—8 sekundi jooksul läbitakse ahi terves pikkuses. Esmalt kuum õhk, väljudes õhupihustest, satub tulisele koksile ning valitseva kõrge temperatuuri tõttu põleb viimane süsinikoksiüdiks (CO). Süsihapugaas (CO<sub>2</sub>) võib tekkida vaid õhupihustite läheduses, s. o. seal, kus hapnikuhulk võrreldes puhta süsinikuga on tublisti ülekaalus. Valgelt hõõguva koksi

kõrge temperatuur aga põhjustab süsihapugaasi lagunemist valemi järgi  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2 \text{CO}$ , sest 1600—1700° C juures ei ole  $\text{CO}_2$  enam püsiv. Vaba hapnik on samuti mõeldav vaid õhupihustite kõige lähemas naabruses, sest süsiniku ja hapniku ühinemise tung on liialt suur. Teel kõrgahju täiteava poole gaasilised ained annavad mitte ainult oma soojuse ahjutäitele üle, ise seejuures jahtudes, vaid samaaegselt sünnib pidevalt ka keemilisi muutusi.

Süsinikoksüüd (CO) ahjus ülespoole liikudes puutub kokku maakidega, s. o. raua ja hapniku ühendiga ning ühineb ahnelt maagihapnikuga. Osa süsinikoksüüdist põleb seega maagihapniku arvel süsihapugaasiks ( $\text{CO}_2$ ), kusjuures maak taandatakse rauaks umbes järgmiselt:



Taandamine, mida CO esile kutsub, ei ole aga täielik, sest tekkinud  $\text{CO}_2$  mõjub omakorda takistavalt.

Maak, lubjakivi ja koks satuvad kõrgahju täiteava kaudu ahju kõige jahedamasse ossa, soojendatakse siin äravoolavate gaaside poolt ja kaotavad varsti oma niiskuse. Allapoole liikudes algab temperatuuri tõusuga, s. o. umbes 400° C juures ülalpool kirjeldatud süsinikoksüüdi mõju maakidele või nn. k a u d n e t a a n d a m i n e, mille juures tekib metalliline raud.

Maagijäänuseist šlaki tekkimine, samuti ka maagi seni taandamata osade — mangaani, fosfori, räni ja teiste toormalmi lisandite taandamine toimub kõrgahju alumises osas. Taandaja osa aga ei etenda mitte enam süsinikoksüüd, vaid juba puhas süsinik valgelt hõõguva koksi näol. Viimane puutub võrdlemisi kõrge temperatuuri juures tihedasti kokku vedela massiga ja mõjub palju ägedamini kui gaasiline süsinikoksüüd. Kirjeldatud reaktsiooni nimetatakse otseseks taandamiseks vastandina CO poolt esilekutsutud kaudsele taandamisele.

Juhul, kui kõrgahju temperatuur langeb õigest määrast allapoole, kas täite ebaotstarbekohase koostise, lekkiva õhupihusti

tõttu ahju tunginud vee mõjul või mõnel teisel põhjusel, siis toimub otsene taandamine puudulikult. Rauaühendid jäävad osaliselt šlakki, viimane värvub tumepruuniks või mustaks, kõrgahjul on nn. toor- ehk külmkäik. Võib ette tulla ka kogu täite rippuma-jäämine, mis siis järsku alla langedes põhjustab plahvatusi ja täiteava mehhanismide purustusi. Samuti tuleb arvestada, et mõnel juhul vedel toormalm ja šlakk kõrgahju seintest läbi murravad. Nende ja teiste sääraste ebasoovitavate nähtuste vältimiseks on kõrgahi varustatud rea kontroll- ja mõõteseadmetega.

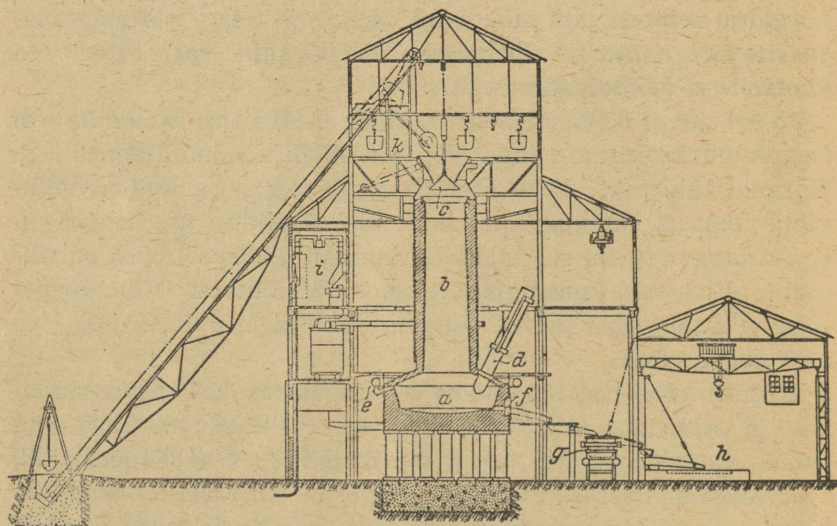
Mõnel juhul võib vajadus tekkida kõrgahju nädalaiks või isegi kuudeks seisma panna; see toimub ahju summutamise teel. Kõrgahi täidetakse seks otstarbeks koksiga, ja kui see õhupihustiteni on jõudnud, pannakse seisma nii õhu juurdevool kui ka jahutus ning ahi suletakse õhukindlalt. Säärasel viisil on võimalik ahjus tuld kuusid ja isegi aastaid säilitada. Käimapanemiseks on siis vaid tarvilik kuuma õhku ahju puhuda ning töö võib uuesti alata.

Moodsa kõrgahju tööjõudlus on rippuv maakide rauasisaldusest ja valmistatava toormalmi liigist. Nii saadakse ühes ning samas ajaühikus 100 t valget toormalmi, 80 t halli toormalmi, 70 t pegelmalmi jne. Päevane kõrgahju toormalmitoodang (24 tunni jooksul) kõigub enamasti 500—800 t piirides. Olenevalt kasutatava koksi headusest kulub 1 t toormalmi valmistamiseks 700—1 200 kg koksi.

### **Elektrikõrgahi.**

Põhiline vahe tavalise ja elektrilise kõrgahju vahel seisneb selles, et esimesel vajalik soojusetarvitus kaetakse süsinikku sisaldavate kütteinete, nagu koksi, puusöe või antratsiidi põletamise teel, kuna elektrikõrgahjus vajaliku soojuse tekitajaks on elektrienergia. Maakide taandamine aga toimub nii ühel kui ka teisel juhul söe abil. Missugust menetlust on kasulikum rakendada, ripub täiel määral ära koksi ja elektrienergia hindadest ning on seega puhtal kujul majanduslik probleem. Ma-

janduslik võrdsus mõlema kõrgahju tüübi juures saavutatakse juhul, kui 4 kg koksi ja elektri 1 kW-tunni hind on omavahel võrdsed. Loomulik, et elektrikõrgahi on mõeldav vaid maades, kus elektrienergiat on väga odava hinnaga küllaldasel määral saadaval. Sääraseks maaks on eriti Rootsi, kus ka elektrikõrgahi peamiselt rakendamist on leidnud.



Joon. 7. Elektrikõrgahi.

a = kolde osa; b = ahju kaevus; c = sulukoonus; d = elektrood; e = gaasi juurdevool; f = avaus toormalmi väljalaskmiseks; g = valupott; h = valamisruum; i = lülitusseade; k = täiteplatvorm.

Koksikõrgahjust lahkumineva töötamisviisi tõttu on elektrikõrgahjul ka tavalisest erinev profiil (joon. 7). Elekter juhitakse ahju nelja kuni kuue umbes 650-mm läbimõõduga süsielektroodi kaudu, ning keskmine elektritarvitus on 2 200 kWh ühe tonni toormalmi kohta. Maakide taandamiseks kasutatakse peamiselt puusütt, kuid võimalik on ka söe osaline asendamine koksiga. Olenevalt elektrikõrgahju suurusest on päevane toormalmitoodang 20—70 t.

Elektrikõrgahju töötamise põhimõte on lühidalt järgmine. Ahjus tekkivaist gaasidest juhitakse ülal täiteava juures üks osa kõrvale, jahutatakse ja juhitakse kõrgahju alumise osa kaudu uuesti ahju sisemusse. See toimub alt ülespoole pihustite kaudu nii, et gaasivool tabab kõigepealt ahju alumise osa võlvi, ning viimane kui tundlikum osa seega jaheneb. Jahutusgaaside koosseisus olev süsihapugaas taandatakse kõrgahjus valitseva kõrge temperatuuri, täite ja elektroodide süsiniku poolt süsinik-oksüüdiks. Jahutusgaas, läbides ahjus täidet, sisaldab seega vaid süsinikoksüüdi (CO) ja vähesel hulgal vesinikku ja metaani. Jahutusgaasile lisandub veel ahju alumises osas otsese taandamise tagajärjel tekkinud CO. Mõlemad kokku põhjustavad maakide kaudset taandamist. Viimane aga sünnib tavalise kõrgahjuga võrreldes palju kitsamas piirkonnas, sest et puudub koksi põletamisest suur kuumade küttegaaside hulk ning kuumus püsib peamiselt vaid elektroodide piirkonnas, kus toimub ka maakide otsene taandamine toormalmiks.

### Kõrgahju saadused.

Kõrgahju saadusteks on toormalm, šlakk ja kõrgahjugaas. **T o o r m a l m.** Tehakse vahet toormalmi kahe pealiigi, nimelt valge ja halli malmi vahel. Neist esimesel on kogu süsinik keemiliselt seotud kujul, teisel seevastu on suurem osa süsinikust lehekujuliselt grafiidina eraldunud. Ülemineku nende kahe pealiigi vahel moodustavad hallikirju murdepinnaga malmid.

Hall toormalm tekib juhul, kui koosseisus on rohkemal määral räni (siliitsiumi). Viimane soodustab grafiidi tekkimist ja takistab rauda ja süsinikku keemiliselt ühinemast. Vastupidiselt aga mõjuvad mangaan ja väävel, ning mangaanirikkad toormalmiliigid hanguvad seepärast valgelt. Grafiidi kujundamisel etendab tähtsat osa ka jahtumise kiirus. Nii madala siliitsiumisisalduse puhul üks ning sama toormalm, valatuna metallist vormidesse, hangub valgelt, ent vormliivast vormidesse, kus jahtumine sünnib aeglaselt, aga hallilt. On grafiidilehekesed

väikesed, siis on malmi struktuur peensõmeraline ning värv on helehall. Oli seevastu grafiidikristallidel eriti aeglase jahtumise tõttu küllaldasel määral aega kasvamiseks, siis on nad märksa suuremad, struktuur on jämekristalliline ja värv tumehall.

Peale toormalmi juba nimetatud koosseisu osade on oluline veel fosfor, mis sula malmi teeb hästi vedelaks. Võrdlemisi väikesed väävlihulgad seevastu mõjuvad malmi tugevusomadustele eriti kahjustavalt.

Praktikas toormalmi jaotusest halliks ja valgeks toormalmiks ei piisa, vaid liigitamine toimub olenevalt kasutusotstarbest, milleks antud malmiliik on kõige sobivam. Nii tuntakse hematiit-, valu-, bessemer-, thomas-, peegel-toormalmi ja teisi. Hematiidi all tuntakse valutoormalmi, mille fosforiisisaldus ei ületa 0,1%. Peegelmalm on valge mangaanirikas toormalm, mis oma nime on saanud omapärasest struktuurist. Ülejäänud toormalmiliigid kannavad oma nime lihtsalt kasutusotstarbe järgi, milleks nad on kõige sobivamad.

Tabelis 1 on toodud mõned rohkem iseloomustavad toormalmiliigid tabelikujuliselt.

Toormalmiliigid.

Tabel 1.

Liik	Murdepind	C- <sup>o</sup> / <sub>o</sub>	Si- <sup>o</sup> / <sub>o</sub>	Mn- <sup>o</sup> / <sub>o</sub>	P- <sup>o</sup> / <sub>o</sub>	S- <sup>o</sup> / <sub>o</sub>
Thomastoormalm . . .	valge	3,2 — 3,6	0,3 — 0,4	1,2 — 1,5	1,8 — 2,2	0,05 — 0,12
Hematiittoormalm . . .	hall	3,5 — 4,0	2,0 — 3,0	kuni 1,2	kuni 0,1	kuni 0,04
Valutoormalm	hall	3,5 — 4,0	2,25 — 3,0	kuni 0,8	kuni 0,7	kuni 0,04
Temperavalutoormalm	valge	3,25 — 3,9	0,3 — 2,0	0,3 — 0,4	kuni 0,06	0,02 — 0,15
	kuni hall					
Peegelmalm .	valge	4,5 — 5,5	kuni 1,0	6,0 — 16,0	kuni 0,1	kuni 0,04
Ferromangaan 50% . . . .	valge	6,0 — 8,0	1,0	42 — 55	0,35	0,02

Kõrgahjušlakki kasutatakse väga mitmesuguseks otstarbeks, nii näit. võib ränirikast šlakki auru- või õhujoa abil

tolmutada, mille tagajärjel tekivad pikad ja peened elastsed niidid, nn. šlakkvill. Viimast kasutatakse ta halva soojusejuhtivuse tõttu aurutorude ja teiste sääraste seadmete soojuse isoleerimiseks; ka aga sobib ta suurepäraselt kõlasummutava materjalina. Juhul, kui lubjavaest šlakki lasta plokkidena hanguda või teda valada õhema kihina liivasängi, saadakse tüklikku šlakki. Peenendamine toimub siin kas käsitsi või kivipurustajate abil ja saadud materjali kasutatakse hea eduga killustikuna teedehituses. Lõpuks on kõrgahjušlakk veel sobiv ja rohkesti kasutatav materjal nn. kõrgahjutsemendi valmistamisel.

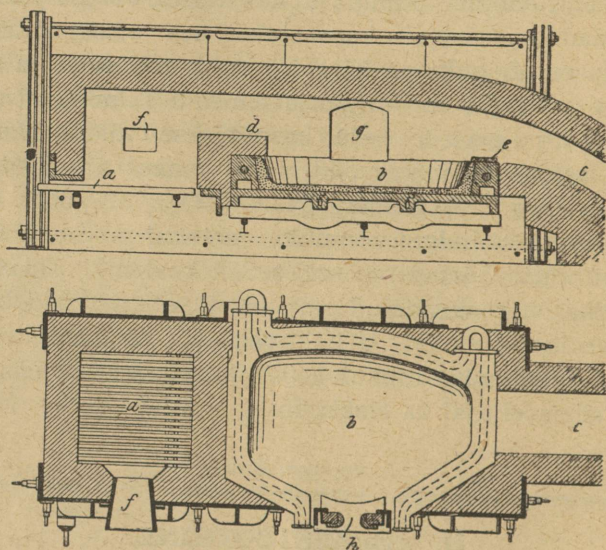
Kõrgahjugaas, mida kasutatakse väärtusliku kütteenainena, sisaldab süsinikoksüüdi (CO) umbes 25—30%, sellele lisandub umbes 12% süsihappugaasi (CO<sub>2</sub>), 52—60% lämmastikku ja vähemal hulgal vesinikku, metaani ja veeauru. Kõrgahjugaasi kütteväärtus on umbes 850 kcal/m<sup>3</sup>. Gaasi otsene kasutamine on raskendatud seepoolest, et ta sisaldab tublisti tolmu peenikeste maagi- ja koksiosakeste näol, mis tuleb enne eraldada. Eraldamine toimub sellekohaseis eriseadmeis kas vee abil või viimasel ajal ka elektriliselt.

## II. TERASETOOTMINE.

### Pudeldusmenetlus.

Nägime eelmises peatükis, et toormalm, peale süsiniku, tarvitamisotstarbest olenevalt sisaldab ikka suuremal või vähemal määral teisi elemente, nagu räni, mangaani, fosforit, väävlit jne. Toormalmi ümbermoodustamine teraseks seisnebki nüüd õigupoolest selles, et kõrvaldataks süsinikku ja teisi lisandeid oksüdeerimise teel, kasutades selleks õhus või maakides leiduvat hapnikku. Eraldamine võib sündida gaasi näol või siis, kui antakse sellekohaseid lisandeid, sula metalli pinnal ujuva šlakina.

Juhul, kui terasetootmisel viimase sulamispunkti ei ületata, saadakse lõpuprodukt taigasarnases olekus. Väikesed kristallikesed on pangaks kokku keevitunud ning saadus kannab keevitusterase (keevitusraud) nimetust. Kui aga sulamistemperatuur ületatakse ja lõpuprodukt on vedelas olekus, räägitakse valuterasest (valuraud).



Joon. 8. Pudeldusahju.

Keevitusterast tavaliselt valmistatakse pudeldusmenetluse või pudeldusahju protsessi teel (tuletatud inglise keele sõnast „to puddle“ — ümber segama).

Pudeldusahju (joon. 8) kolm olulisemat osa on küttekolle *a*, töökolle *b* ja gaaside äravoolulõõr *c*. Töökolle ehk lihtsalt kolle kujutab umbes 1,7—2 m pikka ja 1,6—1,7 m laia vannitaolist ruumi, mille põhja moodustab paks raudplaat ning küljed seest õõnes malmist raam. Jahutuse otstarbel läbib viimast pidevalt külma vee vool. Kolderuum on pealesulatamise teel vooderdatud šlakiga, mis tekib pudeldusmenetluse juures. Kolle

on pealt võlviga kaetud, ning ahjul on avauseid täitmiseks ja tühjendamiseks, samuti ümbersegamiseks.

Töötamisel asetatakse heledalt hõõguvasse ahju umbes 300-kilogrammiline kogus toormalmi ja aetakse sulaks. Siinjuures küttegaasides rohkesti leiduv süsihapugaas ja ülihulgas olev õhuhapnik mõjuvad täitele oksüdeerivalt ning välja põleb viimastest peamiselt räni. Tekkiv šlakk aga katab täite õige pea ja kaitseb teda küttegaaside edaspidiste mõjutuste eest. Pudeldusahjumehe ülesandeks ongi nüüd täidet pika raudroobiga segada, nii et ta kokku puutuks küttegaasidega ja samuti teataval määral oksüdeerivalt mõjuva šlakiga. Peale räni jääkide oksüdeeritakse nüüd ka mangaan, osalt ka raud ja lõpuks süsinik. Viimastest tekkiv süsinikoksüüd tõuseb mullidena šlakipinnale ja põleb ära sinaka leegiga. Gaaside tekkimine muutub nüüd järjest elavamaks, kogu täide hakkab nagu keema, tõuseb kuni vanni ääreni ja šlakk voolab avause *h* (joon. 8) kaudu välja. Mida rohkem edeneb süsiniku oksüdeerimine, seda raskemalt sulavamaks aga muutub ka ahjutäide ja lõpuks ületab ta sulamispunkt ahjus valitseva kuumuse. Tagajärjeks on, et algul tekivad väikesed rauakristallikesed, mis heledate punktidenä eralduvad tumedamast šlakist. Nende hulka kasvab kiiresti ja nad keevituvad kokku pankadeks.

Toormalm on muutunud teraseks, kuid süsiniku eraldamine kogu massis ei ole veel täiesti ühtlane. Viimast saavutab pudeldusahjumees sellega, et ta tugeva raudkangiga pangad mitmekordselt pöörab ja nad siis üksteise peale laob. Sääraselt saadud suur terasepank jagatakse nüüd osadeks, mis pihtide abil ahjust välja tõmmatakse ja auruhaamri alla asetatakse. Sepistamise teel liidetakse üksikud osakesed tihedamalt omavahel ja suurem osa pangas leiduvast šlakist pressitakse välja. Järgneb valtsimine plokkideks ja kangideks.

Pudeldusahjus on põlemiskadu olenevalt valmistatavast teraseliigist 6—15% ja kütteaine tarvitus kõigub piirides 750—1600 kg 1 tonni valmisplokkide kohta. Pudeldusmenetlus kestab tavaliselt umbes 1—2 tundi ning tekkiv pudeldusšlakk

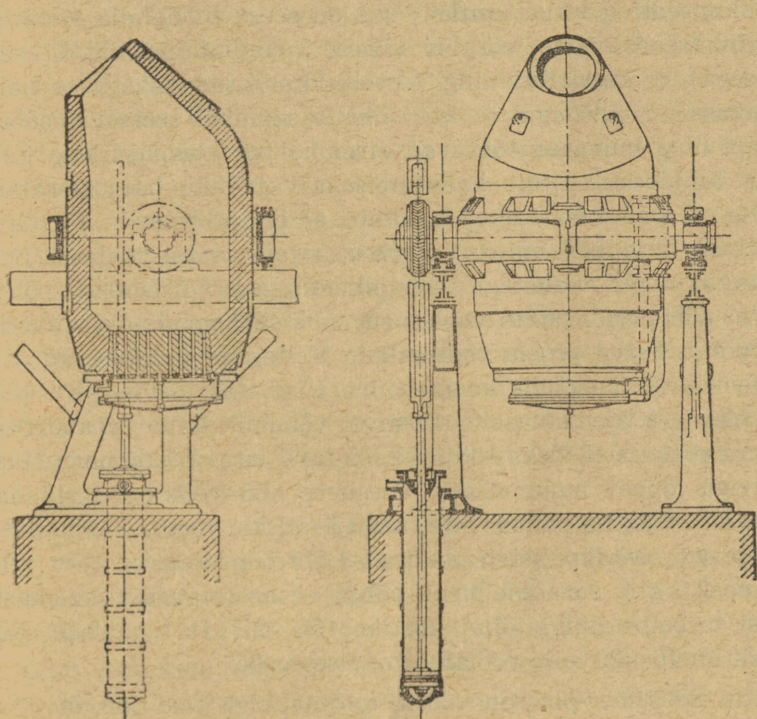
sisaldab olenevalt toormalmist kuni 55% rauda, 10% räni-oksüüdi, 0,5% mangaani ja 1—4% fosforit. Pudeldusšlakk läheb uueks töötlemiseks tagasi kõrgahju.

### **Bessemer- ja Thomas-menetlus (valuterase tootmine).**

Möödunud sajandi viiekümnendail aastail tegi Henry Bessemer leiutuse uueviisiliseks terasetootmiseks, nimelt sai ta terast lihtsalt vedelast toormalmist õhu läbipuhumise teel. Leiutus äratas suurt tähelepanu, sest selle menetluse järgi oli võimalik sama terasehulka, mis pudeldusahjus nõudis tööaega kuni 24 tundi, valmistada 20 minuti jooksul. Teisest küljest aga ei võimaldanud uus Bessemer-menetlus kõikide toormalmi lisandite eranditult kõrvaldamist. Terasele nii kahjulik lisand nagu fosfor jäi muutmata hulgal alles. Et saada ikkagi madalaprotsendilise fosforisisaldusega terast, oldi sunnitud kasutama vaid fosforivaest toormalmi, mis uue menetluse tarvituselevõtmist teataval määral pidurdas.

Nagu eespool nägime, ei piisanud pudeldusahjus küttegaaside suurest soojushulgast hoolimata ikkagi kuumusest, et valmist terast hoida lõpuni vedelana. Bessemer-menetluse juures nüüd, kus mingit kütteinnet ei tarvitata, vaid läbipuhutatav õhk omakorda tugevasti soojenedes viib ära hulga soojust, hanguks toormalm õige pea ja töö tuleks pooleli jätta. Selle vältimiseks antakse toormalmile niisugune koosseis, et teatavad koosseisu osad, oksüdeerimisprotsessi puhul ära põledes, tõstaksid vedela terasemassi temperatuuri tunduvalt. Sääraseiks koosseisu osadeks on esmajoones räni, vähemal määral mangaan, raud ja süsinik. Kasutatav toormalm sisaldab seepärast tavaliselt 2% räni, vahel isegi rohkem. Vedelat toormalmi saadakse kas otse kõrgahjust või siis kupolahjust (vt. joon. 19), milles tä sulatakse koksi abil. Esimene viis on muidugi majanduslikult kasulik, sest teiskordse ümbersulatamise kulud jäävad ära. Toormalmi ühtlasema koosseisu saavutamiseks tuleb vaid kõrg-

ahjust väljalastav toormalm koguda suurtesse silindrikujulistesse 250—1000 t mahutavusega pööratavasse anumaisse, nn. toormalmi-segajasse. Segajas seisab toormalm pikemat aega vedelana, ning siit võib vähemad kogused edasiseks ümbertöö-



Joon. 9. Bessemer-pirn.

tamiseks igal ajal kerge vaevaga välja valada. Edasi rahuliku seismise tagajärjel eraldub toormalmist ka suur osa väävlit, kuna viimane ühinedes mangaaniga muutub kergema erikaaluga šlakiks. Tõustes sula toormalmi pinnale on šlakki koos väävliga kerge eraldada.

Bessemer-menetluse läbiviimiseks kasutatav seade omab veel

tänapäeval sama kuju nagu leiutuse tegemise ajalgi, s. o. pirnikujulise, mispärast teda hüütakse ka lihtsalt Bessemer-pirniks või, kui vooder on aluselise iseloomuga, — Thomas-pirniks. Sageli kasutatakse ka nimetust konverter. Joon. 9 kujutab Bessemer-pirni ehitust. Ta koosneb plekist kokkukeevitatud või kokkuneeditud terasmantlist, mis on seest tulekindla voodriga (jahvatatud kvarts või liiv vähese alumiiniumoksüüdi lisanudusega) vooderdatud ning tervelt kinnitatud tugevasse hoidrõngasse. Hoidrõngal on kaks ühel tasapinnal asetsevat pöördtappi ning viimased toetuvad pirni hoidva aluspuki laagritele. Üks tappidest kannab kallutamiseks vajalikku hammasratast, teine on seest õõnes ning kasutatakse õhujuhmena. Pirnil on säärane kuju, et lamavas olekus sissevalatav toormalm ei puudutaks hulga avaustega (õhupihustitega) varustatud põhja. Pirni püstasendi puhul voolab suruõhk läbi nende õhupihustite ja põhja katva vedela toormalmi. Heitegaasid lahkuvad läbi konverteri avause ehk kaela; viimast kasutatakse ka pirni täitmiseks ja tühjendamiseks. Pirni on võimalik kolmveerand ringi võrra pöörata. Selleks töötab koos tapil istuva hammasrattaga kolviga lõpev hammaslatt. Veedurve abil võib kolvi silindris üles-alla liikuma panna, mille tagajärjel konverter kas kallutatakse või seatakse püstasendisse. Läbi õõnestapi ja toru juhitakse 2,5 atü suruõhk pirni põhja all asetsevasse tuulekasti, kust ta suure hulga õhupihustite (50—200 tk.), millede läbimõõt on 10—20 mm, voolab pirni sisemusse.

Kui Bessemer-pirn on vedela toormalmiga täidetud, lastakse tuul peale ning pirn seatakse aeglaselt püstasendisse. Vedelat metalli läbistav õhk mõjub otsekohe oksüdeerivalt, ning ära põlevad kõigepealt räni ja mangaan. Tagajärjeks on, et temperatuur järsku tõuseb. Mõne minuti pärast on räni ja mangaani põlemine lõppenud ning nüüd algab elav süsiniku põlemine peamiselt süsinikoksüüdiks (CO), mis pirni kaelast väljudes ja õhuga segunedes põleb süsihapugaasiks (CO<sub>2</sub>). Kurisev müra, mis oli kuulda protsessi algul, muutub järk-järgult äärmiselt tugevaks mürinaks, mida põhjustab kitsas pirni sisemuses tek-

kiv süsinikoksiüüd. Pirni kaelast purskab välja šlakitükikesi ja terasepritsmeid, kuid umbes 10 minuti pärast on ka süsinik kõrvaldatud, sinakas leek kustub — toormalm on muutunud teraseks. Kui soovitakse saada terast kõrgema süsinikusisaldusega, tuleb puhumine lõpetada enne kogu süsiniku täielikku ärapõlemist. Vilunud terasetootja võib enamasti leegi kuju ja värvuse järgi määrata, millal on sobiv moment puhumise katkestamiseks. Lõpuks seatakse konverter jälle horisontaalasendisse ja tuul suletakse. Vedelale terasele lisatakse nüüd desoksüdeerimise otstarbel juurde teatav hulk ferromangaani, kõvemate terasesortide puhul ka teatav kogus varem sulaks aetud peegelmalmi. Ferromangaanis leiduv mangaan taandab ja seega hävitab vedelas terases puhumise tagajärjel tekkinud rauahapniku ühenduse. Viimane teeks terase kuumas olekus hapraks, nii et selle edasine töötlemine osutuks võimatuks. Et saada head läbisegamist, aetakse pirn veel kord püsti, lastakse lühikest aega tuul täiendavalt peale ja valatakse sisu siis juba suurde tõstekraana küljes rippuvasse potti. Edasi järgneb vedela terase valamine neljakandilistesse malmist püstvormidesse, nn. kokillidesse.

Põlemisprotsent kõigub Bessemer-menetluse juures 10 ja 12% vahel, kaasa arvatud nii raualisandite kui ka raua enese põlemine, kadu pritsmete näol jne. Šlakk oma raua- ja mangaanisalduse tõttu läheb toorainena tagasi kõrgahju.

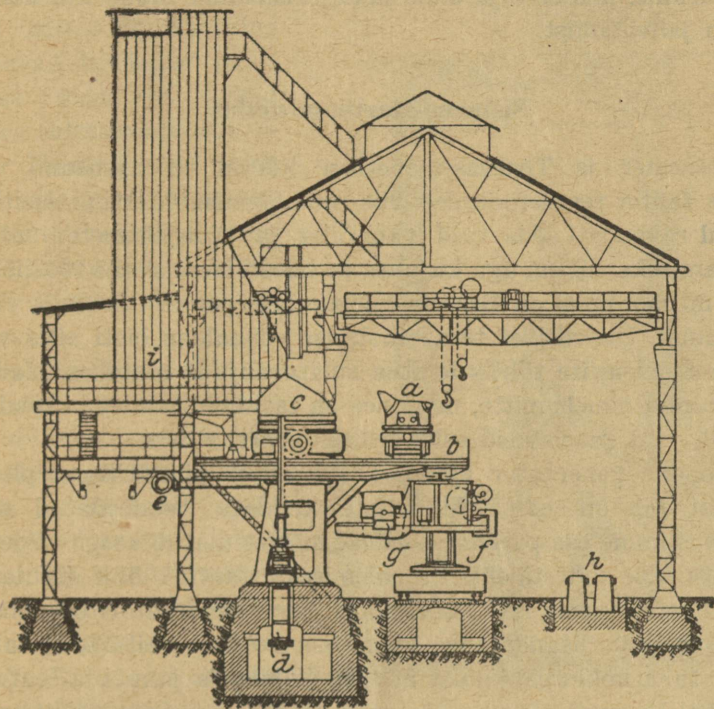
Tekib küsimus, miks ei õnnestu nii kergesti põlevat fosforit kõrvaldada, kuna see ometi pudeldusahjus on võimalik. Põhjuseks on Bessemer-pirni ränirikas vooder, mis on nõutav, sest et rauaoksiüdirikas vooderdus, nagu see pudeldusahju juures on tavaline, siin valitseva kõrgema temperatuuri tõttu vastu ei pea. Fosfori eraldamiseks rauast aga on tingimata tarvilik, et šlakk oleks aluseline, mis fosfori põlemisel tekkinud fosforhappe seob. Kui nüüd lisadagi alusena mõjuvat lupja, siis mõjub viimasele kohe pirni ränirikas vooder, vabastab uuesti juba seotud fosfori ja see rändab terasesse tagasi, ühtlasi hävib võrdlemisi kiiresti ka kogu konverteri vooderdus.

Kaua aega ei leitud sobivat aluselise iseloomuga voodri materjali, kuni S. G. Thomas ja P. C. Gilchrist a. 1878 esmakordselt võtsid tarvitusele dolomiidi, s. o. looduses leiduvat süsihappu-kaltsiumi ja -magneesiumi segu, mis osutus nõudeile vastavaks. Nimetatud mineraali aga tuleb enne tarvituselevõtmist kuni paakumiseni põletada, mille tagajärjel süsihappugaas välja aetakse. Põletatud dolomiit jahvatatakse nüüd kollerveskis peeneks, lisatakse kuuma veevaba tõrva ja segu segatakse põhjalikult läbi. Säärasest tõrva-dolomiidisegust kas pressitakse suure surve abil vormkivid või siis kaetakse seguga pirni sise-pind käsitsi. Konverteri põhja valmistamine toimub eraldi samast massist. Nüüd kuumutatakse kogu vooderdust, mille tagajärjel tõrva kergemad, lenduvad osad välja aetakse, kuna tõrva lagunemisel tekkiv peenelt jaotatud süsinik jääb hästi siduva kitina dolomiidimassi alles. Pirni vooder kannatab 300 kuni 400, põhi 50—70 terasesulatust välja, enne kui neid uuendada tuleb. Dolomiitvoodriga pirnis võib, kartmata vooderduse sööbimist, lisada niipalju lupja ja hoida šlakk niivõrd aluselise-na, et fosforhappeks põlenud fosfori eraldamine ei tekita enam mingit raskust.

Vastandina Bessemer- ehk hapule menetlusele nimetatakse säärasel kujul töötamist Thomas-menetluseks ehk aluseliseks protsessiks. Kui Thomas-menetluse puhul kasutada niisama ränirikast toormalmi, nagu see oli valitud Bessemer-pirni jaoks, siis saaksime asjata suure hulga šlakki, kuna lupja tuleb lisada rohkem, ka mõjuks räni tugevasti pirni voodrile. Kasutamist leiab seepärast toormalm, mille ränisisaldus on kõigest umbes 0,5%, fosforisisaldus see-eest aga 1,8—2,5%. Fosfor põledes tõstatab sula terase temperatuuri märgatavalt ning mõjub siin kütteinena samuti nagu räni Bessemer-menetluse juures.

Enne täitmist vedela toormalmiga valatakse Thomas-pirni vajalik põletatud lubjahulk, mis teeb välja umbes 12—18% toormalmi kaalust. Räni, mangaani ja süsiniku põlemine üldjoontes ei erine Bessemer-menetlusest. Fosfor põleb suuremalt

osalt alles lõpuks ning väljapõlemine on mõne minuti pärast lõppenud. Otsustada võib selle üle jällegi pinnist välja lööva leegi kuju järgi, samuti võetakse väike proov ning tehakse sellega kiiresti sepistamis- ja murdeproovid. On tagajärjed rahuldavad,



Joon. 10. Thomas-terasetehas.

valatakse välja kõigepealt šlakk ja lisatakse siis vedelale terasele teatav hulk ferromangaani.

Joon. 10 on kujutatud Thomas-terasetehas löikes. Toormalm potis *a* sõidutatakse konverterplatvormil *b* kuni pinnini *c*, millesse ta tühjendatakse. Valmisteras valatakse erilisel vankril *f* asetsevasse potti *g* ja sealt juba kokillidesse *h*.

Thomas-menetluse puhul tekkiv thomasslakk kujutab vägagi väärtuslikku kõrvalsaadust. Ta koosneb peamiselt lubjast, rauaoksiidist ja olenevalt toormalmi koosseisust 12—25% fosforhapest. Kõrge fosforisisalduse tõttu on thomasslakk tähtis väetusaine, mis ei vaja enne müügilelaskmist muud kui korralikku jahvatamist.

### Siemens-Martin-menetlus.

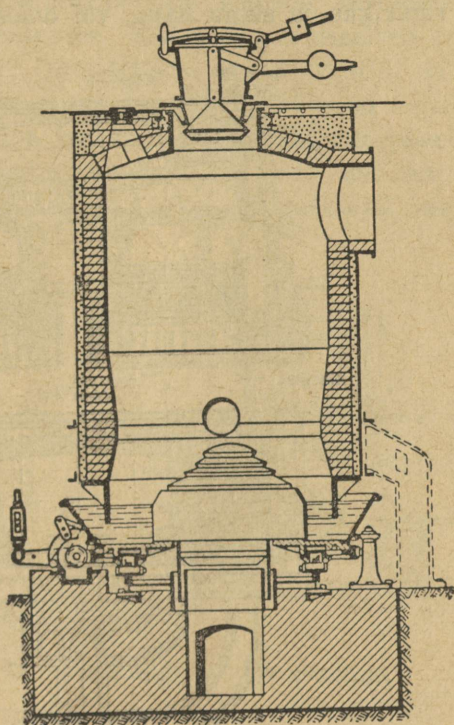
Bessemer- ja Thomas-menetluse kõrval on arenenud veel teine tähtis terasetootmise viis, nn. Siemens-Martin-menetlus. Algul rakendati seda vaid vanaraua ja rauajäätmete ümber töötamiseks, hiljem aga kujunes ta täiesti iseseisvaks tööviisiks, mis mitmel maal on Bessemer-menetluse peagu täielikult välja tõrjunud. Uueviisilist terasetootmist võimaldas õieti alles vendade Siemens'ite tähtis leiutus sulatusahjude ehituses. Nad ei põletanud nimelt mitte, nagu see on tavaline, tahket kütteainet restil, vaid gaasistasid selle erilises generaatoris.

Moodne generaator (joon. 11) koosneb silindrilisest plekkerest, mis on seest tulekindlate kividega vooderdatud ning mille alumine osa parema tiheduse mõttes ulatub veega täidetud kaussi. Sõe mittetäielikuks põlemiseks tarvilik õhk surutakse ventilaatori poolt läbi korvitaolise resti generaatori sisemusse. Põlemisõhule lisandatakse väike osa veeauru selleks, et takistada tuha kokkupakkimist kõvaks šlakiks ja jahutada teataval määral ka resti. Kuuma sõe mõjul laguneb veeaur, nii et gaasi koosseisu jääb lõpuks ka teatav osa vesinikku. Generaatori-gaasi ligikaudseks koosseisuks võib lugeda: süsinikoksiidi 26—32%, metaani 1—3%, vesinikku 6—13%, süsihapugaasi 2—4%.

Tavaliselt on generaatori ülemine osa peale täiteava varustatud veel mitme väiksema avausega, millede kaudu võib süsi-täidet torkida nii, et ta rippuma ei jääks, vaid ühetaoliselt allapoole vajuks. Joon. 11 kujutatud generaator on varustatud pöörleva resti ja veekaasiga. Säärase ehituse puhul tülikas

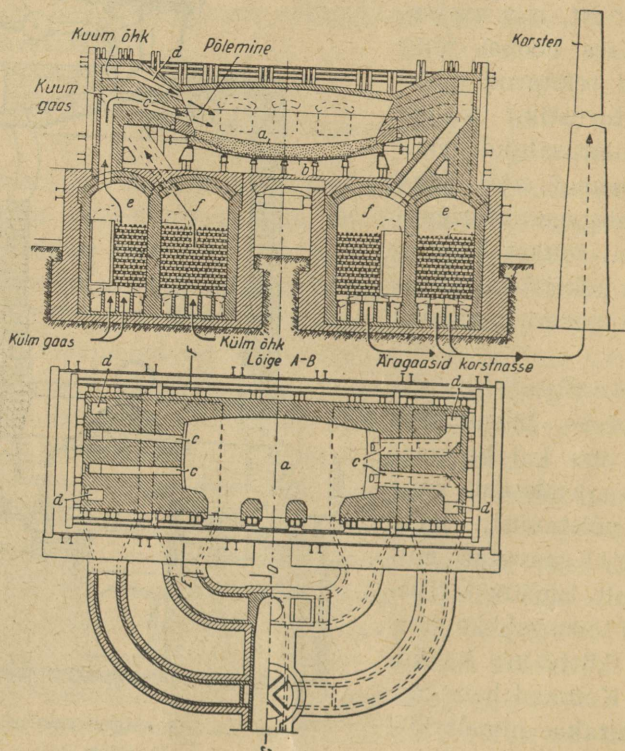
torkimine muutub ülearuseks. Edasi on veekauss varustatud generaatoriteljele risti asetatud labidaga, mis kausi aeglasel pöörlemisel tuha automaatselt kõrvaldab. Ühe Siemens-Martin-ahju jaoks on tarvis mitu generaatorit, mis asetsevad ühises hoones ning annavad tekitatud gaasi ühise torustiku kaudu edasi sulatusahjude ruumi. Uuemal ajal leiab küll puht-generaatorigaasi kõrval rohkem kasutamist ka koksiahju-, kõrgahju ja generaatorigaasi segu.

Teiseks Siemens'ite ahju suureks täienduseks oli nii õhu kui ka gaasi ettesoojendamine enne selle põletamist, mille tagajärjel saavutati mitte ainult tunduv temperatuuri tõus, vaid ka märgatav küteteaine kokkuhoid. Kuumad heitegaasid juhitakse nimelt läbi tihedasti kivivõrestikuga täidetud kambrite, nn. regeneraatorite, kus nad oma soojuse kividele ära annavad, neid kuni  $1000^{\circ}$  C üles küttes. Kui nüüd sääraseist kuumadest kivivõrestikest vastassuunaliselt läbi juhtida gaas ja põlemisõhk, siis viiakse suurem osa salvestatud soojusest jälle ahju tagasi. Harilikult asetseb kaks paari regeneraatoreid otse Siemens-Martin-ahju all ning gaasivoolu võib soovi korral juhtida nii ühes kui teises suunas.



Joon. 11. Gaasigeneraator pöördrestiga.

Siemens-Martin-ahjul (joon. 12, 13) on kolle *a* kallakuga ots-  
test keskkoha ja väljavoolu-avause poole. Ta lamab tugevatel  
malmist või terasest koldeplaatidel *b* ning on vooderdatud kas  
ränirikka ja seega hapu, või dolomiitse, seega aluselise vood-



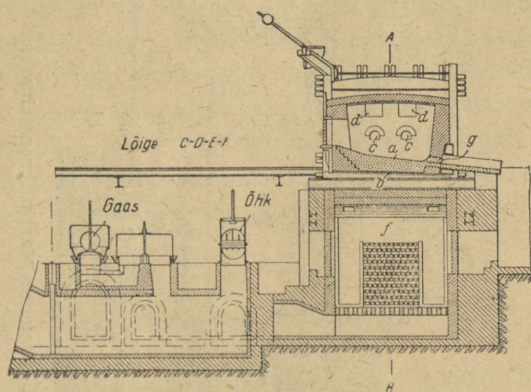
Joon. 12. Siemens-Martin-ahju piki- ja põiklõige.

riga. Ahju otstel asetsevaist ahjupeadest suubub kolderuumi  
mitu kanalit *c* ja *d*, mis moodustavad ühenduse soojussalvedega  
(regeneraatoritega) *e* ja *f* (*ee* — gaasi- ja *ff* — õhukamber).  
Läbi nende kanalite voolavad ühelt poolt ettesoojendatud kütte-  
gaas (läbi *c*) ja kuumutatud põlemisõhk (läbi *d*) pealt võlviga  
kaetud ahju kolderuumi. Sissevoolamisel gaas seguneb põlemis-  
õhuga ja põleb otsekohe ära, tekitades kolde kohal leegi, mis

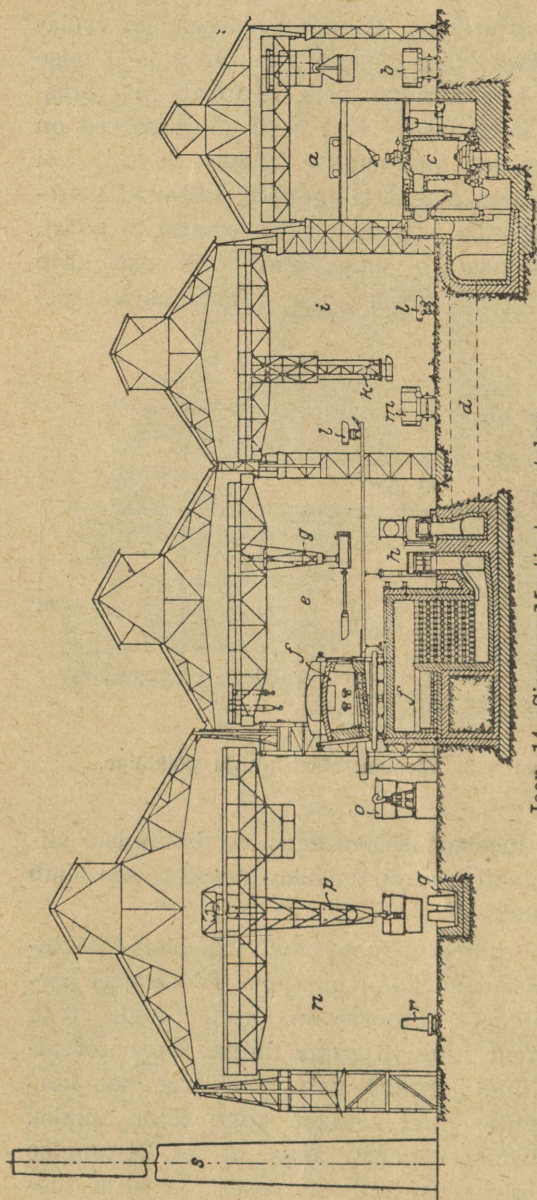
kuumutab ning sulatab ahjutäidet. Kuumad heitegaasid voolavad läbi ahju vastaspooles otsas olevate kanalite *c* ja *d* teise paari soojussalvedesse, kuumutavad neis leiduvat kivivõres-tikku ning lähevad siis korstnasse. Kui need soojussalved on küllaldaselt kuumaks aetud, muudetakse erilise ventiili või siibri abil gaasi ja õhuvoolu suund, ning nüüd kütavad heitegaasid esimest, vahepeal juba jahtunud regeneraatorite paari. Ahju ühepoolel küljel asetseb kaks kuni viis ust ahju täitmiseks, paranduste läbiviimiseks jne. Vastasküljel seevastu asetseb valmis vedela terase väljavoolu-avaus *g*, mis sulatamiskäigu kestel on suletud tulekindlast savist tropiga. Siemens-Martin-ahjud ehitatakse täite jaoks, mille suurus on 10—80 t, erijuhtumel isegi kuni 150 tonni.

Nagu nimetatud, võib kolde vooder-dus olla kas hapu või aluselise iseloomuga; et töötamisel viimasel avaneb võimalus fosfori eraldamiseks terasest, siis leiab ta ka rohkemat kasutamist.

Vanim ja veel praegu esimesel kohal püsiv Siemens-Martin-ahju tööviis on toormalmi-vanaraua-menetlus. Töötamisel asetatakse kuuma ahju kõigepealt toormalm, mille kogus teeb välja 15—30% kogu täitest, ning vajalikul hulgal lupja kõrvalainete eraldamiseks. Nüüd järgneb vanarauakogus kas korraga või järk-järgult, mille järel aetakse kogu täide sulaks. Sulatamine võtab võrdlemisi rohkesti aega, nii et 24-tunnise tööpäeva jooksul võib, olenedes täite suuruselt ja ahju töö-



Joon. 13. Siemens-Martin-ahju põklõige.



Joon. 14. Siemens-Martin-terasetehas.

viisist, läbi viia vaid kolm kuni kuus sulatamist. Üldjoontes järgneb nüüd aegamööda süsiniku, räni, mangaani ja, aluselise kolde puhul, ka fosfori väljapõlemine. Osa süsinikust põleb ära küll juba täite sulatamisel, ja et seda põlemist veelgi kiirendada, visatakse vedelasse terasmasi väikesi rauamaagitükikesi või valtsimisel tekkinud rauatagi. Väävl eraldamine sünnib osalt lubja, osalt aga ka hiljem lisandatava ferromangaani mõjul; väävlit täielikult kõrvaldada aga ei ole siiski võimalik. Kui protsess on küllaldaselt kaugele arenenud, mida aegajalt võetud proovide najal kindlaks teha saab, siis lisatakse desoksüdeerimise otstarbel fer-

romangaani. Viimase abil võib soovitud kõrgusele tõsta ka süsiniku, saades nii vajaliku kõvadusastmetega terast. Teiste metallide või nende sulamite, nagu nikli, ferrokroomi jne. lisandamisega saadakse eriteraseid, nagu nikkel-, kroomnikkel-, kroomteraseid ja teisi. Siemens-Martin-ahju toodang moodustab nüüdisajal suurema osa kogu valmistatavast terasplekist, torudest, traadist ja profiilterasest.

Joon. 14 kujutab Siemens-Martin-terasestehast lõikes, millest üksikasjaliselt on näha tähtsamad seadmed. Eraldi halli *a* on paigutatud gaasigeneraatorid *c*, mis gaasi läbi maa-aluse kanali *d* juhivad ahjuhallis *e* asetsevate Siemens-Martin-ahjude juurde. Generaatorite ja ahjuhalli vahel asetseb vanaraua ja rauajäätmete ruum *i*. Siin vagunitega *m* kohalejõudev vanaraud laaditakse kraana *k* abil transportmoldidesse *l*. Viimaseid haarab täitemasin *g* ja tühjendab neid ahju. Valmisteras voolab potti *o*, millest ta tõstekraana *p* abil valatakse ruumi põrandasse lasitud kokillidesse *q* või väikestel vankritel seisvaise kokillidesse *r*.

### Menetlus tiigliterase valmistamiseks.

XVIII sajandi keskpaiku oli tiiglis sulatamine tuntud kui ainuke valuterase tootmisviis. Tänapäeval seisneb tiigelsulatuse tähtsus peamiselt vaid selles, et mingi teise menetluse järgi valmistatud terast ümber sulatada ning tiiglis sulas olekus hoidmisega soovimatuist oksüüdilisist lisandest puhastada. Teras ümbersulatamiseks kasutatavad tiiglid koosnevad tavaliselt šamotist, millele tulekindluse tõstmise otstarbel on lisandatud teatav osa grafiiti. Täidetud tiiglite kuumendamine toimub ahjus, mis oma ehituselt on üldjoontes väga sarnane Siemens-Martin-ahjuga, s. o. samuti on varustatud gaasküttega ja regeneraatoritega heitegaaside soojuse ärakasutamiseks. Lamedale ahjukoldele asetatakse korraka kuni 100 tiiglit, kusjuures üksiku tiigli sisu kaalub kuni 50 kg. Tiiglis sulatamisel ei ole fosfori ja väävli kõrvaldamine võimalik, mispärast algmaterjal

tuleb valida juba vastava puhtusega. Sula täide reageerib tiigli seinamaterjaliga ja võtab sellest vähesel hulgal endasse räni, grafiittiiglite puhul süsinikku. Mida kauem sula teras nüüd seisab, seda paremini eralduvad šlaki- ja oksüüdijäänused, ja seda võimalust kasutatakse tiiglis sulatamisel ka täiel määral. Oksüdeerimist küttegaaside poolt ei ole karta, sest esiteks on tiigel kaanega suletud ja teiseks mõjub takistavalt ka tiigliseina süsinik grafiidi näol. Desoksüdeerimisainete lisandamine, nagu seda nägime eelmiste valuterase-menetluste puhul, osutub siin ülearuseks.

Tiiglis sulatamise suureks paremuseks on võimalus sulatamiseks ka valamistemperatuuri täpselt reguleerida. Viimane asjaolu on eriti oluline kõrgelt legeeritud tööriistateraste valmistamisel. Kvaliteedilt on tiigliteras üldiselt väga hea, kuid valmistuskulud on ka vastavalt kõrged.

### **Elektriterase-menetlus.**

Tiigliterase piiratud tootmisvõimalused ja saaduste kõrge hind on põhjustanud kõrgeväärtuslike teraste valmistamist elektriahjus. Elektriterase tootmiseks on konstrueeritud ja ehitatud väga mitmetüübilised elektriahjud, kuid kõigi nende ahjude juures kasutatakse elektrit ainuüksi vaid soojusallikana.

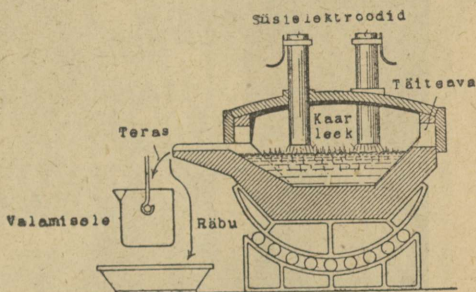
Elektriteraseahjud võib nende ehitusviisi järgi jagada kahte peagrussi: elektri-kaartuleahjud ja elektri-induktsiooniahjud. Esimeste juures tekitatakse soojus elektrilise kaare läbi, mis oma kuumuse otse sulatatavale materjalile üle annab; viimaste juures on põhimõtteliselt tegemist transformaatoriga, mille kinnine raudsüdamik kannab primaarmähist, kuna sekundaarmähise moodustab sama südamiku ümber asetsev sulatatav metall. Sekundaarmähises tekib induktsiooni tagajärjel vool, mis kuumutab ja sulatabki ahjutäidet.

Mõlema ahjuliigi omavahelises võistluses on viimasel ajal võitjaks jäänud elektri-kaartuleahi ja seda oma tööstuslike pare-

muste tõttu, nagu rippumatus täiteliigist, kiire töövalmis olek ning kolde parem vastupidavus ja selle hõlpsam parandamisvõimalus. Rohkem tuntud kaartuleahjud on Stassano, Hérout', Girod' ja Nathusius'e omad. Neist Hérout' ahi on kõige rohkem läbi löönud ning suurim osa elektriterasest valmistataksegi praegu selle ahjutüübiga.

Hérout' (heruu) ahi sarnleb väliselt kujult tublisti kallutava ümmarguse Siemens-Martin-ahjuga. Läbi pealmise võlvi ulatub ahju sisemusse kaks kuni kolm süsi- või grafiit-püst-elektroodi.

Viimased on järjestikku lülitud ning kõrgusasendi suhtes automaatselt isereguleerivad, nii et ühtlane voolu läbimine on alaliselt kindlustatud, sellest hoolimata et elektrodid põledes lühenevad. Võrgu keerdvool pääseb ühe elektroodi kaudu kaartulena



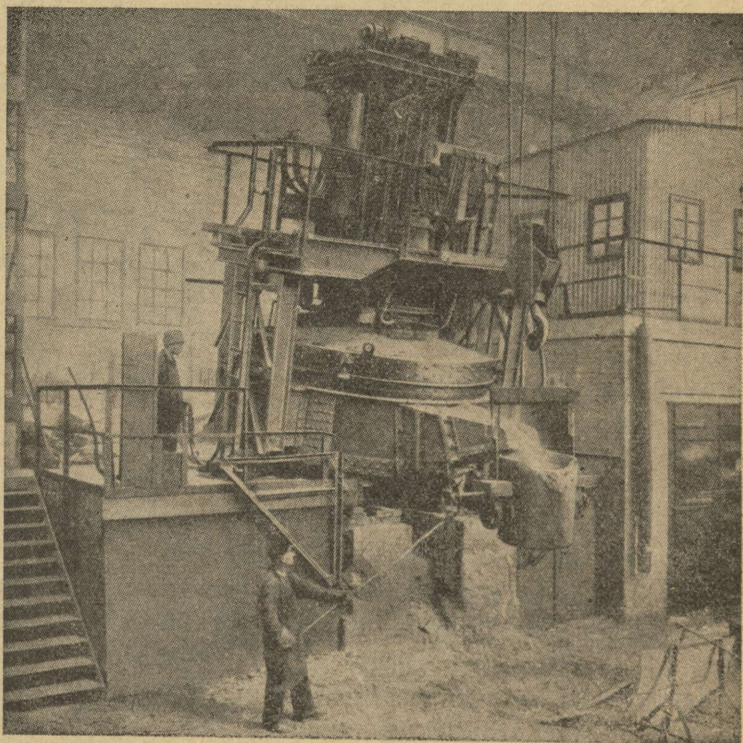
Joon. 15. Elektri-kaartuleahi.

üle metallitaitesse, läbib selle ning pääseb siis kaartulena tagasi teise või vastavalt kolmandasse elektroodi.

Ahju koldetaoline põhi valmistatakse samuti nagu Siemens-Martin-ahjulgi aluselise — dolomiidist, harvemini magneesiidist, või happelise toimega kvartsiidist. Olenevalt vooderdu- sest võib siis ka töötada kas aluselise või hapu menetlusega; neist eelistatakse enamasti aga esimest, sest ta ei nõua eriti puhast terase algmaterjali. Ahju seinad ja võlv laotakse tulekindlaist silikaatkividest. Elektriteraselahjud mahutavad tavaliselt 1—10 t terast, kuid käesoleval aastal on Siemensi tehaste poolt ehitatud hiiglahjud, millede mahutavus ulatub isegi 60 tonnini.

Metallurgiline protsess elektriteraselahjus sarnleb üldjoontes Siemens-Martin-ahju omaga. Töödeldakse suuremalt osalt vana-

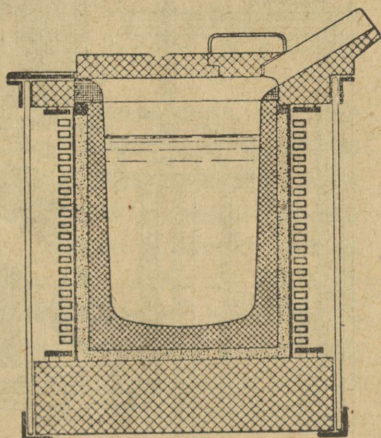
terast, millele lisandatakse tarviduse järgi toormalmi. Kõrge temperatuur võimaldab aluselises ahjus korrapäraselt töötamist aluselise šlakk-kattega, mis protsessi lõpuks vahetatakse metalloksüüdivaba taandava šlakk-kattega. Viimane võimaldab eriti kaugeleulatuvat väävli eraldumist sulast terasest. Olenevalt



Joon. 16. Elektriahi töötamas.

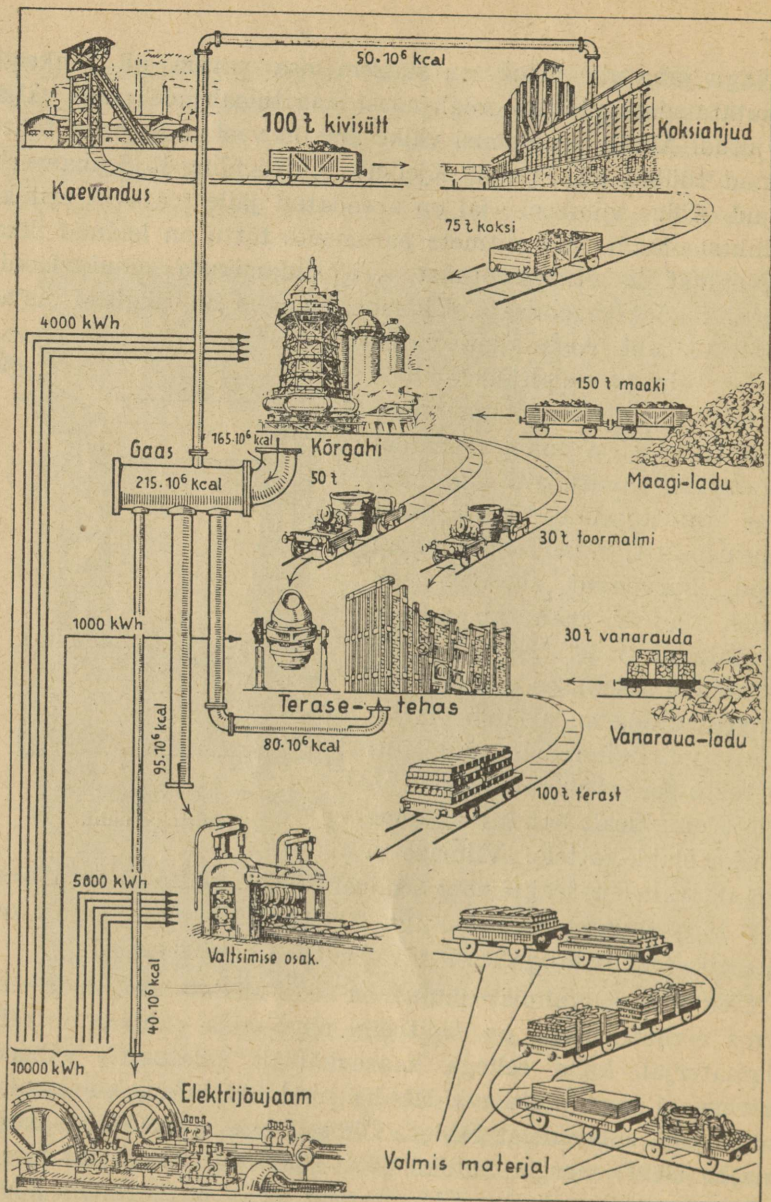
ahju suurusest võtab ühe ahjutäite sulatamine ja valmistegemine aega 3—6 tundi. Valmis sula teras valatakse ahju kallutamise teel potti ning sealt metallist vormidesse — kokillidesse. Joon. 16 kujutab suurt Hérault-ahju sula terase väljavalamise momendil.

Nagu juba nimetatud, on suurem osa varem nii rohkesti kasutatavaist induktsiooniahjudest kaartuleahjude poolt välja tõrjutud. Ainult võrdlemisi väike arv on veel töös, neist tähtsamad tüübid on Frick'i, Kjellin'i ja Röchling-Rodenhauser'i ahjud. Kõige viimasel ajal on arendatud jälle teatavat eriliiki induktsiooniahhi, mis mitmete paremuste tõttu on leidnud ikka sagedamat kasutuselevõtmist, s. o. südamikuta induktsiooniahhi ehk kõrgesagedusahi. Viimane nimetus on tingitud asjaolust, et ahi vastandina varemalle induktsiooniahjudele töötab kõrgesagedusvooluga ning seetõttu ei vaja enam transformatorina raudsüdamikku. Säärane ahi koosneb tiiglitaolisest sulatuspotist, mille vooderdus on hapu, harvemini aluselise toimega, ning mis mahutab endasse sulatavat täidet. Tiigel asetseb vaskkatsa sisemuses, mis on vesijahutusega ja mida läbib umformerivool. Induktsioonivoolu tõttu tekib soojus metallilises ahjütäites ning sealt kandub kuumus üle ka šlakk-kattele. Viimase ja metalli vahelist reaktsiooni soodustab eriti selles ahjus ilmnev sula täite ringitaoline liikumine. Ahi tühjendatakse samuti kalutamise teel ja ta maht on tavaliselt 0,3 kuni 6 tonni.



Joon. 17. Südamikuta induktsiooniahhi.

Elektriterase valmistuskulud on seda madalamad, mida suurema mahutavusega on elektriahhi ning mida puhtam on täite algmaterjal, kuna sellega kaasaskäivalt sulatustöö väheneb märksa. Loomulikult avaldab ka tunduvat mõju, kui kasutatakse juba sulavedelat täidet. Üldiselt aga arvestatakse keskmiseks elektrienergia kuluks 700—900 kWh ühe tonni terase kohta, kui täitena leiavad kasutamist teras ja toormalm kõvas olekus.



Joon. 18. Ideaalse terasetehase skeem.

## Ideaalne terasetehas.

Kokkuvõtlikku ülevaadet ideaalsest terasetehasest koos viimase poolt kulutatavate materjalide, saadud valmistoodete ning soojuse- ja energiajaotusega kujutab joon. 18.

Algmaterjalideks on 100 t kivisütt ja 150 t rauamaaki ning 30 t vanarauda. Saaduseks on 100 t terast, mis edasisel töötlemisel annab umbes 70 t valtsitud materjali, nagu vormteras, teras lattides, plekk, torud, traat jne., ülejäänud osa kokku on sepietatud terasosad, terasvalu, töötlemisjäätmed ja põlemiskadu.

Koksiahjud annavad ümmarguselt 25% ja kõrgahi 75% kütteks tarvitatavast gaasihulgast. Gaasist kasutatakse suurem osa ära Siemens-Martin-ahjudes ja valtsimise osakonnas, väiksem osa tehase jõujaamas. Suurimaiks elektrienergia tarvita-jaiks on valtsimise osakond, siis kõrgahjud ja lõpuks terasetootmise osakond. Jõutarvitus on joon. 18 näidatud kilovatt-tundides ühe tonni valmissaaduse kohta, kusjuures on eeldatud, et kõik töömasinad käitatakse elektriga. Samuti ühe tonni valmissaaduse kohta on arvestatud ka vajalik soojushulk kilokaloreis.

## III. MALMI- JA TERASEVALAMINE.

Malmi- ja terasevalamisel valatakse kuumvedel metall varem ettevalmistatud vormliivast või rauast vormidesse. Pärast valatud metalli jahtumist saame vormist veel vaid vähemal määral viimistlustööd nõudva lõpliku kujuga eseme.

Valamistooted jagunevad materjalide järgi järgmistesse gruppidesse: malm, kõvamalm, tempervalu ja terasvalu.

M a l m, mida tavalisteks valutöödeks kasutatakse, on halli murdepinnaga ning ta süsinikusisaldus kõigub enamasti 2,5—3,7% piirides. Viimane on oma suuremas osas vaba grafiit ja vaid väiksem osa on keemiliselt seotud kujul kui  $Fe_3C$ . Räni ja fosfori protsent on rippuv valatava eseme seinapaksusest: mida

väiksem on viimane, seda suurem peab olema nimetatud koosseisu osade hulk malmis. Malmi tugevus on terase omast märksa madalam, sitkus pikenemise näol aga on sedavõrd väike, et ta praktiliselt üldse arvesse ei tule. Seevastu on malmi survetugevus eriti hea, samuti hea on ka vältetugevus, mille all mõistetakse osa töötamist kiiresti ja palju kordi vahelduva koormuse all. Viimasel ajal on õnnestunud malmi mehaanilisi omadusi tunduvalt tõsta, nii näit. tavalise malmi tõmbetugevus on umbes 12 kg/mm<sup>2</sup>, kõrgeväärtusliku, erilise struktuuriga nn. perliitmalmi tugevus aga 26 kg/mm<sup>2</sup> ja rohkemgi. Väga häid tagajärgi saadakse ka malmile vähemal hulgal krooni ja nikli lisandamisega. Selle tagajärjel tõuseb malmi tugevus, tihedus ja vastupidavus kulumisele, ning säärast malmi kasutatakse vastutusrikaste masinaosade, nagu näit. autosilindrite valamisel.

Mõnel juhul on malmi tugevus väiksema tähtsusega, eriti oluline seevastu aga kõvadus, näit. kiviklompide pakkide, püüli-veski- ja plekivaltside ja teiste sääraoste osade juures. Sobiva koosseisu ja valatise välispinna kiire jahutamise saadaksegi valatud osa, mille välispind on hangunud valgelt. Viimase kõvadus on sedavõrd suur, et töötlemine osutub võimalikuks veel vaid lihvimise teel või siis eriliste kõvametallide abil. Vajaliku sitkuse saavutamiseks korraldatakse jahutamist tavaliselt nii, et valatise südamik hanguks hallilt ja jääks pehmena, kõvadus tõuseb siis välispinna suunas ning väliskest teatavas paksuses on juba klaaskõva. Säärane malmvalu kannab kõvamalmi nime, ning nagu nimetatud, kasutatakse teda tugevasti kuluvate osade valamiseks. Kõvamalmi süsinikusisaldus on madal, tõmbetugevus väga väike ja pikenemine puudub täiesti.

Vastandina, kui valatud esemelt nõutakse head sitkust, kerget töötlemisvõimalust ja üldse terasetoolisi omadusi, siis leiab kasutamist tempervalu. Siin valitakse malmi koosseis säärane, et saadakse valge murdepinnaga valatis, millel kogu süsinik on rauakarbiidina rauaga keemiliselt seotud. Järgneva hõõgutamisega, nn. temperdamisega aga lõhutakse kõvad rauakarbiidid, kusjuures grafiit ei eristu lehekujuliselt, nagu tavalise

halli malmi juures, vaid kuulikujuliste pesakestena, mis valatise tugevust ja sitkust vähendavad hoopis vähemal määral. Valatis muutub esialgsega võrreldes tublisti pehmemaks, kuid soodsa süsinikujaotuse tagajärjel tõuseb tugevus ja eriti sitkus väga tunduvalt. Toored valatised pakitakse temperdamiseks suurtesse temperpottidesse koos liiva või kuumutamisel hapnikku eraldava rauamaagiga — hematiidiga. Peamiselt Ameerikas kasutatava liivas temperdamise puhul jääb rauakarbiidi lagunemisel tekkiv süsinik peagu täielikult valatisse alles ning moodustab seal musta südamikuga. Sel juhul räägitakse musta südamikuga või ameerika tempervalust. Rauamaagi kasutamisel laguneb rauakarbiid samuti, kuid vabanev süsinik ühineb kuumutamisel maagihapnikuga, ning suur osa süsinikust eraldub süsihappena. Sääraselt käsitletud tempervalu murdepind on siis ka valge ja saadus kannab saksa või valge tempervalu nime. Potid koos sisuga kuumutatakse sellekohases temperahjus ja kuumutamise ning aeglase jahutamise protsess kestab päevi. Tempervalust, mida toodavad ka meie kodumaa tehased, valmistatakse suur arv põllutöomasinate ja teiste sääraste riistade osadest.

Terasvalust valmistatud osal on võrreldes valtsitud, sepietatud või pressitud terasosaga põhimõtteliselt võrdsed materjaliomadused. Keemilised omadused on terasvalul ligemale samad, mis igal teiselgi terasel, s. o. suhteliselt madal süsiniku-, räni-, fosfori- ja väävlisisaldus. Sageli legeritakse terasvalu mangaani, nikli ja kroomiga. Füüsikalistest omadustest on eriti alla kriipsutada terasvalu suur tugevus, sitkus ja karastatavus. Terasvalu valmistamine toimub Siemens-Martin-ahjus, Bessemer-pirnis või elektriahjus.

Mitmesuguste malmvaluliikide jaoks sobivama koosseisu leidmine ei ole päris lihtne, kuna üksik toormalmiliik selleks kaugeltki alati ei sobi. Tuleb kasutada mitmeid toormalmiliike korraga, samuti tuleb lisada suurel määral ka vanamalmi. Antud ülesande lahendamiseks, s. o. sobivaima koosseisu leidmiseks aga on tarvis teada üksikute koosseisu osade vastastikust mõju.

Süsinik teeb üldiselt valatise pehmemaks, seejuures jämedad grafiidijooned aga mõjuvad halvasti malmi tugevusele, viimast suuresti vähendades. On soovitatav, et süsinik oleks võimalikult peenelt ja hästi ühtlaselt jagatud üle kogu pinna. Sobivaimaks struktuuriks osutub malmvalu juures just perliit (vt. joon. 57). R ä n i soodustab grafiidi eraldumist ning teeb seega malmi üldiselt pehmemaks. Kuna grafiidi eraldumine on suuresti rippuv sula malmi jahtumiskiirusest, siis väiksemate seinapaksuste puhul peab ränisisaldus olema ka vastavalt kõrgem. Tuleb märkida, et kõrge ränisisaldusega malm (8—11% Si) on jällegi väga kõva ja habras, kuid see-eest happekindel. M a n g a a n i mõju on ränile just vastupidine, ta takistab grafiidi eraldumist ning teeb malmi kõvaks, tõstab aga teataval määral ka sitkust ja vastupidavust kõrgemaile temperatuuridele. F o s f o r langetab hangumistemperatuuri ning teeb sula malmi hästi vedelaks, kuid valatud eseme ühtlasi hapraks. Tugevasti koormatud osade juures lubatakse fosforit vaid väga väikestes hulkades, kuna jällegi õhukeseseinaline valu, nagu keedunõud, vannid ja kunstvalu valmistamine ilma teatava fosforisisalduseta on võimatu. V ä ä v e l on malmi koosseisus väga kahjulik: ta takistab valatavust, sest teeb sula metalli paksuks ja raskesti sulavaks, takistab grafiidi eraldumist ning vähendab tugevasti malmi mehaanilisi omadusi. Suur osa väävlit satub malmi koosseisu kütteaineist. Lisandeist, nagu n i k k e l ja k r o o m, mõjub esimene peamiselt sellega, et teeb valatise peensõmeraliseks ja tihedaks ning tõstab vastupidavust leeliste mõjule. Ni ja Cr koos tõstavad tunduvalt tugevust, vähendavad kulumist ja teevad malmi korrosioonikindlamaks.

Mõned iseloomustavad malmikoosseisud on toodud allpool:

Nimetus	Valatise seinapaksus mm	C-0/0	Si-0/0	Mn-0/0	P-0/0	S-0/0
Vedurisilinder . . . . .	25—30	3,30	1,50	0,95	0,25	0,08
Emaleeritud keedunõud . .	3—5	3,50	2,80	0,60	1,20	0,09

## Kupolahi.

Vanim malmi sulatamisviis on sulatamine tiiglis. Tiigel asetseb seejuures madalas kaevusahjus ning tiigli ja ahjuseina vaheline ruum on täidetud küttekoksiga. Põlemisõhk surutakse läbi resti alt üles ahju sisemusse. Rakendamist leiab säärane sulatamisviis-nüüd veel vaid väiksemate valutükkide valamisel kõrgeväärtuslikust malmist.

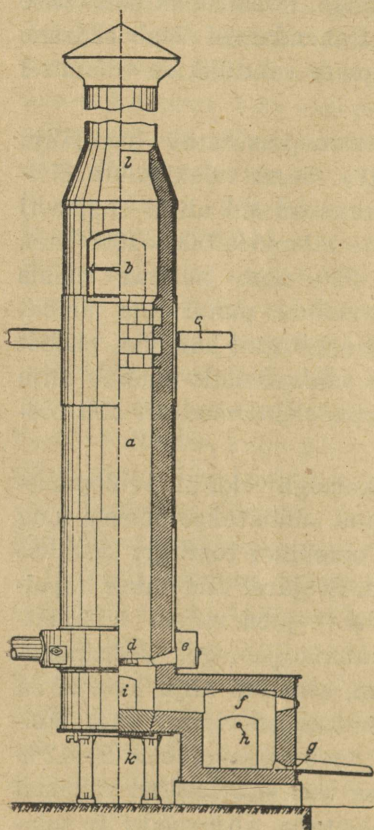
Malmisulatusahjuna on nüüd rohkem kasutatav kupolahju nime all tuntud kaevusahi (joon. 19). Seest tulekindlate kividega vooderdatud plekist kesta pikkus on sel ahjul enamasti 4 kuni 6,5 m ja vooderduse sisemine läbimõõt 500—1000 mm. Ahi, mille sisemine läbimõõt on 500 mm, sulatab tunnis ~ 1000 kg malmi, 1000-mm läbimõõdu puhul aga umbes 7000 kg. Kupolahju alumine osa on varustatud kandilise plekist tuuletoruga, kust kaks või rohkem tuulepihustit suubub ahju sisemusse. Vajaliku põlemisõhu annab elektrimootori abil töötav ventilaator.

Töötamiseks täidetakse kupolahi koksiga veidi üle tuulepihustite joone, põhja asetatud põletuspuud süüdatakse põlema ning lahtiste pihusti välisklappidega ja loomuliku tõmbega lastakse see põhjakoks hästi hõõguma minna. Seejärel täidetakse kupolahi ülemises osas oleva täiteava kaudu juba varem täiteplatvormil valmiskaalutud koksi- ja malmikogustega. Koksipanusele järgneb vaheldumisi ikka malm, seni kui ahju kaevus on täidetud. Üksikute malmikoguste suurus on rippuv ahju läbimõõdust ja sulatuskoks omakorda teeb välja umbes 8—12% malmikogusest. Töötamisel lisatakse veel vahetevahel vähemal hulgal paekivitükikesi, mis koos koksituha, ahjuvoodri ja sulatamisel ärapõlenud raua, räni ja mangaaniga moodustab kuumvedela šlaki. Nüüd suletakse seni lahtised pihustite välisklapid ja ventilaator lastakse käima. Õige pea hakkab malm sulama ning koguneb tilkadena ahju alumisse ossa, kuna šlakk kui erikaalult kergem ujub sula malmi pinnal. Ahju külje peal oleva, tavaliselt savitropiga suletud avause kaudu lastakse šlakk aeg-

ajalt välja. Kui ahju põhja peale või suuremate kupolahjude puhul erilisse eelkoldesse (vt. joon. 19) on kogunenud küllaldasel määral sula malmi, lastakse see samuti savitropiga suletud avause ja tulekindla saviga vooderdatud renni kaudu

valamisposti. Ahju vahelduv täitmine koksi ja malmiga jätkub pidevalt, kuni kõik seks korraks ettenähtud materjali hulk on sulatatud. Töö lõpetamisel lastakse tugevate teraskiilude abil kohalhoitav ahju põhi alla, ning kogu veel ahjus olev hõõguv koks, šlaki- ja malmijäänused valguvad välja põrandale, kus nad kiiresti veejoaga kustutatakse.

Kupolahju - koksilt nõutakse, et ta peab olema sobivais, umbes rusikasuurustes tükkides, hästi kõva, et ta ahjus suure malmikoorma all ei puruneks ja et ta sisaldaks võimalikult vähe tuhka, niiskust ja väävlit. Eriti viimane nõue on oluline, sest suurem osa kütteaine väävlit läheb sulatamisel malmi koosseisu üle. Lõpuks peab sulatuskoks olema veel raskesti põlev ja seda põhjusel, et teatava temperatuuri juures ahjus tekkinud ja ülespoole voolav süsihapugaas mõjub allavalguva sulatuskoksi peale, moodustades süsinikoksüüdi järgmise valemi järgi:  $\text{CO}_2 + \text{C} = 2\text{CO}$ .



Joon. 19. Kupolahju.

a = ahju kaevus; b = täiteava; c = täiteplatvorm; d = tuulepihusti; e = tuuletorustik; f = eelkolle; g = sula malmi väljalaskeavaus; h = avaus šlaki väljalaskmiseks; i = avaus ahju kaevusesse pääsmiseks; k = põhjaluuk; l = korsten.

Kujutatud reaktsioon on seotud suure soojuskaoga ning kütta-  
aine kokkuhoiu mõttes seega kahjulik.

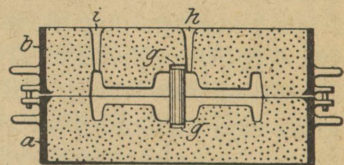
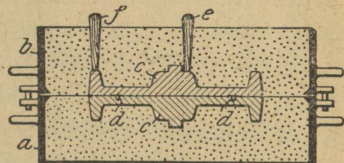
Terasevalamiseks kupolahi ei sobi. Siin leiavad, nagu nime-  
tatud, kasutamist väikesed 5—10 t mahutavusega Siemens-Martin-  
ahjud, väikesed hapu vooderdusega 1—5 t mahutavusega  
konverterid ning vähemamöödulised elektriahjud.

Vormimine. Peale otseste valamismaterjalide on vala-  
mistööstuses veel küllaltki suur tähtsus vormimismaterjalidel,  
ripub ju valatise õnnestumine suurel määral ära just viimaste  
õigest valikust ja ettevalmistusest. Põhiliseks materjaliks on  
teatavate kindlate omadustega vormliiv. Nii peab vormliiv olema  
kuumuskindel, ei tohi seega terase või malmi valamistempera-  
tuuri juures ise sulada. Edasi peab ta olema hästi plastiline ning  
vormitud kuju kindlalt alal hoidma. Gaasi läbilaske suhtes nõu-  
takse, et valamisel tekkivad gaasid kiiresti vormist välja juhi-  
taks. Kõik loeteldud omadused ei ole ühel ning samal vormliival  
alati mitte korraga olemas, mispärast tavaliselt tuleb omavahel  
segada mitu vormliivaliiki. Tehakse vahet „rasvaste“ ja „lah-  
jade“ vormliivade vahel, milledest esimesed on savirikkamad  
ja, kuna savi üksikud kvartsiterakesed omavahel seob, hästi  
plastilised, see-eest aga ka vähem gaasi läbilaskvad. Eestis lei-  
dub valamistöödeks sobivat punase värvinguga vormliiva Pet-  
seri ümbruses. Lahjema vormliiva aset täidab enamasti vana,  
valamisel juba kord kasutatud vormliiv, millel valamiskuumuse  
tagajärjel saviosakesed on surnuks põletatud ja viimased see-  
tõttu oma sidevõime kaotanud. Jahvatamise ja sõelumise teel,  
paraja osa vee lisandamisega ning hoolsa segamisega, valmis-  
tatakse vormliiv vormimiseks ette. Segule lisatakse sageli tea-  
tav osa peeneks jahvatatud kivisöe tolmu, millega välditakse  
vormliiva terakeste külgepeõlemist valatise pinnale. Ühtlasi tõs-  
tab kivisöetolm ka vormliiva gaasi läbilaskevõimet.

Suuremate keerulise kujuga esemete ja eriti terasvalu vormi-  
miseks vormliiv ei sobi. Selle asemel kasutatakse suurema tule-  
kindlusega vormmassi, mille koosseisu osadeks on rasvane  
vormliiv, savi ja šamottjahu. Et mass oleks küllaldaselt gaasi

läbilaskev, lisatakse segule saepuru või mõnd muud sarnast kergelt põlevat ainet. Vormi põletamisel, s. o. kuivatamisel võrdlemisi kõrge temperatuuri juures, põlevad need lisandid ära ja moodustavad väikesi gaasi läbilaskvaid kanaleid.

Erilise koosseisuga on valatise õõnsusi moodustavate kärnide valmistusmaterjal. Üldiselt on ta sarnane eespool kirjeldatud vormmassiga, kuid viimasel ajal kasutatakse ikka rohkemal määral õlikärne. Sääraste kärnide valmistamiseks segatakse puhas kvartslüiv sitke õliga. Pärast kujuandmist kuivatatakse kärnimass, kuid ainult nii kõrge temperatuuri juures, et õli tõr-



Joon. 20. Hooratta vormimine.

a = } vormkasti pooled; c = } mudel;  
 b = }  
 e = } puupulgad valukanalite moodusta-  
 miseks; g = kärn; h = } valukanalid.  
 f = }  
 i = }

vastuks, mitte aga ära ei põleks. Tagajärjeks on, et üksikud liivaosakesed pakkivad kokku tihedaks, suure kõvadusega massiks. Kasutamist leiavad kärnide valmistamisel ka veel jahulised sideained, nagu dekstriin, rukkijahu jne.

Valuvormide valmistamine nõuab iseenesest head ettekujuvusvõimet ning tublisti osavust, eriti kui on tegemist keerulise kujuga esemete vormimisega. Mudeli vormimiseks valmistatakse mudelid kas puust või metallist ning enne tarvituselevõtmist kaetakse neid erilise kaitselakiga. Et sula metall jahatumisel kahaneb, siis on valatis alati natuke väiksem kui mudel, viimane tuleb seepärast juba algusest peale valmistada kahanemismõõdu võrra suuremana. Malmil on kahanemine igas suunas 0,5—1%, terasvalul 1,5—2% ja tempervalul 1,2—2%.

Mitmed valatud esemed, nagu silindrid, torud jne., on seest õõnsad, neid tuleb valada ümber nn. kärni, mille valmistamine toimub vormmassi tampimisega sellekohasesse puust kärnikasti (vt. joon. 21). Vormil on väljalõiked — kärnimärgid, milledesse kärn toetub. Pikemad kärnid toetatakse veel läbipaindumise vältimiseks eriliste rauast kärnitugedega, viimased hoiavad kärni oma asendis kindlalt kohal, sulades ise valatava metalliga kokku.

Püüame näitega selgitada ühe valatise, käesoleval juhul väiksema hooratta valmistuskäiku (vt. joon. 20). Hooratta mudel valmistatakse puust nii, et see koosneks rummule risti läbilõigatult kahest teineteisele võrdsest, pidemetega omavahel ühendatavaist pooltest. Mudeli kergemaks väljatõstmiseks vormist antakse püstpindadele kergelt kooniline kuju, näit. rummuosa koosneb nagu kahest põhjadega kokkupandud tüvikoonusest. Üks mudelipool asetatakse nüüd puust aluslauale ja selle peale malmist vormkasti pool. Vormliiva külgekleepumise vältimiseks riputatakse mudelile natuke puusöetolmu ja sõelutakse talle siis peale õhuke kiht vormliiva. Pärast selle igakülgselt mudelile vastusurumist tambitakse vormkasti pool vormliiva täis. Tampida ei tohi liiga tugevasti, kuid ka mitte liialt kergelt. Tööriistana kasutatakse selle töö juures tampijat, mille üks ots on varustatud nüri teravikuga, teine ümmarguse plaadiga. Suuremate vormide puhul, kus tampimine nõuab tublisti jõukulu- tust, pannakse suruõhu abil tööle eriline mehaaniline tampija.

Tähtis toiming vormimisel on õhutorkimine. Pika peene nõela abil torgatakse kinnitambitud vormliiva sisse rida kuni mudelini ulatuvaid õhuauke. Viimaste ülesandeks on valamisel tekkivate gaaside kiire ärajuhtimine. Pärast õhutorkimist silutakse täistambitud vormkastipoolel liinealitaolise rauaga vormliiva pinda, misjärel kogu kastipool ümber pööratakse. Nüüd tuleb ülalpool asetsevat vormi pinda tarbe korral samuti siluda ja siis peenikese tuhkliivaga üle puistata. Korralikult puhastatud mudelipool peale asetatakse seejärel mudeli teine vastapool ja tolmutatakse see puusöetolmuga hoolikalt üle. Val-

mistambitud alumisele vormkastipoolele tõstetakse nüüd peale ülemine kastipool ja ühendatakse siis mõlemad kastipooled kindlalt omavahel.

Järgneb kasti täitmine vormliivaga ja selle kinnitampimine sarnaselt, nagu juba kirjeldatud eelmise vormkastipoole juures. Erandina tuleb siin vaid kahe koonilise puupulga abil moodustada kanalid: üks vormi täitmiseks sula metalliga ja teine vormis asetseva õhu eemaldamiseks ja teatava tasakaalu moodustamiseks hanguvale metallile. Kui vormipool on valmis, avardatakse kanalite suudmed ja siis eemaldatakse puupulgad. Nüüd tõstetakse ülemine kastipool maha ja pööratakse ümber. Õrned vormiservad kindlustatakse murdumise vältimiseks pikjade peente naelte abil; seda tehakse hiljem ka vormi sisemuses tugevasti väljaulatuvate osade juures.

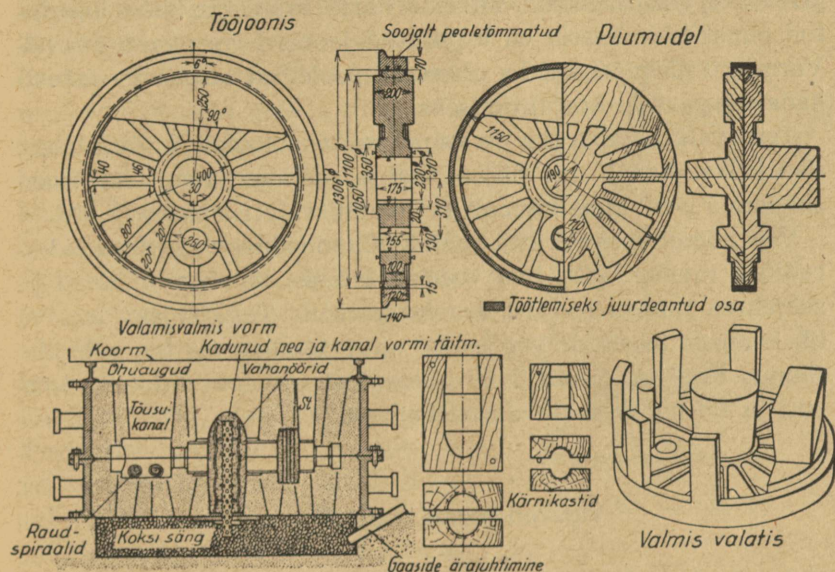
Pärast seda kui mudeliservade juures vormliiv paremaks kooshoidumiseks on veidi niisutatud, klopitakse mudelipooled kergelt lahti ja tõstetakse kruvitaoliselt lõppeva pideme abil vormist välja. Juhuslikud vormi vigastused parandatakse ja seejärel tolmutatakse üle või puuderdatakse kogu vormi sisemus. Vormliivast vormide puuderdamiseks kasutatakse puusöetolmu või peenikest, tuhkat grafiiti.

Suured, samuti keerulise kujuga vormid valmistatakse parema vastupidavuse saavutamiseks vormmassist ning kuivatatakse lõpuks erilises kuivatusahjus. Sääraseid vorme ei puuderdata kuivade ainetega, vaid nad kaetakse mitmekordselt savi ja grafiidi seguga, mis veega vedeldatult moodustab erilise värvi.

Pärast kirjeldatud tööde lõpuleviimist on vormimistöo tegelikult lõppenud, vormi sisse tuleb veel vaid asetada rummu avaust moodustav kärn. Et võimaldada valamisel tekkivate gaaside ärajuhtimist, on ta valmistatud pikuti läbimineva kanaliga. Vormi kärnimärkide kohal puuritakse mõlemad vormkastipoolel nõelaga läbi, nii et avased moodustavad kärnikanali pikenduse. Seejärel asetatakse kärn ettevaatlikult püstasendis alumisse vormkasti ning tõstetakse siis sellele ülemine kastipool

peale. Et valamisel sissevoolav metall kergitab ülemist vormi-  
poolt, tuleb teda raskustega tublisti koormata.

Vorm on nüüd valamiseks valmis, valaja täidab teda väikse-  
mast valupotist pideva joana vedela malmiga, kuni metall ilmub  
tõusukanali ülemises suudmes. Vorm kaetakse järgnevalt peene  
liivaga, et sissevoolu- ja tõusukanaleid kauemini kuumvedelaina



Joon. 21. Veduriratta vormimine.

hoida. Kirjeldatud võte tagab, et valatis saaks tarbe korral  
kanaleist vedelat metalli alla tõmmata, nii et hangumisel esemel  
ei tekiks tühikuid ja hõredaid kohti.

Väiksemamõõduliste malmist valutükkide massilise valmista-  
mise puhul toimub vormimine väga mitut tüüpi vormimis-  
masinail.

Joon. 21 on toodud terasvalu näitena veduriratta vormimine.  
Vasakul ülal on kujutatud ratas valmistöödeldud kujul soojalt  
pealepressitud bandaažiga. Paremülal näeme kahepoolset

puust mudelit, kusjuures viirutatud osa on töötlemiseks juurde jäetud. All vasakuül valamisvalmis vorm, millel gaaside ärajuhtimiseks on kasutatud koksisängi. Keskmisel, suuremal kärnil on gaaside ärajuhtimiseks koksisängi suubuv ja rohkete aukudega varustatud raudtoru-südamik. Kärni ennast läbib mitu vahanoõri, mis kõrge valamiskuumuse juures ära põledes jätavad järele rea gaasikanaleid. Mõlema kärni valmistamiseks kasutatud puust kärnikastid on kujutatud joonisel vormkasti kõrval. Vormi nii ülemisel kui ka alumisel poolel on torgitud rohkesti canaleid gaaside ärajuhtimiseks.

Terasvalu omapäraks on suur arv tõusukanaleid ning tugevasissejooksu-kanal, mis hiljem maha saetakse ning seepärast „kadunud pea“ nime kannab (vt. valmisvalatist paremal all).

Veel näeme vormis ratta vastukaalu moodustavas osas kokkurrullitud raudspiraale, mis vedelas terases muidugi sulavad ja seejuures tublisti soojust ära tarvitavad. Tagajärjeks on, et ühekülgsest asetatud võrdlemisi suur terasemass hangub ülejäänud osadega enamvähem üheaegselt ega teki valatises urbusi ja nii kardetavaid sisemisi pingeid.

### Valatud eseme puhastamine.

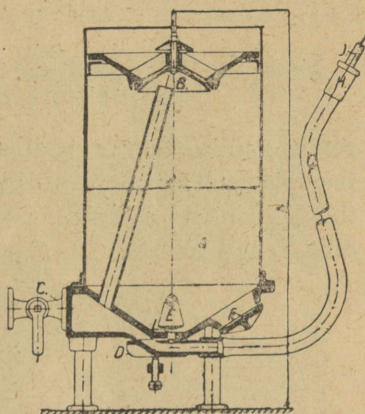
Pärast valatud vormkasti lõplikku jahtumist tühjendatakse see ning siis järgneb valatud eseme puhastamine külgepõlenud vormliivast. Lihtsaim viis, mille rakendamine aga on võimalik vaid väikese ulatusega tööstustes, on puhastamine tiirlevate terasharjadega või teraskäsiharjadega. Suuremais tööstustes, kus valupuhastamine moodustab juba eriosakonna, on see mõeldav veel vaid mehaanilisel teel ning seks otstarbeks enam kasutatav seade on liivapritts (joon. 22).

Liivapritsi töötamise põhimõtteks on, et liivajuga paisatakse 2—3-atmosfäärilise suruõhu mõjul vastu puhastatavat eset. Puhastamine on täiuslik, valutüki pind on lõpuks matilt läikiv ja metalliliselt puhas. Liivapritsi-aparaat kujutab plekist si-

lindrit *A* (joon. 22), mille sisse toru *C* kaudu voolab õhukompressorist suruõhku. Toru hargneb kaheks, osa suruõhust presitakse kuiva liivaga täidetud silindrilisse kereesse, rõhub seal liiva pinnale ning suleb ühtlasi ülemise täiteava *B*. Suurem osa suruõhust voolab aparadi all asetseva toruühenduse kaudu edasi, avause *L* läbi langeb liiv alla, seguneb suruõhuga ning kõvamalmist pihustiga lõppeva kummivooliku kaudu paisatakse liivajuga suure jõuga vastu puhastatava eseme pinda. Liivapritsi uueks täitmiseks liivaga tuleb sulgeda õhu juurdevool, surve aparadi sisemuses kaob ja täiteklapp *B* avaneb.

Liivapritsi-seadmeid on ehituselt väga mitmesuguseid. Rohkesti kasutatakse aparate, kus liivapihusti asetseb eraldatud kambris ja puhastatavad esemed viiakse pihusti alt läbi pöörleva laua abil. Peale tavalise kvartslüiva, mis enne tarvituselevõtmist nõuab hoolsat kuivatamist ja millest puhastamisel osa muutub tolmuks, leiab rakendamist ka mitmesuguse sõmerusega kõva terasepuru.

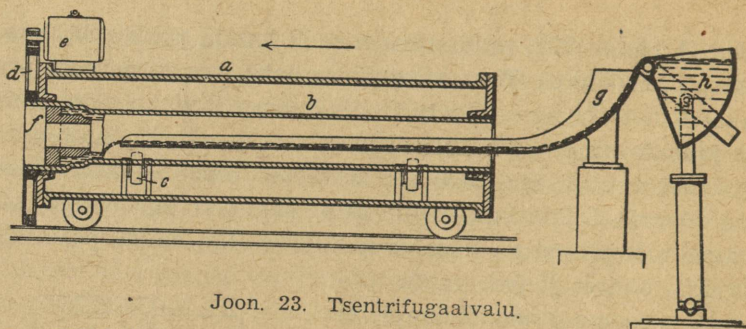
Peale kirjeldatud mudelvormimise rakendatakse veel šabloonniga vormimist, kus profileeritud šabloon pöörleb püsttelje ümber, moodustades pöördekeha, mis on vastavalt kas sisemiseks või välimiseks vormi osaks.



Joon. 22. Liivapritsi.

### Tsentrifugaalvalu.

Eriliiiki valamisviiside hulka kuulub nn. tsentrifugaalvalu, mis leiab rohket rakendamist malmtorude valamisel (joon. 23). Vormiks on horisontaalne, kiiresti oma telje ümber pöörlev ja vesijahutusega varustatud eriterasest toru. Torusse lastakse



Joon. 23. Tsentrifugaalvalu.

a = vesijahutusega vormi kest; b = vesijahutusega vormi kest; c = vormi pöörderullid; d = hammasratas; e = ajumootor; f = vormliivast kärn; g = valamisrenn; h = kallutatav valupott.

renni kaudu voolata sobiva koosseisuga vedelat malmi, mis tsentrifugaaljõu mõjul surutakse vastu toru seina. Samaaegselt liigub vanker pöörleva terasvormiga edasi, ja lõppresultaadina saame ühtlase seinapaksusega ja hästi tiheda malmtoru.

### Survevalu.

Teine eriliiki valamisviis, mis eriti viimasel ajal on väga levinud, on nn. survevalu.

Survevalu all tuntakse menetlust, kus erilises masinas vedel metall suure surve all pressitakse puhtalt töödeldud terasvormi. Sel teel saadakse kiiresti üksteisele järgnevalt eriti puhta välispinnaga ning põhimõõteis väga vähe erinevate mõõtudega valutükke. Need valutükid ei nõua pärast väikese metalli sissejooksu-kanali ja õige õrna kraadi eraldamist tavaliselt enam mingit töötlemist.

Joon. 24 on kujutatud valik mitmesuguseid survevalu teel valatud osi. Nagu sellest nähtub, on võimalik valada võrdlemisi keerulisi, puuretega ja isegi kruvikeermega varustatud esemeid. Survevalu teel valmistatud osadel on iseloomustavalt puhas välispind ja äärmiselt teravad kontuurid, mis on seletatav suure täpsuse ja hoolega valmistatud terasvormide kasu-

tamisega ühelt poolt ja suure valamissurvega teiselt poolt. Märkimisväärne on ka võimalus pronks- ja teraspukse ning teisi sääraseid osi asetada terasvormi nii, et nad valuprotsessi tagajärjel liituvad valumetalliga ning moodustavad sellega ühe kindla terviku.

Üks survevalu peomadusi aga on, nagu juba varem nimetatud, üksikute valutükkide väike omavaheline mõõtude erinevus, mis võimaldab osade hõlpsat vastastikust vahetatavust. Normide kohaselt on näit. alumiinium-survevalu juures mõõteil kuni



Joon. 24. Valik survevalu teel valatud osi.

15 mm lubatavad kõikumised  $\pm 0,03$  mm ning üle 15 mm  $\pm 0,20\%$ .

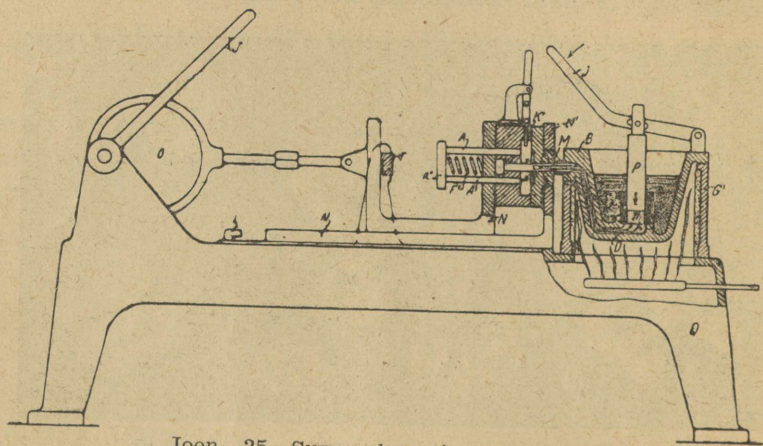
Survevalu teel valmistatakse kõige mitmesugusemaid esemeid, alates kõige lihtsamaist igapäevases elus tarvisminevaist esemeist ja lõpetades keeruliste lugejate mehhanismidega või jälle kaalukate, suurte plahvatusmootorite osadega.

Kasutatavaist valumetallidest oleksid nimetada:

- 1) sulamid seatina alusel;
- 2) „ tina alusel;
- 3) „ tsingi alusel;
- 4) „ alumiiniumi alusel;
- 5) „ punase vase alusel.

Rohket kasutamist leiavad tsingisulamid. Olenevalt koosseisust kõigub nende tõmbetugevus piirides 22—38 kg/mm<sup>2</sup> ja peale tsingi nad sisaldavad alumiiniumi 3,5—5% ja punast vaske 2,5—4%. Odavuse ja hõlpsa valatavuse tõttu kasutatakse tsingisulameid väga suures ulatuses, eriti aparaadi- ja armatuuritööstuses.

Alumiiniumisulamite tähtsamaid lisaineid on punane vask ja räni, nende kõrval veel nikkel, magneesium ja mangaan.



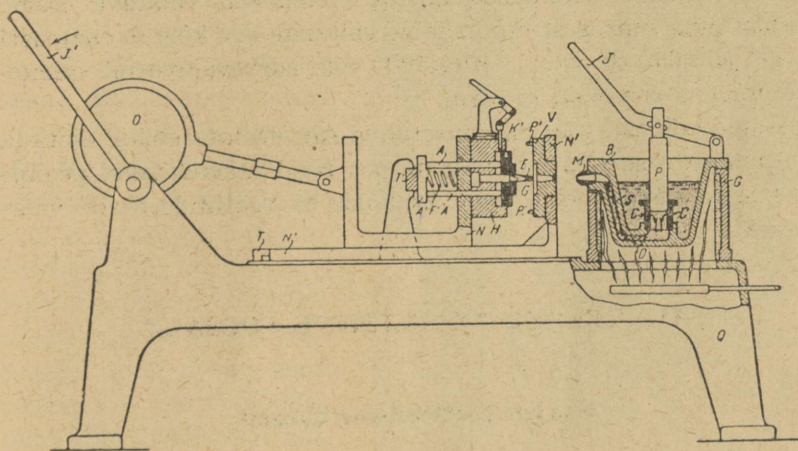
Joon. 25. Survevalumasin valuasendis.

Tõmbetugevus püsib piirides 18—25 kg/mm<sup>2</sup>. Alumiiniumisulamist on survevaluosad õhu käes hästi püsivad ja lasevad end hästi poleerida ning galvaaniliselt teiste metallidega katta. Nimetatud sulamid on oma väikese erikaalu ning heade mehhaaniliste ja keemiliste omaduste tõttu võitnud endale survevalu-tehnikas väga suure kasutuspiirkonna.

Olenedes kasutatavaist metallidest ehitatakse väga mitmesuguseid survevalumasinaid.

Joon. 25 on skemaatiliselt kujutatud survevalumasin tina- ja tsingisulamite valamiseks. Seks otstarbeks leiavad kasutamist enamasti kolvipumbaga töötavad masinad. Masin koosneb sulatuskatlast B, milles metall sulatatakse enamasti gaasitule abil,

survekambri või pumbasilindrist, survekolvist *P*, poolitata-  
vast valuvormist ning vormihoidjast *N*. Töökäik on järgmine:  
Kinnise vormi juures (joon. 25) survekolb surutakse alla ja  
suletakse sellega survekambri täiteavad *C*. Survekambri ole-  
vedel metall tõuseb kolvi surve mõjul kanalit *S* mööda üles ja  
täidab vormi. Et kindlustada vormi korralikku täitumist metal-  
liga, peab pumpamisliigutus toimuma võrdlemisi järsult. Nüüd  
viiakse kolb algseisangusse ja vorm tõmmatakse valamiskana-



Joon. 26. Survevalumasin väljatõukeasendis.

list eemale (joon. 26). Tagasiliikumisel vormi vasakpoolne pool  
pidurdatakse piiraja abil, kuna parempoolne liigub vabalt edasi,  
ühtlasi väljatõukaja vardad lükkavad eseme vormist välja.  
Vorm suletakse uuesti, lükatakse tagasi valamiskohale ja on  
järgmiseks valamiseks valmis.

Alumiiniumisulamite valamiseks on masina ehitus juba hoo-  
pis teissugune. Kolb survetekitajana siin ei kõlba, sest ta söö-  
biks väga kergesti kinni; ta tuleb seepärast asendada umbes  
40-atmosfäärilise suruõhuga. See teeb masina ehituse märksa  
keerulisemaks, kuna peale muu tuleb veel juurde suruõhu-  
kompressor.

Valuvormi iga on rippuv kasutatava metalli sulamispunktist. Seatina-, samuti inglistina-sulamite puhul on vormi iga praktiliselt peagu piiramata, tsingisulamite valamisel piirdub ta umbes 50 000 ja alumiiniumisulamite puhul 20 000—30 000 valatise-ga. Mõõduandev on suurel määral ka vormi materjal. Kuna esimese kolme sulamiliigi jaoks on küllalt süsinikterasest, tuleb alumiiniumisulamite puhul kasutada kroomvanaadium-eriterast.

Vormi valmistamise kulud moodustavad küllaltki suure osa valatise valmistuskuludest, mistõttu olenevalt valatava eseme kujust ning suurusest minimaalne valatiste arv kõigub enamasti 1 500 ja 3 000 tk. vahel. Alla 1000 tüki survevaluvormi valmistamine end enamasti ei tasu.

Kõige viimasel ajal on õnnestunud survevalumasinaid ehitada ka punase vase sulamite valamiseks. Neid rakendatakse peamiselt armatuuritöödeks, nagu kraanide ja ventiilide osade valamiseks.

#### IV. TERASE TÖÖTLEMINE SOOJALT.

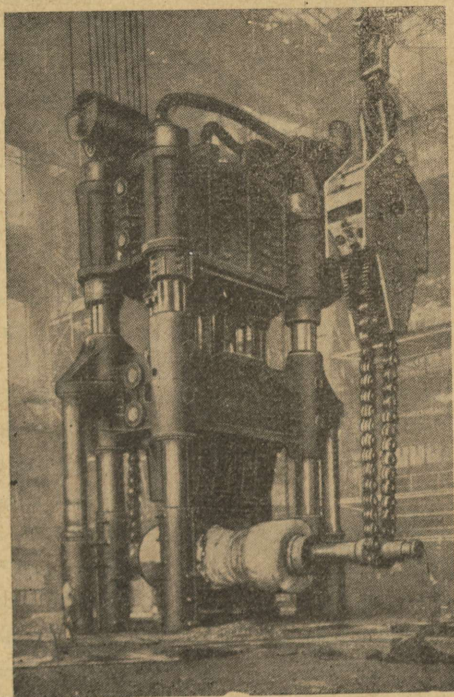
##### Soojalt töötlemisest üldiselt.

Eespool kirjeldatud menetluste järgi valmistatud teras ei kujuta veel otseselt turustatavat kaupa. Valamisega antakse vaid võrdlemisi väikesele osale valuterasest lõplik kuju, kaugelt suurem osa Martin- või Bessemer-terase saadustest aga peavad läbi tegema veel ümbervormimise ja töötlemise sepiastamise, pressimise ja valtsimise teel.

Käesolevas peatükis kirjeldatud terase töötlemise ülesandeks on peale kujuandmise ka teataval määral terase vääristamine. Keevitusterase puhul surutakse näit. valtsimisel kõrge temperatuuri ja suure surve mõjul toorterasest rohkesti šlakki välja, valuteras aga muudetakse tihedamaks, kuna hangumisel paratamatult tekkivad õõnsused valtsimisega kokku surutakse või kokkuni kokku keevitatakse.

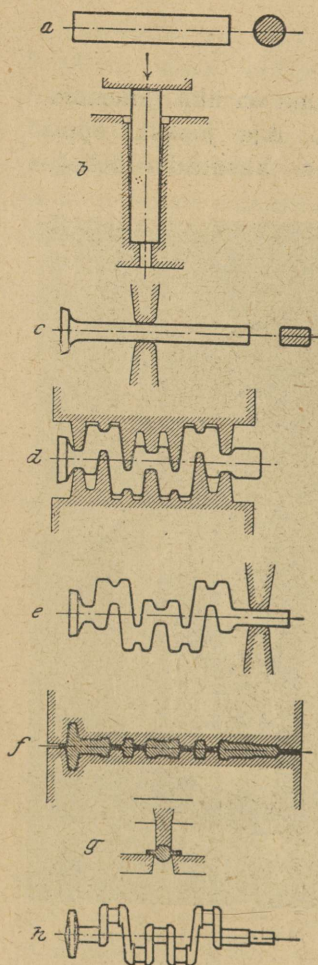
## Sepistamine.

Sepistamine terase töötlemise põhivormina on üks vanemaid, isegi tänapäevani püsinud käsitöö-aladest. Aja jooksul õppis inimene küll oma jõudu mitmekordistama, kasutades selleks peamiselt vesiratast ja tuulejõudu. Uuema aja masina- ja laevaehituses aga ei piisanud sellestki, vaid õige areng algas alles auruhaamri leiutamise-ga. Auruhaamri tööta-mise põhimõtteks on, et püstsilindris liigub üles-alla kolb, mille vars lõpeb tugeva haamritaolise pak-sendiga. Kolb kogu haam-ri-ga tõstetakse aurujõul ning langeb siis oma ras-kusega alla. Peale vaba langemise on võimalik auru abil ka haamrit alla suruda. Auruhaamrite kõrval leiavad kasutamist ka õhuhaamid, millede juures auru aset täidab elektrimootori abil õhu-kompressoris kokkusuru-tud õhk. Kuid ka auru-



Joon. 27. Hüdrauliline sepapress.

haamri tugevusele on õige pea piirid pandud. Ühes haamri-raskuse tõstmisega tekib nimelt vajadus väga raskete vunda-mentide järele ja hoolimata tugevaist, kogu ümbrust võnkuma panevaist hoopidest suudab säärane auruhaamer suurte se-piste puhul läbi sõtkuda ikka vaid pinnapealseid kihte, kuna südamik jääb läbi sõtkumata.



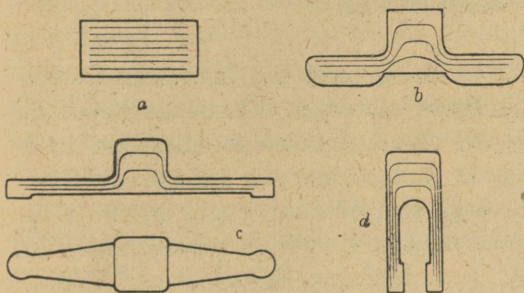
Joon. 28. Väntvõlli sepistamise käik.

Eriti suurte sepieste läbitöötamiseks rakendatakse seepärast nüüd hüdraulilisi sepapresse survejõuga kuni 15 000 tonni ja isegi rohkem. Joon. 27 kujutatud press ongi 15 000-tonnise survejõuga ja sepistamisel on parajasti 200-tonnise raskusega masinaosa. Sääraseid tugevaid, kuid seejuures väga rahulikult töötavaid presse aga kasutatakse enamasti vaid terasetehaste juures suurte laevavõllide ja teiste raskete masinaosade sepistamisel; tavaline masinaehitus rahuldub rohkem mitut liiki auru-, õhu- ja vedruhaamritega.

Teataval määral presside ja auruhaamrite eriliiki sepatööna kujutab sepistamine vormis. Kui tavalisel sepistamisel antakse töötlusesemele vaid ligikaudne kuju, mis nõuab hiljem põhjalikku töötlemist, siis siin, kus kuumaks aetud teras surutakse täpsesse sepavormi, on töötlemise vajadus märksa väiksem või jääb mõnel juhul hoopis ära. Korralik vormi täitmine on aga tagatud vaid hoobitaolise surve puhul, sest vastasel korral vormi jahutatav mõju oleks liialt suur. Seda liiki tööde täitmiseks kasutatakse peamiselt spindelpresse ja langehaamreid.

Sageli vormis sepistamisel ei jõuta eesmärgile ühe võttega, vaid tuleb abiks võtta terase eriprofiile ja rakendada mitut töökäiku. Kujukaks näiteks on joon. 28 näidatud väntvõlli sepistamise käik. Algmaterjaliks on ümarteras (a). Esmalt sepista-

takse auruhaamri all äärikutaoline osa (b) ja järgnevalt kogu ülejäänud materjali osa (c). Et saavutada otstarbekat terasekiudude asetust, painutatakse võll hüdraulilise pressi all vastavalt ette (d), millele järgneb jällegi auruhaamri all tapi sepi-



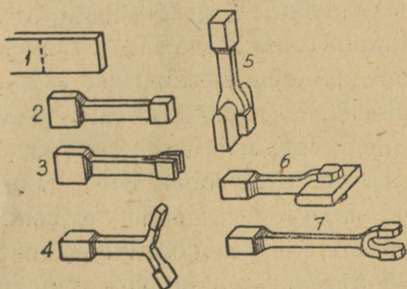
Joon. 29. Pidurikahvli sepiamine.

tamine (e). Ainult nende eeltööde järel võib võlli raske langetahaamri all suruda sepavormi (f) ja pärast kraadide mahlõikamist ekstsenterpressi all (g) on väntvõllil lõplik kuju (h).

Kirjeldatud väntvõlli valmistusviis

võrreldes säärasega, kus valmistamine toimub väljalõikamisega terve materjalitükist, on valmis osa suurema tugevuse tõttu kahtlemata parem. Materjali kiude ei lõigata nimelt mitte läbi ega sünnitata seega teravaid kärpeid, mis enamasti on enneaegse murdumise põhjuseks.

Ühe veduri pidurikahvli valmistuskäik, mille juures on samuti silmas peetud kirjeldatud põhimõtet, on kujutatud joon. 29. Algmaterjaliks on valtsitud teras (a), millel valtsimise suund, samuti ka kiud jooksevad joonte sihis. Pärast kahvli pea moodustamist (b), harude sepiamist (c) ja neile lõpliku kuju andmist saame valmis osa (d), millel kiud ei ole katkestatud ning tugevus seega ka hästi ühtlane.



Joon. 30. Masinaosa sepiamise töökäik.

Joon. 30 on kujutatud väiksemamõdulise ja lihtsamakujulise

masinaosa se pistamise käik ning järk-järguline valmimine. Töö läbiviimine on siin käsitsi võimalik.

### Sepakeevitus.

Mitmesuguste sepatööde täitmisel tuleb töö lihtsustamise otsarbel või kahe eri omadustega materjali liitmiseks kasutada sepakeevitust. Sepakeevitusel kuumutatakse metallitükid helevalge keevitustemperatuurini ja taotakse siis kokku. Keevitamise algtingimusteks on kõrge temperatuur, tugev surve ja liidetavate kohtade metalliline puhtus. Keevitustemperatuuriks on tavaliselt umbes  $1300^{\circ}\text{C}$ , s. o. helevalge hõõgvärvus. Küllaldane surve saavutatakse, eriti suuremate töötlusesemete puhul, ainult pressi või auruhaamri abil, väiksemate puhul aga piisab täiesti tavalise sepahaamri löökidest. Metalliline puhtus omakorda saavutatakse erilise keevitusvahendiga.

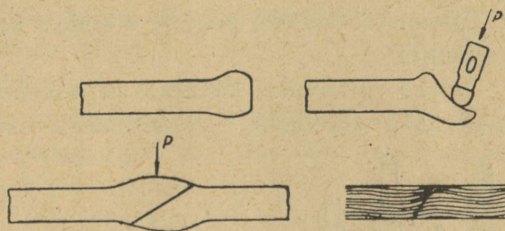
Raual on suur tung ühinemiseks hapnikuga. Kõrgemal temperatuuridel tekkivaid rauahapniku ühendeid nimetatakse tagiks (tsundriks). Tagi moodustab terase pinnal kihi, mis enne keevitamist tuleb kõrvaldada; vastasel korral puudub keevituspindadel võimalus metalliliseks kokkupuutumiseks. On olemas rida aineid, mis nimetatud rauaoksüüde kas lahustavad või siis neid taandavad, s. o. neist hapniku eraldavad. Ränihapend ja booraks mõjuvad lahustavalt, mangaan aga taandavalt. Esimestel on veel see hea omadus, et nende sulamispunkt on puhtal kujul või siis koos rauaoksüüdiga märksa madalam kui puhtal raual. Sel ajal kui raud on alles pehmenemata, on nimetatud ained keevituskuumuse mõjul juba ammu vedelad.

Kui üht neist keevitusaineist, näit. ränihapendit (liiva) või booraksit, riputada tugevasti kuumendatud terase pindadele, kattuvad viimased nimetatud ainete sulavedela kihiga. Selles kihis on lahustatud kujul ka hapnikku, kihi all aga metalliliselt puhas raud. Asetades nüüd terase pinnad vastamisi ja surudes neid tugeva surve või haamrilöökide abil kokku, surutakse

vedel keevitusaine välja ja metalliliselt puhtad terase pinnad saavad liituda.

Väiksemate keevitustööde puhul kasutatakse tavaliselt räni-liiva või siis booraksit, mis on plekk-karbis tulel sulaks aetud ja siis peenendatud. Kõvemate teraste keevitamisel kasutatakse booraksi ja raua-viilipuru segu. Booraksi ülesandeks on tagi lahustamine, kuna rauapuru peab vähendama keevitusõmbluse süsinikusisaldust. Keevitus on seetõttu hõlpsamini teostatav ja keevitusõmbluse sitkus on väiksema süsinikusisalduse tõttu suurem.

Kui õnnestuks keevitamisel tagi ja keevitusaine liitepindadelt täielikult kõrvaldada, oleks keevitus täiuslik ega erineks tugevuselt ülejäänud materjalist põrmugi. Tegelikult on seda üsna raske saavutada, sest liitepindade ebatasasuse tõttu jääb ikka osa keevitusainet või tagi nende vahele. Tagajärjeks on, et metalliline struktuur on



Joon. 31. Sepakeevitus.

osaliselt katkestatud ja keevitusõmbluse tugevus väheneb. Tegelikult saavutatud keevitusõmbluse tugevus on seepärast tavaliselt ainult 85—95% algmaterjali normaalsest tugevusest, pikenev aga ainult 60—85% algpikenemisest.

Sepp tavaliselt keevitab kaks terast kokku mitte tõmbilt, vaid libastikku otstega (joon. 31). Seejuures, et keevituskohta oleks võimalik korralikult läbi sõtkuda ja välja venitada, tuleb ühendatavad otsad veidi paksemaks taguda.

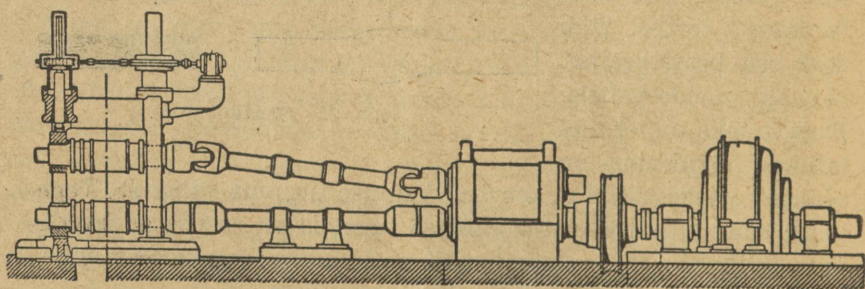
Tuleb märkida, et mitte kõik terasesordid ei ole võrdselt hästi keevitavad. Kõige paremini keevitav on pehme teras võimalikult madala süsinikusisaldusega. Süsinik aga ei tohi ka terase juures ületada 0,20%, vastasel korral on keevitamine raskestatud ja keevituskohta tugevus võrreldes algmaterjali tuge-

vusega langeb märksa. Mangaanisisaldus peab olema piirides 0,45—0,80%. Terase suuremate Mn-sisalduste puhul keevitusaine ei püsi hästi vedelana ja seetõttu ei pressi ta ka küllaldaselt liitekohtade vahelt välja. Tagajärjeks on, et vahelejäänud šlakitükid vähendavad suuresti keevituskoha tugevust. Mõõduka süsinikusisalduse puhul nikkel ei takista keevitamist, kroom ja volfram aga takistavad seda eriti tugevasti, mispärast säärase teraste keevitamine on kui mitte võimatu, siis vähemalt suuresti raskendatud.

### Valtsimine ja valtsimistooted.

Terase töötlemisel soojalt etendab kahtlemata suurimat osa valtsimine.

Terase valtsimisel kasutatava masina peaosadeks on vähemalt kaks, enamasti horisontaalselt asetatud tugevat malmist

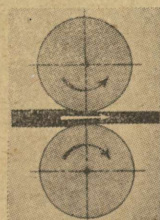


Joon. 32. Terase valtsimismasin.

või terasest silindrit või valtsi. Viimased pöörlevad tugeva terasraami vahel nii, et kahe valtsi välispinna vahele jääb teatav vahe. Jõumasina poolt käitatakse valtsid hammasrattaülekande kaudu, kusjuures nad pöörlevad teineteisele vastusuunaliselt (joon. 32). Kui pöörlevate valtside vahelt läbi juhtida veidi tugevama mõõduga hõõguvat terast, haaratakse see valtside poolt ning hõõrumise mõjul tõmmatakse valtside vahelt läbi. Seejuures valsitav raud surutakse valtsidevahelise mõõdu

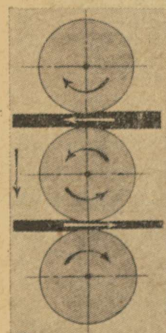
peale kokku, võttes tugevasti juurde pikkuses, hoopis vähemal määral aga laiuses.

Ehituselt lihtsaim on kahe valtsiga masin ehk duo-valts (joon. 33). Et valtsitava terase ühekordse läbilaskmisega valtside vahelt ei saavutata lõplikke mõõteid, siis alaliselt kindla vahega töötavate valtsipaaride puhul peab olema mitu üksteise kõrval seisvat valtsimasinat, või siis seatakse valtsid iga töökäigu järel koomale. Lõpuks on võimalik varustada valtse ka rea astmeliselt vähenevate vagudega, nn. kaliibritega. Viimaste põiklõike pind väheneb järjest, kuni on saavutatud soovitud töötamisviisi, s. o. seatavad valtsid ja kaliibrid.



Joon. 33.  
Duo-valtsid.

Kui töötamisel duo-valtsidega soovitakse valtsitavat materjali järgmiseks töökäiguks uuesti valtside vahelt läbi lasta, siis peavad viimased nüüd kas oma pöörlemissuunda muutma või materjal tuleb üle pealmise valtsi valtsijale tagasi ulatada. Pöörlemissuuna alaline vahetamine nõuab väga tugevat ajumasinat ja on üldiselt kallim. Teisel juhul on jõukulutus väiksem, sest tugevad hoorattad aitavad ajutist lühikest lõppkoormust vähendada. Suureks puuduseks on vaid valtsitava materjali asjata jahtumine ja võrdlemisi suur ajakaotus tühikäigu tõttu. Rakendamist leiab säärane tööviis veel vaid võrdlemisi külmalt valtsitavate õhukeste plekkide juures. Kirjeldatud puuduste vältimiseks ehitatakse praegu rohkem kasutatavat masinat kolme valtsiga (trio-valtsid, joon. 34). Siin ülemisel valtsil on sama pöörlemissuund nagu kõige alumisegi.

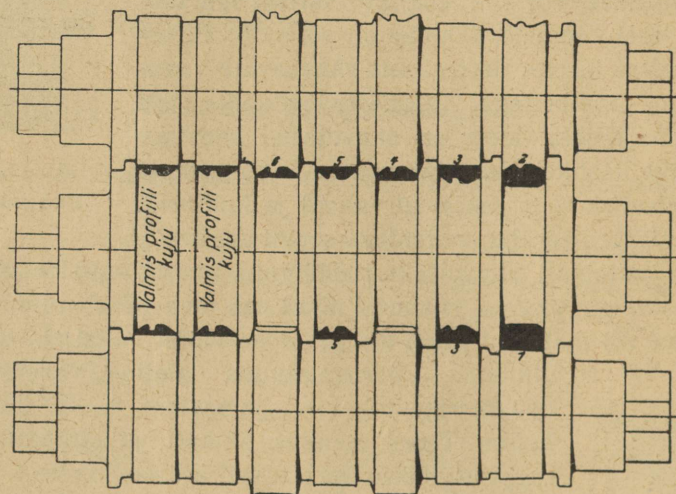


Joon. 34.  
Trio-valtsid.

Valtsitav materjal jookseb alumise valtsipaari vahelt läbi, tõstetakse siis ülespoole ning läbides ülemisi valtse jõuab lähtekohta tagasi. Materjali kiireks tõstmiseks on raskemate plok-

kide jaoks eriline mehaaniline tõsteseadeldis, kergemate materjalide puhul, nagu traat, toimub see aga käsitsi.

Juba varem nimetatud kaliibrite ülesandeks on anda valtsitava materjalile järk-järgult soovitud kuju. Joon. 35 kujutatud trio-valtsidel on sisse treitud kaliibrid ühe eriprofiili valtsimiseks. Selle eriprofiili algmaterjaliks on neljakandiline plokk, mis kaliibri 1 juures pisut lamedamaks valtsitakse, 2 juures



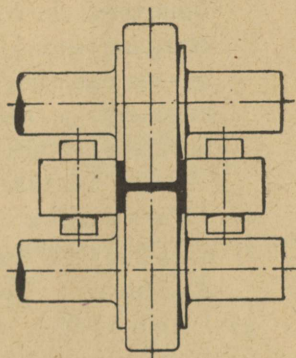
Joon. 35. Kaliibervaltsid.

algab juba osaliselt profiili moodustamine, viimane võtab üha enam kuju, kuni lõpuks saame 7-nda töökäigu juures juba valmis profiili.

Eriprofiilide valtsimine võib mõnel juhul aga toimuda ka veidi teisiti, nimelt mitte kaliibrite kasutamisega, vaid rakendades erilisi püsttelje ümber pöörlevaid lisavaltse. Joon. 36 kujutatud viisil valtsitakse I-talasisid, ja eriti laiapöialiste talade puhul on säärase töötamisviisi märksa parem ja ka odavam. Põhjuseks on asjaolu, et ära jäävad võrdlemisi kulukad profiilvaltsid ja materjali läbitöötamine on soodsam ning talad tulevad pingetevabad.

Valtsimisel on väga oluline, et valtsitava materjalil oleks õige temperatuur, s. o. helepunane hõõgvärvus. Saavutada võib seda väga mitmel viisil. Juhul, kui on kasutada vaid jahtunud, külmad terasplokid, tuleb neid soojendada suurtes gaasiga või õliga köetavais ahjudes. Mõnel juhul on aga võimalik valtsimist läbi viia otse kõrgahjust tuleva toormalmi omasoojusega. Tuletame meelde Thomas-menetluse juures juhtu, kus pirnitaitemena kasutati vedelat, otse kõrgahjust tulevat toormalmi. Kui pärast valamist jahtuvailt plokkidelt kiiresti kõrvaldada kokilid, siis hõõguvad plokid helepunaselt ja oleks nagu kõlvulised valtsimiseks. Tegelikult ei ole see küll pikema jututa läbiviidav, sest plokkide jahtumine üle kogu põiklõike ei sünni mitte ühtlaselt. Väline helepunane koor on hängunud, kuna südamik püsib alles vedelal kujul. Juhul, kui säärast plokki valtsida, rebeneks koor ja vedel metall surutakse sisemusest välja. Selleks et plokis leiduvaid soojushulki tasakaalustada ja materjali kütteainet kasutamata sobiva valtsimistemperatuuri peale viia, toimitakse järgmiselt. Plokkid asetatakse mõneks ajaks terasetehase põranda sees asetsevaisse, seest tulekindla vooderdusega varustatud ja pealt kaetud kaevudesse. Plokkid annavad oma sisemusest osa soojust kaevu seintele edasi, nii et viimased varsti samuti punaselt hõõguvad. Säärases omasoojusega köetavas ahjus omandavad plokid varsti ühtlase kuumuse üle kogu põiklõike ja on siis valtsimiseks kõlvulised. Mõnel juhul varustatakse kirjeldatud kaevud ka lisagaasküttega, millega avaneb võimalus liiga tugevasti jahtunud terasplokke tarviliku temperatuurini viia.

Valtsimistehase tooted jagunevad poolmaterjaliks ja valmis-tooteiks. Esimesse liiki kuuluvad toorelt ettevaltsitud kandilise



Joon. 36. I-talade valtsimine.

põiklõikega terasplokid, minimaalse paksusega 100 mm, ja suurema laiusega tugevamõõdulised lamedad terased.

Valmistooted jagunevad järgmiselt:

- a) Raudtee pealisehituse materjal, nagu rööpad, terasliiprid, sidelapid.
- b) Vormteras, s. o. I- ja U-teras kõrgusega üle 80 mm.
- c) Laiapõidsed talad, s. o. normaalprofiilidest erinevad I-talad.
- d) Latt-teras (lattraud). Sii liiki kuuluvad:  
Ümarteras  $\geq 5$  mm, nelikantteras üle 5 mm, poolüm-margune teras; lapikteras laiusega 10—150 mm ja mini-maalse paksusega 5 mm;  
kuuskant- ja kaheksakantteras;  
nurkteras (nurkraud) — võrdtiibne ja eritiibne;  
T-teras; Z-teras.
- e) Jämeplekk — paksusega üle 5 mm.
- f) Keskmise paksusega plekk — paksusega 3—5 mm.
- g) Peenplekk — paksusega alla 3 mm.
- h) Vitsteras (vitsraud) laiusega üle 10 mm, paksu-sega 0,75—8 mm.
- i) Valgeplekk ja lint — tinaga kaetud terasplekk.
- k) Valtstraat — väga mitmesuguseis mõõtudes soo-jalt valtsimisega saadud terastraat rullides. Traat valtsi-takse peale ümmarguse ja kandilise ka igasugustes teistes põiklõigetes.

Traati valtsitakse tavaliselt alla kuni 5 mm. Edasine töötle-mine toimub külmalt ja haarab endasse suure tööstusala. Traadi läbimõõdu vähendamine toimub tõmbamise teel tõmbe- pingil. Säärase tõmbepingi peaosadeks on eriterasest valmistatud tõmberaud ja tõmbetrummel. Teravaks tehtud traadiots tõmmatakse läbi tõmberaua sobiva koonilise ava ning kinnita-takse trumlile. Tiirlema pandud trummel tõmbab traadi kogu selle pikkuses läbi koonilise tõmbeava, mille tagajärjel ta muu-

tub peenemaks ning omandab soovitud läbimõõdu või põik-  
lõike. Ühtlasi keritakse traat tõmbetrumlile puntrasse. Eriti  
peenikeste traatide juures täidab tõmberaua aset kooniliselt  
läbipuuritud teemant.

Et traat üldiselt tõmbamisel muutub kõvemaks ja hapra-  
maks, siis tuleb ta mõne tõmbe järel hõõgutada ja seejuures  
tekkinud tagi kõrvaldamiseks peitsida lahjendatud väävelhap-  
pes. Külmaltp tõmmatud terastraadist valmistatakse muu seas  
naelu, okastraati, traatvõrku ja teisi sääraseid tooteid.

### Terastorude valmistamine.

Suur osa valtsitud materjalist läheb mitmesuguste torude  
valmistamiseks. Tuleb vahet teha kahe suure torudegrupi vahel

ja nimelt: õmblusega  
ja õmbluseta torud.  
Õmblusega torudel  
on, nagu nimigi juba  
ütleb, valmistusviisist  
tingitult „õmb-  
lus“ vastandina õmb-  
luseta torudele, mis on valmistatud tervelt ühest tükist.



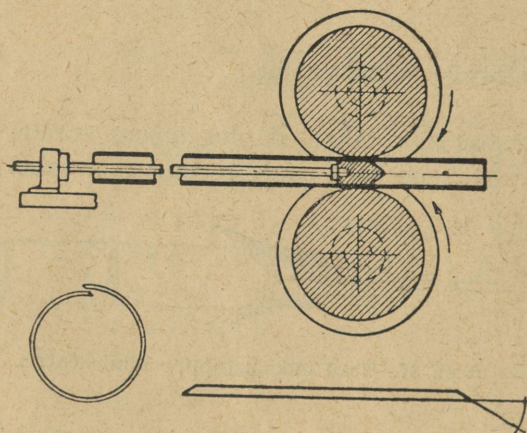
Joon. 37. Toru moodustamine tõmbelehttris.

Õmblusega terastorud omakorda jagunevad kahte rühma:  
tõmbilt keevitatud ja vaheliti keevitatud  
torud. Tõmpkeevitustorusid tuntakse rohkem gaasi-  
torude nime all; neid valmistatakse sisemise läbimõõduga  
 $\frac{1}{8}$ "—2" ja neid kasutatakse peamiselt gaasi- ja veetorustiku  
ehitamisel.

Tõmbilt keevitatud torude valmistamine toimub  
järgmiselt. Vajalikus laiuses umbes 6 m pikkune pehme terase-  
riba soojendatakse sellekohases ahjus keevitustemperatuurini.  
Kuum terasriba haaratakse nüüd pihtidega ja tõmmatakse  
sellekohasel masinal läbi nn. tõmbelehtri (joon. 37). Tõmbeleht-  
ris saab riba torusarnase kuju, kusjuures servad tugevasti üks-

teise vastu surutakse ja seega kokku keevitatakse. Edasi järgneb alles kuuma toru läbilaskmine kalibreerimis- ja sirgestusvaltside vahelt ja lõpuks jahtumine. Jahtunud torudel lõigatakse otsad mõõtu ja proovitakse siis umbes 15 at hüdraulilise surve all tiheduse suhtes.

Vaheliti keevitatud torude valmistusviis on eespoolkirjeldatust veidi erinev; nimelt hõõveldatakse teraseriba servad külmas olekus või valtsitakse soojas olekus libamisi ja alles siis antakse ribale tõmbelehtri abil torusarnane kuju. Edasi



Joon. 38.

Vaheliti keevitatud toru valmistamine.

poolvalmis toru soojendatakse ahjus keevitustemperatuurini ja lastakse siis kiiresti eriliste valtside vahelt läbi; vajaliku vastusurve moodustab pika varda otsas olev terasnui, mille läbimõõt vastab toru sisemisele läbimõõdule. Sel teel keevitatakse toru mõlemad servad tugevasti vaheliti kokku (joon. 38, ülal). Edasi järg-

neb jällegi torude sirgestamine. Pärast jahtumist katsutakse torud proovisurvega, mis siin on juba 25—50 at, kuna vaheliti keevitatud torud on tõmbilt keevitatud torudest märksa tugevamad.

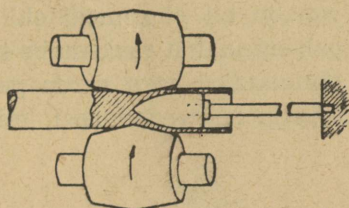
Õmbluseta torude valmistamiseks kasutatakse nii pehmemaid kui ka kõvemaid süsinikteraseid tugevusega kuni 65 kg/mm<sup>2</sup>, eriotstarbeliste torude valmistamiseks aga isegi legeritud terast.

Kõigi õmbluseta torude valmistusviiside järgi jaguneb nende valmistus kahte järku:

1) Terassilindrist või -plokist paksuseinalise õõneskeha valmistamine.

2) Paksuseinalise õõneskeha valtsimine õhukeseseinaliseks toruks.

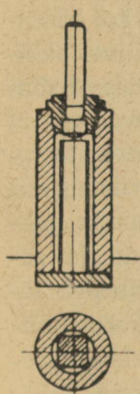
Esimese tööoperatsiooni läbi viimisel, s. o. paksuseinalise õõneskeha valmistamisel, kasutatakse nn. Mannesmanni menetlust. Ahjus kuumaks aetud terassilinder valtsitakse kahe üksteise suhtes nurgiti seatud



Joon. 39. Valtsimine Mannesmanni menetlusel.

tud kaksikkoonusvaltsi vahel terasnuia peale (joon. 39), mille tagajärjel saame õõnessilindri siseläbimõõduga 50—600 mm.

Laialt leiab kasutamist ka õõne pressimine hüdraulilise pressi all. Enamasti neljakandiline, harvem ümmargune kuumaks aetud terasplokk asetatakse terasest matriitsi, mille sisse käib terasest tempel (joon. 40). Templi allakäigul surutakse kuuma terasploki sisse õõs, nii et saame potikujulise õõneskeha.

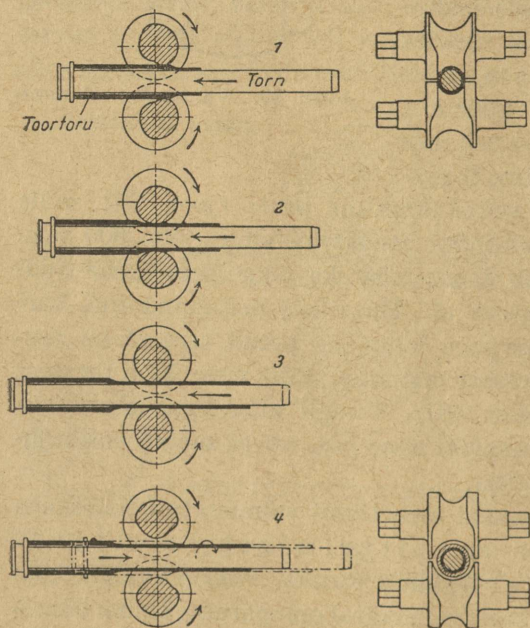


Joon. 40. Õõneskeha pressimine hüdraulilise pressi abil.

Mannesmanni menetlusel valmistatud õõneskeha valtsitakse nn. pilgrimissammulistel valtsidel lõplikult toruks. Nende valtside töötamine on teataval määral omapärane. Kuum õõneskeha aetakse pika terasvarda peale ja tõugatakse valtside vahele vastu nende pöörlemissuunale (joon. 41). Valtsid ise ei ole, nagu tavaliselt, üleni ümmargused, vaid väljalõikega. Jämedam valtsiosa valtsib osa toru välja, lükates seejuures tööluseset teataval määral tagasi. Valtsi väljalõigatud osa aga laseb töölusesemel uuesti edasi liikuda, kusjuures viimast pööratakse 90° võrra.

Edasilükkamine sünnib hüdrauliliselt, samuti hüdrauliliselt sünnib ka pidurdamine valtsimise ajal. Et valtsitav toru vahel-

dumisi suure sammu edasi ja siis väikese sammu tagasi liigub, siis siit on ka pärit nimetus pilgrimissammuline valts, kuna vanasti oli pilgrimeid ehk palverändureid, kes selliselt oma palverännakut raskemaks tegid. Kui kogu toru on üle valtsitud, tõmmatakse toru varda pealt maha ja edasi järgnevad juba tavalised sirgestamised, kalibreerimised ja teised töövõtted.



Joon. 41. Torude valtsimine pilgrimissammulistel valtsidel.

täiendavalt erimasinal külmaltp läbi kõvast materjalist rõnga üks või mitu korda. Säärasel viisil on võimalik toru seinapak-sust ja läbimõõtu hoida võrdlemisi kitsais piirides.

Õmbluseta torud on üldiselt väga tugevad; näiteks aurutorud normaalselt proovitakse 75-at-se proovisurve all; eriotstarbe-liste torude proovisurve aga tõuseb mitmesajale atmosfäärile.

Õhukeseseinaliste väikese läbimõõduga torude val-

Hüdraulilise pressi all saadud õõnessilindri edaspidine töötlemine toimub sel teel, et ta aetakse terastempli otsa ja koos sellega tõugatakse läbi terasrõnga, mille augu läbimõõt on väiksem kui õõnessilindri väline läbimõõt. Esimesele rõngale järgnevad teised üha väheneva avausega; sel viisil toru võtab kogu aja pikuses juurde ja samal ajal väheneb läbimõõdus. Torud, millele nõutakse võrdlemisi täpseid mõõteid, tõmmatakse

mistamiseks kasutatakse väga mitmekesiseid valmistusviise, kusjuures rakendatakse autogeenilist või elektrilist keevitamist. Teraseriba rullitakse sellekohasel rullimisemasinal toruks ja lah-tine pilu keevitatakse või joodetakse kokku. Edasi torusid hõõgutatakse ja pärast jahtumist tõmmatakse nad külmalt läbi rõnga. Säärasel viisil valmistatud torud leiavad rohkem kasuta-mist jalgrattatööstuses.

## V. MEHAANILISED JA METALLOGRAAFILISED KATSED.

### Katsetest üldiselt.

Iga kasutusotstarve tingib materjalilt teatavaid kindlaid mehaanilisi omadusi. Viimased aga ei olene mitte ainult antud materjali keemilisest koosseisust, vaid on suurel määral rippu-vad soojuskäitlusest, mida materjal on läbi teinud.

Olenedes koormamise viisist võib mehaanilisi katseid jagada kolme rühma:

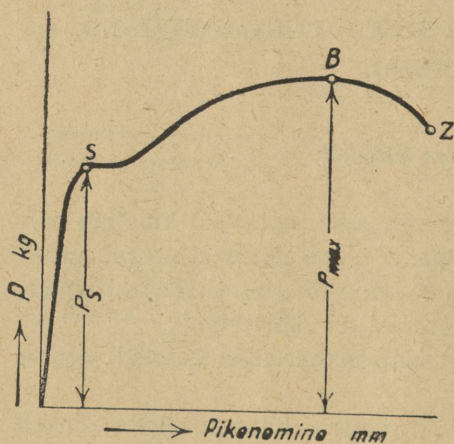
- a) Staatilised katsed, millede juures katsekoormus tõuseb aeglaselt, kuid pidevalt.
- b) Dünaamiliste katsete puhul koormatakse katsematerjal järsu, tõukeliselt mõjuva koormaga. Koormamise kiirus on seega võrdlemisi suur.
- c) Katsed, kus koormus on perioodiliselt vahelduv ja mis kestavad pikemat aega.

### Tõmbekatse.

Tähtsamaks ja rohkem kasutatavaks staatiliseks katseks on tõmbekatse. Selle katsega määratakse järgmised väga tähtsad materjali omadused: voolupiir, tõmbetugevus, pikenemine ja kontraktsioon.

Tõmbekatse läbiviimine toimub sel teel, et kindla põiklõikega ja mõõdupikkusega katsevarras kinnitatakse erilisse katsemasinasse, kus ta koormatakse tõmbekoormusega. Katsekehadena kasutatakse seejuures ümmargusi ja lamedaid vardaid, viimaseid peamiselt sääraсте materjalide juures, kus paksus on piiratud, nagu plekid, lamedad teraslatid, vitsraud jne.

Arvesse võttes, et varda kuju mõjutab tunduvalt katse tulemusi, eriti pikennemist, siis on katsevarraste põiklõike ja mõõdupikkuse kohta kindlad alused maksmata pandud. DIN-norm näeb



Joon. 42. Tõmbekatse diagramm.

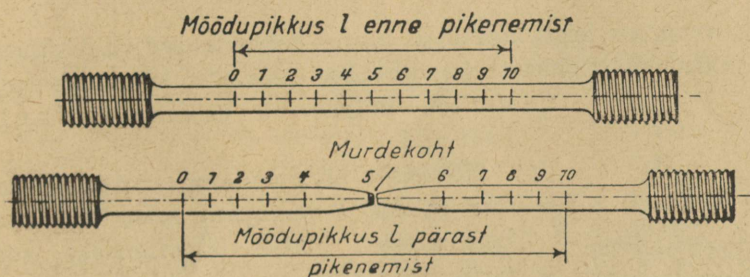
ette pika ja lühikese normaalvarda, läbimõõduga 20 mm ning mõõdupikkusega vastavalt 200 ja 100 mm. Selleks et omada vabamad käed katsevarraste valmistamisel ning olla vähem seotud materjali mõõtudega, on tarvitusele võetud veel pikk ja lühike proportsionaalvarras. Neist esimesel on mõõdupikkus  $l = 11,3 \sqrt{F}$  ja teisel  $l = 5,65 \sqrt{F}$ , kus  $F$  on katsevarda vabalt valitav põiklõike pind.

Joon. 42 on kujutatud tõmbekatse diagramm. Nagu joonisest nähtub, pikeneb varda materjal katse algul võrdlemisi vähe ja seejuures väga ühtlaselt. Proportsionaalsuse piiri ületamisel läheb pikennemise juurdekasv juba kiiremini ning koormuse  $S$  juures hakkab katsevarras nagu voolama, s. o. pikeneb, ilma et koormust tõstetaks. Isegi koormuse vähenemisel voolab varras edasi. Teatava aja järel aga saavutab materjal jälle tasakaalu. Nagu diagrammist nähtub, venib ta edaspidisel koormamisel võrdlemisi tugevasti, kuni lõpuks saavutatakse maksimaalne koormus punktis  $B$ . Kuni selle koormuseni jaotus varda

pikenemine ühtlaselt üle kogu varda mõõdupikkuse. Pärast maksimaalse koormuse ületamist aga tekib vardal tulevasel murdekohal peenem kaelataoline koht ja seega põiklõike pinna pidev vähenemine. Diagrammis avaldub nimetatud nähtus järsu koormuse langusena, mis lõpeb, kui varras lõpuks katkeb. Tõmbetugevuse saame, kui maks. koormus  $P$  (diagrammis punkt  $B$ ) jagada katsevarda algpõiklõikepinnaga  $F$ .

$$\text{Tõmbetugevus } \sigma_B = \frac{P \text{ max.}}{F} = \text{kg/mm}^2$$

Joon. 43 kujutab pehmest terasest katsevarrast enne ja pärast tõmbekatset. Pikenemine arvutatakse vardal



Joon. 43. Katsevarras enne ja pärast tõmbekatset.

märgitud mõõdupikkuse ( $l$ ) juurdekasvust ning märgitakse protsentides, seega  $\delta = \frac{\Delta l}{l} \cdot 100\%$ . Tegelikult jaotub end pikenemine vaid harva ühtlaselt üle kogu mõõdupikkuse, murdekohal on ta enamasti kõige suurem ja langeb siis järsku vardal otste suunas. Nii on joon. 43 näit. jaotusosade 0—1 ja 9—10 pikuse juurdekasv peaaegu null, osade 4—5 ja 5—6 seevastu aga umbes 130%. Tavaliselt kogu mõõdupikkuse peale antav protsentuaalne pikenemine on seepärast ka pikemate katsevarraste juures väiksem kui lühikeste juures.

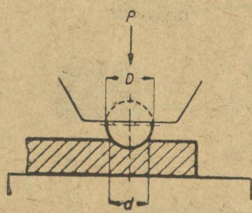
Varda sitkust iseloomustav põikkokkutõmbumine ehk kontraktatsioon arvutatakse samuti protsentides  $\psi = \frac{\Delta F}{F} \cdot 100\%$ ,

kusjuures  $F =$  katsevarda esialgne põiklõikepind  $\text{mm}^2$  ja  $\Delta F$  põiklõikepind pärast katkemist. Voolupiir  $\sigma_s = \frac{P_s}{F} = \text{kg/mm}^2$  (vaata joon. 42).

Tuleb rõhutada, et alati arvestatakse varda alg-, aga mitte tegelikku põiklõiget, sest viimane on muutlik ja ta kindlaks-tegemine katse kestel on võimatu. „Tõeline“, igakordse varda põiklõikepinna peale arvestatud elastsus ja voolupiir ning kõige-pealt tõmbetugevus on märksa kõrgemad, eriti kui on tegemist tugevasti kaela tekitavate materjalidega.

### Brinell-katse.

Surveproov leiab metallide juures rakendamist vaid väheseil erijuhtumel. Rohkesti kasutatakse seevastu kõvaduskatseid, millede hulgas on esikoht Brinell-katsel.



Joon. 44.

Brinell-katse.

Kõvaduse all mõistame materjali oma-dust avaldada vastupanu teise keha sisse-tungimisele. Katse läbiviimiseks suru-takse Brinell-pressi abil kindla läbimõõ-duga kuul  $D$  teatava survega  $P$  varem siledaks viilitud katsematerjali pinna sisse. Väikese mikroskoobi või luubi abil mõõdetakse seejärel tekkinud kuuli-jäljendi läbimõõtu  $d$  täpsusega võimalikult kuni  $0,01 \text{ mm}$  (joon. 44).

Mõõdetud kuulijäljendist  $d$ , katsekoormast  $P$  ja kuuli läbi-mõõdust  $D$  saame arvutuse teel Brinelli-kõvaduse  $H$ , kusjuures:

$$H = \frac{2P}{\pi \cdot D (D - \sqrt{D^2 - d^2})} \text{ kg/mm}^2$$

Et igakordne arvutus oleks liialt tülikas ja aegaviitev, siis võime kasutada valmisarvutatud tabeleid, kus teatava kuulijäl-jendi läbimõõdule vastab kindel Brinell-arv.

Normaalseks kuuli läbimõõduks loetakse  $10 \text{ mm}$ , kuid kasu-tamist leiavad õhemate ja pehmemate katsematerjalide puhul

ka 5- ja 2,5-mm läbimõõduga kuulid. Katsekoorem  $P$  tuleb valida alltoodud reegli järgi:

- 1) Terase jaoks  $P = 30 \cdot D^2$  (kus  $D =$  kuuli läbimõõt mm).
- 2) Punase vase ja messingiga jaoks  $P = 10 \cdot D^2$ .
- 3) Kergemetallide jaoks  $P = 2,5 \cdot D^2$ .

**Kuuli läbimõõdu ja koormuse vahetõrk.**

Tabel 2.

Katsetüki paksus = mm	Kuuli läbimõõt $D =$ mm	Katsesurve $P =$ kg		
		$30 D^2$	$10 D^2$	$2,5 D^2$
üle 6	10	3 000	1 000	250
6—3	5	750	250	62,5
3	2,5	187,5	62,5	15,6

Katsesurve peab tavaliselt püsima 30 sekundit, ainult kõvade teraste puhul võib see aeg olla natuke lühem. Väga pehmete metallide, nagu seatina, tsingi ja laagrimetalli proovimisel aga peab aeg olema natuke pikem kui 30 sekundit.

Tõmbetugevuse ja Brinelli-kõvaduse vahel püsib teatav suhe, mis võimaldab Brinell-katse abil saadud kõvadusarvudest arvutada ligikaudset tõmbetugevust. Raua ja terase kohta on maksev järgmine reegel:

$$\text{Tõmbetugevus } \sigma_B = 0,36 \cdot H \text{ (süsinikteraste puhul)}$$

$$\text{„ } \sigma_B = 0,34 \cdot H \text{ (CrNi-teraste puhul).}$$

Üleminekuvalemid, on välja toodud ka malmi, vase ja kerge-metallide jaoks, kuid sääraselt saavutatud tulemused kõiguvad väga suurtes piirides, mis nende praktilise rakendamise küsitavaks teeb.

Hapraid materjale, nagu seda on malm, proovitakse peamiselt painde peale. Paindeproovi läbiviimine toimub sel teel, et prismaatiline või neljakandiline varras toetub otstel kahel toel, ning koormatakse keskosas vertikaalselt mõjuva jõu läbi. Kuid ka terved terasprofiilid, nagu rööpad, I-talad jne. proovitakse sarnasel viisil. Koorma suurusel proovikeha katkenemise momendil või kui materjali sitkuse tõttu katkenemist ei järgne, siis kindla läbipaindumise juures arvutatakse paindetu-

gevust. Millimeetreis mõõdetav läbipaindumise suurus on ühtlasi sitkuse mõõdupuuks.

### Löögiproov.

Dünaamilistest katsetest olgu kõigepealt nimetatud löögi-proov, mis peamiselt leiab rakendamist säärase esemete juures, nagu rööpad, teljed, rattabandaažid jne. Proovitava eseme peale lastakse teatavast kõrgusest kukkuda võrdlemisi suur raskus. Läbipaindumise suurus üksikute löökide järel kui ka viimaste arv proovitava eseme lõpliku katkemiseni on sitkuse ja vastupidavuse määraks säärase koormamise puhul.

### Vältekatsed.

Staatilised ja dünaamilised katsed näitavad üldiselt vastupidavust, mida avaldab materjal ühekordsel koormamisel katkenemise momendil. Valmis masina- või ehitusosa puhul aga on säärane koormamisviis väga haruldane. Viimaste juures on tavaliselt tegemist vahelduva koormusega, mille suurus on tugevasti alla tõmbetugevuse. Materjali õigeks lubatavaks koormuseks võib lugeda seda koormust, mida ta valmisosa näol tegelikus töös suudab taluda piiramata aja jooksul. Tulevad aga ette juhud, kus masinaosad sageli vahelduva koormuse all katkevad otse seletamatul põhjusel, kuigi tegemist on esmajärguliste materjalidega ning ka osade koormused ei olnud eriti kõrged. Siin tuleb appi võtta vältekatse, s. o. valmisosa või sellega sarnlevat katsekeha proovitakse kiiresti ja väga palju kordi vahelduva koormuse abil. Katsete läbiviimiseks on ehitatud rida erimasinaid, mis püüavad järele aimata tegelikku olukorda, milles töötavad üksikud masinaosad.

### Tehnoloogilised katsed.

Lisaks mehaanilistele katsetele leiavad rakendamist veel mitut liiki tehnoloogilised katsed. Nende katsete varal tehakse

kindlaks, kuivõrd üks või teine materjal on sepistatav, keevitatav või kui suur on ta sitkus soojas ja külmas olekus. Kindlaid arvulisi andmeid siin tavaliselt ei esine, vaid rohkem on tegemist praktiliselt väljakujunenud nõudmistega. Näiteks sepistamist, samuti sepakeevitamist mõjutab eriti halvasti väävel, sest väävlisisaldus üle 0,06% teeb terase hapraks just kuumas olekus. Säärane teras ei kannata üldse sepistamist, sest et ta seejuures otsekohe puruneb. Joon. 45 on kujutatud 50-mm läbimõõduga võrdlemisi kõrge väävlisisaldusega terasetükk. Sepistamisel see teras lõhenes täielikult ja toimelt jätab mulje, nagu oleks tegemist puuga.

Et kindlaks teha, kas tegemist on väävlirikka terasega, soovitatakse ette võtta järgmine katse. Proovitükk sepistatakse soojalt 6×40 mm peale ja tekkinud paksendist aetakse läbi 80-mm pikkusega torn, mille väiksem läbimõõt on 20 mm ja suurim 30 mm. Seejuures ei tohi tekkida mingit lõhenemist proovitükis.

Mehaaniliste ja tehnoloogiliste katsete tähtsuse tõttu on mitmed neist võetud DIN-normidesse. Nagu juba varem nimetatud, võime leida norme katsevarraste kuju kohta, kuid ka Brinellkatse ja mitmesuguste tehnoloogiliste katsete jaoks võime leida täpseid eeskirju.

### Metallograafia.

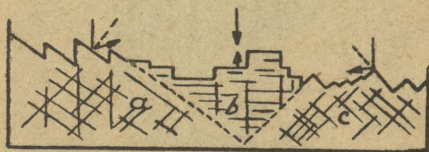
Materjalide omaduste hindamisel aga ei piisa kaugeltki veel iga kord mehaaniliste omaduste määramisest ega ka keemili-



Joon. 45. Väävlirikas teras pärast sepistamist.

sest analüüsist. Süsinik etendab näit. terases võrdlemisi suurt osa. Analüüs aga näitab ainult selle protsendilist sisaldust, ei määra aga lähemalt ära, kas süsinik on seotud või vabal kujul. Vaba süsinik aga võib omakorda esineda grafiidina või tempersoena ja vastavalt sellele on meil siis tegemist kas halli malmiga või tempervaluga, seega hoopis isesuguste materjalidega.

Kui terasetükk pooleks murda, siis värske murdepind võib olla rohkem või vähem peeneteraline, kiuline, läikiv või matt, omada südamikust erinevat äärkihti jne. Vilunud vaateleja võib sellest teha järeldusi terasesordi, selle soojuskäitluse ja seejuures tehtud vigade kohta. Kuid nende järelduste tegemisel peab toimima suurima ettevaatusega, sest murtud proovitüki



Joon. 46. Lihvi söövitamisel tekkiv reljeef skemaatiliselt.

pöiklõige, murdmisviis, valgustus ja muud asjaolud etendavad seejuures suurt osa. Igal juhul aga ei saa tavalisest murdepinnast veel kaugeltki täielikku kujutlust terase tõelisest struktuurist, vaid selleks

tuleb proovitükk enne siledaks viilida, järjest peenemal smirgelriidel lihvida ja lõpuks poleerida. Järgneb lihvi ilmutamine söövitamise teel nõrkade hapetega ja alles nüüd on mikroskoobi all nähtav metalli sisemine ehitus ehk tõeline struktuur.

Õpetust, mis käsitleb metallide ja nende sulamite sisemist ehitust ja nende uurimismeetodeid, nimetatakse metallograafiaks.

Metallograafia on teadusharuna veel võrdlemisi noor, kõigest 25—30 aastat, sellest hoolimata on ta kiiresti leidnud väga mitmekülgset rakendamist. Täidab ta ju suuresti mehaaniliste katsete ja keemilise analüüsi vahel tekkivat lünka. Metallograafia abil võime võrdlemisi kerge vaevaga kindlaks teha, mis materjaliga meil tegemist ja mis seisukorras viimane on, näit. valatud, valtsitud, hõõgutatud, karastatud jne.

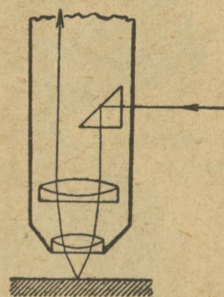
Mikroskoobiliseks vaatluseks vajame tasase pinnaga proovi-

tükki suurusega umbes  $15 \times 15$  mm. Pärast väljasaetud proovitüki tasaseksviilimist järgneb selle lihvimine smirgelpaberil. Alustatakse kõige jämedamast numbrist, minnes järk-järgult kuni kõige peenemateni, kusjuures lihvida tuleb risti seni, kuni eelmisest jämedamast paberist tekitatud kriimustused on täiesti kadunud. Lihvimisele järgneb poleerimine puhtast villasest riidest kettal, kusjuures lihvimisaineks on enamasti alumiiniumoksiid, lahjendatud umbes 10-kordselt veega. Poleerida tuleb seni, kui mikroskoobi all on näha ainult täielik peegelpind, mil puuduvad igasugused kriimustused. Nagu nähtub ülaltoodust, nõuab korraliku lihvi ettevalmistamine võrdlemisi suurt hoolt ja ka aega. Sääraselt ettevalmistatud lihvil aga ei ole mikroskoobi all näha veel mingit materjali iseloomustavat struktuuri, vaid see tuleb alles ilmutada.

Struktuuri ilmutamiseks kasutatakse mitmesuguseid võtteid, nagu järelelaskmist, mille tagajärjel iga kristalliliik värvub isesuguselt, sööbepoleerimist ja lõpuks söövitamist. Neist viimane menetlus leiab tavaliselt kõige rohkem kasutamist.

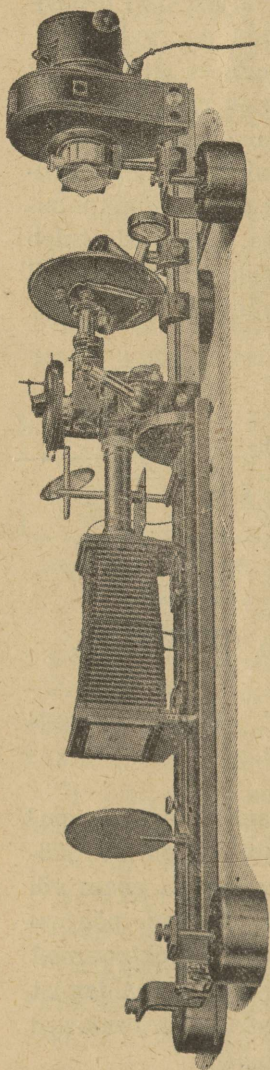
Iga metalli või sulami jaoks kasutatakse enamasti isesuguseid söövitusvahendeid, neist teraste söövitamiseks näit. on enamkasutatav nõrk alkoholne lämmastikhape:  $1 \text{ cm}^3 \text{ HNO}_3 + 100 \text{ cm}^3 \text{ C}_2\text{H}_5\text{OH}$ . Lihvi söövitamisel mõjub söövitusvahend materjali üksikuile struktuuriosakestele enam või vähem, mille tagajärjel tekib nõrk reljeef. Viimane põhjustab pealelangevate valguskiirte eri tugevusega reflekteerimist ja võimaldab seega üksikute struktuurielementide eraldamist üksteisest (joon. 46). Lisaks sellele üksikud struktuuriosakesed värvitakse veel söövitusvahendi poolt isesuguselt.

Pärast söövitamist, mille kestus on enamasti mõni minut, pestakse lihv veega ja kiiremaks kuivamiseks kastetakse alkoholisse.



Joone 47.

Metallimikroskoobi skeem.

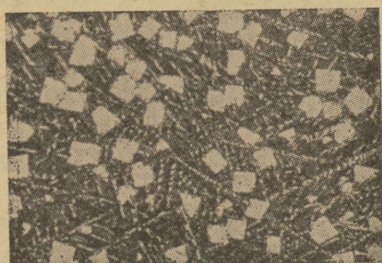


Joon. 48.  
Suur metallimikros-  
koop.

Lihvide vaatlemine tavalise läbiva valgusega töötava mikroskoobiga metallide läbipaistmatuse tõttu muidugi ei tule kõne alla, vaid siin tuleb kasutamisele eriline pealelangeva valgustusega metallimikroskoop (joon. 47). Nagu nähtub joonisest, langeb valgus mikroskoobi torusse külje pealt ja prisma muudab selle sihi  $90^\circ$  võrra. Lihvi pinnale langedes reflekteeritakse valguskiir ja langeb objektiivile ja okulaari kaudu vaatleja silma. Valgusallikana on ainult suurendusteni kuni  $100 \times$  kasutatav päevavalgus, üle selle elektripirn või kaarlamp. Suuremad metallimikroskoobid erinevad väiksemaist lauamikroskoopidest selle poolest, et mikroskoop, valgusallikas ja fotokaamera on ühendatud ühisel nn. optilisel pingil. Lisaks sellele mikroskoop on ümber pööratud, s. o. objektiiv asetseb pealpool (joon. 48). Kirjeldatud ehitusviis võimaldab lihvi asetamist otse objektiivile lauakeelsele, kuna lauamikroskoopide juures lihvi tuleb mingi plastilise massi abil kinnitada klaasitükile ja erilise väikese pressi abil suruda aluspinnaga plaanparalleelseks.

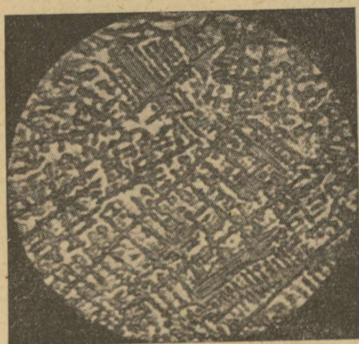
Toome nüüd allpool mõned lihtsamad näited metallograafia rakendamise võimalustest. Joon. 49 on kujutatud kõrgeväärustuslik laagrismetall koosseisuga: inglistina  $80\%$  + antimon  $10\%$  + vask  $10\%$ . Healt laagrismetallilt nõutakse, et ta koosneks reljeefseist kõvemaist kristallidest, millel lasub võll töötamisel, ja pehmemast, kergemini kuluvast ja seetõttu

madalamal lasuvast põhimassist. Tekkinud vahedes tsirkuleerib õli, tagades sääraselt alati laagri korrapärasest määrimisest. Joon. 49 valged laigud on kõvad, hästi ühtlaselt jaotatud kandekristallid, must osa pehme nn. eutektiline põhimass. Kui laste valamisel laagrimetalli väga aeglaselt hanguda, eralduvad kõvad kandekristallid sulamist ja kogunevad rohkem pinnale. Säärane laagri ei ole kõvaduselt rahuldav ja mikroskoobi all on kirjeldatud kristallide eraldamine selgesti nähtav.

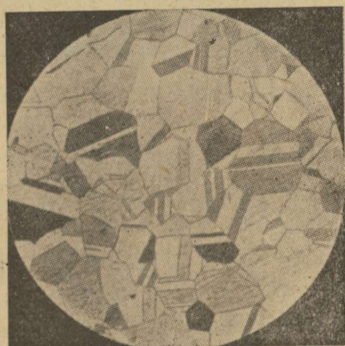


Joon. 49. Laagrimetall  
(suurendus 50 ×).

Joon. 50 on kujutatud valatud masinapronks, s. o. vase-tinasulam, tinasisaldusega ~ 10%. Joon. 51 näeme sama



Joon. 50. Valatud masinapronks (suur. 50×).

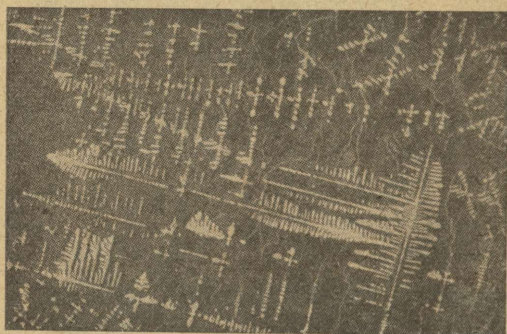


Joon. 51. Valatud masinapronks hõõgutatult (suur. 50×).

valatud pronksi hõõgutatud kujul. Hõõgutamisega 700° juures struktuur on põhjalikult muutunud ja tekkinud uus polüeedriline struktuur on võrreldes endise valustruktuuri

riga edasiseks töötlemiseks, nagu näit. valtsimiseks, märksa soodsam. Valatud eseme struktuuri võime näha veel joon. 52. Viimane kujutab valatud silumiini, s. o. alumiiniumi-siliitsiumisulamit. Näha on valustruktuuri tüübilised oksakuju-lised kristallid.

Vaatleme nüüd lähemalt meid rohkem huvitava raua ja süsiniku sulameid. Rääkides raua-süsinikusulamist, aga mitte terasest, tahetakse alla kriipsutada terase kõrvalainete mõju. Nimetatud kõrvalainete mõju raskendaks ja var-



Joon. 52. Valatud silumiin.

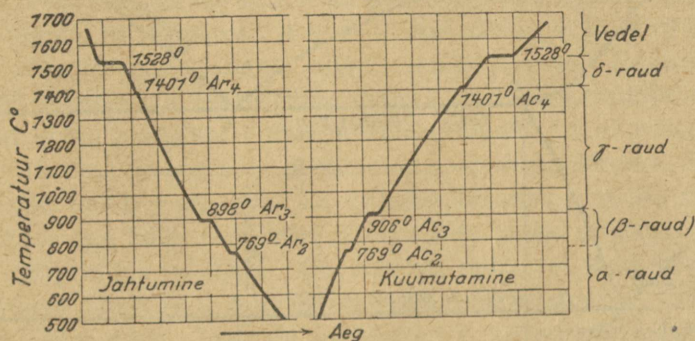
jaks olulisema osa alljärgnevaist selektustest, mispärast tavaliselt arvestatakse vaid puhast rauda ja süsinikku.

Juhul, kui keemiliselt puhast rauda vedelast olekust aeglaselt jahtuda lasta, mõõta seejuures temperatuuri ning viimane ajast olenevalt üles

joonistada (temperatuur vertikaal- ja aeg horisontaaljoonele), siis saame joone, nagu see on kujutatud joon. 53 vasakul poolel. Võime tähele panna, et raua temperatuur tardumise momendist alates enam ei lange, vaid senikaua püsib samal tasemel ( $1528^{\circ}$ ), kuni kogu raud on tardunud. Seda punkti nimetatakse muutepunktiks (peatuspunktiks). Teine, kolmas ja neljas muutepunkt asetsevad, nagu nähtub joonisest,  $1401^{\circ}$ ,  $898^{\circ}$  ja  $768^{\circ}$  juures.

Samad muutepunktid, ainult väikeste temperatuuride vahega, ilmuvad ka raua kuumutamisel (joon. 53 paremal). Nimetatud muutepunktid tõestavad, et raud ka kõvas olekus võib esineda mitmes vormis (modifikatsioon); viimaseid tähistatakse kreeka tähestikuga vastavalt  $\alpha$  (alfa),  $\gamma$  (gamma),  $\delta$  (delta). Iga modifikatsioon on seotud kindla temperatuuriga.  $\alpha$ -raud

püsib temperatuurivahemikus kuni  $898^{\circ}$  ( $906^{\circ}$ ) ja nimelt kahes faasis. Esimene neist ulatub kuni  $768^{\circ}$  ja on magnetiline, teine faas püsib  $768^{\circ}$  ja  $898^{\circ}$  ( $906^{\circ}$ ) vahel ja on mittemagnetiline. Viimast nimetatakse sageli ka (beeta-)  $\beta$ -rauaks.  $898^{\circ}$  juures sünnib ümbermoodustamine  $\gamma$ -rauaks püsivusega kuni  $1401^{\circ}$ . Edasi  $1401^{\circ}$  juures  $\gamma$ -raud läheb  $\delta$ -rauaks. Kõik nimetatud muutepunktid (peatuspunktid) püsivad kindlate temperatuuride juures ja on täpselt määratud. Kõiki tähistatakse tähega A, kusjuures kuumendamisel esinevaile muutepunktile lisatakse indeksina täht c ja jahutamisel täht r. Üksikud punktid

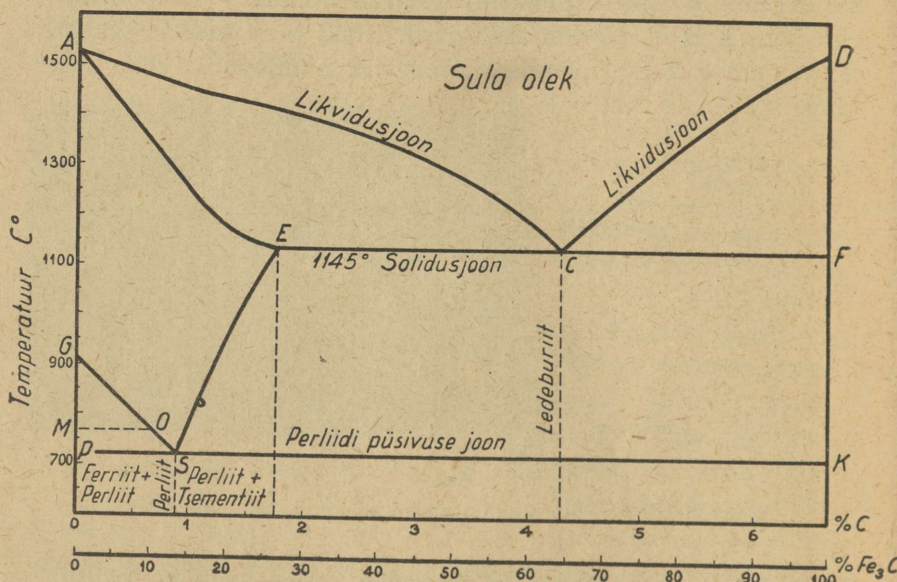


Joon. 53. Puhta raua kuumutamise ja jahtumise kõverjoon.

tähistatakse veel numbritega ja nende täpne asukoht nähtub joon. 53.

Välja arvatud vaid mõned üksikud erandjuhud, ei leia keemiliselt puhas raud kasutamist. Praktikas nii väärtuslikud omadused saavutab raud alles süsiniku lisandumisel. Ükski teine element ei avalda nii väikestes hulkades säärast tugevat mõju raua tehnilistele omadustele kui just süsinik (C). Näit. teras süsinikuga 0,08% on pehme, sitke ja mittekarastatav. Seevastu teras süsinikusisaldusega 0,6% on juba raskesti töödeldav ja karastub hästi. Seega kõigest 0,5% C avaldab juba üsna tunduvat mõju. Teras tugevus ja kõvadus tõusevad samuti proportsionaalselt C-sisaldusega. Ülejäänud lisandid, nagu

mangaan, siliitsium, fosfor ja väävel, mis osalt tahtlikult, osalt aga mittetahtlikult lisanduvad, tavalistes piirides terase struktuurile erilist mõju ei avaldu. Sel põhjusel räägitakse tavaliselt lihtsuse mõttes ka vaid raua-süsinikusulamist. Terase struktuurile on mõõduandev C. Selle hulgast kui ka termilisest ja mehaanilisest käsitlemisest olenevalt muutub terase struktuur



Joon. 54. Raua-süsiniku hangumise diagramm.

ja loomulikult ka terase omadused. Kõige selgemini terase mitmesugused muudatused avalduvad nn. raua-süsiniku hangumise diagrammis. Kuidas tekib nüüd raua-süsiniku hangumise diagramm? Me nägime, et puhta raua jahutamisel kui ka soojendamisel tekkinud ümberkujundamiste tagajärjel ilmsesid meile tuntud muutepunktid (joon. 53). Kui nüüd samal viisil nagu sealgi määrata muutepunkte pidevalt tõusva süsinikusisaldusega raua-süsinikusulameil, saadud punkte kanda koordinaatide süsteemi ja neid omavahel ühendada, saame diagrammi,

nagu see on näidatud joon. 54. Nagu nähtub joonisest, on C-sisaldus kantud horisontaalteljele ja temperatuurid püstteljele. Koordinaatide süsteemi kantud jooned määravad ära, mis temperatuuri juures raua teatava süsinikusisalduse puhul ilmnevad varem kirjeldatud ümbermoodustused. (Lihtsuse mõttes on diagrammis  $\delta$ -raud ära jäetud).

Vertikaaljoonel 0% süsinikuga leiame punktid  $AGM$ , viimased kujutavad meile tuntud puhta raua muutepunkte. Ülalpool joont  $ACD$  (likvidusjoon) on raud vedel, allapoole joont  $AECF$  (solidusjoon) aga on kõik kõvas olekus. Nende kahe joone vahel on nii kõvad kui ka vedelad kehad korruga kõrvuti. Kui jälgida likvidusjoont  $A$  kuni  $C$ , siis näeme, et koos süsinikusisalduse tõusuga langeb sulami sulamispunkt. Rauasulamil 4,29% süsinikuga (eutektiline malm) on 1145 kraadiga saavutatud kõige madalam võimalik sulamispunkt. Siin vedel raud muutub ilma vahepealse üleminekuta otsekohe kõvaks. Erilist tähtsust omab joon  $GOS$ . Ta kujutab ülemisi, s. o.  $A_3$  muutepunktide rea kõigi raua-süsinikusulamite jaoks, millede C-sisaldus on piirides 0—0,9%. On selgesti näha, et koos süsinikusisalduse langusega langeb ka ümbermoodustamise temperatuur. Nimetatud joon on mõõduandev terase soojuskäitlusel, nagu hõõgutamisel, karastamisel, keevitamisel jne. Joon  $PSK$  kujutab kõigi  $Fe + C$  sulamite alumisi muutepunkte  $Ac_1$  ja  $Ar_1$  ja asetseb 721° juures. Joon  $ES$  kujutab ülemise muutepunktide  $Ac_3$   $Ar_3$  joone sulamite jaoks 0,9—1,75% C.

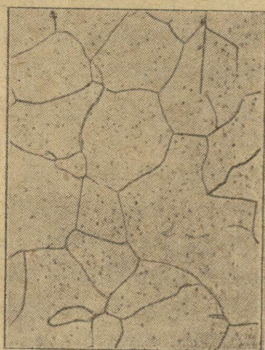
Nagu nimetatud, sisaldavad tehnilised rauasordid puhta raua kõrval olulise koosseisu osana veel süsinikku (C). Terases ja valges malmis esineb ta väga kõva raua-süsinikuühendina kui  $Fe_3C$ , mida tuntakse rauakarbiidi ehk tsementiidi nime all ning mille koosseisus on 6,68% C. Vastavalt mikroskoobiliseks vaatluseks ettevalmistatud proovis on tsementiidinõelad selgesti nähtavad (joon. 55).

Täiesti puhas raud moodustab ebakorrapärase piirjoontega kristall-sõmeraid, mis kannavad nimetust ferriit (joon. 56). Kui soojuskäitluse mõju kõrvale jätta, siis ferriidi- ja tsementiidi-

hulk terase struktuuris on loomulikult rippuv süsinikuhulgast. Eriliiki struktuuri, nn. perliidi moodustavad ferriit ja tsementiit, kui nad asetsevad vahelduvate joontena üksteise kõrval



Joon. 55.  
Tsementiit 100×.



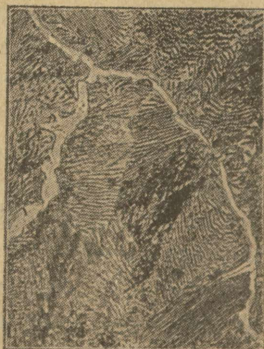
Joon. 56.  
Ferriit 200×.



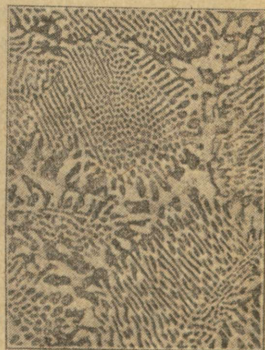
Joon. 57.  
Perliit 500×.



Joon. 58.  
Teras C=0,3% 200×.



Joon. 59.  
Teras C=1,2%. Tse-  
mentiit, hele, ja perliit  
500×.



Joon. 60.  
Ledeburiit 100×.

(joon 57). Nimi perliit on tuletatud asjaolust, et lihvitud ja söövitatud terase proovitükk läigib omapäraselt nagu pärlmutter. Perliit sisaldab püsivalt C — 0,86%, mispärast ka 0,86% süsi-

nikuga teras koosneb ainuüksi perliidist, süsinikuvaba raud seevastu aga ainuüksi ferriidist. Vahepealse koosseisuga terased sisaldavad üheaegselt nii perliiti kui ka ferriiti, kusjuures C-sisalduse tõusuga ferriidihulk struktuuris pidevalt väheneb, kuni ta 0,86% juures täiesti kaob, andes ruumi puht-perliidile. Üle 0,86% C aga on olemas rohkem tsementiiti kui perliidi moodustamiseks vajalik, nii et mikroskoobi all puhta perliidi kõrval on nähtav ülihulgas olev vaba tsementiit (joon. 59). Üle 1,7% C tuleb juurde uus struktuuriosa, segu perliidist ja tsementiidist, mis kannab ledeburiidi nime ja mille hulk pidevalt kasvab, kuni 4,25% C juures on olemas veel vaid puhas ledeburiit (joon. 60). Valge malm süsinikusisaldusega 6,68% koosneks veel ainuüksi tsementiidist.

## VI. TERASTE LIIGITUS.

### Terastest üldiselt.

Eelnevais peatükkides oli kasutatud mõisteid raud ja teras. Üldises kõnes mõeldakse tavaliselt raua all materjali, mis on soojalt hästi vormitav ega karastu üldse. Et aga rida võrdlemisi kõrgväärtuslikke teraseid samuti karastamisel kõvemaks ei lähe ja üldse äärmiselt raske on tõmmata täpset piiri raua ja terase vahel, siis Saksamaal DIN-tööstusnormid seda vahet enam ei teegi. On lubatud aga edaspidigi kasutada kaubanduses tarvitusel olevaid nimetusi, nagu nurkraud, raudplekk jne., sellest hoolimata et materjaliks normide kohaselt on valuteras või siis keevitus- ehk pudeldusteras.

Tehnikas mõeldakse sõna „raud“ all ükskord puhast metalli, s. o. keemilist elementi Fe, samas aga ka „tehnilist rauda“, mis alati sisaldab lisandeid teiste elementide näol ja seega on sulam. Tehniline raud on üldnimetuseks toormalmile ja malmile (mõlemad mittesepistatavad) ning terasele (sepistatav). Sepistata-

vuse piir on esmajoones rippuv süsinikusaldusest ja asetseb 1,7% C juures, kus siis ka lõpeb terase piirkond ja ülespoole juba algab malm.

Teraste liigitamisel peame vahet tegema legeerimata ja legeeritud teraste vahel. Neist esimesed sisaldavad ainult süsinikku ja vähesel määral räni ja mangaani, samuti üsna vähesel hulgal fosforit ja väävlit. Legeeritud terased seevastu sisaldavad peale süsiniku ja muu eelloeteldu veel mitmesuguseid metalle lisanditena, nagu kroomi, volframit, vanaadiumi, niklit, koobaltit, molübdeeni jne. Olenevalt sellest, mis metalli peamiselt on kasutatud lisandina, räägitakse nikkel-, kroomnikkel-, volfram- jne. terastest. Nende eriliikide üksikasjalisemale vaatlusele tuleme tagasi allpool.

Lihtsuse mõttes kasutame edaspidi sagedamini esinevate keemiliste põhianete lühendeid, mis märgitakse järgmiselt:

C — süsinik	S — väävel	W — volfram
Si — räni	Ni — nikkel	Co — koobalt
Mn — mangaan	Cr — kroom	Mo — molübdeen
P — fosfor	V — vanaadium	

### Tööriista- ja ehitusterased.

Kasutusotstarbele vastavalt võib kõik terased jagada kahte suurde rühma, nimelt tööriistaterased ja ehitusterased.

Tööriistateraseid, nagu juba nimigi ütleb, kasutatakse väga mitmesuguste tööriistade valmistamiseks, kuna ehitusteraste alla koondatakse terased, mis leiavad kasutamist peamiselt masina-, auto- ja lennukiehituses, sildade ja muudes sääraustes ehitustes. Et loeteldud masinad ja ehitused peagu eranditult peavad jõude kandma ja taluma, siis pannakse ehitusteraste suhtes esmajoones rõhku nende tugevusomadustele, nagu tõmbetugevus, voolupiir, pikenevus jne. Tööriistaterastel nimeta-

tud omadused ei ole nii olulised, sest siin nõutakse kõvadusomadusi, nagu head löikevõimet, kõvadust või muid sääraseid.

Teravat vahet tõmmata mõlema suure teraserühma vahel on võimatu, sest näit. süsinikteraseid kasutatakse nii tööriista- kui ka ehitusterasena.

Tuleb märkida, et kahjuks iga terasetehas kasutab oma eriteraste jaoks vabalt valitud nimetusi ja seetõttu pole eri vabrikute saadused võrreldavad, kui pole teada nende täpset koosseisu.

### Süsinik-tööriistaterased.

Süsinik-tööriistaterased leiavad rohkem kasutamist, mida teataval määral soodustab nende suhteliselt odav hind võrreldes legeeritud terastega. Karastatult on neil võrdlemisi suur kõvadus, kuid nii peensõmeralist struktuuri neil ei ole kunagi kui legeeritud terastel sama C-sisaldusega.

Ettekujutuse süsinik-tööriistateraste liigitusest kõvaduse ja kasutusotstarbe järgi annab ühes soojuskäitluse tähistamisega alljärgnev tabel (vaata lk. 94).

### Legeeritud tööriistaterased.

Legeeritud tööriistateraste tähtsamad lisandusmetallid on kroom (Cr) ja volfram (W).

Lisandatud terasele kas üksikult või koos, moodustavad nad rea kõrgeväärtuslikke tööriistateraseid. Et süsinikterased karastuvad läbi vaid võrdlemisi väikestes põiklõigetes ja karastatud kihi paksus kõigub tavaliselt 1—4 mm piirides, siis Cr alandab nn. „kriitilist jahtumiskiirust“, mille tagajärjel Cr-terased karastuvad läbi märksa sügavamalt. Madalalt legeeritud Cr-terased annavad suurepärase löikevõimega tööriistu, nagu noad ja kirved. Pealeselle Cr-terased leiavad kasutamist meislite, külmvaltside, viilide ja muude tööriistade valmistamisel.

Süsinik-tööriistaterased (tiigliteras).

Tabel 3.

Süsiniku- sisaldus C%	Sepistamis- temperatuur C°	Pehmeks- hõõgutamis- temperatuur C°	Normaal- seks-hõõgu- tamistempe- raatuur C°	Karastamis- temperatuur C°	O t s t a r v e
1,45—1,6	850—750	740—760, jahuta- mine ahjus	760—780, jahuta- mine vabas õhus	760—780, vette	Lõikeriistad väga kõva- de metallide jaoks, nagu näit. kõvamalm.
1,25—1,45	850—750	740—760, jahuta- mine ahjus	760—780, jahuta- mine vabas õhus	760—780, vette	Mitmesugused riistad te- rase töötlemiseks, nagu graveertäpitsad, poleer- terased, treiterad, viilid, puurid, habemenoad, ki- rurgilised riistad jne.
1,1—1,25	900—750	740—760, jahuta- mine ahjus	760—780, jahuta- mine vabas õhus	760—780, vette	Lõikeriistad terase ja muude metallide töötle- miseks külmas olekus, nagu freesid, puurid, vii- lid, vindilõikamisriistad, hõövliterad, viiliraumis- meislid jne.
0,9—1,1	900—750	730—760, jahuta- mine ahjus	760—780, jahuta- mine vabas õhus	760—780, vette	Tööriistad puu töötle- miseks, nagu puurid, trei- ja hõövliterad, kir- ved, peitlid; kingsepa- noad, vikatid, paberi- käärid, stantsid metal- lide stantsimiseks.
0,7—0,9	950—750	710—730, jahuta- mine ahjus	760—790, jahuta- mine vabas õhus	770—800, vette	Mitmesugused noaterad, nagu tasku-, laua-, li- hunikunoad, kääriterad, lintsaed, haamid, kivi- töötlemisriistad, stant- sid, rasplid puu ja naha jaoks.
0,5—0,7	1000—750	710—730, jahuta- mine ahjus	780—810, jahuta- mine vabas õhus	780—820, vette	Tööriistad, millel on nõu- take head kõvadust, kuid seejuures ka vas- tupidavust löökidele, näi- teks meislid.

Puhastel volframterastel on äärmiselt peeneteraline murde-  
pind, karastuvad hästi läbi ja leiavad kasutamist tööriistadena

terase ja muude metallide töötlemisel. Peale ülalnimetatud omaduste ei alistu W-terased nii kergesti järelelaskmisele, s. o. soojendamisel karastatud teras ei kaota nii kergesti oma kõvadust. Nimetatud omadus on eriliselt hinnatav soematriitside valmistamisel.

Cr ja W üheaegne lisandamine terasele liidab mõlema metalli ülalnimetatud head omadused. Madalalt legeeritud CrW-teraseid tavalise süsinikusaldusega kasutatakse lõikeriistade, stantside ja muude külmtööriistade valmistamiseks. Kõrgelt legeeritud CrW-terased madala süsinikusaldusega seevastu sobivad soematriitsideks. Samu teraseid kõrge C-sisaldusega kasutatakse kõvamalmi ja muude kõvade metallide lõikamiseks.

Cr ja W lisandamine ühes mangaaniga (Mn) annab terase, mis karastamisel äärmiselt vähe oma mõõteid muudab, mida seepärast kasutatakse pikkade keermepuuride ja kaliibrite valmistamiseks.

Vanaadium-(V-) ja CrV-terased leiavad kasutamist lõiketööriistadena, nagu meislid ja stantsid. Oma mõjult vanaadium sarnleb väga kroomi ja volframiga.

Nikkel koos kroomiga annab terasele väga häid mehaanilisi omadusi ja soodustab läbikarastumist. Neid teraseid kasutatakse rohkesti soojade sepavormide valmistamiseks.

Puht Si- või Mn-terased leiavad tööriistaterasena vähe kasutamist. Si koos lisametallidega, nagu Cr, W ja Mo, moodustab häid lõiketeraseid.

Mn lisandamine teeb legeeritud tööriistaterased vähem tundlikuks soojuskäitluse suhtes ja tõstab ka vastupidavust kulumisele.

### **Kiirlõiketerased.**

Kiirlõiketeraste eriomadustele vihjab juba nende nimetus: nende terastega võib kiiremini lõigata, s. o. treida, freesida ja puurida, kui teiste tavaliste tööriistaterastega.

Nimetatud omadus pole tingitud nende teraste erilisest kõvadusest, sest korralikult karastatud kõrgema C-sisaldusega süsinikteras toatemperatuuri juures ei jää kiirlõiketerasest kõvaduselt põrmugi maha. Peamine vahe seisneb selles, et karastatud süsinikteras pehmeneb soojenemisel juba  $250^{\circ}$  juures ja kaotab seega oma lõikevõimet, kuna kiirlõiketeras õige soojuskäitluse puhul kuni ligemale 700 kraadini säilitab oma täie kõvaduse ja lõikevõime. Treimisel kui ka teistel laastueraldamise põhimõttele rajatud töötlusviisidel tekib hõõrumise tagajärjel lõiketera tugev soojenemine ja see kasvab ühes lõikekiiruse tõusuga. Järelikult treimis- või mõne muu laastulõike kiirus võib olla seda suurem, mida kõrgema temperatuurini teras oma algupärast kõvadust säilitab. Nagu juba nimetatud, on kiirlõiketerastel seda omadust kõrgeimal määral. Kõik kiirlõiketerased on kõrgelt ja mitmekordselt legeeritud. Süsinik nendes terastes kõigub enamasti piirides 0,65—0,90%. Tähtsaim lisametall aga on kahtlemata volfram, sest tema koos kroomiga moodustab õieti selle aluse, mis teeb terasest kiirlõiketerase. Korralik kiirlõiketeras sisaldab enamasti  $W = 18—20\%$  ja  $Cr = 4—5\%$ .

Edasi lisandatakse veel molübdeeni  $Mo = 0,5—2\%$  ja vanadiumi  $V = 0,5—4\%$ ; mõlemad tõstavad kiirlõiketerase lõikevõimet ja teisi omadusi tunduvalt. Täiesti erakorraliselt suurt lõikevõime tõusu põhjustab koobalti (Co) lisandus. Juba 5-protsendiliselt Co-ga legeeritud kiirlõiketeras ületab 18%-se volframterase oma võimetelt ligemale 100% võrra. Co-kiirlõiketerased moodustavad praegusel ajal tippsaavutuse kiirlõiketeraste alal. Säärane eriteras aga pääseb mõjule vaid tugevate töömasinate puhul, mis taluvad väga tugeva laastu lõikamist; vastasel korral rahuldavad meid märksa odavamad kiirlõiketerased.

Iseloomustamiseks on alljärgnevas tabelis toodud mõnede müügilolevate kiirlõiketeraste koostised ning soojuskäitlused. Neist kolmest esimene on hinnalt kui ka kvaliteedilt kõige kõrgem, kolmas suhteliselt kõige madalam.

Kiirlõiketeras.

Tabel 4.

C = %	Co = %	W = %	Cr = %	Mo = %	V = %	Sepistamine C°	Karastus C°	Järelelaskmine C°	Märkmeid
0,85	5	19,5	3	0,5	1,9	1250— 1000 <sup>0</sup>	1300— 1330 <sup>0</sup> õli või suru- õhk	550— 590 <sup>0</sup>	Co— legeeritud
1,25	—	12,5	5,3	1,5	4	1150— 900 <sup>0</sup>	1230— 1250 <sup>0</sup> õli või suru- õhk	550— 590 <sup>0</sup>	V— legeeritud
0,75	—	18,5	4	—	1,1	1250— 950 <sup>0</sup>	1250— 1300 <sup>0</sup> õli või suru- õhk	550— 590 <sup>0</sup>	W— legeeritud

Siinkohal tuleb veel märkida, et viimasel ajal treiteradeks kasutatavad kõvametallid ei kuulu kiirlõiketeraste ega üldse enam teraste liiki, sest nende koosseisus puudub raud.

Kõvametallide all, nagu viidia, mõistetakse „sulameid“ volframist, koobaltist, titaanist, molübdeenist jne. Neid „sulameid“ ei valmistata valamise teel, nagu on tavaline, vaid seks otstarbeks kasutatakse nende metallide pulbrikujulisi karbiide, millele lisandatakse teatav protsent madalamalt sulavaid sidemetalle. Segu pressitakse tugeva surve all plaadikesteks. Edasi plaadikesi kuumutatakse, kuid ainult nii kõrges temperatuuris, et üksikud karbiiditerakesed sidemetalli pehmenemise tõttu kokku paakuvad. Neil paakunud sulameil on väga suur loomulik kõvadus ja viimane ei lange töötamisel, hoolimata võrdlemisi suurest kuumenemisest. Kõvametall viidia S1 sisaldab vabriku andmeil (ligikaudselt) süsinikku (C) = 8%, koobaltit (Co) = 5,5%, titaani (Ti) = 12%, ülejääk on volfram (W). Sellest nähtub selgesti, et tegemist ei ole mingi terasega, sest koostisest puudub raud (Fe).

## Ehitusterased.

Nagu juba varem alla kriipsutatud, nimetatakse ehitusteras-  
teks sääraseid teraseid, mida tarvitatakse igasugusteks tehnilis-  
teks otstarveteks, eriti masinaehituses, kuid välja arvatud mui-  
dugi tööriistateras.

Koosseisult jagunevad ehitusterased süsinik- ja legeeritud  
terasteks. Süsinik-ehitusteraeid tarvitatakse niisugustel juhtu-  
del, kui tugevuse nõuded on madalad ja terase valikul tuleb sil-  
mas pidada ka hinna odavust. Legeeritud ehitusteraeid tarvi-  
tatakse üldiselt siis, kui ehituskonstruksioonide, mõõtude või  
kaalude juures süsinikteras ei ole küllalt tugev, või kus erilised  
tingimused nõuavad vastavate eriliste omadustega terasmater-  
jali kasutamist. Masinaehituses kasutatavaid süsinik-ehitus-  
teraseid võib jaotada kahte järgmisse pealiiki: tsementeerita-  
vad süsinikterased ja süsinik-masinaerased, mida kasuta-  
takse normaliseeritud (normaalseks hõõgutatud) või karasta-  
tud kujul. Esimesel juhul süsinikusisaldus ei ületa 0,20%, teisel  
juhul kõigub see tavaliselt 0,30—0,80% piirides.

Peamised süsinik-ehitusterased on normitud ja neid leiame  
DIN-normilehtedes nr. 1611, 1612, 1613 ja 1661.

### Lühendatud väljavõte DIN-lehest nr. 1611.

A.

Tabel 5.

Tähista- mine	Tõmbe- tugevus $\sigma_B = \text{kg/mm}^2$	Minimaalne pikene- mine = %		Omadused
		Lühike pro- portsionaal- varras $\varnothing 5$	Pikk pro- portsionaal- varras $\varnothing 10$	
St. 00.11	—	—	—	Mehaanilisi omadusi eriti ei nimetata.
Si. 37.11	37 kuni 45	25	20	Tavaline Thomas- ja SM-headus. Ei kee- vitu mitte alati ra- huldavalt.

## B.

Tähista- mine	Tõmbe- tugevus $\sigma_B =$ kg/mm <sup>2</sup>	Minimaalne pikene- mine = 0/0		Süsinikusal- dus C <sup>0/0</sup>	Omadused
		Lühike proport- sionaal- varras $\delta_5$	Pikk pro- portsio- naalvarras $\delta_{10}$		
St. 34.11	34—42	30	25	0,12	Tsementeeritav ja sepakeevi- tatav.
St. 42.11	42—50	24	20	0,25	Raskelt tsementeeritav, vae- valt sepakeevitatav.
St. 50.11	50—60	22	18	0,35	Ei sobi tsementeerimiseks. Vaevalt sepakeevitatav. Ka- rastub vähesel määral.
St. 60.11	60—70	17	14	0,45	Karastub, parendatav.
St. 70.11	70—85	12	10	0,60	Karastub, hästi parendatav.

DIN-terasenormides kasutatakse üksikute teraste tähistami-  
seks lühendeid, näit. neetraud DIN 1613 järgi minimaalse tõm-  
betugevusega 34 kg/mm<sup>2</sup> = St 34.13 või parendatav teras DIN  
1661 süsinikusaldusega 0,35% = St C 35.61.

Eeltoodud tähistamised on tuletatud järgmiselt:

St . . . . .	34 . . . . .	13
St . . . . .	C 35 . . . . .	61
Tähed	Esimene numbrite grupp	Teine numbrite grupp
Üksikuid ma- terjaliliike eral- datakse tähtede abil, näiteks: St — valuteras Stg — terasvalu Ge — malm Te — temper- valu	Esimene numbrite grupp määrab üldiselt minimaalse tõmbetugevu- se. Esimese näite puhul seega: $\sigma_B = 34$ kg/mm <sup>2</sup> . Ainult eri- teraste ja legeeritud teraste puhul märgitakse süsinikusaldus või vastav. koosseisu osa; nii teises näites C 35 tähendab keskmist süsinikusaldust — 0,35%. Tava- lise turukauba juures, kus erilist koosseisu ei garanteerita, on esi- mene numbrite grupp 00.	Terase normilehed kannavad järjekorra- numbreid 1600 kuni 1699. Kui teise numb- rite grupi ette ase- tada arv 16, siis saa- dakse vastava DIN- lehe number. Esimese näite puhul seega DIN 1613 = = neetraud.

## Legeeritud ehitusterased.

Legeeritud ehitusteraste peamisteks lisametallideks on nikkel (Ni) ja kroom (Cr).

Nikli lisandamisega saame väga sitke terase, mille läbikaras-

Tabel 6.

CrNi-terased.

Mark	Hõõgutatult tõmbe- tugevus kg/mm <sup>2</sup> maksimaalselt	Karastatud või paren- datud		C 0/0	Ni 0/0	Cr 0/0	Tarvitamis- ala	
		Tõmbe- tugevus kg/mm <sup>2</sup>	Voolu- piiri % tõmbe- tugevu- sest					Pikene- mine δ <sub>10</sub> %
<b>Tsementeeritavad terased.</b>								
ECN45	70	80—100 õli	700/0	14—10	0,10—0,17	2,5±0,25	0,75±0,2	Hammasratt, nukk- võllid, kepsud jne.
ECN35	75	90—120 õli	750/0	12—6	0,10—0,17	3,5±0,25	0,75±0,2	Hammasrattad, pol- did, tapid, võllid jne.
ECN45	83	120—140 õli	750/0	10—5	0,10—0,17	4,5±0,25	1,1 ±0,2	Eriti kõrgelt koor- matud osad lennuki- tööstuses. Hammas- rattad veoautodele ja autobustele.
<b>Parendatavad terased.</b>								
VCN35h	80	90—105	750/0	12—8	0,27—0,35	3,5±0,25	0,75±0,2	Väntvõllid, propel- lerivõllid, autotüüri osad jne.
VCN45	90	100—115	800/0	10—6	0,30—0,40	4,5±0,25	1,3 ±0,2	Eriti kõrgelt koor- matud osad lennuki- tööstuses. Õhuskarastuv teras hammasrat. jaoks.

tumisvõime on tavaliselt süsinikterasest hoopis suurem, samuti on mehaanilised omadused märksa kõrgemad.

Ehitusteraste Ni-sisaldus enamasti ei ületa 5% ning peale sitkuse tõusu see lisand toorele terasele erilist mõju ei avalda. Hoopis erinev aga on olukord pärast soojuskäitlust parendamise näol, s. o. karastamist ühes järgneva järelelaskmisega, või tsementeerimise näol. Nimelt soodustab Ni tublisti läbikarastumisvõimet ja, mis väga tähtis, teras ei lähe jämedateraliseks ka pikema kestusega soojuskäitluse puhul, mis tsementeerimisel on möödapääsmatu. Lõpuks tõusevad parendamisel ka tunduvalt terase mehaanilised omadused, eriti sitkus. Kõigest sellest nähtub, miks Ni- kui ka CrNi- teraseid peagu kunagi ei kasutata toorel kujul, vaid ikka võetakse nendega enne ette vastav soojuskäitlus.

Kroomi ja nikli koos lisandamisest tõusevad terase mehaanilised omadused veelgi; ühtlasi tõusevad ka kõvadus ja läbikarastumisvõime. CrNi-terased on eriti vastupidavad põrutustele ja kulumisele.

Ülevaate saamiseks toome lühendatult väljavõtte tähtsamaist Saksamaal normitud CrNi-terastest ühes nende rakendusvõimalustega (vt. tabelit nr. 6).

Väljavõte DIN-normist 1663.

Tabel 7.

Mark	Mehaan. omadus. karastat. või parendatult			Terase koosseis %				
	Tõmbetugevus kg/mm <sup>2</sup>	Voolumiir protsentides tõmbetugevusest kg/mm <sup>2</sup>	Pikene-mine %	Süsinik C	Kroom Cr	Molübdeen Mo	Mangaan Mn	Silit-sium Si maks.
<b>Tsementeeritavad terased</b>								
ECMo 80	90—110 (õli)	70	12—8	0,13—0,17	0,8—1,2	0,2—0,3	0,7—1	0,35
ECMo 100	110—135	75	9—5	0,17—0,22	1—1,3	0,2—0,3	0,8—1,1	0,35
<b>Parendatavad terased</b>								
VCMo 135	80—100	70	12—8	0,3—0,37	0,9—1,2	0,15—0,25	0,5—0,8	0,35
VCMo 240	110—130	78	9—5	0,38—0,45	1,6—1,9	0,3—0,4	0,5—0,8	0,35

Kõrgelt legeeritud CrNi-teraste liiki kuulub ka suurem osa roostekindlaid teraseid, moodustades iseseisva suure rühma eriotstarbelisi teraseid.

CrNi-terastele omadustelt ja tarvitamisalalt väga sarnased on kroom-molübdeenterased. Siin on Ni asemel kasutatud molübdeeni (Mo); juba 1 osa Mo asendab 8—10 osa niklit.

Käesolevas väljavõttes on toodud ülevaatlikkuse mõttes vaid neli sagedamini kasutatavat terasesorti ja needki lühendatult, kuna normilehes üldse on kokku üheksa terasesorti.

Iseloomustuseks võib ütelda, et tsementeeritavat terast ECMo 80 tarvitatakse keskmiselt koormatud hammasrataste, nükkvõllide ja muude sellesarnaste osade valmistamiseks. ECMo 100 tarvitatakse kõrgelt koormatud hammasrataste ja tigurataste jaoks. Parendatava terase VCMo 135 tarvitamisala on väntvõllid, kardaanvõllid, auto poolteljed, tüüriosad jne. Teras VCMo 240, mis muu seas sisaldab kuni 0,2% vanaadiumi, on sobiv väga mitmesuguste tugevasti koormatud masinaosade valmistamiseks.

### Vedruterased.

Vedruterased tuleb lugeda eriliiki ehitusterasteks.

Lihtsamad vedrud, nagu vankrivedrud, lukuvedrud jne., valmistatakse enamasti süsinikterastest. Süsinikteraste liiki kuulub ka väiksemate spiraalvedrude valmistamiseks palju tarvitatav nn. klaveritraat. Viimane kujutab C-terast, millel mitmekordse parendamise ja külmalt tõmbamise tagajärjel on suur kõvadus ja vetruvus, nii et külmalt keeratud vedrud ei vaja enam mingit soojuskäitlust, vaid on otsekohe kasutamiskõlvulised.

Tuleb tähendada, et mida kõrgemalt koormatud ja vastutusrikkam on vedru, seda siledam ja puhtam välispind peab olema terasel. Nii lihvitakse lennukimootorite klapivedrude terastraati enne vedru keeramist, et kõrvaldada vähimadki pinnavigasused ja kriimustused, mis vedru eluiga märksa lühendavad.

Väga hea vetruvuse annab terasele räni (Si) lisandus. Mangaan annab soonilise murdepinna, mis vedrude juures on eriti

### Iseloomulikud vedruterase liigid

Tabel 8.

Kooseis = %					Karastus	Tarvitusala
C	Si	Mn	Cr	V		
0,45—0,55	0,4—0,6	0,5—0,7	—	—	—	Lihtsamad vedrud, lukuvedrud jne.
0,6—0,7	2—3	0,6	—	—	800—820° õli	Kõrgemalt koormatud spiraalvedrud.
0,45—0,65	1,6—2,2	0,5—0,9	—	—	800—820° õli või vette	Autode lehtvedrud jne.
0,45—0,55	1,2—1,6	1,2—1,6	—	—	810—830° õli	Spiraals. suur-tükivedrud.
0,45—0,55	0,1—0,2	0,7—0,9	1—1,2	0,15—0,25	810—830° õli	Mitmesugused rasketes tingimustes töötavad spiraalvedrud ning autode lehtvedrud.

hinnatav, sest see aitab tõsta nende vastupidavust. Vastutusrikaste vedruteraste koosseisu kuuluvad ka kroom (Cr) ja vanaadium (V).

## B. Mitteraudmetallid.

### I. RASKEMETALLID.

Olgugi et metallidest on raud tänapäeval suurimal määral kasutatav materjal, rakendatakse mitteraudmetalle masinaehituses ja elektrotehnikas üha enam. MR-metallide arv (kasu-

tame seda lühendit mitteraudmetallide juures ka edaspidi) on võrdlemisi suur, kuid arvukas osa nendest ei torka eriti silma, kuna neid kasutatakse peamiselt vaid lisanditena mitmesuguseis sulameis.

MR-metalle võib erikaalu järgi jagada kahte suurde peagruppi ja nimelt raskemetallid ja kergemetallid. Mõlema grupi vaheliseks piiriks võib lugeda erikaalu 4, sest kergemetallide erikaal tavaliselt ei ületa 3,8.

Raskemetallidest on rohkem kasutatavad vask, seatina, tina ja tsink, nende kõrval veel nikkel ja kroom. Terasse legeerimiseks on eriti tähtsad koobalt, mangaan, vanaadium ja volfram. Elavhõbe ja väärismetallid, nagu plaatina ja hõbe, leiavad tehnilisel alal rakendamist peamiselt elektrotehnikas.

## Vask.

Looduses leidub punast vaske peamiselt väävlühenditena, nagu vaseläige ja vasepüriit, kuid Põhja-Ameerikas leitakse vaske kohati ka puhtal kujul. Maakide vasesisaldus on väga kõikuv ning tavaliselt ei ületa paari protsenti. Maake, millede Cu-sisaldus on üle 6%, leidub väga harva.

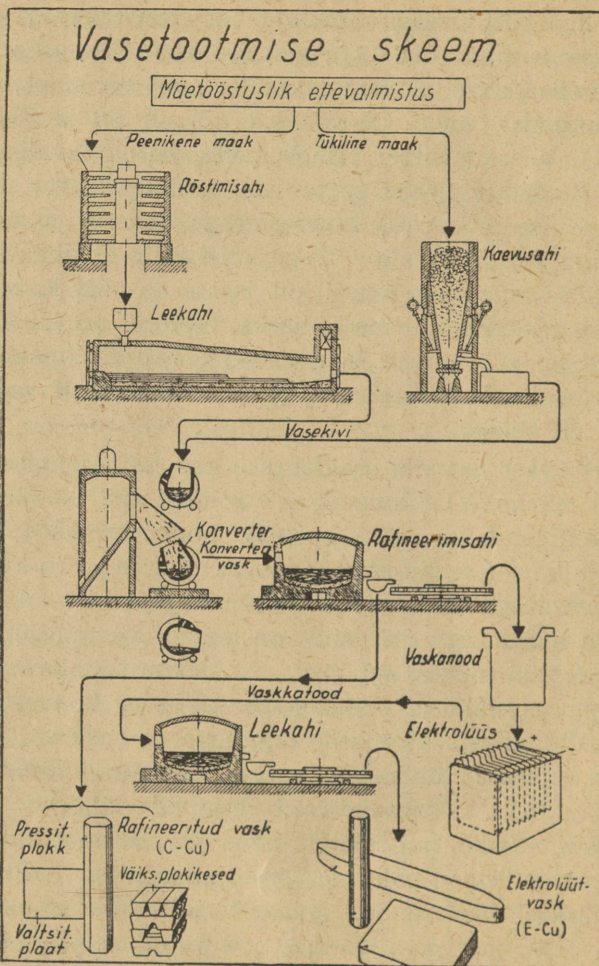
Vasetootmine maakidest peab sündima üle mitme vaheprodukti, sest kasutamisele tulevad võrdlemisi vaesed maagid ja kadu oleks liialt suur, kui neist otse sulatada vaske. Edasi leidub maakides lisandeid, nagu raua ja väävlit, sääraustes hulka, et saaksime väga ebapuhta lõpp-produkti. Rohkem kasutatav vase tootmisviis on seepärast järgmine.

Pärast sellekohast mäetööstuslikku ettevalmistust, mille hulka tuleb lugeda maakide peenendamine ja nende eraldamine aheraineist, röstitakse peenike maak röstimisahjus ja sulatatakse ühe menetluse järgi kaevusahjus koksi ja sissepuhutud põlemisõhu abil, teise menetluse järgi aga leekahjus. Saadusteks on mõlemal juhul nn. vasekivi, mille vasesisaldus on ~ 45% Cu, ülejäänud osa on šlakk. Vasekivi läheb Bessemer-pirni (konver-

terisse), kus õhu sissepuhumisega oksüdeeritakse ja sel teel eraldatakse suurem osa soovimatuist vase lisandeist. Lõppproduktina saadakse konvertervase, ka toor- või mustvase nime kandev materjal, mille Cu-sisaldus kõigub 96 ja 98% vahel (joon. 61). Vasekonverter erineb meile tuntud tavalisest Thomas- või Bessemer-pirnist seepoolest, et õhupihustid suubuvad pealpool põhja külje pealt konverteri sisemusse, ja mitte läbi põhja, nagu see on tavaline. Tagajärjeks on, et õhk ei läbista mitte niivõrd sula vase massi kui just selle peal lasuvat alles lõhkumata vasekivi. Uuemad vasekonverterid on trumlikuujised ja rullides pööratavad. Konverteri täitmiseks võetakse otse kaevusahjust sula vasekivi ning lisandatakse sellele veel kvartsisisaldavaid aineid.

Konvertervase lisandid eraldatakse kas rafineerimisega leekahjus või märksa täielikumalt elektrolüüsi abil, kusjuures viimasel juhul saadakse kätte ka kõik konvertervases leiduvad väärismetallid. Leekahjust saadakse nn. rafineeritud vask puhtusega Cu — 99%. Elektrolüütvaske oma 99,9% Cu-sisaldusega seevastu on peagu keemiliselt puhas. Vaseelektrolüüs toimub sel teel, et elekter (alalisvool) läbib väävelhapu vaselahuse. Viimasesse asetatud konvertervasest anoodplaadid lahustatakse selle tagajärjel ja vask eraldub juba suurimas puhtuses anoodide vastas olevaile puhtast vasest katoodiplaatidele. Ebasoovitavad lisandid lähevad lahusse, kuna väärismetallid, nagu kuld, hõbe ja plaatina kui anoodimuda, elektrolüüsinõu põhja langevad ning hiljem ümber töötatakse. Säärasel viisil saadud puhas vask valatakse plokkideks ning 800—900° juures valtsitakse nad tarviduse järgi kas plaatideks või kangideks. Plaadid valtsitakse algul soojalt ja hiljem külmalt juba plekkideks.

Omadustelt on vask väga sitke ning hea läikevõimega metall. Erikaal kõigub 8,3 (valatud) ja 8,96 ( $\frac{g}{cm^3}$ ) vahel ning sulamispunkt asetseb umbes 1083° juures. Vask on hästi sepistatav, ta laseb end ka korralikult joota ja keevitada ning kui töötlemisel



Joon. 61. Vasetehase skeem.

kõvaks läinud vaske  $650^{\circ}$  juures hõõgutada ja siis vees jahutada, muutub ta uuesti sitkeks ja pehmeks. Puhas vask valutükkide valmistamiseks hästi ei sobi, sest ta võtab sulas olekus õhust enesesse rohkesti hapnikku ja muutub selle tagajärjel

jahtumisel pooriliseks. Vähene tina, tsingi, mangaani või fosfori lisandus aga väldib selle pahe ning valatis on siis igati korralik. Valtsitud ja hõõgutatud vase tõmbetugevus on 20 ja 26 kg/mm<sup>2</sup> ja pikenemine 35—40% vahel. Vask on tuntud oma hea elektrijuhtivusega ning etendab seetõttu elektrotehnikas materjalina tähtsat osa.

Vask kui tooraine on normitud, sellekohane normileht kannab numbrit DIN 1708.

Nimetus	Lühimärk	Cu min %	Näiteid kasutusvõimalustest
Vask A (As*) ja Ni sisaldav)	A—Cu	99,0	Tulepesad.
Vask B (As-vaene)	B—Cu	99,0	Valusulamiteks. Vähem kui 60% Cu-sisaldusega sulamid valtsimis-, press- ja sepistamistoodetele.
Vask C	C—Cu	99,4	Vasktorud, vaskplekid.
Vask D	D—Cu	99,6	Rohkem kui 60% Cu-sisaldusega sulamid valtsimis-, press- ja sepistamistoodetele.
Vask E	E—Cu		Elektrijuhtmed, kõrgeväärtuslikud sulamid.

Edasi on normitud vasest poolmaterjalid, nagu plekid DIN 1752, torud DIN 1754, täisprofiilid DIN 1773, traadid DIN 1766 jne.

Materjali kokkuhoiu mõttes valtsitakse keevituskuumuse juures kokku vasest ja terasest plaate. Mõlemad liituvad seejuures täielikult, nii et säärast plateeritud raud-vaskplaati võib valtsida õhukeseks plekiks ja edukalt kasutada seal, kus materjalina vask oma korrosioonikindluse tõttu on nõutav. Eelkontrolleeritud vasest ja alumiiniumist plaate tuntakse „Cupal'i“ nime all. Need plekid on võrreldes eespool kirjeldatud plekkidega kaalult

\*) As = arseen.

märksa kergemad, seejuures aga roostekindlad ja lasevad end hästi töödelda.

Toodetavast vasest kasutatakse rõhuv osa mitmesuguste sulamite valmistamiseks, kuid rohkesti vaske vajab ka elektritööstus, olgugi et vasemaagi piiratud esinemine Euroopas sunnib üha rohkem asendusmaterjalile nagu alumiiniumi tarvitusele võtma. Hea soojusejuhtivuse tõttu on vask ka tunnustatud veduri tulepesa materjaliks. Viimasel ajal on uue kasutusalaana juurde tulnud terasetööstus. Vask, lisandatud terasele võrdlemisi väikesel hulgal, teeb viimase märksa roostekindlamaks.

### Seatina.

Seatina on ammutuntud metall, kuid teda leidub looduslikult puhtal kujul väga harva. Enamasti toimub tootmine maakidest, milledest tähtsaim on seatinaläige (PbS). Seatinamaake leidub peagu kõigis maades, kusjuures suurimaist lademeist Euroopas tuleks eriti nimetada Hispaania omi. Harilikult sisaldab seatinaläige ehk, nagu teda veel nimetatakse, galeniit vähesel määral hõbedat. Ag-sisaldus teebki tema väärtuslikuks hõbedamaagiks, sest suure osa toodetavast hõbedast annab just see mineraal.

Rohkem kasutatav seatina tootmisviis on järgmine: Röstimisega leekahjus muudetakse seatinaläige seatinaoksuüdiks; seejuures kõrvalduvad väävel, samuti antimoon ja arseen. Edasisel taandamisprotsessil, kus sulatamine toimub koksi abil, vabaneb juba seatina. Säärasel teel saadud toores seatina tuleb vabastada veel ülejäänud lisandeist, nagu koobalt, nikkel, raud, vask ja teised. Vabastamine toimub rafineerimisega erilistes ahjudes või veel parem elektrolüüsi abil, mil viisil saadakse eriti puhas seatina.

Müügile tuleb leekahjus rafineeritult seatina puhtusega 98—99% ja elektrolüüsi teel rafineeritult puhtusega 99,9%.

Seatina erikaal on  $11,34 \left( \frac{g}{cm^3} \right)$  ja sulamispunkt asetseb  $327^{\circ}$  juures. Tehniliselt kasutatavaist metallidest on ta kõige peh-

mem. Värske lõikepind on seatinal hallikasvalge, kuid see katub väga kiiresti õhukese oksüüdikorruga, mis kaitseb metalli edasiste mõjutuste eest. Märkimisväärne on asjaolu, et seatina oksüdeerub õhu juuresolekul destilleeritud vee poolt hoopis tugevamini kui kaevuvee läbi. Viimasel juhul tekivad raskesti lahustuvad ja tugevasti seatina pinnal püsivad soolad. Keemiliselt puhta vee mõjul tekkiva oksüüdi kohta aga ei saa seda ütelda. Sellest järeldebki, et seatinast torusid võib küll kasutada joogivee, mitte aga destilleeritud vee juhtimiseks. Hapete suhtes on seatina üldiselt üsna vastupidav, äädikhappe ja leeliste suhtes aga mitte. Antimoni lisandamine seatinale tõstab tunduvalt viimase kõvadust.

Seatina kasutatakse valatud, valtsitud ja pressitud kujul. Väga suur hulk seatinast läheb akumulaatorite, edasi elektri-kaablite, püssikuulide, trükitähtede ja jootetina valmistamiseks. Rohkesti kasutab seatina ka keemiatööstus oma mitmesuguste aparaatide, armatuuride, torustikkude jne. juures, olgugi et just viimasel ajal rea kunstainetega püütakse seatina tarvitamist võimalust mööda vähendada.

Valatud seatina-plokkidest valtsitakse plekid paksusega 0,3 kuni 12 mm ja laiusega 500—3000 mm ning seatinast fooliod paksusega 0,011 kuni 0,3 mm.

Seatinatraati ja -torusid valmistatakse pressimise teel, viimaseid sisemise läbimõõduga 3—300 mm. Seinapaksus on rippuv kasutusotstarbest ja materjaliks võib olla nii pehme kui ka kõva seatina. Kõva seatina saadakse, kui lisandada antimoni või arseeni.

### **Tina.**

Tinamaakidest on tehniliselt tähtsaim tinakivi ( $\text{SnO}_2$ ). Toodetakse peamiselt Malaka poolsaarel, Sunda saartel, neist eriti Banka ja Billiton, Boliivias ja Inglismaal.

Tinatootmiseks sulatatakse mehaaniliselt ettevalmistatud tinakivi söe abil leek- või kaevusahjus. Saadud toortina aga

on segatud veel raua ja arseeniga, nende kõrvaldamine toimub ümbersulatamise teel leekahjus. Eriti puhast tina saadakse toortina elektrolüüsimisel. Valge pleki jäätmeist võib keemilisel või elektrolüütilisel teel tina uuesti jälle tagasi võita.

Puhtaim tina (Sn üle 99,9%) on Banka oma, ligemale sama-väärne on nn. Straits-tina.

DIN 1704 näeb ette järgmised puhta tina margid: Sn 99,90; Sn 99,75; Sn 99; Sn 98. Margid tähistavad samaaegselt ka tina puhtust protsentides.

Tina on hõbedakarva läikiv metall, mille välispind õhu käes vaevalt muutub. Peale lämmastikhappe ja leeliste mõjuvad lahjendatud happed tinale vaid nõrgalt, kuna orgaaniliste hapete, nagu äädik-, viin- ja sidrunihappe suhtes ta on väga vastupidav. Viimane asjaolu soodustab eriti tinaga kaetud plekkide kasutamist konservitööstuses.

Tina sulamispunkt asetseb  $232^{\circ}$  juures ja erikaal on  $7,3 \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$ . Madalate temperatuuride juures (alla  $18^{\circ}$ ) laguneb tavaline  $\beta$ -tina sisemise ümbermoodustamise tagajärjel  $\alpha$ -tinaks, s. o. halliks pulbriks, nähtus, mida nimetatakse tinakatkuks. Valatud tina painutamisel on kuulda iseloomustav ragin, mida põhjustavad üksteise vastu hõõrduvad kristallid. Soojendamisel  $200^{\circ}$  peale muutub tina väga rabedaks.

Varemail aegadel valmistati tinast rohkesti toidunõusid, nagu kannud, taldrikud jne.; tänapäeval asendavad teda sel alal täielikult portselan, klaas ja teised materjalid. Ka tinast fooliod (Stanniol paksusega 0,007 kuni 0,13 mm) leiavad nüüd veel vaid vähesel määral kasutamist, sest on õnnestunud alumiiniumi valtsida foolioiks igas soovitud paksuses. Valge pleki valmistamiseks kulub tina võrdlemisi suurel hulgal. Kuna konservitööstus seni kasutas rohkesti valget plekki, siis on nüüd õnnestunud seda materjali hea eduga asendada erilakkidega kaetud raudplekiga. Tähtsat osa etendab tina veel kui lisanditeiste metallide legerimisel.

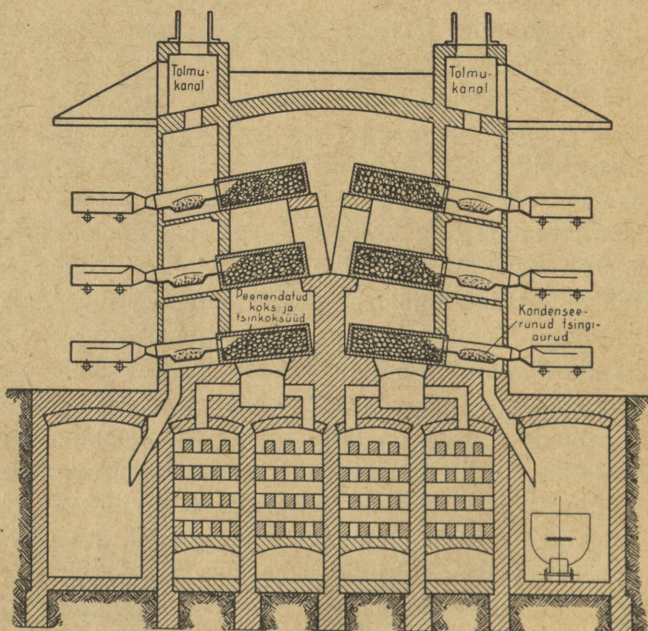
## Tsink.

Tsink on metall, mille suurelatuslikum tarvituselevõtmine ei ulatu väga kaugele tagasi. Euroopas näiteks alustati tsingitootmist vast XVIII sajandi lõpupoolel. Tähtsaim tsingimaak on sfaleriit — ZnS ja peamised tsingitootjad on USA, Belgia, Saksamaa ja Kanada.

Et tsink vastandina teistele metallidele juba võrdlemisi madalate temperatuuride juures lendub, siis ei või teda lahtises ahjus maakidest välja sulatada, vaid seda tuleb teha destilleerimise teel. Tsingi saamiseks on lühidalt järgmine: Maagid muudetakse kõigepealt tsinkoksiüdiks. See saavutatakse, kui maake röstida või põletada leek- või kaevusahjus. Järgneb tsinkoksiüdi taandamine. Selleks segatakse tsinkoksiüd kivi-söekoksiga ning asetatakse šamotist muhvleisse. Täidetud muhvid lükatakse destilleerimisahju kolderuumi. Destilleerimisahi on varustatud nagu Siemens-Martin-ahigi regeneratiivküttega, s. o. küttegaas ja põlemisõhk soojendatakse enne küttekoldesse pääsmist kuumades soojussalvedes tublisti ette. Leek ümbritseb muhvid, millede täiteks on 50% maaki ja niisama palju peenendatud koksi. Kõrge temperatuuri mõjul ühineb koksisisinik maagihapnikuga ja tsink muutub auruks. Muhvlist väljuvad aarud vedelduvad eelnevais nõudes toortsingi näol, kuna koksi põlemisest tekkinud süsinikoksiüd ja see osa tsingiaurudest, mis ei vedeldunud, juhitakse kinnisesse retorti, kus tsingiaarud sade-nevad tolmuna. Destilleerimisahi sisaldab tavaliselt 200 ja rohkem üksikuid muhvleid ja temperatuur tõuseb ahjus kuni 1400 kraadini. Kirjeldatud viisil saadud toortsink on puhtusega 96—99%. Lisandeist esmajoones seatina ja vähemal hulgal leiduvad teised metallid kõrvaldatakse rafineerimise teel, ning saadud peentsink on siis juba puhtusega 99,7—99,9% Zn. Võimalik aga on valmistada elektrolüüttsinki isegi 99,99% puhtusega.

Tsingil on sinakasvalge värv ja jämekristalliline murdepind, ta sulab 420° ja keeb 907° juures ning ta erikaal on  $7,14 \left( \frac{g}{cm^3} \right)$ . Toatemperatuuri juures on tsink võrdlemisi habras, 100°—

150° juures aga hästi sitke ja painduv. Õhus oksüdeerub tsink ning kattub niiskes õhus valge korruga, mis teda edasise oksüdeerumise eest kaitseb. Tsingi tarvitamisel väljas tuleb vältida kokkupuutumist teiste metallidega, muidu tekib hapet- ja soolisaldava vee mõjul galvaaniline element, kusjuures tsink lahustub. Hapete suhtes tsink ei ole kuigi vastupidav, ta lahustub



Joön. 62. Tsingi destilleerimisahi.

tub juba võrdlemisi nõrkades hapetes. Nimetatud põhjustel tsingitud plekk ei ole ka sobiv toidunõudeks, sest hapu iseloomuga toitudega kokku puutudes tekkivad tsingisoolad on tervisele kahjulikud. Kui tsink õhu käes ära põleb, tekib tsinkoksid, mis kannab tsinkvalge nime ja mida kasutatakse maalrivärvina.

Peale puhta tsinkpleki ja -traadi läheb suur osa tsingist teraspleki ja mitmesuguste teiste terasesemete katmiseks. Suurimal

määral leiab tsink kasutamist messingi legeerimisel, edasi survevalutehnikas ja eriti viimasel ajal messingi ja isegi laagrimetallide asendajana.

## II. RASKEMETALLIDE SULAMID.

### Sulamitest üldiselt.

Keemiliselt puhtal kujul kasutatakse üksikuid metalle harva. Enamik metalle aga laseb end vedelal kujul üsna ulatuslikus vahekorras segada ja sel viisil on võimalik nende omadusi tunduvalt muuta. Saadud metallisegud kannavad sulamite nime. Sulamite omadused on rippuvad üksikute koosseisuosade hulgast, muutuvad on värv, sulamistemperatuur, erikaal, kõvadus, tugevus jne. Elavhõbeda-sulameid nimetatakse üldiselt amalgaamideks.

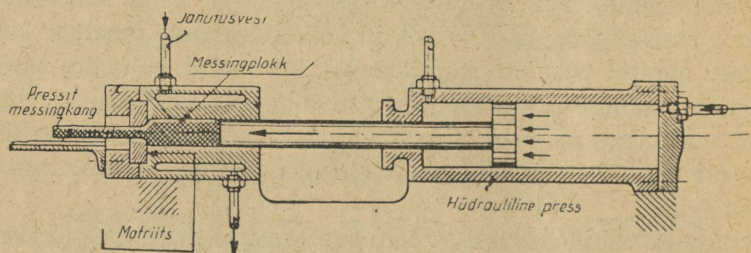
Sulamite valmistamisel segatakse omavahel mitmesuguseid raskemetalle, kuid valmistatakse ka sulameid raske- ja kerge-metallidest. Üldiselt on olemasolevate sulamite arv väga suur, seepärast käsitleme neist siin vaid tähtsamaid.

### Vask ja tsink.

Vase-tsingisulamid on tuntud messingi ehk valgevase nime all, kuna tombakiks hüütakse neid siis, kui vasesisaldus ületab 70%. Messingi suur tähtsus nähtub juba asjaolust, et ümmarguselt 30% kogu maailma vasetoodangust läheb selle sulami valmistamiseks. Üksikute messingisortide vasesisaldust võib ligikaudu määrata nende värvi järgi. Ei tohi ennast aga oksüdatsiooninähtustest mõjutada lasta ja võrrelda võib vaid värskest murtud, viilitud või poleeritud pinda. Madalate Cu-sisalduste puhul, s. o. alla 60%, on värv ookerkollane, tõusva Cu-

sisaldusega muutub see punakaskollakaks (60—63%), siis rohekaskollaseks (67—72%) ja läheb lõpuks üle kuld kollaseks (80%), punakaks (85%) ja tumepunaseks (90%). Rohkem kasutatavad messingisulamid on koondatud normilehte DIN 1709. Lühimärgina tarvitatakse seal tähti Ms ühes arvuga, mis kokkuleppe kohaselt tähistab messingis Cu-sisaldust. (Vt. tabelit lk. 115).

Lisaks tabelis nimetatutele on olemas veel rida erimesingisorte, millede koosseisu peale tsingi kuulub veel vähemal määral mangaani, alumiiniumi, rauda ja tina. Seatina lisandamine teeb sulami hästi vedelaks ja seega hästi valatavaks.



Joon. 63. Hüdrauliline press messinglattice pressimiseks soojalt.

Külmas olekus mõjutab seatina löikeomadusi, laast muutub nimelt tükiliseks ja kergelt murduvaks, mis on erilise tähtsusega treimisel, kuna pikad laastuspiraalid tööd tunduvalt takistavad.

Messinglattice ja torude valmistamiseks kasutatakse enamasti joon. 63 kujutatud pressi. Valatud plokid raskusega 50 kuni 200 kg soojendatakse  $750^{\circ}$ — $780^{\circ}$  peale, asetatakse siis pressimissilindrisse ja hüdrauliliselt liikuma pandud tempel surub kuuma messingploki läbi matriitsi avausesse. Olenevalt avausesse kujust saame siis ka vastavalt profileeritud messinglattice. Sääraseks pressimiseks on sobivad kõik soojalt vormitavad messingid, nagu Ms 58, Ms 60, Ms 63 ja erimesingid. Pressitud messingi tõmbetugevus ulatub kuni  $45 \text{ kg/mm}^2$  ja pikenemine on enamasti 20—30% piirides.

# Lühendatud väljavõte normilehest DIN 1709.

## I. Valusulamid.

Tabel 9.

Nimetus	Lühimärk	Ligikaudne koosseis = %			Kasutusotstarve
		Cu	Lisandid	Zn	
Valumessing 63	GMs 63	63	kuni 3 Pb	ülejääk	Mitmesuguste arma- tuuride ja sarnaste osade valamiseks.
" 67	GMs 67	67	" 3 Pb	"	

## II. Pressimiseks ja valtsimiseks kasutatavad sulamid.

Kõvamessing (kruvimes- sing)	Ms 58	58	2 Pb	ülejääk	Soojalt pressimiseks. Profileeritud latid mitmesuguseks ots- tarbeks. Soojalt pres- situd osad valatiste asendamiseks.
Sepistatav messing (Muntz- Metall)	Ms 60	60	—	"	Latid, traadid, plekid, torud mitmesuguseks otstarbeks, viimased eriti laevaehituse jaoks.
Messing	Ms 63	63	—	"	Hästi tõmmatav, stantsitav ja joodet- tav messing. Plekid, lindid, traadid, kan- gid mitmesuguste metallesemete val- mistamiseks, torud.
Pooltombak	Ms 67	67	—	"	Väga hästi külmalt venitatav messing. Kasutatakse peale Ms 63 juures ettenäh- tud otstarvete veel padrunikestade val- mistamiseks.
Kollane tombak	Ms 72	72	—	"	Eriti hästi külmalt venitatav ja tõmma- tav messing. Traadid, plekid, profiilid tur- biinilabidate valmis- tamiseks.
Helepunane tombak	Ms 80	80	—	"	Külmalt töötlemiseks (kunstipäraseid ese- med). Plekid, võrgud, metallesemed.
Kuld-tombak	Ms 85	85	—	"	
Punane tombak	Ms 90	90	—	"	

Üldiselt on messing väga mitmekülgne vase-tsingisulam, sest ta on hästi valatav, soojalt sepistatav ja pressitav, kergesti töödeldav laastueraldamise teel, külmas olekus väga sitke ja painduv, mis võimaldab hõlpsat stantsimist ja venitamist, ning lõpuks hästi poleeritav.

Vase-tsingisulamite liiki kuuluvad ka teradena müügilolevad kõvajoodised (Schlaglot). Normilehes DIN 1711 on nelja liiki kõvajoodist, nimelt MsL 42, MsL 45, MsL 51 ja MsL 54. Numbrid tähistavad Cu-sisaldust, ülejääk on tsink.

### Vask ja tina.

Vase-tinasulamid on juba ürgajast tuntud pronksid. Tehakse vahet valu- ja valtsitavate pronkside vahel. DIN 1705 näeb ette kolm liiki valupronksi ja ühe valtsitava pronksi: Valupronks 20, lühimärk GBz 20, koosseisuga 80% Cu+20% Sn. Valupronks 14, lühimärk GBz 14, koosseisuga 86% Cu+14% Sn. Valupronks 10, lühimärk GBz 10, koosseisuga 90% Cu+10% Sn. Valtsitav pronks 6, lühimärk WBz 6, koosseisuga 94% Cu+6% Sn.

Pronksid on üldiselt suure tugevuse ja kõvadusega ning hästi kulumis- ja korrosioonikindlad. Valamisel tuleb vaid hoolt kanda, et sulamisse ei pääseks hapnik, sest ta teeb valatise urbseks. Selle vältimiseks kaetakse vedel metall klaasipulbriga või puusöepuruga ja kasutatakse desoksüdatsioonaineid, milledest sobivaim on fosforvask. Fosforvase nime all tuntud sulam sisaldab fosforit 10—15%. Viimane ühineb ahnelt vedelas pronksis leiduva hapnikuga ning kerkib kuumvedela metalli pinnale, kus teda koos šlakiga eraldada saab. Pronksi enesesse jäävad vaid väga väikesed hulgad fosforit, enamasti mitte üle 0,5%. Säärasel viisil desoksüdeeritud pronkse nimetatakse fosforpronksideks.

Olenevalt koosseisust kasutatakse pronkse laagrite, armatuuride, kirikukellade, hüdrauliliste aparaatide ja laevade ehituses ning paljuks muuks. Peale eespoolloeteldute on tuntud veel rida eripronkse peamiselt masinalaagrite valmistamiseks.

## Vask, tina ja tsink.

Vase-tina-tsingisulameis on hinnaline tina osaliselt asendatud odavama tsingiga. Valatavad tinapronksid, millede tsingisisaldus ei ületa 10%, on tuntud kui punavalu, sk. „Rotguss“; normitud on neist 5 mitmesugust liiki (DIN 1705). Rg 10, mida sageli nimetatakse masinapronksiks, sisaldab tavaliselt 86% Cu, 10% Sn, 4% Zn. Normilehes esinevad veel järgmised Rg-sulamid:

Lühimärk	Koosseis = 0/0				Kasutamisala
	Cu	Sn	Zn	Pb	
Rg 9	85	9	6	—	Toodud sulameid kasutatakse peamiselt armatuurideks, Rg 9 ka laagriteks.
Rg 8	82	8	7	3	
Rg 5	85	5	7	3	
Rg 4	93	4	2	1	

## Vask ja nikkel.

Olgugi et suur osa neist sulameist sisaldab niklit alla 50%, loetakse neid siiski niklisulamite hulka ja seda põhjusel, et Ni mõjutab eriti tunduvalt sulami omadusi. Kõigile niklisulameile on ühine nende suur tugevus, korrosiooni- ja kuumuskindlus.

Nikli-vasesulamite silmatorkavaim omadus on nende hõbevalge värv, mis ilmneb puhtalt juba 15% nikli juures. 40—50% Ni-sisalduse puhul on sulam värvilt hõbedast vaevalt eraldatav. Koos Ni-sisalduse tõusuga kasvab ka korrosioonikindlus, nii et näit. sulameid 20—30% nikliga võib korrosioonikindla materjalina kasutada keemiatööstuses aparaatide ehitamiseks. Koos niklisisaldusega langeb tugevasti vase elektrijuhtivus. Nii on elektrotehnikas takistustraadina tuntud Konstantan — Cu-Ni-sulam, mille Cu-sisaldus on 40—50%. Samaks otstarbeks kasutatav nikeliin sisaldab niklit 30—33%. Monell-metalli nime all on tuntud sulam 67% Ni-, 28% Cu- ja 5% Fe-sisaldusega. Mo-

nell-metalli toodetakse Ameerikas otse maagist ja kannab seepärast ka „loomuliku sulami“ nime. Monell-metallil on eriti kõrged nii tõmbetugevus kui ka korrosioonikindlus.

Cu-Ni-Zn-sulamid sarnlevad hõbedaga veel rohkem kui puhtad Cu-Ni-sulamid ja nad on seepärast tuntud kui „uushõbe“. Hõbeda värvile kõige lähem on uushõbeda-sulam koosseisuga: Ni — 20—30%, Cu — 40—60%, Zn — 20—35%. Uushõbe võib, olenedes koosseisust, olla sinaka, roheka või kollaka värviga.

Nikli-kroomisulamid on eriti kuumuskindlad.

### Antimon, seatina, tina ja tsink.

Tehakse vahet seatinasulamite, tinasulamite ja tsingisulamite vahel olenevalt sellest, missugune neist kolmest metallist on ülihulgas.

Seatina-antimonisulamid. Seatina-antimonisulamid on enamtuntud trükitähtede valmistamiseks. Antimoni osa suurus kõigub 5 ja 25% piirides, sellele aga lisandub enamasti veel 1—8% tina.

Seatina-tinasulameid kasutatakse esmajoones pehmejootmisel; ühenduses vismutiga, kadmiumiga ja elavhõbedaga annavad nad eriti kergelt sulavaid sulameid.

Jootesulamid, millede sulamispunkt asetseb 180° ja 300° vahel, on normitud ja koondatud normilehte DIN 1707. Et seatina on võrdlemisi mürgine, siis inimitoiduga kokkupuutuvaid nõusid on lubatud joota ainult jootetinaga, mille Pb-sisaldus ei ületa 10%.

Alljärgnev tabel sisaldab andmeid normitud jootetinade koosseisu ning tarvitamisvõimaluste kohta.

Peale loeteldud jootesulamite on tina tarviduse vähendamise otstarbel arendatud asendussulamid, millede koosseisu peale seatina ja tina kuulub veel kadmium. Tina osa ei ületa seejuures enamasti mitte 15% ja sulamispunkt asetseb neil sulameil tavalistele jootetinadega võrreldes pisut kõrgemal.

Kergesti sulavaist metallisulameist on tuntud nn. Wood'i metall: 25% Pb; 12,5% Sn; 50% Bi; 12,5% Cd, mille sulamis-

Nimetus	Lühimärk	Koosseis = %		Kasutamisetstarve
		Tina	Seatina	
Jootetina 25	SnL 25	25	75	Jootmiseks leegi abil (kolviga jootmiseks ei sobi).
Jootetina 30	SnL 30	30	70	Jämedamad plekksepatööd.
Jootetina 33	SnL 33	33	67	Tsink ja tsingitud plekid.
Jootetina 40	SnL 40	40	60	Messingi ja valgeplekl jootmiseks.
Jootetina 50	SnL 50	50	50	— sama —, pealeselle konservitööstuses.
Jootetina 60	SnL 60	60	40	Kergelt sulav joode, õrnemate jootetööde jaoks, nagu näit. elektrotehnikas jne.
Jootetina 90	SnL 90	90	10	Erilised tervishoidlikest tingimustest rippuvad jootetööd.

punkt asetseb 60,5° juures. Kasutamist leiab säärane sulam tulekaitseseadmeis ja kaitseteks elektrijuhtmeis, teemantide kinnitamiseks hoidjaisse ja muudeks säärasteks otstarveteks.

### Tsingisulamid.

Tsingisulamid võeti värviliste metallide nappuse tõttu Saksa maal tarvitusele juba Maailmasõja ajal. Kogemused aga ei olnud seekord kõige paremad, sest puhas tsink rekristalliseerub juba toatemperatuuri juures ning muutub selle tagajärjel jämedasõmeraliseks. Edasi kasutati sulamite valmistamiseks tsinki, mis sisaldas kahjulikke lisandeid, nagu seatina, tina ja kadmiumi, kokku kuni 1%. Nimetatud kahjulikud lisandid põhjustavad aga ebapüsiva sulami tekkimist, mille tagajärjel valatud osade tugev äratõmbumine ja pragunemine isegi kuude ja aastate järel ei olnud sugugi harulduseks.

Nagu eespool nägime, suudab nüüdisaja metallurgia eriliste raskusteta valmistada 99,99% puhtusega peentsinki, mil-

les kahjulikud lisandid ei ületa isegi 0,01%. Säärase tsingi rafineerimine toimub fraktsioneeritud destillatsiooni põhimõttel, kusjuures eraldatakse peamiselt seatina ja kadmium.

Tsingisulamite rakendamisel mõjub teataval määral takistavalt asjaolu, et puudub väga mitmekülgsede omadustega universaalsulam. Messingi, nagu näit. Ms 58 suureks paremuseks on seevastu, et ta on hõlpsasti valatav, samuti külmalt ja soojalt pressitav, omab häid mehaanilisi omadusi, on korrosioonikindel ning ei muuda oma häid omadusi madalate ega ka kõrgete temperatuuride juures. Vastandina ei ole õnnestunud arendada tsingisulamit, mil oleks kõik ülalnimetatud head omadused ühendatud, vaid selle asemel on rida iseseisvaid, erinevate omadustega sulameid. Iseenesest ei ole siin küll midagi katki, sest ka alumiiniumisulamite arv on võrdlemisi suur.

Vormvalusulamina on rohkem tuntud 4% alumiiniumi ja 1% punase vase sisaldusega peentsingisulam. Selle mehaanilised omadused on sarnased tavaliste messingisulamite omadega, mis nähtub ka tabelist nr. 11.

Tabel 11.

Omadused \ Sulam	Al.-sisaldusega peentsingisulam	Messing valatult GMs 63
Koosseis . . . . .	94,8 Zn 4,0 Al 1,2 Cu 0,03 Mg	63 Cu 36—37 Zn 1—2 Pb
Tõmbetugevus kg/mm <sup>2</sup>	22	15
Pikenemine 0/0 . . . .	1,5	7
Brinelli-kõvadus kg/mm <sup>2</sup>	90	45

Vormvalusulameid kasutatakse suuremalt osalt külma vee armatuuride valmistamiseks. Tagajärjed on väga head, kui silmas pidada mõnd tsingi eriomadust. Kuni 70° soe või koguni külm vesi ei mõju nimelt tsingisulamile kuidagi kahjustavalt, keev vesi ja eriti veeaur seevastu üsna tunduvalt. Armatuuride valamine toimub enamasti kokillis. Sääraselt vala-

tud osade välispind on hästi silé ja niklitaolise läikega. Poleerimisega võib viimast veelgi tõsta ning tsaponlakiga katmisega vastupidavamaks teha.

Teiseks suureks kasutusalaks on tsingisulamitele kujunenud mitmesugused masinalaagrid. Senised meil babiitide nime all tuntud laagrimetallid koosnevad peamiselt tinast, millega eriti sõja ajal tuleb ümber käia väga kokkuhoidlikult.

Laagrite valmistamiseks kasutatavad tsingisulamid on: GZn-Al 4-Cu 1 ja GZn-Al 10-Cu 1. Neist esimene sisaldab 4% ja teine 10% alumiiniumi, edasi sisaldavad mõlemad umbes 1% punast vaske ja 0,03% magneesiumi, ülejääk on peentsink. Peale valatud laagrite kasutatakse mõlemaid sulameid ka pressitud ja ületõmmatud kujul. Tugevuselt ja kõvaduselt ületab 10% alumiiniumisisaldusega sulam Zn-Al 10-Cu 1 esimest sulamit üsna tunduvalt.

Eriti rohket kasutamist aga leiavad tsingisulamid just survevalutehnikas. On olemas vaserikkad, vasevaesed ja täiesti vasevabad tsingisulamid. Vase-, samuti alumiiniumisisaldus ei ületa üksikult 4%. Tõmbetugevus ulatub vaserikaste survevalusulamide juures kuni 38 kg/mm<sup>2</sup>, pikenemine on tavaliselt piirides 2—6%. Tsingi-survevalusulamid leiame normilehes DIN 1743.

### Laagrimetallid.

Hõõrumislaagriteks kasutatavad metallid kannavad DIN 1703 kohaselt valgemetalli nime ning märgitakse lühimärgiga WM, kuna sellele liidetud arv tähistab tinasisaldust. Sulam WM 80 sisaldab näit. Sn — 80%; Sb — 12%; Cu — 6%; Pb — 2%. Tina kokkuhoidmise otstarbel on viimasel ajal tarvitusele võetud Sn-vased ja Sn-vabad laagrimetallisulamid. Eespool nimetatud sulamit WM 80 asendab edukalt näit. järgmine seatina alusel põhjenev sulam LgPb-Sn10 koosseisuga: 67—83,5% Pb; 13,5—18% Sb; 9,8—10% Sn; 2% Cd; kuni 2,1% Cu; kuni 1,25% Ni.

Peale normitud laagrimetallide on aga veel hulk teisi laagrimaterjale, nagu malm, pronks, erimessing, tsingisulamid ja alumiiniumisulamid, rääkimata mittemetallist ainetest, nagu kunstvaigust pressmassid, parendatud puu jne.

Eriline koht laagripronkside hulgas on isemäärijail õlisisaldavail laagrimetallidel. Neid valmistatakse pulbrilistest metallidest tugeva surve abil ning kuumutatakse seejärel vaid niivõrra, et üksikud metallisõmerad kokku paakuksid. Tekkinud poorid hoiavad materjalis hästi õli kinni, nii et õlisooned ehk õlitamisaugud osutuvad tarbetuks. Laagris olev õli tungib soojenemisel pinnale ja põhjustab küllaldast määrimist. Jahtumisel tõmbub määrdeaine laagrimaterjalisse tagasi, kuna pinnale jääb alles õhuke õlifilm. Müügile tulevad valmis laagripuksid, mis pressimise teel surutakse laagrikeresse.

### III. KERGETETALLID.

#### Alumiinium.

Tähtsaim kergemetall on kahtlemata alumiinium. Seda leidub looduses väga mitmes mineraalis, kuid alumiiniumi toorainena on sobivad vaid oksüüdilised maagid, milledest tähtsamad on nn. boksiidid. Puhtal kujul alumiiniumi looduses ei esine ja seda põhjusel, et ta keemiliselt väga kergesti ühineb teiste ainetega, eriti kergesti aga hapnikuga. Protsess läheb kiiresti, kusjuures vabaneb suur hulk soojust. Praktiliselt kasutatakse seda omadust termiitkeevitamisel. Pulbriline alumiinium segatakse samuti pulbrilise rauaoksüüdiga (rauatagiga) vahekorras 1:3. On küllaldane, kui segu ühesainsas kohas süüdata baariumoksüüdist ja alumiiniumist koosneva süütesegu abil. Termiidisegu põleb siis kiiresti ära ning seejuures tekivad vedel raud ja šlakk, kuna temperatuur tõuseb ligikaudu 3000 kraadini. Ter-

miitkeevitust rakendatakse suurte esemete keevitamisel, nagu rööpad, torud, völldid jne.

Et alumiiniumi põlemisel vabanevat soojustulka tuleb vastu-  
pidi jällegi juurde tuua, kui soovitakse Al ja  $O_2$  ühendust lahu-  
tada, on selle metalli tootmine võrdlemisi raske ja kulukas.

Boksiit, see tänapäeval rohkem kasutatav alumiiniumi toor-  
aine, sisaldab 55—65% alumiiniumoksüüdi ( $Al_2O_3$ ), kuni 28%  
 $Fe_2O_3$  ja kuni 4%  $SiO_2$ . Nime on ta saanud oma esimesest lei-  
kohast Les Beaux Prantsusmaal, kuid suuremad leiukohad  
Euroopas on veel Balkanil ja Ungaris.

Alumiiniumi võib toota vaid puhtast alumiiniumoksüüdist,  
mispärast toormaterjal tuleb kõigepealt vabastada mitmeist  
lisandeist. Kujuneb seega kolm iseseisvat suuremat töökäiku:

1. Maagist puhta alumiiniumoksüüdi valmistamine.
2. Alumiiniumoksüüdi taandamine tooralumiiniumiks.
3. Tooralumiiniumi ümbersulatamine puht-alumiiniumiks.

Alumiiniumoksüüdi tootmiseks rohkem kasutatav menetlus  
on Bayeri oma, mis skemaatiliselt on kujutatud joon. 64. Mäe-  
tööstuslikul viisil saadud boksiit tuleb tehasesse umbes peasuu-  
rustes tükkides. Siin murtakse ta kivimurdja abil väiksemaiks  
tükkideks, mis peab hõlbustama materjali kuivatamist. Kuiva-  
tamine toimub suures pöörlevas toruahjus, nagu neid kasuta-  
takse lubjavalmistamisel. Kuivatamise tagajärjel saavutatakse:

1. Boksiidist eraldatakse osa vett.
2. Boksiit on kuivas olekus kergem jahvatada.
3. Boksiidis enamasti alati leiduv orgaaniline ollus, mis ras-  
kendab alumiiniumoksüüdi eraldamist, kõrvaldatakse.

Hõõgutatud boksiit toimetatakse transporttigu ja elevaatori  
abil kuulveskisse ja sealt tagavara-silosse, kust teda on võima-  
lik võtta tarviduse järgi. Edasiseks töötlemiseks segatakse täp-  
selt kaalutud boksiidihulk lahustamise nõus naatriumleelise-  
ga, mille kangus on  $46^\circ Be$ , ja juhatakse siis veidi madalamal seis-  
vaise autoklaavidesse. Viimastes keedetakse pudrutaoline  
mass kindla temperatuuri ja surve juures. Tekkinud naatrium-  
aluminatleelis puhastatakse siis kahes üksteise järele ase-

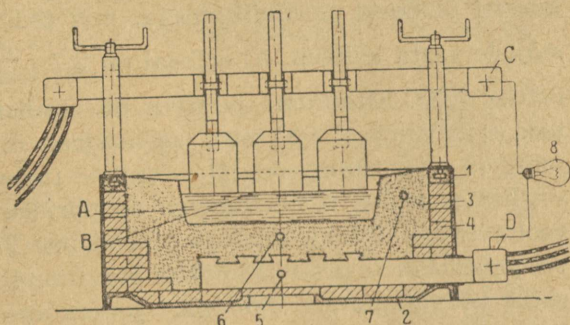


tatud filterpressis ja mittelahustuv raudasisaldav muda eraldatakse. Viimasest väiksemast filterpressist väljuv aluminatleelis voolab kogumisnõusse, kust ta tsentrifugaalpumba abil toimetatakse reaktsiooninõudesse. Neis segajatega varustatud nõudes aluminatlahus laguneb alumiiniumoksüüdiks ja vabaks seebikiviks. Umbes 60% alumiiniumoksüüdist langeb välja, kuna ülejäänud 40% jäävad lahusesse. Edasine  $Al_2O_3$  eraldamine leelisest toimub pidevalt töötavate filtrite abil. Väljapestud alumiiniumoksüüd on lumivalge ja üsna puhas ning rändab edasi kuivatusahju. Viimaseks on ligemale 70 m pikkusega pöörd-toruahi,

kus kuivatatav aine liigub küttegaasidega vastu-suunaliselt. Kuumus peab ahjus tõusma 1200—1300 kraadini, et alumiiniumoksüüdi „surnuks põletada“, vastasel korral võtab ta õhust uuesti niiskust enesesse

ja muutub järgneva elektrolüüsi jaoks kõlbmatuks. Filtrid läbinud leelis läheb edasi aurutamisseadmesse, kus ta kangust tõsetatakse määrani, mis võimaldab teda lahustajana uuesti tarvitusele võtta.

Alumiiniumoksüüdi taandamine alumiiniumiks toimub elektrolüüsi teel (joon. 65). Et alumiiniumoksüüd on väga raskesti sulav ( $\sim 2000^\circ$ ), siis lisatakse juurde krüoliiti ( $Na_3AlF_6$ ) niisuguses vahekorras, et segu sulamistemperatuur langeb 900—950 kraadini. Elektrolüüs toimub madalas söemassiga vooderdatud kivivannis, kuhu on asetatud tõrvakoksist tehtud süsielektroodid. Katoodiks on elektrolüüsinõu ise. Tööpinge on 5 kuni 6



Joon. 65. Alumiiniumi elektrolüüs.

A — elektrolüüsinõu. B — anoodid. C — voolujuht.  
D — katood.

volti, voolutugevus aga üsna suur. Ühe tonni alumiiniumi tootmiseks vajatakse 4 tonni boksiiti, millest omakorda saadakse 2 tonni alumiiniumoksüüdi. Elektrienergiat kulub 1 tonni Al kohta umbes 20 000 kilovatt-tundi. Säärasel viisil saadud toor-alumiinium sulatatakse puht-alumiiniumiks ümber kas leekahjus või elektriliselt köetavas ahjus ning valatakse siis suurteks plokkideks või väikesteks kärbetega varustatud kangideks. Plokid valtsitakse plekiks ja lintideks või pressitakse profiileeritud lattideks ja torudeks ning tõmmatakse traatideks.

Puhas alumiinium on hõbevalge värviga ning kattub õhu käes kiiresti õhukese oksüüdikorruga, mis teda edasiste ilmastiku mõjude vastu kaitseb. Al erikaal on  $2,7 \left( \frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right)$  ja sulamistemperatuur  $658^\circ$ . Elektriline juhtivus on võrdlemisi hea, mispärast teda eriti viimasel ajal vase asendajana rohkesti kasutatakse juhtmete valmistamiseks. Mehaaniline tugevus on alumiiniumil võrdlemisi väike, tõmbetugevus on piirides 7 kuni 9 kg/mm<sup>2</sup>, voolupiir 2,5—3,5 kg/mm<sup>2</sup> ja pikenemine 25—35%. Valtsimise või pressimise tagajärjel kõvaks muutunud alumiiniumi on võimalik hõõgutamisega  $350\text{—}400^\circ$  juures uuesti pehmeks muuta. Puht-alumiinium on normitud ja koondatud normilehte DIN 1712. Rohkesti kasutatakse alumiiniumi elektrotehnikas, edasi foolioteks, tuubideks ja majatarbeiks, kuid kaugelt suurem osa läheb siiski mitmesuguste sulamite valmistamiseks.

## KERGEMETALLIDE SULAMID.

### Alumiiniumisulamid.

Kergemetallide sulamite all mõistame tavaliselt sulameid, millede peamiseks koosseisuosadeks on kas alumiinium või magneesium.

Alumiiniumile kui põhimetallile lisatakse enamasti vaske, siliitsiumi, magneesiumi ja tsinki. Vask tõstab üldiselt alumiiniumi kõvadust, magneesium tugevust ja lisaks sellele hõlbus-  
tab töötlemist laastueraldamise teel. Siliitsiumi mõjul muutub sulam korrosiooni-  
kindlamaks ja vastupidavamaks ilmastiku ning keemilistele mõjudele. Tsink soodustab töötlemist sarnaselt nagu magneesium, tõstab aga ühtlasi sulami voolu-  
piiri. Peale nimetatute lisatakse veel vähemal määral teisi metalle, nagu mangaani, niklit jne.

Alumiiniumisulamid on normitud (DIN 1713) ja li-  
sandite järgi jaotatud nelja suurde gruppi:

Cu-sisaldavad sulamid

Mg-     "     "  
Si-     "     "  
Mn-     "     "

Valtsitud ja pressitud Al-  
sulamite (DIN 1713) ligi-  
kaudne koosseis ühes igat sulamiliiki iseloomustava  
tunnusvärviga on toodud  
kõrvalolevas tabelis.

Alumiiniumisulamite arv  
on üldiselt väga suur, lisaks  
sellele tarvitab iga valmis-  
taja tehas veel erinimetusi,  
mis teeb olukorra võrdle-

### Valtsitud ja pressitud Al-sulamid.

Tabel 12.

Lühimärk ja tunnus- värv	Ligikaudne koos- seis %
Al-Cu-Mg (a) tumeapunane	3,5— 5,5 Cu 0,2— 2,0 Mg 0,2— 15 Si 0,1— 1,5 Mn Jääk Al
Al-Cu-Ni (a) heleapunane (oranž)	3,8— 4,2 Cu 1,8— 2,2 Ni 1,3— 1,6 Mg Jääk Al
Al-Cu (a) must	4,5— 6,0 Cu 0,4— 0,6 Mn 0,2— 0,5 Si Jääk Al
Al-Mg-Si (a) valge	0,3— 2,0 Mg 0,3— 1,5 Si 0,0— 1,5 Mn Jääk Al
Al-Mg 3, 5, 7, 9 roheline	2,5—10,0 Mg 0,0— 1,5 Mn 0,0— 1,2 Zn Jääk Al
Al-Mg-Mn kollane	2,0— 2,5 Mg 1,0— 2,0 Mn 0,0— 0,2 Sb Jääk Al
Al-Si pruun	12,0—13,5 Si Jääk Al
Al-Mn violet	1,0— 2,0 Mn Jääk Al

misi kirjuks. Näit. Aludur, Bandur, Duralumin DM 31, Silal HL 35 on kõik Al-Cu-Mg-sulamid; Aldrey, Duralumin K, Pantal on Al-Mg-Si-sulamid jne.

Teine suurem Al-sulamite grupp on määratud mitmesuguste valutööde täitmiseks. Neist moodustavad alagrupi veel survevalusulamid (DIN 1744). Täiesti eriliigi aga moodustavad mootorikolbide sulamid, millele nõutakse peale küllaldase tugevuse veel head soojusejuhtivust ja kulumiskindlust, väheldast paisumist ja muid sääraseid omadusi. Margid nagu Alusil, Nelson-Bonalite, Nüral on tuntud kolbide sulamid. Näitena on Alusil'i koosseis järgmine: Cu — 1—2%; Si — 20—21%; Fe ~ 7%, ülejääk Al.

Teatavat liiki alumiiniumisulamite eriomaduseks on nende parendamise võimalus. Parendamise all mõistame sulami kuumutamist umbes 480° peale ühes järgneva jahutamisega külmas vees, millele järgneb mehaaniliste omaduste tunduv tõus. Pärast jahutamist algab loomulik vanandamine, s. o. toatemperatuuri juures tõusevad sulami mehaanilised omadused pidevalt, kuni 6—8 päeva pärast on saavutatud nende maksimum. Vanandamist on võimalik tunduvalt kiirendada, kui see toimub 125—170° juures.

### Magneesiumisulamid.

Magneesiumisulamid erinevad alumiiniumisulameist üsna tunduvalt, nende arv on märksa väiksem ja rohkem tuntud sulamid on: Elektronmetall, Magnewin ja Magnesal. Mg-sulamite üheks tähelepanuväärsemaks omaduseks on nende madal erikaal, kõigest  $1,8 \left( \frac{g}{cm^3} \right)$ , seejuures aga on mehaanilised omadused võrdlemisi kõrged ega anna Al-sulameile selles suhtes midagi järele. Tähtsamaiks lisametallideks on enamasti alumiinium, tsink, mangaan ja siliitsium.

Mg-sulamite sulamispunkt asetseb umbes 625° juures, sellest hoolimata püsib töötlemisel teatav oht, sest väiksemad laastud

ja eriti Mg-sulamite tolm süttib väga kergesti juhuslike säde-  
mete läbi. Kustutamine veega ei anna mingit tulemust, see võib  
sündida vaid kuiva liivaga.

Magneesiumisulamid oma väikese erikaalu ja suure tugevuse  
tõttu leiavad rohket kasutamist lennuki- ja jõuvankrite ehituses.

---

### **Kasutatud kirjandus.**

Gemeinfassliche Darstellung des Eisenhüttenwesens, XIV Auflage. Heraus-  
gegeben vom Verein Deutscher Eisenhüttenleute.

H. Gramm. Die Werkstoffe. II Teil.

# Sisukord.

## A. Raud.

<b>I. Rauatootmine.</b>	<b>Lk.</b>
Rauatootmine ürgajal ja muistses Eestis .....	5
Rauatööstuse toorained .....	7
Kõrgahi .....	12
Elektrikõrgahi .....	19
Kõrgahju saadused .....	21
<b>II. Terasetootmine.</b>	
Pudeldusmenetlus .....	23
Bessemer- ja Thomas-menetlus (valuterase tootmine) .....	26
Siemens-Martin-menetlus .....	32
Menetlus tiigliterase valmistamiseks .....	37
Elektriterase-menetlus .....	38
Ideaalne terasetehas .....	43
<b>III. Malmi- ja terasevalamine.</b>	
Kupolaahi .....	47
Valatud eseme puhastamine .....	54
Tsentrifugaalvalu .....	55
Survevalu .....	56
<b>IV. Terase töötlemine soojalt.</b>	
Soojalt töötlemisest üldiselt .....	60
Sepistamine .....	61
Sepakeevitus .....	64
Valtsimine ja valtsimistooted .....	66
Terastorude valmistamine. ....	71
<b>V. Mehaanilised ja metallograafilised katsed.</b>	
Katsetest üldiselt .....	75
Tõmbekatse .....	75

	Lk.
Brinell-katse .....	78
Löögiproov .....	80
Vältekatsed .....	80
Tehnoloogilised katsed .....	80
Metallograafia .....	81
<b>VI. Terase liigitus.</b>	
Terastest üldiselt .....	91
Tööriista- ja ehitusterased .....	92
Süsinik-tööriistaterased .....	93
Legeeritud tööriistaterased .....	93
Kiirlõiketerased .....	95
Ehitusterased .....	98
Legeeritud ehitusterased .....	100
Vedruterased .....	102

## B. Mitteraudmetallid.

<b>I. Raskemetallid.</b>	
Vask .....	104
Seatina .....	108
Tina .....	109
Tsink .....	111
<b>II. Raskemetallide sulamid.</b>	
Sulamitest üldiselt .....	113
Vask ja tsink .....	113
Vask ja tina .....	116
Vask, tina ja tsink .....	117
Vask ja nikkel .....	117
Antimon, seatina, tina ja tsink .....	118
Tsingisulamid .....	119
Laagrimetallid .....	121
<b>III. Kergemetallid.</b>	
Alumiinium .....	122
<b>IV. Kergemetallide sulamid.</b>	
Alumiiniumisulamid .....	126
Magneesiumisulamid .....	128

# Tehnilise Kirjastuse varem ilmunud raamatud

Toimetaja: dipl. ins. A. Põdrus.

- Lukksepa käsiraamat. Tehn. A. Kaskneem. 152 lk. 185 joon.  
A 5. 1940. a. Rmk. 5,28.
- Metallide freesimine ja hõõveldamine. Ins. E. Olving. 110 lk.  
104 joon. A 5. 1943. a. Rmk. 2,30.
- Metallitreimine. Ins. E. Olving. 142 lk. 131 joon. A 5. II trükk.  
1943. a. Rmk. 3,70.
- Tehniline joonestamine. Metallitöö. T. Ussisoo. 61 lk. 128 joon.  
A 5. 1940. a. Rmk. 0,96.
- Terase karastamine. Ins. E. Olving. 100 lk. 49 joon. A 5. II trükk.  
1940. a. Rmk. 3,20.
- Treiali ja freesija käsiraamat. Ins. E. Olving. 152 lk. 136 joon.  
1939. a. Rmk. 2,16.
- Elektromontaaž I. Elektriteooria. Ins. V. Sephans. 80 lk. 40 joon.  
A 5. II trükk. 1941. a. Rmk. 2,25.
- Elektromontaaž II. Mõõtmistehnika. Ins. V. Sephans. 72 lk.  
51 joon. A 5. 1941. a. Rmk. 2,40.
- Elektromontaaž III. Jõujaamad ja vooluallikad. Ins. V. Sephans.  
104 lk. 36 joon. A 5. 1941. a. Rmk. 3,20.
- Elektromontaaž V. Elektervalgustus. Ins. V. Sephans. 63 lk.  
25 joon. A 5. 1942. a. Rmk. 1,50.
- Elektromontaaž VI. Elektrimootorid. Ins. V. Sephans. 103 lk.  
51 joon. A 5. 1943. a. Rmk. 2,80.
- Hoonete ehituskonstruksioone. Arh. K. Böläu. 210 lk. 231 joon.  
1938. a.
- Maalri käsiraamat I. Maalri materjalid. Ins. A. Krik. 201 lk.  
9 joon. 1938. a. Rmk. 2,64.
- Maalri käsiraamat II. Maalritööd. Ins. A. Krik. 264 lk. 47 joon.  
1942. a. Rmk. 4,25.
- Pottsepa käsiraamat. Ins. M. Luht ja A. Veski. 229 lk. 164 joon.  
1940. a. Rmk. 2,40.
- Naha tehnoloogia. Mag. chem. V. Kangro. 74 lk. 25 joon. 1939. a.  
Rmk. 1,36.



A

21573

216264<sup>0</sup><sub>l</sub>

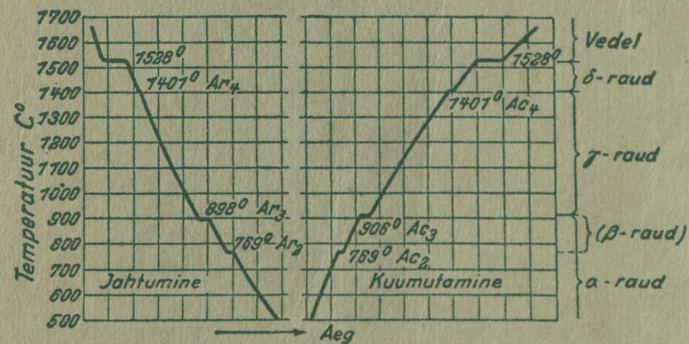
A  
21573  
216264<sup>o</sup> l

TEHNILISE KIRJASTUSE TOIMETISED

DIPL. INS. E. OLVIING — METALLIDE TEHNOLOOGIA

# Metallide TEHNOLOOGIA

DIPL. INS. E. OLVIING



E E S T I K I R J A S T U S · T A L L I N N